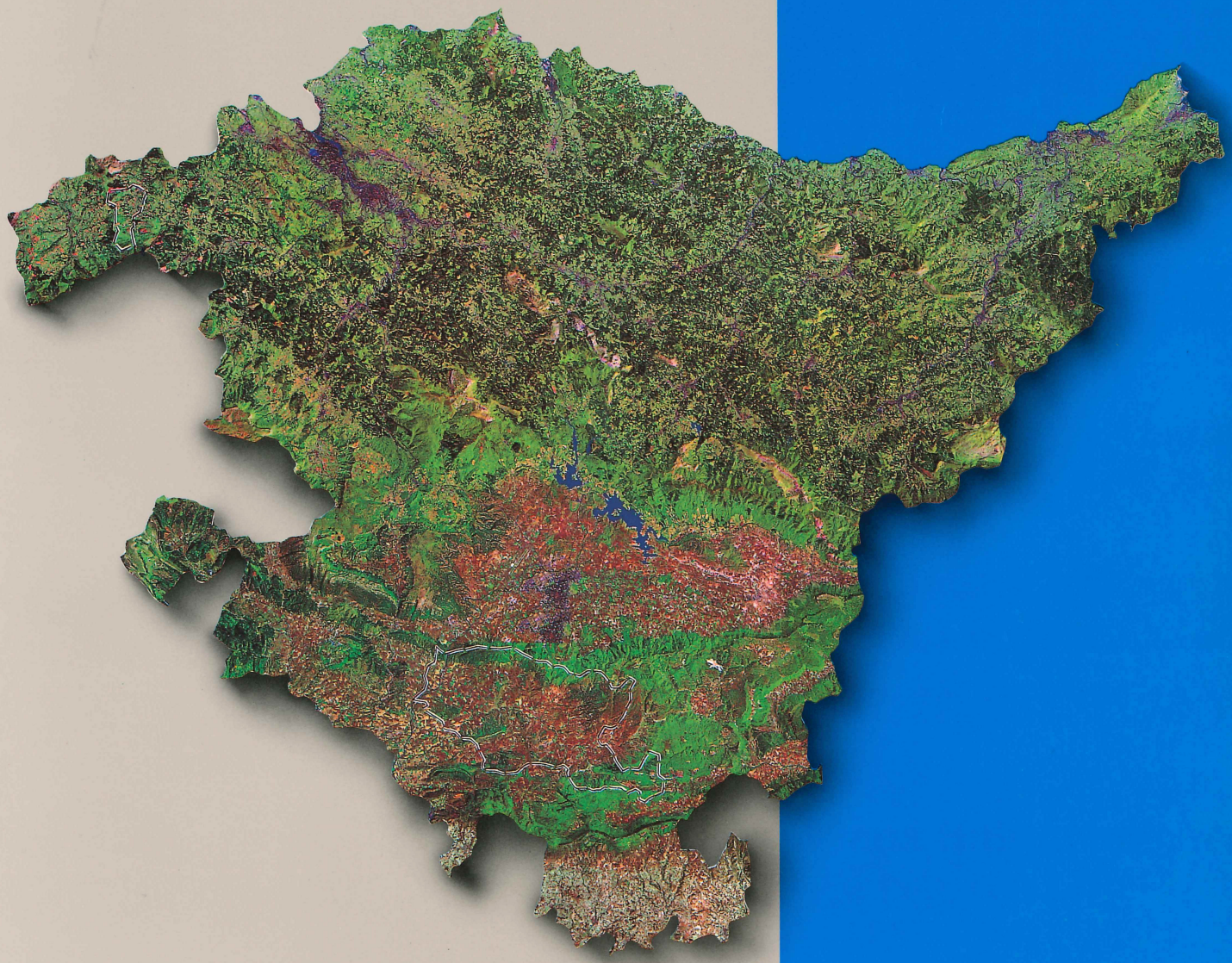
EVE

# Mapa Hidrogeológico del País Vasco

## *Euskal Herriko Mapa Hidrogeologikoa*



E: 1/100.000

EUSKO JAURLARITZA
GARRAIO ETA HERRILAN SAILA

GOBIERNO VASCO
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES Y OBRAS PUBLICAS

Diputación Foral de Alava

Arabako Foru Aldundia

Gipuzkoako Foru Aldundia
Diputación Foral de Guipúzcoa

eman ta zabal zazu

UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO

EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA

INGEMISA
la empresa al servicio de la Tierra

Terra Nova
geólogos ingenieros consultores

# INDICE

**INTRODUCCION. SARRERA**.....7

**METODOLOGIA** .....11

Mapa geológico.....11
Asignación de permeabilidades.....11
Tipología de acuíferos.....12
Diferenciación en Dominios Hidrogeológicos .....12
Delimitación de Unidades Hidrogeológicas.....12
Resultados obtenidos.....13

**CLIMATOLOGIA**.....15

**DOMINIOS HIDROGEOLOGICOS**.....23

PALEOZOICO Y GRANITOIDES.....23
ANTICLINORIO NORTE.....27
Unidad Hidrogeológica Elduain .....35
Unidad Hidrogeológica Ernio.....49
Unidad Hidrogeológica Albiztur .....61
Unidad Hidrogeológica Gatzume.....75
Unidad Hidrogeológica Izarraitz .....85
Unidad Hidrogeológica Ereñozar.....97
ANTICLINORIO SUR.....111
Unidad Hidrogeológica Aramotz.....137
Unidad Hidrogeológica Itxina.....151
Unidad Hidrogeológica Aizkorri .....163
Unidad Hidrogeológica Aralar .....173
CRETACICO SUPERIOR .....181
COMPLEJO VOLCANICO .....185
SINCLINAL DE OIZ.....193
Unidad Hidrogeológica Oiz.....199
CADENA COSTERA .....209
Unidad Hidrogeológica Jaizkibel .....213
SIERRA DE CANTABRIA.....219
Unidad Hidrogeológica Sierra de Cantabria .....225
Unidad Hidrogeológica Campezo.....241
PLATAFORMA ALAVESA.....247
Unidad Hidrogeológica Subijana.....253
Unidad Hidrogeológica Valdegobia.....267
SINCLINAL DE URBASA-TREVIÑO.....273
Unidad Hidrogeológica Urbasa .....281
CUENCA DEL EBRO.....297
CUATERNARIO.....301
Unidad Hidrogeológica Vitoria .....309
Unidad Hidrogeológica Gernika .....323

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**.....333

**AGUAS TERMO-MINERALES. GEOTERMIA** .....349

**CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION**.....353

**RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA** .....365

**ANEXOS**

ESTACIONES METEOROLOGICAS .....371
ESTACIONES FORONOMICAS.....375

**PLANOS**

Mapa Hidrogeológico a escala 1:100.000 (2 hojas)
Mapa de Dominios y Unidades Hidrogeológicas
Mapas Climáticos
Unidad Hidrogeológica Elduain
Unidad Hidrogeológica Ernio
Unidad Hidrogeológica Albiztur
Unidad Hidrogeológica Gatzume
Unidad Hidrogeológica Izarraitz
Unidad Hidrogeológica Ereñozar
Unidad Hidrogeológica Aramotz
Unidad Hidrogeológica Itxina
Unidad Hidrogeológica Aizkorri
Unidad Hidrogeológica Aralar
Unidad Hidrogeológica Oiz
Unidad Hidrogeológica Jaizkibel
Unidad Hidrogeológica Sierra de Cantabria
Unidad Hidrogeológica Campezo
Unidad Hidrogeológica Subijana
Unidad Hidrogeológica Valdegobia
Unidad Hidrogeológica Urbasa
Unidad Hidrogeológica Vitoria
Unidad Hidrogeológica Gernika
Mapas Hidroquímicos
Recursos de Agua Subterránea

# INTRODUCCION. SARRERA

## INTRODUCCION

La cartografía geológica a escala 1:25.000 realizada por el EVE resultó, en su día, imprescindible para la adecuada interpretación hidrogeológica de las principales áreas de interés de la Comunidad Autónoma del País Vasco y ha servido, recientemente, para la edición de una síntesis geológica a escala 1:100.000.

Este último documento ha servido de base para la elaboración del Mapa Hidrogeológico del País Vasco, cuya intención es mostrar la presencia de las Unidades Hidrogeológicas y, además, la interpretación hidrogeológica de todos los materiales que han sido identificados en el mapa original.

La memoria explicativa que acompaña al mapa describe los comportamientos hidrogeológicos de los diferentes Dominios en que ha sido dividido el territorio, incluyendo un análisis más detallado de las principales Unidades y Sectores Hidrogeológicos.

La documentación recogida en la memoria tiene carácter de síntesis e incluye los datos y conclusiones principales alcanzados en los proyectos de investigación realizados por los distintos organismos cuyo ámbito de actuación incluye la Comunidad Autónoma del País Vasco: Ente Vasco de la Energía, Diputaciones Forales de Araba, Bizkaia y Gipuzkoa, Universidad del País Vasco, Gobierno Vasco, Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Servicio Geológico de la Dirección General de la Calidad de las Aguas y Obras Hidráulicas del Ministerio de Medio Ambiente.

La relación de autores y de aportaciones respectivas sobre las que se ha basado el texto son las siguientes:

**Aguayo Fernández Joseba** (U.H. Gatzume, D. Sinclinal de Oiz, U.H. Oiz, U.H. Campezo, U.H. Subijana)

**Antigüedad Auzmendi Iñaki** (D. Anticlinorio Sur, U.H. Aramotz, U.H. Itxina, Contaminación y Vulnerabilidad)

**Aranda Eguia José Antonio** (Climatología)

**Arrate Jorrín Iñaki** (D. Cuaternario, U.H. Vitoria, Hidroquímica)

**Arrizabalaga Valbuena Iñigo** (U.H. Ernio, D. Cadena Costera, U.H. Jaizkibel)

**Cimadevilla Cimadevilla Alberto** (D. Plataforma Alavesa, U.H. Valdegobia, D. Sinclinal de Urbasa-Treviño)

**Eraso Alberdi Angel** (Metodología, Calidad, Aguas Termo-Minerales, Geotermia, Recursos)

**Fernández Alonso Olga** (D. Complejo Volcánico, D. Cuenca del Ebro, U.H. Gernika)

**García de Cortázar Ruiz de Aguirre Alfonso** (U.H. Aralar, D. Cretácico superior, U.H. Valdegobia)

**Hidalgo Ruiz Juan** (D. Anticlinorio Norte, U.H. Albiztur)

**Iribar Sorazu Vicente** (U.H. Aizkorri, Hidroquímica)

**Llanos Acebo Hilario** (Climatología, D. Sierra de Cantabria, U.H. Sierra de Cantabria, U.H. Urbasa)

**Morales Juberías Tomás** (U.H. Ereñozar, Contaminación y Vulnerabilidad)

**Tamés Urdiain Patxi** (D. Paleozoico y Granotiodes, U.H. Elduain, U.H. Izarraitz)

La dirección de la obra ha corrido a cargo de **Eraso Alberdi Angel** y las labores de revisión y homogeneización de **Antigüedad Auzmendi Iñaki**, **Eraso Alberdi Angel** y **Tamés Urdiain Patxi**. La maquetación, planos y figuras han sido realizados por **Aguayo Fernández Joseba** y **Arrate Jorrín Iñaki**.

**Ente Vasco de la Energia (EVE)** : Aguayo Fernández Joseba, Arrate Jorrín Iñaki, Arrizabalaga Valbuena Iñigo, Eraso Alberdi Angel, Fernández Alonso Olga

**Universidad del Pais Vasco (UPV)**: Antigüedad Auzmendi Iñaki, Iribar Sorazu Vicente, Llanos Acebo Hilario, Morales Juberías Tomás

**Servicio Vasco de Meteorología (SVM):** Aranda Eguia José Antonio

**Diputación Foral de Alava (DFA)**: Cimadevilla Cimadevilla Alberto

**Diputación Foral de Gipuzkoa (DFG)**: Tames Urdiain Patxi

**INGEMISA**: Hidalgo Ruiz Juan

**TERRA-NOVA**: García de Cortázar Ruiz de Aguirre Alfonso

**SARRERA**

Azaltzen den dokumentua EEEk (EVE) argitaratzen duen gaikako mapen bildumaren ale bat da. Hasiera Euskal Autonomi Elkarteko kartografia geologikoa 1:25.000 eskalaz osatzen duten 74 orrien argitalpenarekin izan zen; 1:100.000 eskalazko sintesis geologikoaren argitalpenarekin osatua geroago.

Dokumentuak honako atal hauek ditu: mapa orokorra, azalpen-txostena eta 23 planoz osatutako bilduma. Lehen planoak eremu eta unitate hidrogeologietan azpibanaketa azaltzen du, azalpen-egituraren arabera. 19 unitate hidrologiko ezberdinez ari dira eta gainerako 3ek errekurtsoen banaketa geografikoa adiratzen dute. Aurrekoaz gain, dokumentuan zenbait datu hidrokimiko adierazgarri eta Euskal Autonomi Elkarteko oinarrizko parametro klimatikoak agertzen dira.

Txostenan biltzen den dokumentazioa sintesis gisa eratuta dago, eta bertan Euskal Autonomi Elkartean diharduten hainbat erakundek burututako ikerketa proiektuen ondorio eta datu garrantzitsuenak daude: Energiaren Euskal Erakundea, Araba, Bizkaia eta Gipuzkoako Foru Aldundiak, Euskal Herriko Unibertsitatea, Eusko Jaurlaritza, Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Servicio Geológico de la Dirección General de la Calidad de las Aguas y Obras Hidráulicas del Ministerio de Medio Ambiente.

**Helburuak. Metodologia**

Hidrogeologikoki interesgarria diren zonalde nagusiak azaltzeaz gain, sintesis eta dibulgazio izaera duen lan batek dukeen xehetasunez, arreta jarri nahi izan dugu inpermeabletzat hartuta baztertua geratu ohi den zonaldean; errekurtsorik gabekotzat jotzen dena eta beraz, aprobetxamendu ahalbiderik gabe. Zonalde hau aipatutako lurraldearen %75 baino gehiago da.

Hau posible izan da eskala egokian azpiegitura geologikoak eskeintzen duen aukeragatik sintesis dokumentu baterako, halere xehetasun maila jatorrizko mapen eskalaren antzekoa da.

Ondorioa erabilgarria izan dadila nahi genuke, ohiko lan hidrogeologikoetan ezezik errekurtso hidrikoen babesa eta lurralde antolamenduarekin zerikusirik duten guztietan ere.

Lanaren egituraketan izandako irizpideak azaltzen dira jarraian.

**Permeabilitateen esleipena**

Maparen azalpen zuzena emateko xedez eta interes potentzialaren inguruak mugatu aurretik, material banandu bakoitzari permeabilitate-gradua esleitu zaio.

Izan dugun irizpidea ondorengoa izan da: akuiferoak osatzen ohi dituzten terminoei permeabilitate altuak esleitu zaie (kararriak, dolomiak, konglomeratuak etabar) eta permeabilitate oso baxukoak barrera gisakoei (argilitak, limolitak etabar). Permeabilitate baxu eta ertainekoen kolektiboa txandaketen terminoek ezartzen dute edo litologi nahastuek (harearriak eta lutitak, kararri margatsuak etabar).

Lortutako mapa adierazgarria da benetako dimentsio eta kopuruaz permeabilitate altuenaren formazioen agermendu zonaldei dagokienez, akuiferoen eratzaile nagusienak. Bestaldetik, azpimarratzekoa da hauetariko formazio batzuei eragiten dien konplexutasun estrukturala, bereziki iparraldeko erdialdean, eta honek dakartzan ondorio hidrogeologikoak suposatzeko ahalbideratzen duena.

**Akuiferoen tipologia**

Mapa material ezberdinen karakterizazio hidrogeologikoa sortarazi ohi duten akuifero motari bururzko informazioaz osatu da.

Permeabilitate media eta altuko materialeei ezarri zaie soilik; uste baita eragile nagusiak direla unitate hidrogeologikoen osaketan. Dena den, txosten orokorrak eta zehatzago, unitateen analisiak azalpenak dakartzate permeabilitate gutxiagoko beste materialeen portaera hidrogeologikoaz.

Erabilitako sailkapena ohiko eredua den akuiferoen bereizketa bi talde nagusitan izan da: detritikoak eta karstikoak. Sei tipo ezberdinetarainoko azpibanaketaz osotu da, alde handiena duten kasuak eta tarteko kasu ugariak ikusi ahal izateko. Sailkapena osotu da “besteak” atalarekin, bertan batzen dira aurreko definizioetan sartzerik ez dutenak.

**Bereizketa eremu Hidogeologikoetan**

Euskal Autonomi Elkarteko geologi aniztasun zabalak bere osagai guztietan: litologikoa, estrukturala, geomorfologikoa, hidrogeologikoa, ezberdintasun klimatikoaz gain, mugaketa geografikoa inguru txikiagoetan eskatu du deskribapenarako; hauen homogeneotasunak zenbait alderditan laguntzen duelarik horretarako. Bereiztutako eremu hidrogeologikoak 12 izan dira.

**Unitateen mugaketa eta sektore Hidrogeologikoak**

Lurraldearen azalpen orokorraz gain, Euskal Autonomi Elkarteko interes hidrogeologikoa duten zonalde garrantzitsuenak arreta handiz eta xehetasunez izan dira aztertuak.

Unitate hidrogeologikoen mugaketarako erabili den kontzeptua inguru geografikoa da; bertan akuiferoen multzo bat sartzen da, independenteak edo interrelazionatuak, ikerketa eta errekurtsoaren kudeaketako unitate praktika bat osatzen duelarik.

Azaldutako lurraldean definizio hau erabiltzean, azkena izan da betebehar baldintzaileena, hau da, ikerketa eta errekurtsoaren kudedeaketako unitate praktikak osatzen dituzten inguruak definitzea.

Guztira 19 unitate hidrogeologiko mugatu dira.

**Txostena**

Unitate hidrogeologikoen deskribapena ohiko azterlan hidrogeologikoen tankerakoa da, alderdi estruktural eta geometriko nabarmenen analisian sakontzen; baita errekargaren inguruen definizioan eta deskargaren puntuetan ere. Halaber, parametro hidraulikoak, ezaugarri hidrokimika eta lotutako uraren kalitatea, errekurtsoen aprobetxamendu eta ebaluazioa.

Txostena osatzen duten beste ataletatik, klimatologiarenak Euskal Autonomi Elkartean den klima eta bere aldaketak azaltzen du. Aldi berean, parametroak jartzen dira unitate eta eremuen balantze hidrikoak kalkulorako.

Hidrokimika, Kalitatea, Ur Termo-Mineralak eta Geotermia atalak unitate eta eremuen testuinguruan azaldutakoaren osagarriak dira. Aurkitutako ur mota ezberdinen sorketan eragiten duten mekanismoen argigarriak dira eta osasun legediak ezartzen duen kalitate-patronetan kokaturik.

Ildo bertsutik, lurpeko Uren Kutsadura eta Bulnerabilitatea Kutsadurara atalean azaltzen da modu kontzeptualaz elementu kutsaltzaileen sarbideak eta hedabideak; ikuspegi honetatik mapa orokorraren irakurketa burutuz.

Txostena Lurpeko Uraren Errekurtsoak atalarekin osotzen da. Bertan aurreko ataletan erabilitako datu kuantitatiboak laburbiltzen dira eta aprobetxamenduaren potentzialitateaz zenbait gogoeta gehitzen da.

**Ur-errekurtsoak. Aprobetxamendua Gaurkoa eta potentziala**

Errekurtso osoa 1.452 $Hm^3$tan balioztatu da batezbesteko urtean. Hauetatik 829 $Hm^3$ bereiztutako unitate eta sektoreei dagokie eta 623 $Hm^3$ gainerako lurraldeari.

Lurpeko uraren errekurtsoaren erabilpena Euskal Autonomi Elkarteko lurralde osora hedatzen da, erabilgarritasunari dagokionez oso portzentai ezberdinetan bada ere, eta ez dute zerikusirik beti potentzialitate handien duten inguruekin.

Lurpeko uren aprobetxamendua, guztira, 152 $Hm^3$/urte izaten da, batezbesteko urtean eta erabilpen kontsuntiboetan; errekurtso berriztagarri guztien %10 baino pixkat gehiago dena.

Gaur egungo aprobetxamenduaren portzentaian gehitze nabarmen batek, batezbesteko urtean errekurtso berriztagarriaren %10an balioztatua, errekurtsoen aprobetxamendu integralaren kontzeptuan aldaketa bat dakar eta lurpeko uren jatorria, naturaleza eta eginkizunaren ulerbidea.

Egindako ahalegina dokumentuan zehar Euskal Autonomi Elkartean diren material guztien deskribapenan, edo erabilitako kartografia geologikoan bereiztuak, eta dagokion errekurtsoen ebaluazioa lurpeko uraren banaketa geografikoa eta pretsentzia erakusteko burutu da. Nabarmendu nahi izan dugun ondorio nagusiena hauxe da: lurpeko ura lurraldearen alde guztietan dagoen elementua dela, eta bere kantitatea dela soilik aldatzen duena faktore geologikoen arabera. Jatorria prezipitazioa baino ez denez, bere infiltrazioa baldintzatuta dago lurgainaldeko permeabilitateagatik, eta erabat inpermeable den materialik ez dagoenez, prezipitazioaren frakzio bat beti lurpeko errekurtso izatera pasatzen da.

Interes hidrogeologikotzat jotzen ez diren inguruetan infiltratutako ur bolumenaren garrantzia, 623 $Hm^3$/urte, are nabarmenagoa da akuiferoenarekin konparatzen bada, 829 $Hm^3$/urte, antzekoak baitira.

Lurpeko uraren ezagupen maila bere alderdi guztietan, genesi eta bilakaeran zerikusirik duten mekanismoak, errekurtsoen kuantifikazioa eta berauen kalitatea etabar, nahikoa da, oro har, aldaketa eman dadin eta errekurtso hidriko erabilgarrien barruan eta kudeaketa integralean behingoz aintzakotzat hartu eta sartzeko.

# METODOLOGIA

## MAPA GEOLOGICO

La cartografía geológica detallada no ha sido considerada habitualmente como algo imprescindible para la descripción de las unidades hidrogeológicas. Es más frecuente el agrupamiento de términos en conjuntos de diferente permeabilidad.

Sin embargo, la disponibilidad de una cartografía geológica y memoria correspondiente como la Síntesis a escala 1:100.000 permite la interpretación hidrogeológica de los materiales diferenciados con un nivel de detalle que convierte al mapa hidrogeológico en un documento útil para otros usos, como los relacionados con la protección de los recursos hídricos y ordenación del territorio.

Por otra parte, mantener la base geológica con todo su contenido, respetando incluso la misma presentación, excusa a la presente memoria de todo aquel comentario geológico que no tenga un interés hidrogeológico específico. Así, las descripciones geológicas rutinarias o de carácter general se han reducido al mínimo necesario.

En cualquier caso, los análisis detallados de las unidades hidrogeológicas cuentan con esquemas geológicos a la escala que mejor se adapta a las dimensiones y complejidad de las mismas.

## ASIGNACION DE PERMEABILIDADES

El criterio seguido ha sido el de asignación de permeabilidades **altas** a aquellos términos normalmente constitutivos de acuíferos (calizas, dolomías, conglomerados, etc.) y de permeabilidades **muy bajas** a los que actúan de sellos (argilitas, limolitas, etc.). El colectivo de permeabilidades **medias** y **bajas** lo constituyen los términos de alternancias o de litologías intermedias (areniscas y lutitas, calizas margosas, etc.).

Es un criterio que condiciona que, en ocasiones, un término al que se le ha asignado una permeabilidad determinada se sepa, por conocimiento de campo, que esta propiedad no es extensible a todo el afloramiento. Se trata, de todas formas, de un efecto que se minimiza en la medida en que se cuenta con una delimitación suficientemente precisa entre diferentes litologías.

El mapa obtenido resulta revelador del número y las dimensiones reales de las superficies de afloramiento de las formaciones de permeabilidad más alta, principales constituyentes de acuíferos. Es, asimismo, apreciable la complejidad estructural que afecta a algunas de estas formaciones, especialmente en la mitad septentrional, y permite suponer las consecuencias hidrogeológicas que esto implica.

Entre los resultados de la aplicación de un criterio como el seguido se dan algunos casos que requieren matización. Hay formaciones cuya extensión superficial es tan reducida que no permiten presuponer ni la entidad ni la calidad de los acuíferos a que dan lugar. Entre estos, destacan las carniolas del Lías y las arenas y microconglomerados de la formación Utrillas. Son más numerosos, sin embargo, los casos en que se ha asignado a una formación una permeabilidad alta o media y, sin embargo, no constituyen acuíferos significativos. Se conjugan diferentes razones para ello: configuración geométrica poco propicia, desigual grado de

progresión de porosidades secundarias, etc. Se incluyen en este grupo litologías tan diversas como las areniscas albienses (complejo Supraurgoniano) o las ofitas asociadas a los afloramientos del Keuper.

**TIPOLOGIA DE ACUIFEROS**

La caracterización hidrogeológica de los materiales diferenciados en el mapa se ha completado con una información sobre el tipo de acuífero al que comunmente dan lugar.

Se aplica exclusivamente a los materiales considerados de permeabilidad alta y media, por entender que van a ser los principales responsables de la constitución de unidades hidrogeológicas. En cualquier caso, la memoria general y, con más detalle, el análisis de las unidades incluyen descripciones del comportamiento hidrogeológico de otras formaciones de menor permeabilidad.

La clasificación adoptada sigue el modelo convencional de diferenciación de los acuíferos en dos grandes grupos, detríticos y kársticos, complementada con una subdivisión hasta un total de seis tipos diferentes, tratando de contemplar tanto los extremos como la amplia gama de casos intermedios. Se completa la clasificación con la categoría de *otros*, donde se agrupan aquellos que no encajan en ninguna de las definiciones previas:

**Acuíferos detríticos no consolidados.** Incluyen materiales no cementados, permeables por porosidad primaria intergranular.

**Acuíferos detríticos consolidados.** Constituidos por materiales cuya porosidad primaria es muy reducida; su permeabilidad se debe fundamentalmente a procesos de fracturación, unidos a fenómenos de descalcificación, que originan formas de absorción y conducción semejantes a los acuíferos kársticos.

**Acuíferos detríticos mixtos.** Participan de las características de los dos tipos anteriormente descritos, de forma que presentan permeabilidad por porosidad intergranular junto a la originada por procesos de fracturación y disolución.

**Acuíferos kársticos en sentido estricto.** Permeables por porosidad secundaria, desarrollada por procesos de disolución y erosión que avanzan por vías preferentes, debidas a fracturación y/o otro tipo de discontinuidad. Son característicasu anisotropía y el desarrollo de grandes formas de absorción y conducción, estructurados según redes bien definidas.

**Acuíferos kársticos de flujo difuso.** Afectados por diferentes procesos de disolución, dolomitización, etc., que confieren a estas formaciones carbonatadas un comportamiento asimilable a los acuíferos detríticos no consolidados o mixtos. La buena interconexión de las zonas de alta porosidad propicia una distribución de la permeabilidad, en general, isótropa.

**Acuíferos kársticos mixtos**. Originados por materiales que incluyen en su seno contrastes litológicos que condicionan diferentes modelos de desarrollo de la karstificación. El resultado del conjunto es un acuífero que participa de las características descritas en los casos precedentes.

**Otros.** Se limita a aquellas formaciones cuya porosidad, en su origen o en su desarrollo, ha seguido algún modelo diferente de los mencionados. Quedan incluidas, fundamentalmente, las rocas de origen ígneo.

**DIFERENCIACION EN DOMINIOS HIDROGEOLOGICOS**

La amplia diversidad geológica de la Comunidad Autónoma del País Vasco en todos sus componentes: litológico, estructural, geomorfológico, hidrogeológico, además de las diferencias climáticas, exige para su descripción la delimitación geográfica en áreas menores cuya homogeneidad en alguno de los aspectos facilite esa labor.

El empeño, por otra parte, en cumplir uno de los objetivos del mapa, la descripción hidrogeológica de todo el territorio, ha llevado a la definición como dominio no sólo de las áreas que incluyen una o varias unidades hidrogeológicas semejantes sino de aquellas cuya significación hidrogeológica es poco relevante pero que cumplen el criterio antes apuntado.

La descripción de los doce dominios hidrogeológicos así definidos es el objeto de los siguientes capítulos.

**DELIMITACION DE UNIDADES HIDROGEOLOGICAS**

Además de a la descripción general del territorio, se ha prestado especial atención en esta memoria al análisis detallado de las principales

áreas de interés hidrogeológico de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Para la delimitación de las unidades hidrogeológicas el concepto que se ha manejado es el de *área geográfica que incluye un conjunto de acuíferos, independientes o interrelacionados, y que constituye una unidad práctica de investigación y de gestión del recurso.*

Al aplicar esta definición al territorio descrito, resulta como requisito más condicionante el último, es decir, definir áreas que constituyan unidades prácticas de investigación y gestión del recurso.

Son diversas las razones para ello. En determinados casos, es la reducida extensión de los afloramientos y la complejidad estructural que afecta a formaciones que, en otras circunstancias, constituyen acuíferos de interés, es el caso de algunos afloramientos de calizas urgonianas presentes en el Dominio Hidrogeológico Anticlinorio Sur. En otros casos, a la escasa potencialidad de los afloramientos se une su situación respecto a núcleos de población u otros focos potenciales de contaminación que limitan considerablemente su interés, entran en esta categoría varios de los aluviales ligados a los principales cursos fluviales. Son significativos, así mismo, los casos en los que la *unidad práctica de investigación y gestión del recurso* viene impuesta no por los límites propios del funcionamiento hidráulico sino por los administrativos.

En definitiva, se han delimitado 19 unidades hidrogeológicas, entendiendo que es un número arbitrario y fruto del compromiso de los principales requisitos considerados: escala de trabajo y entidad o interés del área en cuestión.

**RESULTADOS OBTENIDOS**

El resultado del trabajo incluye un **Mapa de Permeabilidades** a escala 1:100.000, basado en una descripción geológica del territorio cuyo detalle se aproxima al de la escala a la que fue cartografiado originalmente, 1:25.000, complementado con la delimitación de **Dominios** y **Unidades Hidrogeológicas**.

En la elección de los puntos de agua representados se ha seguido un criterio que pretende mostrar la densidad de descargas subterráneas y su correspondencia con las litologías dominantes en cada zona. Para ello, se ha establecido un límite de caudal mínimo (Qmedio $\geq$ 10 l/s) que ha dejado de respetarse únicamente en aquellos casos de manantiales que por sus características de quimismo o temperatura tienen especial significación.

Como todo criterio subjetivo y rígido logra su propósito de modo parcial. En efecto, se ha conseguido resaltar las zonas de mayor densidad de puntos de agua caudalosos y su correspondencia con las litologías más permeables. Sin embargo, la interpretación correcta del mapa requiere algunas matizaciones. La concentración de manantiales en determinadas áreas, como el entorno de la cuenca media del Oria, y la aparente escasez en otras, principalmente la mitad meridional del territorio, obedece más a una combinación de factores estructurales y a variaciones climáticas que a otras razones de índole más propiamente hidrogeológica. Así, mientras los valores de lluvia útil superan con creces los 1.500 mm/año en el extremo nororiental, en Alava no alcanzan la mitad como valor medio. Este hecho, unido a la compartimentación y complejidad estructural de la primera zona frente a la continuidad y extensión de afloramientos de la segunda, justifica la aparente anomalía descrita.

Es bien sabido, por otra parte, que un mapa de manantiales seleccionados con un límite de caudal muy inferior, por ejemplo 1 l/s, mostraría posiblemente mayor densidad de puntos en relación con materiales de permeabilidades medias o incluso bajas.

Una reflexión semejante debe tenerse presente en la interpretación de los balances y recursos asociados a los dominios y unidades hidrogeológicas.

En la **Memoria** que acompaña al mapa, la descripción de las unidades hidrogeológicas sigue la estructura de un estudio hidrogeológico convencional, con incidencia en el análisis de los aspectos estructurales y geométricos más relevantes, definición de las áreas de recarga y puntos de descarga, parámetros hidráulicos característicos, caracterización hidroquímica y calidad del agua asociada y evaluación y aprovechamiento de recursos. La información más importante de cada unidad queda reflejada en un mapa hidrogeológico, representado a la escala más adecuada en cada caso.

Con una estructura semejante, la exposición de los dominios hace más hincapié en la descripción cualitativa de los materiales incluidos en la

zona en cuestión y sus posibles implicaciones hidrogeológicas. Es en este marco donde tienen cabida las explicaciones algo más detalladas sobre sectores cuya entidad hidrogeológica no alcanza a la de las unidades. Esta catalogación es la que puede verse modificada sustancialmente por un cambio de escala de trabajo.

Los puntos de agua citados se ha procurado que figuren en el mapa general, en el de la unidad o en los esquemas incluidos en el texto; en su defecto, para su localización se cuenta con la información adicional aportada al final de cada capítulo.

Con respecto a los puntos de extracción, en forma de sondeos, pozos, galerías, etc., se han mencionado únicamente aquellos cuyas características aportan alguna información de interés a la descripción del área. En su distribución geográfica se da la misma paradoja que con respecto a los manantiales: es muy superior la densidad de obras emplazadas en materiales de baja e incluso muy baja permeabilidad que en el resto. Sin embargo, en este caso la explicación obedece más a cuestiones orográficas, de asentamiento de poblaciones, de criterio en la selección de fuentes de suministro para las infraestructuras importantes, etc.

De los otros capítulos que completan la memoria, el de Climatología pretende dar una visión del clima y sus variaciones espaciales en la Comunidad Autónoma del País Vasco, al tiempo que se establecen los parámetros para el cálculo de los balances hídricos de las unidades y dominios.

Los capítulos de Hidroquímica, Calidad y Aguas Termo-Minerales, Geotermia se han entendido como complemento a las descripciones de esta naturaleza ya expuestas en el contexto de los dominios y unidades, y explicativos de los mecanismos que conducen a la generación de los diferentes tipos de agua encontrados y su encaje en los patrones de calidad impuestos por la legislación sanitaria.

En una linea semejante, el capítulo de Contaminación de las Aguas Subterráneas y Vulnerabilidad a la Contaminación expone de forma conceptual las vías de entrada y modos de propagación de los elementos contaminantes, complementado con una interpretación desde este punto de vista del mapa general.

Se completa la memoria con el capítulo de Recursos de Agua Subterránea, donde se resumen los datos cuantitativos manejados en el contexto de los capítulos precedentes y se incluyen algunas consideraciones sobre la potencialidad de su aprovechamiento.

La relación de trabajos y estudios consultados se ha expuesto de forma selectiva al término de cada capítulo. Otra información de interés, la relación de estaciones climáticas e hidrométricas, figura como anexo al final de la memoria.

# CLIMATOLOGIA

## INTRODUCCION

Las características hidrológicas de una región vienen determinadas por su estructuración geológica, geográfica, por su suelo y vegetación y, en especial, por el tipo de clima.

Son cuatro los factores más importantes que determinan el clima de una región:

- la latitud, que condiciona la incidencia de la radiación recibida.
- la situación dentro de la circulación general de la atmósfera.
- la continentalidad - oceanidad.
- la altitud - orografía.

Estos cuatro factores se combinan de tal modo en la Comunidad Autónoma del País Vasco que provocan una diversidad climática muy compleja, pasando en escasos 90 km de clima extremadamente húmedo a semiárido y de oceánico a mediterráneo.

Debido a los importantes gradientes de temperatura, humedad, precipitación, irradiación, evaporación, etc., y a pesar de contar con una red meteorológica muy densa, la delimitación precisa de estos meteoros es muy problemática. Con la red hidrometeorológica automática de reciente implantación se espera que mejore notablemente el conocimiento meteorológico, climático e hidrológico del territorio.

El presente capítulo se refiere exclusivamente a la cantidad y distribución de las lluvias, al régimen térmico y su influencia en la evaporación para llegar finalmente a la cuantificación de la lluvia útil, paso necesario para la evaluación de los recursos hídricos. Está enfocado, por consiguiente, a la caracterización climatológica del conjunto de la Comunidad Autónoma del País Vasco, cuyos resultados serán de aplicación directa en el análisis y establecimiento de los balances hídricos, tanto a nivel de cuencas hidrológicas como de cuencas hidrogeológicas.

Los datos de precipitaciones proceden de la red meteorológica manual. Tras la homogeneización, selección y reconstrucción de series se ha llegado a la definición de un único mapa de precipitaciones medias anuales, presentado en la figura 1 y en el anexo de mapas (Mapas Climáticos).

Sin embargo, el resto de meteoros (temperatura, evaporaciones, etc.) se han abordado siguiendo dos metodologías diferentes en función del origen de los datos meteorológicos: la red de observatorios manual o la automática de más reciente implantación.

## PRECIPITACION

La precipitación constituye, sin duda, el principal meteoro para el cálculo de los recursos hídricos. Se ha realizado una recopilación de datos pluviométricos de estaciones situadas tanto en la Comunidad Autónoma del País Vasco como en zonas colindantes, obteniéndose la información de distintos Organismos oficiales, entidades privadas y estudios previos.

La desigual calidad y cantidad de las series recopiladas (239 estaciones), ha obligado a un importante análisis de las series originales, descartándose un total de 42 estaciones por diversos motivos. Se ha comprobado la consis-

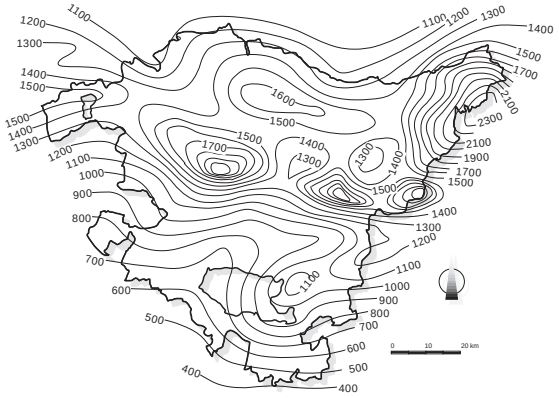


Figura 1. Mapa de isoyetas de años medios. Valores en mm.

tencia de los datos corrigiendo errores sistemáticos y deduciéndose los valores medios anuales de series incompletas. Finalmente, se ha trabajado sobre un total de 145 estaciones.

En el cuadro 1 se han recogido, procedentes de diez estaciones consideradas representativas de las diferentes comarcas del País Vasco, los distintos intervalos estadísticos comprobándose, en líneas generales, una mayor dispersión de las precipitaciones en los asentamientos correspondientes a las áreas montañosas. A título de ejemplo, se puede ver que en los observatorios de las áreas más lluviosas el intervalo máximo entre años muy secos y muy húmedos puede ser superior incluso a 1.000 mm, frente a las estaciones de las áreas secas en las que la diferencia es de 300 mm.

Este comportamiento se patentiza aún más, si cabe, en la representación gráfica, mostrada en los mapas de isoyetas (figuras 3 y 4) correspondientes a años húmedos y secos. El extremo nororiental de Gipuzkoa muestra los más altos índices de dispersión y mayor pluviosidad a pesar de no ser una zona excesivamente elevada. Esto se debe a que una parte importante de las

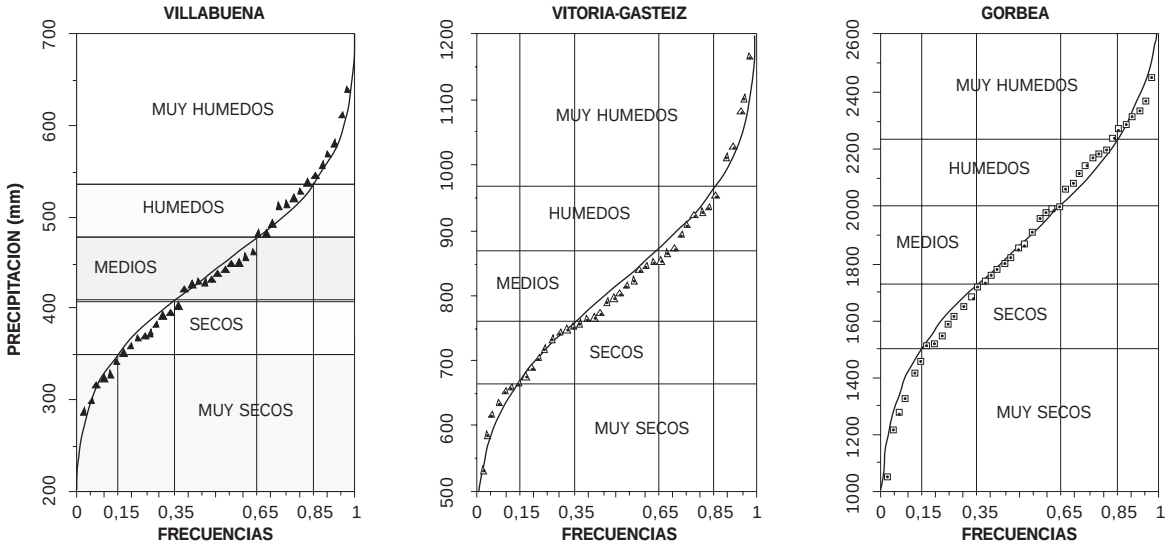



Figura 2. Clasificación de los años pluviométricos.

Con las series obtenidas se ha realizado una clasificación de pluviometrías a través de un ajuste frecuencial tipo normal (líneas continuas de la figura 2) a partir de los datos de precipitaciones anuales. En dicha figura se aprecia, para tres de las estaciones consideradas, la clasificación en años muy húmedos, húmedos, medios, secos y muy secos. Realizado este mismo estudio para la totalidad de las estaciones y extraídos los valores medios de los años húmedos y años secos, se han generado los mapas representados en las figuras 3 y 4.

masas de aire húmedo procedentes del Cantábrico, después de atravesar parte del litoral se ve obligada finalmente a remontarse en altitud (a pesar de que no hay grandes cadenas) para pasar a la depresión del Ebro. Esta acumulación de aire húmedo provoca importantes lluvias de carácter convectivo, siendo la orografía el principal detonante del proceso.

Normalmente, las lluvias de origen convectivo tienen un carácter más local que las de tipo frontal (choque de dos masas de aire con distintas propiedades), las cuales afectan

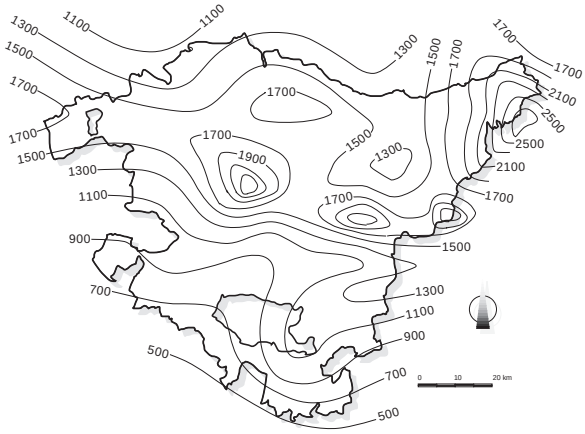



Figura 3. Mapa de isoyetas de años húmedos. Valores en mm.

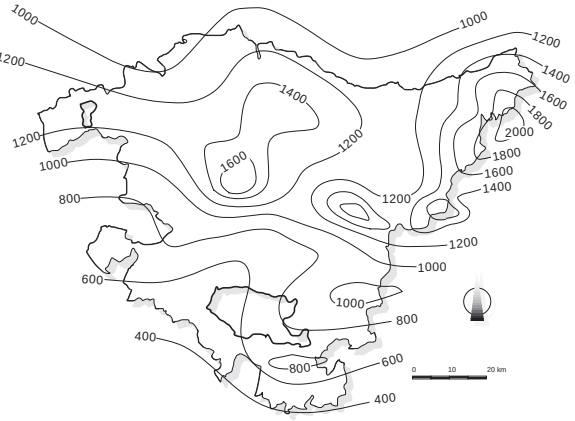



Figura 4. Mapa de isoyetas de años secos. Valores en mm.

| Estación pluviométrica | Años muy secos | Años secos | Años medios | Años húmedos | Años muy húmedos |
|---|---|---|---|---|---|
| Elduain | 1425 | 1748 | 1995 | 2231 | 2564 |
| Gorbea | 1288 | 1625 | 1684 | 2103 | 2441 |
| Igeldo | 1151 | 1387 | 1555 | 1723 | 1959 |
| Durango | 999 | 1221 | 1379 | 1537 | 1760 |
| Bergara | 990 | 1210 | 1366 | 1522 | 1742 |
| Sondika | 929 | 1118 | 1253 | 1387 | 1576 |
| Arluzea | 770 | 983 | 1135 | 1286 | 1499 |
| Vitoria-Gasteiz | 584 | 719 | 814 | 910 | 1044 |
| Salinas de Añana | 439 | 566 | 656 | 745 | 872 |
| Villabuena | 296 | 382 | 443 | 504 | 590 |

Cuadro 1. Precipitaciones anuales medias por estaciones. Valores en mm.

generalmente a grandes áreas. En la vertiente cantábrica de la Comunidad Autónoma del País Vasco las precipitaciones intensas están normalmente asociadas a lluvias de carácter convectivo, contribuyendo de forma importante este tipo de lluvias al volumen total de precipitación. Esto explica que los gradientes pluviométricos asociados a la altitud (factor orográfico) tengan un coeficiente de correlación muy bajo (r = 0,22) en la vertiente cantábrica a diferencia de la vertiente mediterránea, con un coeficiente de correlación importante (r = 0,7), tal y como se aprecia en la figura 5. Este fenómeno conlleva la posibilidad de extrapolación de datos en la vertiente mediterránea con un grado de exactitud aceptable, muy superior a lo esperable en la vertiente Cantábrica.

**TEMPERATURA**

El estudio de temperaturas, imprescindible para el cálculo de evapotranspiraciones, se ha efectuado siguiendo dos metodologías diferentes.

La primera, más clásica, se ha basado en la red tradicional de estaciones manuales (55 estaciones), las cuales miden únicamente la máxima y la mínima de cada día. Después de realizar las depuraciones correspondientes, se ha obtenido el mapa de isotermas medias anuales mostrado en la figura 6. Para la generación de este mapa no se han considerado los gradientes de temperatura por altitud, dada la reducida cantidad de información con la que se cuenta.

La segunda, más novedosa y acorde con la tendencia actual, se basa en las mediciones de la red automática (70 estaciones), con 144 mediciones en cada estación cada día, extrapolándose estos datos a un modelo digital de terreno, teniendo en cuenta los gradientes reales de temperatura en función de la altitud. El resultado se muestra en los Mapas Climáticos (anexo), donde se aprecia la bondad del método y el efecto real de las variaciones de la temperatura en función de la orografía. Destacan las altas temperaturas medias anuales observadas en los grandes núcleos de población, así como

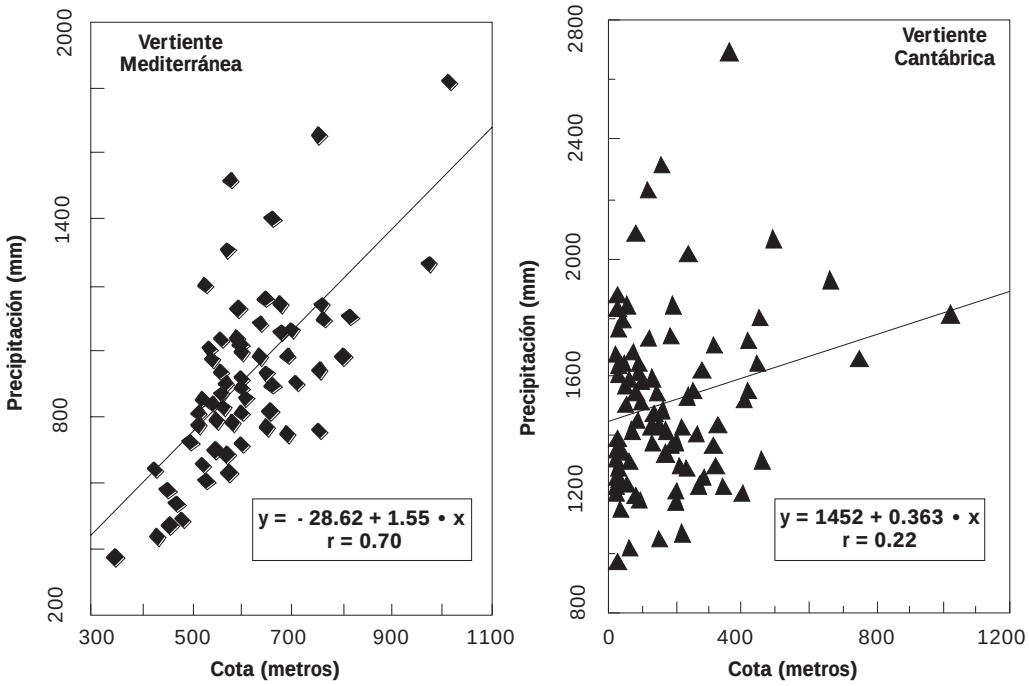



Figura 5. Análisis del gradiente pluviométrico.

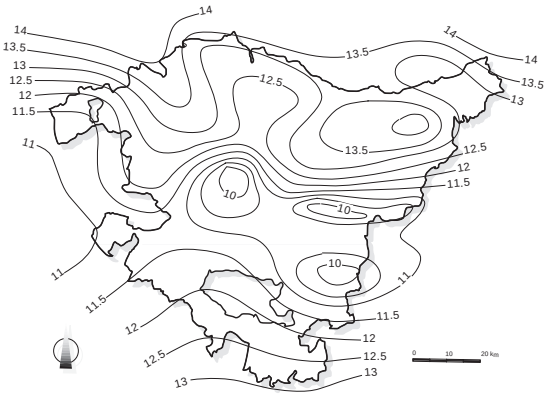


Figura 6. Isotermas medias anuales. Red manual. Valores en °C

en los valles con alta densidad de ocupación, y el contraste con las bajas temperaturas estimadas para los puntos más altos del territorio.

**EVAPORACION**

El segundo meteoro en orden de importancia para la determinación de los recursos hídricos es la evaporación, calculándose primero la evapotranspiración potencial (ETP) para posteriormente estimar la real (ETR).

La evapotranspiración potencial es un concepto de enorme interés, que permite cuantificar el total del agua evaporada desde el suelo más el agua transpirada por las plantas si el suelo dispusiese del agua suficiente para mantener la máxima evaporación posible.

Para el cálculo de la ETP anual, y el posterior de la ETR, se han considerado los dos mapas de isolíneas de temperaturas obtenidos, el basado en la red de las estaciones manuales y el obtenido a partir de la red automática.

En la figura 7 se muestra el mapa de ETP obtenido a partir de la red manual, calculado por el método de Thornthwaite. Se aprecia la suavización de los gradientes, estando todo el territorio comprendido en el intervalo 640-740 mm. Sin embargo, el calculado a partir del segundo procedi-

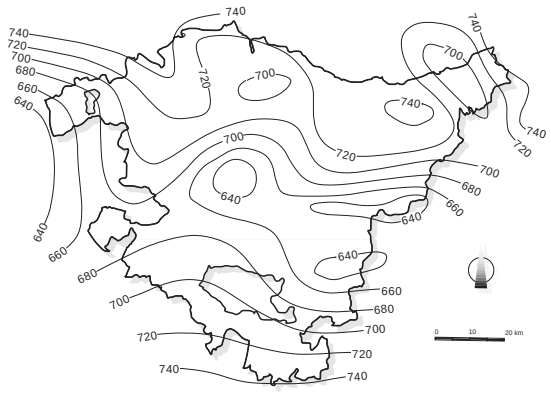


Figura 7. Evapotranspiración potencial (mm).

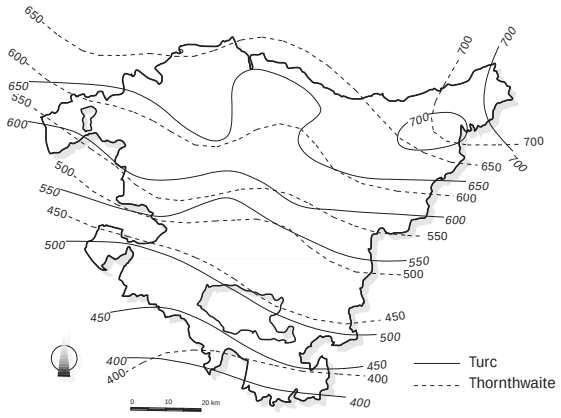



Figura 8. Evapotranspiración real (mm).

miento, no incluido por presentar una morfología idéntica a la del mapa de temperaturas, muestra un rango de variación para la ETP entre 510 y 810 mm.

Los resultados obtenidos en el cálculo de la ETR se muestran en la figura 8, basado en el mapa de temperaturas de la red manual y calculado según los métodos de Thornthwaite (realizando un balance hídrico en el suelo a nivel mensual) y el empírico de Turc (basado exclusivamente en la precipitación y temperatura media anual), y en los Mapas Climáticos (anexo). Este último realizado también por el método de balance hídrico en cada uno de los pixels del modelo digital del terreno. En este caso por ambos procedimientos se llega a un similar rango de variación (400 - 800 mm).

Para los cálculos precedentes ha sido necesario adoptar una simplificación, que facilita el proceso aunque introduce una incertidumbre en el resultado, consistente en la suposición de una reserva máxima en el suelo de 100 mm, constante en todo el territorio.

Los mapas obtenidos muestran la disparidad de resultados apreciable en los distintos puntos de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Así, en la Rioja Alavesa el alto valor de ETP no se ve correspondido por el de ETR, que desciende muy significativamente hasta alcanzar casi el de la precipitación. Por el contrario, estos valores son prácticamente coincidentes en el extremo nororiental de Gipuzkoa.

## LLUVIA UTIL

Una vez conocidas la ETR y la precipitación es posible estimar la lluvia útil, es decir, la fracción de la precipitación que contribuye a la aparición y mantenimiento de flujos hídricos en una cuenca o región. Esta fracción del ciclo del agua, conocida como escorrentía total, se ve posteriormente dividida en sus dos componentes: superficial y subterránea, variando su proporción en función de diversos factores (hidrogeológicos, geomorfológicos, edáficos).

La lluvia útil se ha calculado siguiendo las dos metodologías anteriormente expuestas, y en ambos casos como diferencia entre la precipitación total y la ETR según Thornthwaite.

Como se puede apreciar en los mapas obtenidos (figura 9 y Mapas Climáticos del anexo) las zonas más productivas son aquellas con temperaturas bajas y altas precipitaciones. Las diferencias de productividad superan la proporción de 20 a 1, con los valores extremos en el área nororiental de Gipuzkoa, donde se superan localmente los 2.000 mm situándose entre los valores más altos de Europa, y en el límite Sur de Alava, donde la disponibilidad teórica de recurso puede llegar a ser 0 mm.

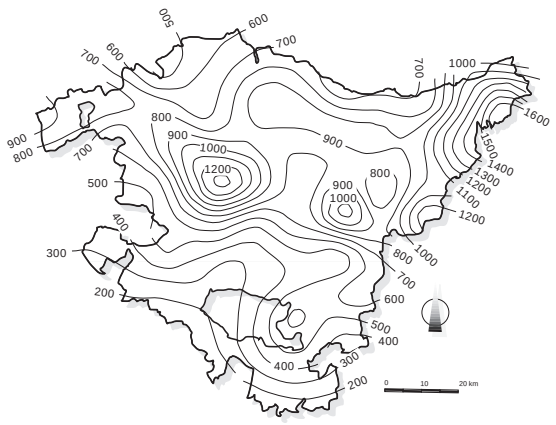



Figura 9. Lluvia útil (mm).

La diversidad bioclimática a que dan lugar estas diferencias llega al extremo de originar zonas semiáridas, como la Rioja Alavesa, y zonas subhúmedas, incluyendo presencia de hayedos húmedos como es el caso de la Sierra de Cantabria, en una región con un comportamiento relativamente similar desde el punto de vista de las aportaciones (lluvia útil entre 100 y 300 mm).

## BALANCES DE AGUA EN EL SUELO. CLASIFICACION CLIMATICA

Con objeto de visualizar los distintos balances hídricos de los diversos climas de la Comunidad Autónoma del País Vasco a lo largo de un año medio, se han introducido en la figura 10

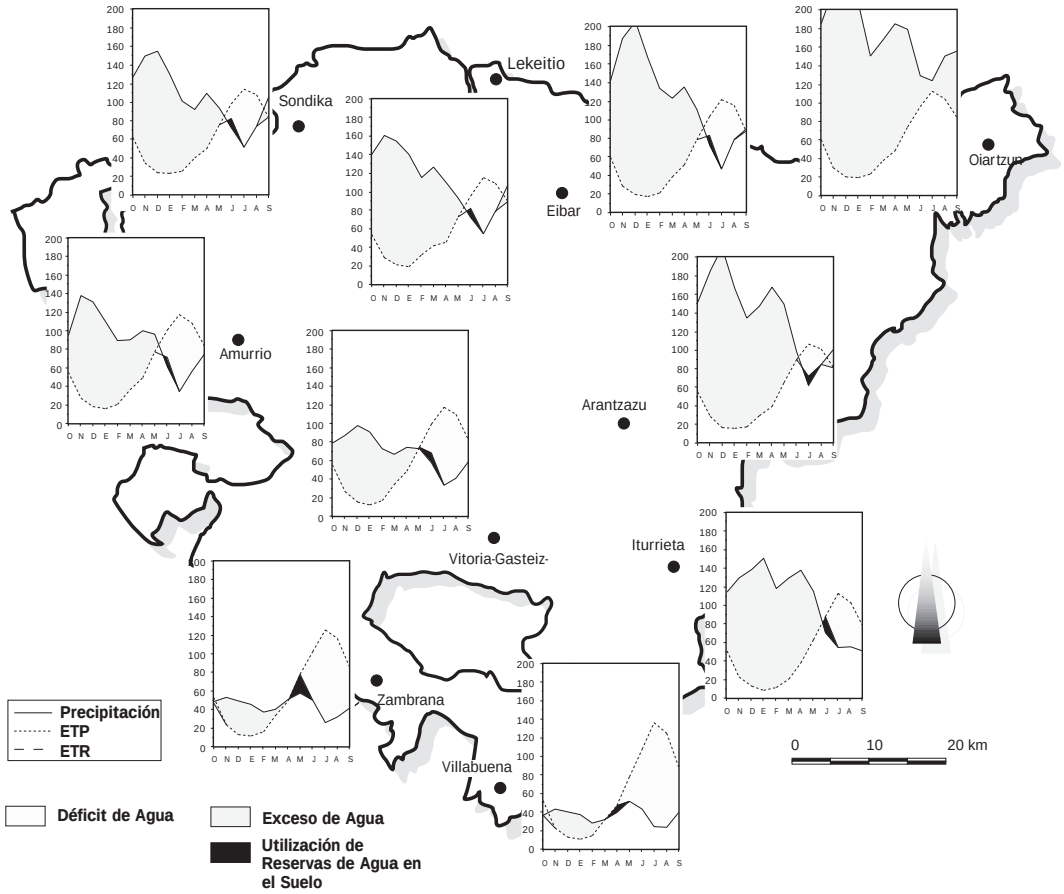



Figura 10. Balances anuales medios del agua en el suelo. Valores en mm.

la precipitación mensual media, la evapotranspiración potencial y la real de las estaciones consideradas más representativas de cada zona climática. Se obtienen así tres curvas para cada estación, de modo que el área encerrada entre ellas representa, además del exceso o déficit de agua, diferentes situaciones intermedias correspondientes al período durante el cual se detraen las reservas de agua existentes en el terreno para cubrir la demanda de evapotranspiración potencial, así como al momento, bien final o inicial del año hidrológico, en el que tiene lugar la recarga del agua en el suelo, hasta que nuevamente se equilibran las evaporaciones potenciales y reales.

De la observación de la figura se deduce que una sola de las estaciones visualizadas (Oiartzun), muestra un claro balance positivo a lo largo de todo el año. En el resto de las estaciones, por el contrario, se constata que los balances para las evapotranspiraciones potenciales son negativos a partir de un determinado mes que varía con la ubicación y el grado de pluviosidad de los asentamientos. Así, mientras en las áreas próximas a la divisoria hidrográfica principal y en la región costera el déficit de agua se inicia a finales de la primavera en los asentamientos más meridionales el déficit de agua puede presentarse casi desde finales del invierno, siendo además comparativamente mucho mayor.

Por lo que se refiere a las evapotranspiraciones reales, no incrementan su valor del mismo modo que las potenciales, salvo en las zonas extremadamente húmedas, dada la falta de disponibilidad de reserva en el suelo. El balance resulta positivo en la mitad septentrional y negativo en las zonas más áridas.

Los numerosos sistemas concebidos para establecer límites climáticos se basan principalmente en criterios de humedad/aridez y temperatura. La aridez no solamente es consecuencia de una precipitación escasa, sino que depende de la precipitación efectiva (equiparable a la lluvia útil) así como del tipo de vegetación y su grado de crecimiento. Este hecho ha motivado el considerar, en diversas clasificaciones, el llamado

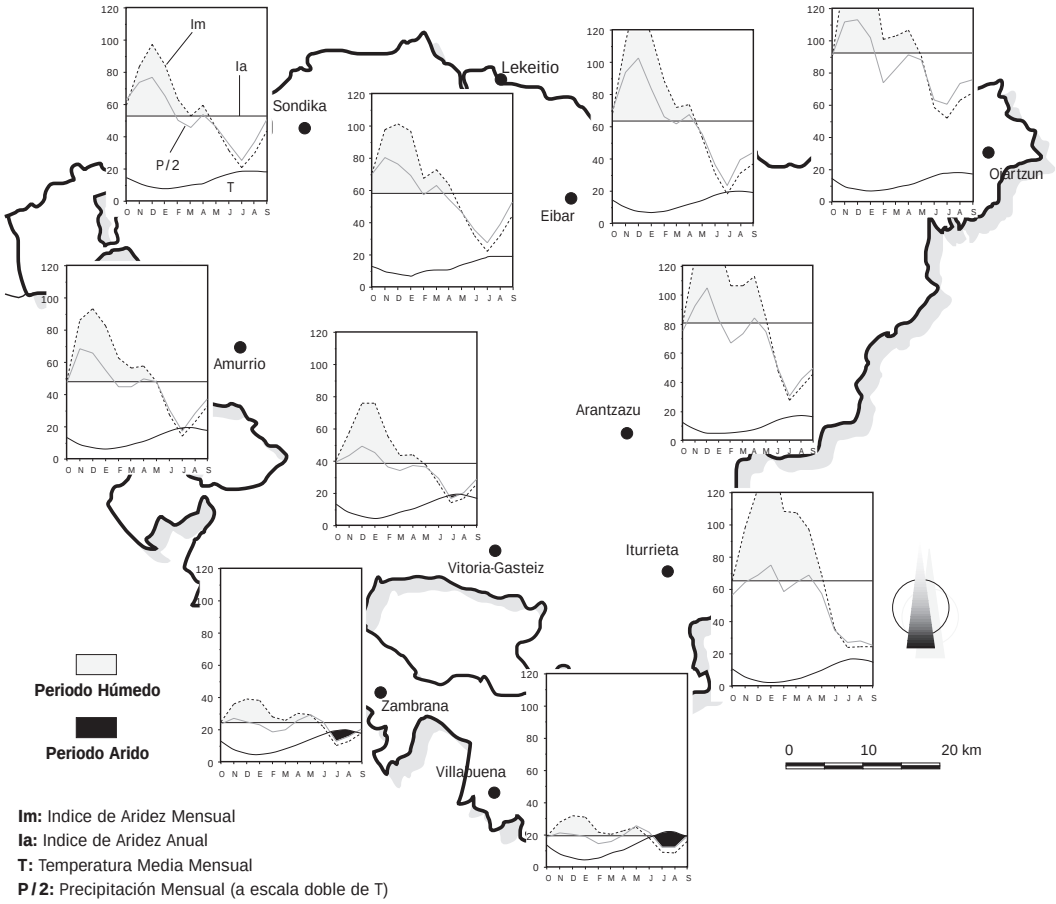



Figura 11. Indices de aridez.

índice de efectividad de la precipitación que, genéricamente, se define como el cociente precipitación/temperatura, debido a que cuanto más elevado sea más intensa será la evaporación.

El índice de aridez (Ia) de Martonne permite establecer la humedad relacionando la precipitación y la temperatura, tal como se aprecia en la figura 11. Esta clasificación únicamente permite discernir zonas de clima árido o semiárido donde el índice de efectividad de la precipitación es menor (Rioja Alavesa, Zambrana,...) quedando el resto del territorio bajo la categoría genérica de clima húmedo (Ia > 20 mm/°C).

La clasificación de Thornthwaite se fundamenta en el conocimiento del índice hídrico anual de la precipitación, deducido empíricamente a partir de otros dos índices que evalúan la eficacia de la precipitación y de la temperatura, por tanto de la humedad y de la aridez respectivamente. De esta particular disyuntiva y en el modo de relacionar matemáticamente ambos índices, dando mayor importancia al índice de humedad en la estimación del índice hídrico anual, radica el interés de la clasificación de Thornthwaite.

Según esta clasificación, en la Comunidad Autónoma del País Vasco existirían casi la totalidad de los grupos hidrológicos o provincias de humedades existentes, a excepción del tipo

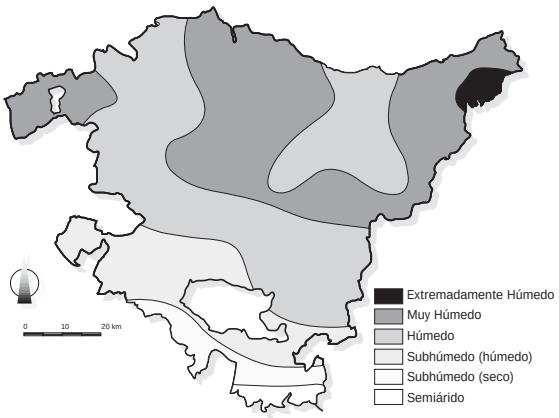



Figura 12. Clasificación climática. Régimen de humedad.

árido (figura 12). Ello da idea de la gran diversidad climática presente, con regímenes que van desde el semiárido al muy húmedo, incluso al extremadamente húmedo.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

GV (1994). Inventario de estaciones de aforo de la Comunidad Autónoma del País Vasco. (Grupo de Hidrogeología, UPV-EHU).

GV (1996). Automatización Climática: Aspectos Básicos Climáticos de la Comunidad Autónoma del País Vasco. (Dpto. de Geografía, UPV-EHU).

(*) Los datos meteorológicos manejados proceden del Instituto Nacional de Meteorología, Servicio Vasco de Meteorología y Diputaciones Forales.

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO PALEOZOICO Y GRANITOIDES

## GENERALIDADES

Ocupa la parte oriental del Territorio Histórico de Gipuzkoa, desde el río Bidasoa hasta los montes Ipuliño (935 m) y Urdelar (852 m), en el límite de los valles Leizaran y Berastegi. El dominio forma una franja de unos 4 km de anchura con dirección SO-NE, que se extiende desde el límite de Gipuzkoa con Navarra hasta los valles prelitorales de los ríos Leizaran, Urumea, Oiartzun y Bidasoa. El dominio así definido tiene una extensión de 144 km$^2$.

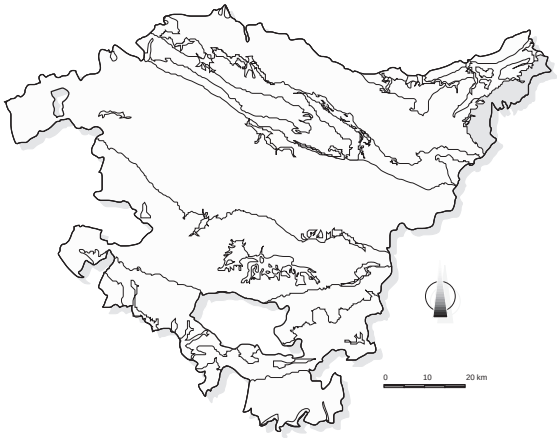



Figura 1. Situación del dominio.

Presenta varios rasgos peculiares respecto al resto de los dominios. Geológicamente está constituido por materiales primarios o paleozoicos, lo que le diferencia claramente del resto, constituidos por secundarios o mesozoicos y terciarios.

Climatológicamente, se trata de un área con una gran pluviometría, producida por el estancamiento de las nubes marinas que encuentran la primera barrera del continente, lo que provoca pluviometrías medias superiores a 2.000 mm/año.

Las características del relieve, con cumbres por encima de los 500 m, siendo el Urepel (1.059 m) la cumbre más alta, con una gran abruptosidad, ha implicado una ausencia casi total de núcleos urbanos, siendo el uso forestal del suelo la actividad principal, abundando las repoblaciones de pino, alerce y roble americano, existiendo en menor medida retazos de bosque autóctono, hayedos y bosque mixto.

Hidrográficamente, el dominio se sitúa sobre la parte media de los ríos Leizaran y Urumea, la parte alta del río Oiartzun y las regatas de la margen izquierda del río Bidasoa en su zona guipuzcoana.

## GEOLOGIA

Geológicamente, el dominio se desarrolla sobre materiales paleozoicos de zócalo, que se comportan como bloque "alóctono relativo", superponiéndose a los materiales mesozoicos del bloque Norte.

A grandes rasgos se pueden diferenciar dos tipos litológicos diferentes: de un lado, materiales detríticos que han sufrido un metamorfismo regional y de contacto, y de otro, rocas de tipo ígneo que forman el granito de Peñas de Aia. Se han diferenciado dos tipos de rocas ígneas: granodioritas (1) de permeabilidad baja, siendo predominantes en los afloramientos graníticos, y

granitos heterogranulares y leucogranitos (2), de permeabilidad baja también, que afloran en menor superficie y principalmente en la franja externa de la masa granítica.

Dentro de las rocas paleozoicas se ha diferenciado una alternancia de pizarras y grauvacas (3), de permeabilidad muy baja, que constituye la mayor parte de los materiales paleozoicos, a excepción de una pequeña mancha en las cercanías del embalse del Añarbe constituida exclusivamente por pizarras (4), de permeabilidad muy baja, y de la orla del metamorfismo de contacto producido por la intrusión granítica formada por pizarras y grauvacas "mosqueadas" (5), también de permeabilidad muy baja.

**HIDROGEOLOGIA**

A los materiales que constituyen este dominio se les ha clasificado comúnmente como impermeables, si bien, tal como se indica en el apartado de geología, existe una diferencia entre las litologías detríticas, que se consideran de muy baja permeabilidad, y las litologías ígneas, que se les ha asignado una permeabilidad baja. Dentro del conjunto detrítico, existen algunas intercalaciones de calizas de extensión muy pequeña que pueden presentar localmente circulación de agua.

La circulación de agua subterránea está restringida a los primeros metros alterados y fracturados de la roca, así como a las frecuentes acumulaciones coluviales, de reducido desarrollo, que se producen en estos materiales. De esta forma, la diferenciación en cuanto al grado de permeabilidad se debe al hecho de que las litologías de tipo ígneo presentan una alteración mayor, lo que provoca una mayor circulación subterránea.

Del inventario de manantiales existente cabe resaltar que no existen surgencias de caudales medios superiores a 5 l/s. Sin embargo, existen numerosísimos manantiales de caudales generalmente inferiores a 1 l/s, ligados bien a zonas alteradas de las pizarras y granitos o bien a coluviones de ladera. Estos manantiales presentan acusadas variaciones de caudal con el régimen pluviométrico.

Tal como se ha indicado, la circulación subterránea está controlada por las fracturas y la alteración y se orienta hacia los numerosos cauces con fuerte pendiente que jalonan el macizo.

Los pocos datos existentes sobre los parámetros hidrogeológicos del dominio se han obtenido por medio de ensayos de permeabilidad tipo Lugeon y Lefranc, realizados en estudios de emplazamientos como vertederos de residuos. Así, en unos ensayos Lefranc realizados en el macizo de San Narciso se obtuvieron permeabilidades cuya magnitud oscila entre $2,2 \times 10^{-4}$ y $4,8 \times 10^{-5}$ cm/s. Los resultados obtenidos por medio del ensayo tipo Lugeon dan valores de $1 \times 10^{-4}$ cm/s para los primeros metros de sondeo ensayados y valores de hasta $7,6 \times 10^{-7}$ cm/s para los tramos situados a 10 m de profundidad, lo cual da idea sobre la escasa permeabilidad de la roca.

Con respecto al balance hídrico, se dispone de datos de la estación de aforos del río Urumea en Ereñozu que controla fundamentalmente el drenaje de materiales paleozoicos y de pluviometría de las estaciones de Artikutza, Añarbe y Arditurri. La serie más completa es la de Artikutza, la cual presenta una pluviometría media para el período 1936-92 de 2.565 mm/año, con un máximo de 3.710 mm/año y un mínimo de 1.442 mm/año. La evaporación potencial media se evalúa en 726 mm/año. Con los datos de pluviometría, y teniendo como contraste los datos de la estación de aforos de Ereñozu, que dispone de datos desde junio de 1992 a la actualidad, se ha calibrado un modelo de precipitación-escorrentía tipo Sacramento y se ha extendido la serie de caudales hasta 1936, habiéndose obtenido los siguientes valores específicos:

| | |
|---|---|
| Aportación específica media: | 1,86 $Hm^3/km^2$ (58,9 $l/s/km^2$) |
| Aportación específica mín.: | 0,90 $Hm^3/km^2$ (28,5 $l/s/km^2$) |
| Aportación específica máx.: | 2,85 $Hm^3/km^2$ (90,3 $l/s/km^2$) |

Según estos datos, la evapotranspiración real media sería de 710 mm/año, siendo por tanto la lluvia útil 1.855 mm/año.

Del análisis de las aportaciones se ha obtenido un caudal de estiaje de la cuenca de 5,5 $l/s/km^2$. Este caudal proviene del agua infiltrada en la zona alterada y fracturada de la roca y en el suelo. Se deduce, por tanto, que el módulo de infiltración medio equivale al menos a esos 5,5 $l/s/km^2$, lo cual supone el 9,3% de las aportaciones totales de la cuenca.

Según estos datos el balance total del dominio para un año medio es:

- Superficie:.....143,6 $km^2$
- Pluviometría:.....2.565 mm/año

- Evapotranspiración: .....710 mm/año
- Lluvia útil: .....1.855 mm/año
- Escorrentía superficial: .....241,6 $Hm^3$/año
- Escorrentía subterránea: .....24,7 $Hm^3$/año
- Recursos medios totales: .....266,3 $Hm^3$/año

**HIDROQUIMICA**

La hidroquímica del dominio se conoce a nivel de conjunto. Apenas existen datos de hidroquímica de los manantiales, a excepción de la conductividad que varía entre 59 µS/cm y 341 µS/cm, siendo los valores más comunes del orden de 100 µS/cm, y la temperatura que varía entre 12°C y 14°C en épocas de verano.

De los análisis disponibles en el río Urumea en su parte alta, que es representativa del conjunto del dominio, se puede decir que se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas muy poco mineralizadas, con conductividades medias de 87 µS/cm, un contenido medio de 36,8 mg/l de bicarbonatos, y valores muy bajos del resto de sales e iones.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

Este dominio presenta un aprovechamiento importante de aguas superficiales, siendo más escasos los aprovechamientos de agua subterránea. Si bien el volumen de recursos subterráneos es importante, su distribución a lo largo de la zona superficial hace prácticamente imposible su regulación.

Aun así, el volumen de recurso subterráneo aprovechado mediante captación de manantiales se ha estimado en el 5% de los recursos (1,2 $Hm^3$/año).

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

IGME (1972). Estudio hidrogeológico de la provincia de Guipúzcoa.

DFG-SGOP (1985). Estudio de evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos del Territorio Histórico de Gipuzkoa. (EUROESTUDIOS-INGEMISA).

EVE-GV (1987). Síntesis hidrogeológica de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

DFG-EVE (1994). Estudio hidrogeológico de la cadena costera, sector oriental (Gipuzkoa). (INGEMISA).

DFG (1994). Estudio de regulación y aumento de recursos hidráulicos del sistema Añarbe. (IKAUR).

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO ANTICLINORIO NORTE

## GENERALIDADES

Ocupa una franja de terreno en la zona más septentrional de la Comunidad Autónoma del País Vasco, entre Plentzia en el Oeste e Irun en el Este. Tiene una longitud aproximada de 100 km y una anchura variable entre 10 y 15 km. Limita al Norte con el Mar Cantábrico, salvo en su mitad oriental, correspondiente al Territorio Histórico de Gipuzkoa, donde el límite Norte del dominio corresponde con el borde meridional de la Cadena Costera. Por el Sur limita con el flysch calcáreo del Cretácico superior (figura 1).




Figura 1. Situación del dominio.

Topográficamente es un área de relieve abrupto ya que en algunos sectores se pasa desde la cota cero (nivel del mar) hasta superar la cota 1.000 en apenas 10 km de distancia. Las principales alineaciones montañosas corresponden a las sierras de Sollube (686 m), Illuntzar (727 m), Erlo (1.026 m), Ernio (1.075 m).

En este dominio se ubican los cursos bajos de los ríos Butron, Oka, Lea, Artibai, Deba, Urola, Oria, Urumea, Oiartzun y Bidasoa.

Las precipitaciones medias anuales en años medios varían entre 1.100 y casi 2.000 mm. Los menores valores corresponden al extremo occidental (1.100 mm) y zonas costeras, con progresivos aumentos hacia el interior (valores próximos a 1.600 mm) y hacia el Este (valores máximos próximos a los 2.000 mm).

Las temperaturas medias anuales varían entre 10,5°C en las zonas internas hasta 14°C en las zonas costeras.

Con estos datos, el valor de la lluvia útil adquiere magnitudes del orden de 400-500 mm en el extremo occidental del dominio que aumentan hasta unos 900 mm hacia el interior y hasta unos 1.100 mm en el extremo oriental.

## GEOLOGIA

Este dominio incluye un conjunto de materiales con edades comprendidas entre el Permotrías y el Cenomaniense medio, además de los depósitos cuaternarios ligados, fundamentalmente, a los cursos fluviales.

Los materiales más antiguos afloran bordeando el macizo de Cinco Villas, en el valle del río Oria y en el entorno de Azpeitia. Se trata de las areniscas y limolitas rojas del **Pérmico** (94) sobre las que se disponen las arcillas y yesos (95) y ofitas (96) del **Trías** autóctono; estos últimos materiales constituyen, en el área occidental del dominio, el Trías alóctono asociado a diapiros y fallas (10, 11).

El **Jurásico** marino, de desarrollo más amplio en el extremo oriental del dominio, comprende la siguiente sucesión de materiales: carniolas del Lías inferior (98), con alguna intercalación de rocas volcanoclásticas (97), margas del Lías superior (99), calizas bioclásticas del Dogger (100), margas de la base del Malm (101) y calizas y margocalizas a techo (102). Por tránsitos laterales, los términos carbonatados del Dogger y Malm pasan a conglomerados silíceos (103) y areniscas (104). En el resto del dominio, el Jurásico está representado por una unidad compresiva de margas y margocalizas (105) de reducida potencia.

El Jurásico terminal-Neocomiense está representado por calizas grises (calizas de sérpulas, 106) en la mitad oriental del dominio y por calizas y margas (107) en la otra mitad, asociado a la estructura diapírica de Gernika.

Sobre los materiales precedentes, se disponen los dos conjuntos de términos de mayor representación en el dominio, los complejos Urgoniano y Supraurgoniano.

El **complejo Urgoniano** está constituido por una serie de plataformas carbonatadas, compartimentadas por fracturas, que engloban materiales muy variados con frecuentes cambios de facies. Conforman los principales relieves del dominio: macizos de Illuntzar-Ereñozar, Erlo-Izarraitz, Ernio-Gatzume.

Como materiales más representativos, se encuentran calizas arrecifales (con rudistas y corales dominantes, 109), calcarenitas bioclásticas (110), calizas margosas (111) y brechas calcáreas (115) inmersas en alternancias de limolitas (108), grauvacas negras (112), areniscas y lutitas (113) y margas, areniscas y limolitas (114, 116).

El **complejo Supraurgoniano** incluye un amplio conjunto de materiales, en general de carácter detrítico. Los más reseñables son las areniscas masivas (122), conglomerados y microconglomerados (123, 126) y la alternancia de areniscas y lutitas (121). La competencia de estos materiales origina otros de los relieves característicos del dominio: Sollube (686 m), Jata (600 m), Andatza (562 m).

Es, sin embargo, la alternancia de lutitas y areniscas (120) el término de mayor representación, al que acompañan otros materiales de la misma naturaleza, areniscas y margas (118), areniscas y grauvacas (125), junto con pequeñas representaciones de depósitos carbonatados (117, 124, 127) y, en algún caso, de posibles olistolitos (119) procedentes del conjunto estratigráfico infrayacente.

Respecto al **Cuaternario**, está representado mayoritariamente por los depósitos aluviales (200) asociados a los cursos principales. Adquieren puntualmente un desarrollo significativo los coluviales (201) y los fangos estuarinos (205). Depósitos de playas y dunas (204), terrazas (197) y antropogénicos (206) completan el conjunto de materiales cuaternarios diferenciados.

Los materiales descritos están afectados por una serie de estructuras cuyas directrices son de orientación NO-SE que pasan a NE-SO en el extremo oriental. Se trata de una sucesión de pliegues de vergencia variable, en ocasiones invertidos. Recorren el área fracturas de amplia envergadura, algunas de las cuales, falla de Leiza y cabalgamiento de Pagoeta, conforman parcialmente los límites del dominio.

Otro rasgo estructural destacable es la presencia de varios afloramientos triásicos ubicados en el nucleo de estructuras anticlinales (Gernika, Bakio-Larrauri, Azkoitia) o bien se alinean de forma discontinua jalonando estructuras complejas.

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

Los materiales descritos en el apartado anterior poseen una variada composición litológica y están afectados, en distinta forma, por procesos de fracturación, meteorización y karstificación en función de los cuales se puede establecer una diferenciación cualitativa sobre sus características permeables, que determinarán su respectiva potencialidad para constituir acuíferos.

Se consideran de permeabilidad alta los términos carbonatados jurásicos (98, 100, 102), las calizas (106, 107) del tránsito al Cretácico, las calizas urgonianas (109, 110) y los retazos calizos (119) intercalados en la formación detrítica suprayacente. Salvo el primer término citado (98) que constituye acuíferos de tipología kárstico de flujo difuso, los demás dan lugar, aunque con diferencias importantes en el detalle, a acuíferos kársticos en sentido estricto.

Pertenecen a la misma categoría de permeabilidad los términos de granulometría más gruesa del complejo Supraurgoniano, es decir, los conglomerados y areniscas (123, 126). Por su carácter de roca consolidada que debe su permeabilidad fundamentalmente a porosidad secundaria desarrollada por disolución del cemento carbonatado, el tipo de acuífero a que dan lugar ha sido definido como detrítico mixto.

Son también de permeabilidad alta los depósitos cuaternarios (197, 200, 201, 204, 206). Originan acuíferos detríticos no consolidados de interés local.

Se ha atribuido permeabilidad media a los materiales carbonatados cuyo componente terrígeno reduce su potencial como acuífero (111, 115, 127), a los detríticos consolidados de grano fino, con intercalaciones lutíticas o con desarrollo limitado de la porosidad secundaria (103, 104, 122) y a las ofitas (11, 96).

Son de permeabilidad baja las facies margosas de los materiales carbonatados (99, 101, 105, 108, 114, 116, 117, 118, 124), los detríticos con componente lutítico mayoritario (94, 112, 113, 121, 125), los pequeños asomos de rocas volcanoclásticas (97) y los fangos estuarinos (205).

El resto de los materiales (10, 95, 120) se han considerado de permeabilidad muy baja.

*UNIDADES HIDROGEOLOGICAS Y SECTORES*

Los materiales más permeables del Jurásico marino y del complejo Urgoniano constituyen importantes unidades hidrogeológicas cuya descripción pormenorizada se realiza en los capítulos correspondientes.

Estas unidades son:

- Elduain
- Ernio
- Albiztur
- Gatzume
- Izarraitz
- Ereñozar

Fuera del ámbito de estas grandes unidades hidrogeológicas, se puede considerar un conjunto de acuíferos, más o menos individualizados, formados por afloramientos de materiales de alta y media permeabilidad pertenecientes al Trías, al jurásico, al complejo Supraurgoniano y al Cuaternario. En general se trata de acuíferos de pequeñas dimensiones con recursos reducidos pero susceptibles de proporcionar caudales moderados para satisfacer o complementar demandas puntuales.

Además de estos acuíferos, es necesario considerar que en los materiales de baja o muy baja permeabilidad pueden existir pequeñas intercalaciones permeables o bien pueden estar afectados por procesos de fracturación o meteorización que favorecen la posibilidad de acumulación y circulación de agua subterránea aunque en puntos muy concretos y con caudales muy moderados.

Entre los acuíferos aislados, mencionados anteriormente, se pueden citar los siguientes:

**Ofitas** (11, 96). Generalmente se presentan muy alteradas y fracturadas hasta profundidades importantes constituyendo acuíferos de cierta entidad. Su interés hidrogeológico radica en el hecho de que se localizan en zonas muy tectonizadas con importantes fracturas y en contacto con otros materiales permeables del Jurásico o de las formaciones detríticas del complejo Supraurgoniano, con los que pueden establecer transferencias de flujo. Su posición en zonas topográficamente bajas, les confiere un carácter de "colector de flujos" que aumentan su importancia como acuífero explotable. Los principales acuíferos de estas características se encuentran en: Bakio, Meñaka, Gernika, Villabona, Andoain, Hernani y Oiartzun.

**Calizas jurásicas y/o urgonianas** (98, 109). Los afloramientos existentes son de escasa extensión pero de gran interés local, dada su alta permeabilidad y en general su conexión con otros materiales permeables (ofitas o materiales detríticos del complejo Supraurgoniano). Los principales afloramientos de estas características son los siguientes: Hernani, Santiagomendi y Oiartzun.

**Complejo Supraurgoniano** (119, 122, 123, 126, 127). En general se trata de materiales detríticos de permeabilidad media o alta por porosidad intergranular y fracturación que intercalan, a veces, niveles de calizas bioclásticas. Los principales afloramientos susceptibles de constituir acuíferos son los siguientes: Jata, Matxitxako, Sollube, Andatza, Txoritokieta, Santiagomendi y Oiartzun.

**Cuaternario** (197, 200, 201, 204, 205). Se incluyen para su descripción en el Dominio Hidrogeológico Cuaternario.

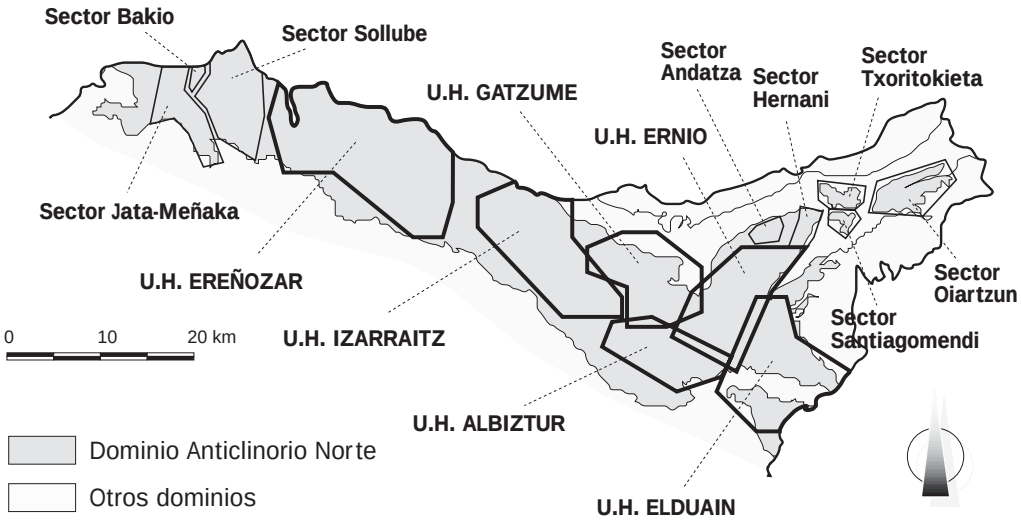



Figura 2. Esquema de unidades y sectores hidrogeológicos.

Se observa, según lo expuesto, que en muchos casos coinciden en una misma zona varios de los materiales susceptibles de constituir acuíferos e incluso están en contacto directo, produciéndose continuidad hidráulica entre ellos. Este hecho es de gran trascendencia ya que se pueden formar acuíferos de extensión relativamente importante con un interesante volumen de recusos. En virtud de ello, se describen a continuación las características de los principales sectores diferenciados (figura 2).

**Sector Jata-Meñaka**

Extensa área constituida por materiales detríticos del complejo Supraurgoniano, areniscas y alternancia de microconglomerados y areniscas, con permeabilidades variables entre medias y altas, que están en contacto directo con ofitas muy fracturadas de permeabilidad media. En conjunto, ocupan una superficie de unos 20 km$^2$ de los que aproximadamente el 50% corresponde a ofitas y el 50% a materiales detríticos. El área es de relieve abrupto, donde las menores cotas corresponden al borde Norte (nivel del mar) y al borde Sur (cauce de un tributario del Butron) alcanzándose, en el centro del sector, alturas de 600 m.

La alimentación del acuífero se produce por infiltración de la precipitación directa sobre los afloramientos permeables. La circulación subterránea se produce tanto hacia el Norte como hacia el Sur. No se han localizado manantiales importantes por lo que las salidas se producen directamente al mar por el Norte y, posiblemente, por drenaje difuso a través de los cuaternarios a los cauces de los arroyos por el borde Sur. Como manantial más significativo se puede citar Larrauri, declarado minero-medicinal, situado en un antiguo balneario actualmente ocupado por una residencia de ancianos. El caudal es de 6 l/s, con agua de facies bicarbonatada-clorurada cálcico-sódica y 750 mg/l de residuo seco, que surge a una temperatura de 18°C.

Los recursos de este sector se evalúan en 5 Hm$^3$/año, correspondientes a una infiltración del 50% de la lluvia útil, valor medio estimado para un área en la que coexisten zonas cuya infiltración es próxima al 100% con otras en las que este porcentaje se ve reducido notablemente tanto por factores litológicos como topográficos. La lluvia útil adoptada para el cálculo ha sido de 500 mm.

**Sector Bakio**

Corresponde exclusivamente a afloramientos de ofitas en contacto con los materiales cuaternarios, aluviales y costeros, desarrollados en la desembocadura de los arroyos del entorno.

Tiene una superficie aproximada de 2,5 km$^2$ cuyos recursos medios se evalúan en 0,3 Hm$^3$/año, correpondientes a una infiltración del 30% de una lluvia útil de 450 mm.

Prácticamente todo el flujo subterráneo se focaliza hacia el Norte, con salida directa al mar o bien a través de los cuaternarios.

**Sector Sollube**

Con esta denominación se engloba un conjunto de afloramientos dispersos de areniscas y microconglomerados pertenecientes al complejo Supraurgoniano que se extienden desde los alrededores de Matxitxako por el Norte hasta las proximidades de Metxika por el Sur.

Los niveles de areniscas están intercalados en una potente serie constituida por una alternancia de areniscas y lutitas de permeabilidad baja, lo que resta potencial a la zona. Con respecto a los microconglomerados, la intensa meteorización que afecta a estas rocas ha propiciado la formación de un importante volumen de material suelto y su acúmulo en formaciones de ladera.

El área de materiales de permeabilidades media y alta totaliza 14 $km^2$, a los que corresponden unos recursos de 3,3 $Hm^3$/año equivalentes a una infiltración media del 40% de la lluvia útil de la zona, evaluada en 600 mm.

El drenaje se produce mayoritariamente en forma difusa, en los bordes de los afloramientos areniscosos, y en forma de pequeños manantiales que raramente superan los 2-3 l/s de caudal medio. Un porcentaje significativo de los recursos es drenado directamente al mar.

Son relativamente numerosos los sondeos emboquillados en los niveles de areniscas masivas que aportan caudales de explotación incluso de 5 l/s.

**Sector Andatza**

Ocupa el monte Andatza, en la margen izquierda del Oria, al Sur de Usurbil. Se trata de un amplio afloramiento de microconglomerados y areniscas del complejo Supraurgoniano, dispuestas en forma de suave sinclinal sobre un sustrato de lutitas y areniscas de baja permeabilidad. La superficie del afloramiento es de unos 3,5 $km^2$. Las mayores cotas topográficas corresponden al extremo meridional (vértice de Andatza, 562 m) con descenso progresivo hasta el cauce del río Oria.

La alimentación procede, exclusivamente, de la infiltración directa sobre los materiales altamente permeables. Las salidas se producen a través de los manantiales Erroizpe, de caudal medio conjunto 10 l/s, y por descarga difusa a lo largo de los arroyos.

Adimitiendo una lluvia útil de 700 mm y un coeficiente de infiltración media del 60%, resultan unos recursos renovables de 1,5 $Hm^3$/año.

**Sector Hernani**

Situado al Oeste de Hernani, se trata de un afloramiento de calizas arrecifales del complejo Urgoniano cuya potencia máxima es del orden de 200 m. Se presentan intensamente karstificadas con depresiones de grandes dimensiones. La superficie del afloramiento es de 1,4 $km^2$ con una cuenca externa pequeña (0,7 $km^2$) pero cuyas aguas se infiltran a través de sumideros.

La alimentación se produce por infiltración de las precipitaciones directas y por aportes externos. El volumen total de entradas se evalúa en 1,5 $Hm^3$, correspondientes a una infiltración del 100% de los 700 mm de lluvia útil disponibles en la zona. Las salidas se producen a través de los manantiales Carrero y Curtidos, de caudales medios del orden de 20 l/s cada uno.

Las aguas son de facies bicarbonatadas cálcicas, moderadamente mineralizada en el caso del manantial Curtidos (650 mg/l). Este último, se utiliza para uso industrial.

**Sector Santiagomendi**

Localizado al Sur de Astigarraga, en la margen derecha del río Urumea. Los afloramientos permeables están formados por calizas jurásicas y por conglomerados y microconglomerados silíceos del complejo Supraurgoniano. La escama tectónica de Santiagomendi constituye una estructura tabular, prácticamente colgada sobre materiales de baja permeabilidad por lo que el espesor de la zona saturada es reducido. Sin embargo su interés se acrecienta por el hecho de estar en contacto, en su extremo oriental, con los materiales detríticos, situados a mayores cotas topográficas alimentando, previsiblemente, a las calizas. El flujo subterráneo se realiza hacia el borde occidental donde se localizan las menores cotas topográficas y donde se sitúan varios manantiales de escaso caudal.

La superficie total del sector es de unos 4 $km^2$, donde los materiales de mayor permeabilidad ocupan una extensión de 3,5 $km^2$ (2 $km^2$ de materiales detríticos y 1,5 $km^2$ de calizas jurásicas).

Los recursos medios se estiman en 1,6 $Hm^3$/año, correspondientes a una infiltración media del 50% de una lluvia útil de 800 mm.

**Sector Txoritokieta**

Situado al Norte de Astigarraga, en la margen derecha del río Urumea. Se trata de un afloramiento de areniscas silíceas y grauvacas con algunas pasadas de lutitas del complejo Supraurgoniano, de estructura monoclinal buzante al Norte. Por el Sur contacta con una extensa masa de ofitas con las que establece transferencia de flujo. En contacto con las ofitas aparecen, igualmente, pequeños retazos de calizas jurásicas. La circulación subterránea se realiza hacia los bordes del sector, preferentemente hacia el SO y el Este, jalonados de pequeños manantiales.

La superficie total del sector es de unos 6 $km^2$, de los que 4 $km^2$ corresponden a los materiales detríticos y 2 $km^2$ a las ofitas.

Los recursos medios se han estimado en 1,4 $Hm^3$/año, equivalentes a una infiltración media del 30% de la lluvia útil, evaluada en 750 mm.

**Sector Oiartzun**

En las proximidades de Oiartzun se localiza un complejo sector hidrogeológico, constituido por los materiales detríticos del complejo Supraurgoniano en contacto con ofitas y calizas jurásicas, aunque la intensa tectonización de la zona provoca la individualización de bloques.

Los afloramientos calizos son de escasa extensión pero conforman un anticlinal enraizado, muy fracturado, y en conexión hidráulica con ofitas y con las areniscas silíceas y grauvacas.

El esquema general de flujo es el siguiente: los materiales detríticos transfieren parte de su flujo subterráneo hacia las ofitas o hacia las calizas. Dado el carácter "inercial" de los primeros, se asegura una alimentación continua (aunque sea de moderada magnitud) hacia los otros materiales, contribuyendo a la estabilización de los caudales surgentes.

La superficie total de afloramientos permeables es de unos 14 $km^2$ de los que la mayor parte (12 $km^2$) corresponden al complejo Supraurgoniano. Las ofitas ocupan aproximadamente 1 $km^2$, la misma superficie que las calizas.

Los recursos medios calculados para este sector son de 7,7 $Hm^3$/año, resultado de la estimación de una infiltración del 50% de los 1.100 mm de lluvia útil disponibles en la zona. Debido a la compartimentación del sector, el drenaje se realiza de forma dispersa a través de numerosos manantiales que jalonan los afloramientos.

En conjunto, los recursos medios calculados para los distintos sectores diferenciados en este dominio, excluidas las grandes unidades hidrogeológicas, ascienden a 22,3 $Hm^3$/año, ocupando una superficie aproximada de 66 $km^2$.

**Resto del dominio**

Con una superficie de 518 $km^2$, corresponde a materiales de baja o muy baja permeabilidad. Su interés, desde el punto de vista de explotación de los recursos, es más reducido, salvo casos aislados donde por procesos locales de meteorización o fracturación pueden constituir zonas privilegiadas. Es el caso de Itxaspe, en las proximidades de Punta Endata (Itziar), donde una serie de sondeos de prospección minera localizan una zona fracturada, con silicificación y mineralización asociadas, que atestiguan la circulación de agua subterránea en cantidades significativas. Así, el sondeo Itxaspe-31 aporta un caudal surgente de 6 l/s. Por otra parte, el agua muestra unas características anómalas con respecto al entorno, en el sentido de mayor mineralización, mayor temperatura (23°C) y presencia de elementos minoritarios característicos de aguas que han alcanzado temperaturas propias de las termales.

Otro ejemplo significativo es el del manantial Landarbaso, con un caudal medio que supera los 10 l/s, asociado a un pequeño afloramiento de calizas bioclásticas (127), de permeabilidad media, aunque en su área de recarga intervienen otros materiales del entorno. Está captado para abastecimiento de Hernani.

Aún así, el volumen de recurso asociado a esta superficie puede estimarse en un mínimo de 57 $Hm^3$/año, evaluado considerando el rango de variación de la lluvia útil disponible de un extremo al otro del dominio y un coeficiente de infiltración medio que justifique un caudal específico mínimo de 3,5 l/s/$km^2$, común en las aportaciones de estiaje de los arroyos de la zona.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Las aguas del dominio, excluidas las correspondientes a las unidades hidrogeológicas, admiten una diferenciación relativamente clara en función de los materiales a los que se encuentran ligadas. Aún siendo la bicarbonatada cálcica la facies a la que pertenecen la práctica totalidad de los puntos de agua analizados, el grado de mineralización varía entre valores medios inferiores a 200 mg/l en las aguas asociadas a los materiales detríticos de granulometría más gruesa, Sectores Jata, Sollube, Andatza, a mineralizaciones en el intervalo 300-500 mg/l como más representativos del resto de los materiales. En algunos casos se supera esta mineralización, como en los manantiales mencionados Larrauri y Curtidos, con 750 y 650 mg/l respectivamente.

La calidad del agua es, en general, apta para el consumo, con alteraciones puntuales de la calidad ligadas mayoritariamente a procesos de contaminación orgánica.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL**

Los numerosos puntos de agua, en general de pequeño caudal, que existen en el dominio están captados, en su mayor parte, para abastecimiento urbano y en algún caso para uso industrial.

Son los municipios situados en el entorno de los sectores señalados los que obtienen un mayor volumen de recurso subterráneo. Es el caso de Mungia, la Mancomunidad de BUSPEMUN (Busturia, Sukarrieta, Mundaka) y Bermeo, que completan su abastecimiento con las aportaciones de Sollube. Usurbil que hace lo propio desde Andatza y otros municipios como Plentzia, Gatika, Hernani, Andoain y Maruri que captan diversos manantiales ligados a los materiales de este dominio.

El volumen total aprovechado en un año medio, en abastecimiento y otros usos, se ha evaluado en 5 $Hm^3$, lo que equivale a algo más del 6% de los recursos renovables.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

DFG-SGOP (1985). Estudio de Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Territorio Histórico de Gipuzkoa. (INGEMISA-EUROESTUDIOS).

EVE (1986). Estudio Hidrogeológico para Abastecimiento de Agua a la Mancomunidad de Buspemun. (INGEMISA).

EVE-DFG (1987). Estudio Hidrogeológico del Area de Andoain. (INGEMISA).

EVE (1987). Estudio Hidrogeológico para el Abastecimiento de Agua al Municipio de Ea (Bizkaia). (INGEMISA).

EVE (1991). Estudio Hidrogeológico del Término Municipal de Arrieta. (INGEMISA).

EVE (1992). Estudio Hidrogeológico del Término Municipal de Bermeo. (INGEMISA).

EVE (1992). Estudio Hidrogeológico del Término Municipal de Errigoiti. (INGEMISA).

EVE (1992). Estudio Hidrogeológico del Término Municipal de Fruiz. (INGEMISA).

EVE (1992). Estudio Hidrogeológico del Término Municipal de Gatika. (INGEMISA).

DFG-EVE (1994). Estudio Hidrogeológico de la Cadena Costera. (GEYSER-INGEMISA).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Larrauri | 515200 | 4801700 | 50 | 6 | Aprovechamiento en usos medicinales |
| Erroizpe | 575985 | 4790480 | 135 | 10 | Abastecimiento Usurbil |
| Carrero | 582980 | 4791320 | 25 | 20 | |
| Curtidos | 583100 | 4791550 | 20 | 20 | Uso industrial |
| Landarbaso | 589625 | 4790750 | 190 | 10 | Abastecimiento de Hernani |
| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
| Itxaspe-31 | 555265 | 4793720 | 76 | 6 | Surgente. Declaración provisional de agua mineral |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA ELDUAIN

## GENERALIDADES

Se sitúa en el Territorio Histórico de Gipuzkoa, estando incluida en su totalidad en la cuenca del río Oria. Sus límites van desde el eje central del río Oria en Alegia y Tolosa hasta las depresiones de Aintzerga y Berastegi al Este. Al Norte limita con la cuenca del río Leizaran y al Sur con la margen izquierda del río Araxes y la regata Jaizkugaña. La unidad así definida toma su nombre del municipio de Elduain, ya que en él es donde se encuentra la principal surgencia: el manantial Urbeltza.

Hidrográficamente la unidad se sitúa sobre las cuencas del Araxes, principal afluente del Oria y, en su mayor extensión, en la cuenca del río Berastegi**.** La cumbre más importante es el monte Uzturre o Larre (730 m), estando flanqueada por los montes Urdelar (852 m) e Ipuliño (935 m) al Norte y Otsabio (789 m) al Sur. Geográficamente, las distintas subunidades se alinean con los ejes de los ríos Berastegi o Zelai y Araxes hasta las cercanías del río Oria.




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

Los municipios más importantes e industrializados se sitúan en el río Oria, como Tolosa, Alegia e Ibarra, siendo más pequeños y principalmente con economía rural los municipios de Berastegi, Elduain, Berrobi, Belauntza, Leaburu, Gaztelu y Lizartza. La actividad papelera tiene una incidencia en el uso del recurso, tanto en calidad como en cantidad.

Está integrada en el Dominio Hidrogeológico Anticlinorio Norte, aunque en su descripción incluye términos de los Dominios Paleozoico y Cretácico superior (figura 1).

## GEOLOGIA

Geológicamente, la unidad se enclava en una zona muy compleja en el borde suroccidental del macizo de Cinco Villas. Incluye una gran variedad de materiales geológicos, desde el Paleozoico hasta el Cretácico superior (Campaniense), existiendo por consiguiente una gran variedad litológica con permeabilidades muy diferentes, lo que ocasiona la existencia de numerosos acuíferos con diferentes tipos de conexiones hidráulicas.

Los materiales más antiguos únicamente forman parte de las cuencas externas vertientes a las subunidades y están formados por pizarras cuarcíticas paleozoicas discordantes (3) de muy baja permeabilidad, sobre las que se disponen materiales detríticos del Buntsandstein (94) de baja permeabilidad. La facies Keuper del Trías, constituida por arcillas y yesos (95), se encuentra muy extendida y diseminada por toda la unidad, constituyendo en bastantes ocasiones el muro de los acuíferos debido a su muy baja permeabilidad y a su disposición estructural. Las ofitas (96) que acompañan a estos materiales pueden llegar a tener permeabilidad media, debido fundamentalmente a su intensa meteorización.

Los materiales suprayacentes pertenecen al Lías inferior y están constituidos por carniolas, calizas, dolomías y brechas olistostrómicas (98) de permeabilidad alta, que constituyen los acuíferos más interesantes de la unidad. Sobre esta litología se encuentran margas y margocalizas (99) de baja permeabilidad del Lías superior, calizas bioclásticas y calizas nodulosas con sílex (100) del Dogger que presentan alta permeabilidad, y margas arenosas y limolitas (101) del Malm también de baja permeabilidad. Rodeando la estructura del Uzturre, se encuentran calizas bioclásticas bien estratificadas (102) del Malm que presentan una permeabilidad alta.

El Jurásico terminal está representado en la unidad por las calizas de sérpulas (106) del

Neocomiense-Barremiense de alta permeabilidad pero escasa representación superficial, encontrándose a continuación el complejo urgoniano tanto en su facies más detrítica de limolitas calcáreas, margas y calizas impuras (108) de baja permeabilidad, como en su facies coralina de calizas arrecifales (109) de alta permeabilidad y gran importancia hidrogeológica.

A techo de la unidad se sitúan los materiales detrítico-calcáreos (141, 147) del Cretácico superior, de baja permeabilidad, y las lutitas (139) de la formación Zufia, de muy baja permeabilidad.

Por último, en la depresión de Berastegi y Aintzerga, existe un importante relleno de suelos aluviales y coluviales (200) de alta permeabilidad que recargan los acuíferos de materiales consolidados.

Como curiosidad geomorfológica ligada íntimamente a la acción del agua, cabe destacar la existencia de un amplio depósito de travertinos situados donde emergen los manantiales Urbeltza y Marijan, que caen en cascada al llegar al río Berastegi.

Estructuralmente la unidad se sitúa en el borde del macizo de Cinco Villas, presentándose una serie de estructuras complejas y diferenciadas entre sí, pudiendo distinguirse:

**Estructuras de Elduain-Gaztelumendi:** incluye materiales jurásicos presentes en la cuenca del río Berastegi y abarca hasta los materiales urgonianos de Gaztelumendi o Iturregi. La estructura geológica consiste en una sucesión de escamas tectónicas con desplazamientos de vergencia Norte y dirección Este-Oeste, que superponen en ocasiones los términos jurásicos entre sí. Los materiales jurásicos conforman un sinclinal cuyo flanco meridional se encuentra en parte laminado por el cabalgamiento del complejo urgoniano. La estratificación buza hacia el Sur con valores de unos 45° en el Norte que se suavizan hacia el Sur.

**Sinclinal de Uzturre:** consiste a grandes rasgos en un sinclinal de amplia curvatura ligeramente volcado con suaves buzamientos, formado por materiales jurásicos desarrollándose los acuíferos en sus términos más permeables.

**Serie monoclinal de Otxabio:** se trata de una serie monoclinal ondulada buzante al Sur en posición cabalgante sobre materiales del complejo Supraurgoniano. En el borde oriental existe una falla importante que pone en contacto las facies argilíticas y areniscosas con las calizas. Los acuíferos más importantes se instalan sobre materiales urgonianos.

**HIDROGEOLOGIA**

Debido a la complejidad litoestratigráfica y estructural de la unidad, ha sido necesario definir distintas subunidades hidrogeológicas. Para ello se han seguido diferentes criterios, tales como el punto de descarga (de forma que en algunas subunidades ha sido necesario ir ampliando los límites de la misma hasta alcanzar un equilibrio entre la superficie de recarga y los recursos drenados por dicho punto) o como la pertenencia a una estructura geológica característica e individualizada. Las subunidades diferenciadas (figura 2) han sido:

- Subunidad Urbeltza.
- Subunidad de la escama inferior.
- Subunidad Uzturre.
- Subunidad Otsabio.

*SUBUNIDAD URBELTZA*

Esta subunidad se define por el manantial Urbeltza, que surge a partir de una fractura vertical a unos 10 metros por encima del torrente de Marijan (afluente del río Berastegi). Dentro de la subunidad se engloban cuatro acuíferos: el acuífero Urbeltza, el acuífero Marijan, el acuífero Gaztelumendi y los acuíferos cuaternarios. Presentan relaciones hidráulicas y en conjunto constituyen un acuífero multicapa kárstico de flujo difuso.

**Características geométricas**

La subunidad está constituida por carniolas, dolomías, y brechas olistostrómicas (98) del Jurásico basal, que afloran en una estrecha banda paralela al río Berastegi, encontrándose el manantial Urbeltza en las mismas, con la particularidad de que la superficie de afloramientos es de 0,7 km$^2$, claramente insuficiente para justificar las descargas del manantial. Es por lo tanto necesario recurrir a otros materiales en conexión con el acuífero como zonas de recarga a la subunidad. Las calizas urgonianas (109) de Gaztelumendi están en conexión con el acuífero al igual que las areniscas y limolitas del Buntsandstein (94) que aportan el agua caída sobre ellas al acuífero a través de los materiales cuaternarios de la depresión de Berastegi.

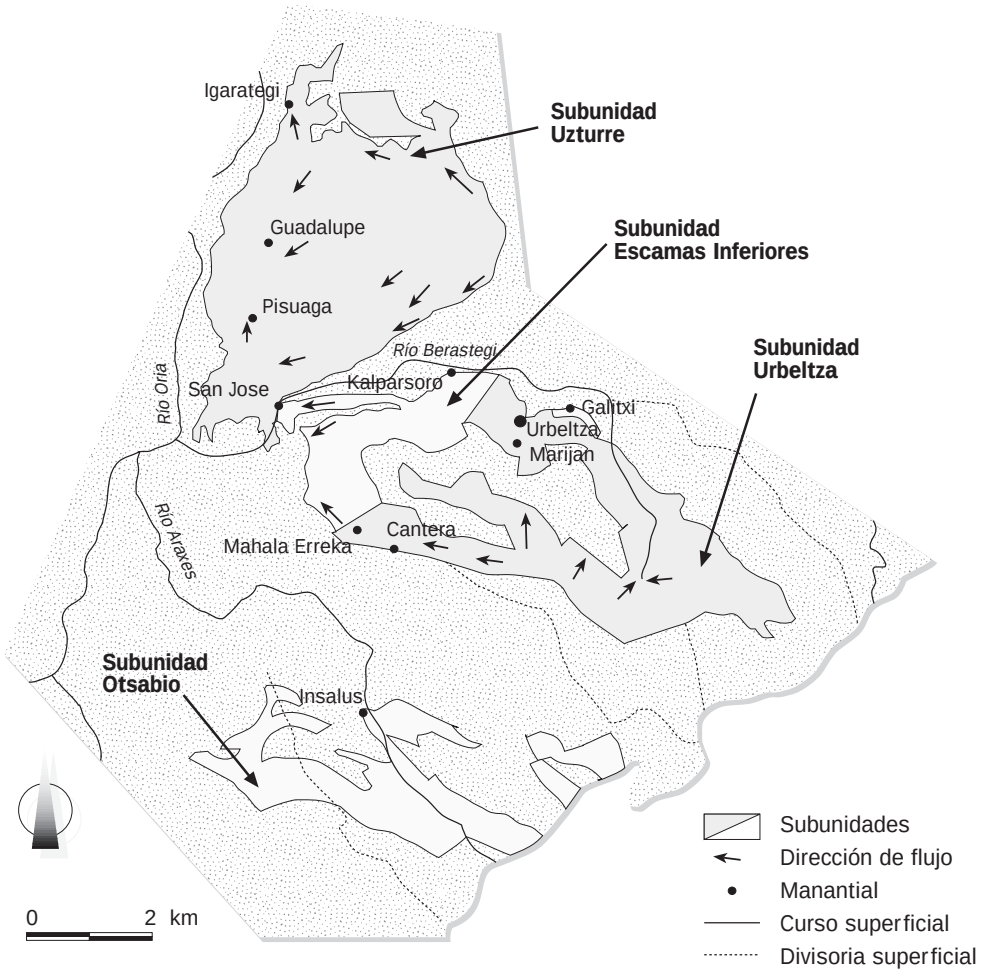



Figura 2. Esquema de subunidades.

A partir de los ensayos de bombeo realizados, se deduce la existencia de un drenaje de las litologías superiores de margas y margocalizas (99), calizas bioclásticas y nodulosas con sílex (100) y margas arenosas y limolitas (101) que, si bien es muy difícil de cuantificar, se produce en épocas de estiaje o durante las depresiones de niveles piezométricos en los bombeos. El substrato impermeable de la subunidad está formado por los niveles arcillosos y yesíferos del Trías a lo largo de la falla de Galitxi y por los materiales limolíticos y areniscosos del Buntsandstein en el resto de la subunidad.

Geométricamente, la subunidad limita al Norte con la falla de Galitxi que gira hacia el Sur hasta confluir probablemente con la falla de Berastegi. Los bordes meridional y oriental están conformados por los materiales flyschoides de baja permeabilidad del Cretácico superior y la depresión de Aintzerga y las calizas urgonianas de Gaztelumendi respectivamente.

Estructuralmente, la Subunidad Urbeltza forma parte del flanco septentrional de una cubeta sinclinal dispuesta en posición cabalgante sobre otros términos jurásicos, con el flanco meridional erosionado y recubierto en discordancia por las calizas urgonianas de Gaztelumendi.

La superficie de recarga está constituida, además de los 0,7 km$^2$ de afloramientos permeables ligados directamente con el manantial, por la ladera oriental de Berastegi, las depresiones Berastegi y Aintzerga, afloramientos urgonianos del Sur del acuífero Gaztelumendi y Oeste de la depresión de Berastegi, cuenca alta y vaguada lateral de la depresión; en conjunto, la superficie considerada asciende a 15,5 km$^2$, si bien los coeficientes de infiltración varían según las zonas.

**Acuífero Urbeltza.** Conforma el elemento capacitivo de la subunidad, conectado directamente con el manantial Urbeltza. Está constituido por carniolas, dolomías y brechas olistostrómicas (98) del Jurásico basal. Tiene una superficie de afloramiento de 0,7 km$^2$ y una potencia media cortada por los sondeos de 100 m. Esta banda se encuentra también recubierta por materiales cuaternarios en la depresión de Berastegi. Los límites del acuífero son la falla de Galitxi al Norte, margas y margocalizas (99) del Lías superior al Sur, la misma falla de Galitxi y materiales triásicos al Oeste y la depresión de Berastegi al Este. La estructura corresponde al flanco septentrional de un sinclinal con buzamientos de unos 45° hacia el Sur. Topográficamente, las menores cotas del acuífero se producen en la falla de Galitxi y en el barranco de Marijan, donde presenta cotas de 240 m, encontrándose los puntos altos del acuífero en Berastegi a cota 400 m.

**Acuífero Marijan.** Situado al Sur del acuífero Urbeltza, está constituido por calizas nodulosas con sílex (100) del Dogger con una potencia aproximada de 100 m. Los materiales infrayacentes, de baja permeabilidad, están constituidos por margas, margocalizas (99) del Lías superior, si bien en determinadas condiciones hidrológicas se produce transferencia de agua al acuífero Urbeltza. El techo del acuífero está formado por margas arenosas y limolitas (101) del Malm. La superficie de materiales permeables ligados directamente con el acuífero es de 0,44 km$^2$. Además, existen dos cuencas impermeables que drenan sus aguas al acuífero, una situada en Berastegi (0,5 km$^2$) y otra aguas arriba del acuífero (1,4 km$^2$). La geometría del acuífero es similar a la del Urbeltza, si bien se sitúa a mayor cota topográfica. La descarga principal del acuífero se produce por el manantial Marijan.

**Acuífero Gaztelumendi**. Está constituido por calizas masivas y estratificadas del complejo Urgoniano (109) con una potencia máxima de 500 m que disminuye por cambios de facies y por efectos tectónicos. El substrato impermeable está formado por materiales detríticos del propio complejo Urgoniano (108) y por algunos términos jurásicos sobre los que cabalga. Los términos permeables jurásicos son los que facilitan la conexión hidráulica con el acuífero Urbeltza**.** La estructura corresponde a una serie monoclinal buzante al Sur, que ha sufrido un desplazamiento hacia el Norte laminando la serie jurásica. Los afloramientos permeables tienen una extensión de 5,7 km$^2$, siendo la cuenca externa despreciable. No existen manantiales con caudales importantes ligados a este acuífero, por lo que teniendo en cuenta la superficie del mismo y la evidencia de la permeabilidad de sus materiales, se tiene que producir una transferencia de agua a otro acuífero a través del cual se produce el drenaje de las aguas infiltradas.

**Acuíferos cuaternarios.** Tienen gran importancia porque contribuyen a la recarga del acuífero Urbeltza, por donde drenan principalmente. Se instalan en depresiones kársticas cuaternarias desarrolladas en parte sobre materiales jurásicos y urgonianos permeables. Están constituidos por limos, arenas y gravas, con cambios frecuentes del contenido mayoritario. El espesor medio es de unos 12 m, si bien en algún punto llega a alcanzar los 100 m. Los materiales detríticos están en contacto a cota superior con la práctica totalidad de las litologías de la subunidad, por lo que transfieren el agua a las mismas. Las depresiones más importantes son la de Aintzerga con 0,9 km$^2$ de superficie, Berastegi con 2,7 km$^2$ y Elduain con 0,3 km$^2$. Además, existe una cuenca externa impermeable vertiente a Aintzerga y Berastegi de 0,7 km$^2$.

**Puntos de Agua**

Existen dos puntos de agua muy significativos ligados a la subunidad: los manantiales Urbeltza y Marijan.

**Urbeltza** drena el acuífero del mismo nombre y es uno de los más importantes de Gipuzkoa, siendo el de mayor caudal de estiaje (100 l/s). Surge en el torrente Marijan a cota 256, a unos 10 m sobre el cauce, no conociéndose otras salidas próximas. Se encuentra captado mediante un canal junto a las aguas de Marijan por la papelera Kalparsoro. Existe registro de los caudales aportados por ambos manantiales desde 1983. Se ha determinado que Marijan representa el 12,6% del caudal total medido en el canal, si bien el caudal de estiaje del mismo es nulo. El manantial Urbeltza está muy regulado de forma natural, presentando máximos de 800 l/s y estiajes mínimos de 100 l/s (1989), siendo el volumen anual medio drenado de 9,8 Hm$^3$ (figura 3).

**Marijan** se sitúa en las cercanías de Urbeltza a una cota de 280 m. La salida del manantial está cubierta por derrubios y no es visible. Está captado por un canal que conduce sus aguas hasta Urbeltza. Aguas arriba de

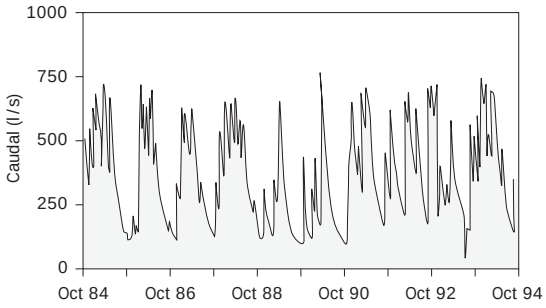



Figura 3. Hidrograma de caudales medios diarios de Urbeltza.

Marijan existe una cueva que actúa de trop-plein en épocas de caudales altos. Los recursos medios drenados por el manantial son 1,5 $Hm^3$, secándose en verano y alcanzando puntas de 500 l/s en invierno.

**Mahala Erreka** y **Cantera** son dos manantiales de cierta entidad ligados a las calizas urgonianas. Su caudal medio estimado es de 15 y 10 l/s respectivamente.

**Funcionamiento hidráulico y parámetros**

La geometría de la subunidad es indicativa del complejo funcionamiento hidráulico de la misma. Todos los datos existentes apuntan a que se trata de un acuífero multicapa que ha desarrollado su porosidad y permeabilidad por procesos de disolución y kartificación, si bien existe también una permeabilidad primaria importante. Conceptualmente, se trataría de un acuífero multicapa kárstico de flujo difuso, si bien los distintos acuíferos existentes presentan características propias.

El acuífero Urbeltza responde a un funcionamiento semiconfinado, mientras el acuífero Marijan se presenta como libre, al menos en las cercanías del manantial. El acuífero Gaztelumendi funciona como acuífero libre kárstico en sentido estricto y los acuíferos cuaternarios constituyen acuíferos libres con porosidad intergranular.

El funcionamiento hidráulico de la subunidad responde aproximadamente al siguiente esquema: el agua llega a las carniolas y dolomías jurásicas (98), que constituyen el elemento capacitivo principal, por diferentes caminos: bien se infiltra directamente a partir del agua caída sobre las mismas carniolas y dolomías, bien se transfiere muy lentamente en épocas de estiaje de los materiales jurásicos de baja permeabilidad dispuestos a techo del acuífero, bien del acuífero Marijan. También resulta claro que existe un flujo de las calizas urgonianas de Gaztelumendi, situadas a cotas altas, hacia las carniolas y dolomías jurásicas. Por último, el agua contenida en los acuíferos cuaternarios y la escorrentía producida en las cuencas externas de Berastegi y Aintzerga también se transfiere a las calizas y dolomías jurásicas ya que en ambas depresiones, bajo el recubrimiento cuaternario, se encuentran las litologías jurásicas y urgonianas permeables.

La piezometría de la subunidad está directamente relacionada con el manantial Urbeltza. Es claro que el manantial surge a través de una fractura que comunica el acuífero con el exterior, pero la comunicación es deficiente, ya que teniendo en cuenta las transmisividades del acuífero obtenidas en los pozos situados en las cercanías del manantial, el caudal de éste en épocas de aguas altas debería ser más elevado. Por tanto, al existir un límite en la capacidad de drenaje se produce una subida del nivel piezométrico muy importante en épocas de aguas altas.

En la figura 4 se ha presentado el caudal del manantial y la evolución del nivel piezométrico en los sondeos Elduain-1 y 3, donde se puede apreciar la subida del nivel en relación al caudal. Así, a partir de caudales de 400 l/s, los sondeos se hacen surgentes habiéndose medido presiones máximas de 3,25 $kg/cm^2$, es decir, una columna de agua de 32,5 m por encima de la cota del sondeo Elduain-1, lo que supone un ascenso de agua de 42 m por encima del manantial. Traducido a gradiente se obtiene un 24% , valor muy alto para acuíferos kársticos. Este hecho, unido a que el valor mínimo del nivel del agua en estiaje se ha situado a 5 m por encima

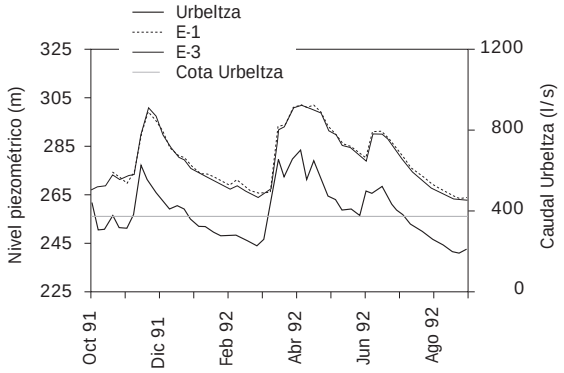



Figura 4. Evolución de niveles y caudales en Urbeltza y sondeos Elduain-1 y 3.

de la cota del manantial, con un gradiente del 3%, corrobora la limitada capacidad de la salida del manantial.

Con respecto a las características del medio, la piezometría y los ensayos de bombeo realizados indican un medio heterogéneo pero con comunicación entre los distintos sectores.

Respecto al hidrograma del manantial, se ha estudiado por diferentes métodos, resultando en todos ellos la constatación de la existencia de un volumen importante de recursos asociados al acuífero. Así, estudiando el coeficiente de agotamiento del manantial, se obtiene un $\alpha$ del orden de 0,011- 0,015 días$^{-1}$. También se ha realizado un modelo pluricelular englobado del acuífero, representando al mismo por tres celdas con distinta capacidad y distinto coeficiente de descarga. Los valores obtenidos de $\alpha$ son 0,08, 0,012 y 0,0016 días$^{-1}$, siendo responsables cada celda del drenaje rápido (puntas) medio (ciclo anual) y lento (estiaje). El valor medio que resulta del modelo es muy similar al obtenido a partir del hidrograma.

De la interpretación de los ensayos de bombeo se concluye que el ajuste de las curvas de descenso se realiza mejor con el método de Hantush, lo que indica un semiconfinamiento del acuífero. Ahora bien, se observa en algún caso una tendencia a la cautividad del acuífero en régimen variable, por lo que se ajustaría mejor por Theis pero con efecto de borde lejano al punto de bombeo. Las transmisividades obtenidas en los distintos ensayos de bombeo varían mucho de un sondeo a otro y con el número de sondeos implicados en el ensayo, lo cual es índice de la heterogeneidad del medio. Un valor conservador para todo el acuífero puede ser del orden de 200 m$^2$/día. Los valores del coeficiente de almacenamiento también son muy variables, siendo el orden de magnitud de $10^{-3}$ a $10^{-4}$.

Los sondeos de explotación realizados (Elduain-1, 2 y 3) presentan caudales de explotación de 120, 50 y 150 l/s respectivamente. Un bombeo conjunto de 300 l/s provoca el agotamiento del manantial al cabo de los 6 días de bombeo, sin que ello signifique un cambio en las condiciones hidrodinámicas del acuífero (figura 5).

*SUBUNIDAD DE LA ESCAMA INFERIOR*

Se denomina así a una serie de pequeños acuíferos que se instalan sobre las calizas y dolomías del Lías inferior (98), al igual que el acuífero Urbeltza, pero que están desconectados hidráulicamente de aquél y se encuentran a menores cotas topográficas. Todos ellos se sitúan en las cercanías del río Berastegi y se suceden desde Elduain hasta Tolosa.

Debido a la intensa tectonización de la zona, los acuíferos se encuentran desconectados entre sí y la potencia y continuidad de los mismos es muy pequeña, no superando 1 km$^2$.

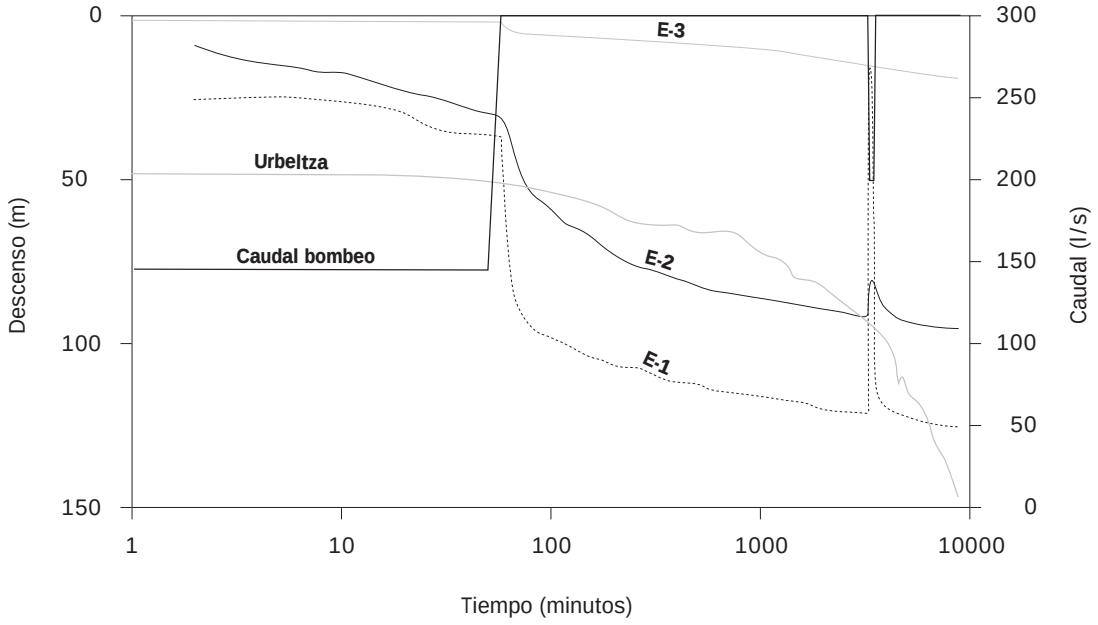



Figura 5. Ensayo de bombeo conjunto de los sondeos Elduain-1, 2 y 3.

El substrato impermeable de los mismos está constituido por materiales arcillosos y ofíticos del Trías, situándose a techo materiales margosos jurásicos y materiales triásicos de las escamas superiores.

Estructuralmente se trata de pequeñas escamas tectónicas producidas sobre materiales jurásicos, que presentan buzamientos hacia el Sur de valores muy variables.

**Puntos de agua**

Existen una serie de manantiales situados en el valle del Berastegi que drenan los distintos acuíferos. Los más importantes son:

**Galitxi**: se trata de un manantial difuso que surge en la regata Galitxi asociado al contacto entre las calizas y dolomías del Lías inferior (98) y ofitas del Keuper (96). Los caudales sufren muy pocas variaciones, con máximos y mínimos de unos 60 y 20 l/s respectivamente. En la actualidad está captado para el abastecimiento de Elduain e Ibarra.

**Kalparsoro:** se sitúa junto a la papelera Kalparsoro en un pequeño barranco relleno por un importante coluvión. El hidrograma de manantial muestra importantes variaciones oscilando los caudales entre 6 l/s en estiaje y 300 l/s en aguas altas.

**Berrobi:** situado en el municipio de Berrobi, se trata de un manantial temporal que en aguas altas llega a 50 l/s.

**San José:** se trata de una salida en el cauce del río Berastegi junto al casco urbano de Ibarra, captado para papelera San José, con un caudal medio de unos 30 l/s.

**Oioko:** es un manantial con un caudal medio de 10 l/s que drena un pequeño lentejón de calizas jurásicas**.**

**Funcionamiento hidráulico y parámetros**

Los datos disponibles de sondeos realizados a rotopercusión por Papelera Tolosana en Tolosa, que cortaron un lentejón calizo, indican valores de transmisividad de 50 $m^2$/día.

El funcionamiento hidráulico de los distintos acuíferos es complejo y varía de unos a otros. Así el acuífero Galitxi se piensa que drena las aguas que se infiltran en la ladera oriental de la depresión de Berastegi, compuesta por areniscas y limolitas del Buntsandstein, actuando la banda jurásica como medio transmisor sin apenas capacidad de almacenamiento ni regulación. El acuífero estaría regulado por las areniscas y limolitas del Buntsandstein.

El acuífero de Kalparsoro sería un acuífero kárstico de flujo difuso, encontrándose libre en su mayor parte, del que no se conoce su potencia ni su desarrollo en profundidad.

El resto de los acuíferos presentan un funcionamiento hidráulico similar; se trata de acuíferos de flujo difuso generalmente confinados, pero de pequeña extensión.

*SUBUNIDAD UZTURRE*

Se denomina así a una serie de acuíferos jurásicos situados en el monte Uzturre con una estructura geológica muy similar, separados entre sí por materiales de baja permeabilidad.

La estructura geológica consiste, a grandes rasgos, en un sinclinal de amplia curvatura con suaves buzamientos de sus flancos, cuyo eje tiene una dirección NE-SO. El núcleo del sinclinal está constituido por materiales cretácicos del complejo Urgoniano de alta permeabilidad, calizas con sérpulas (106) y calizas arrecifales (109) pero separados por margas y calizas impuras (108) de baja permeabilidad, lo que confiere al mismo escaso interés hidrogeológico.

**Características geométricas**

Se pueden diferenciar en la subunidad tres acuíferos distintos atendiendo a criterios geológicos, ya que incluso en cada acuífero existen zonas compartimentadas sin apenas conexión hidráulica.

**Acuífero Amasa.** Formado por carniolas (98) del infralías, situado en las estribaciones del monte Uzturre. El substrato impermeable del acuífero está constituido por margas y arcillas yesíferas del Keuper y areniscas triásicas del Buntsandstein, situándose a techo del mismo margas y margocalizas (99) del Lías superior. La superficie aflorante del acuífero es de 3,8 $km^2$ existiendo una cuenca externa que recarga el acuífero de 2,5 $km^2$. La descarga más importante se produce por el manantial Igarategi y por pequeñas surgencias en la margen derecha del río Oria.

**Acuífero Guadalupe.** Constituido por las calizas del Dogger (100). A muro y techo se sitúan los materiales de baja permeabilidad del Lías (99) y Malm (101). La superficie de afloramientos permeables es de 3,8 km$^2$, siendo la cuenca externa de 5 km$^2$. La descarga más importante se produce por el manantial Guadalupe.

**Acuífero Pisuaga.** Es el acuífero más alto de la subunidad. Está constituido por calizas bioclásticas bien estratificadas (102) del Malm y por calizas con sérpulas (106). Está separado del acuífero Guadalupe por margas arenosas y limolitas (101), encontrándose como techo del acuífero la facies detrítica (108) del complejo urgoniano. La superficie del acuífero es de 3 km$^2$ presentando una cuenca externa de 1 km$^2$. La descarga se produce por los manantiales Pisuaga.

**Puntos de agua**

En la subunidad existen 10 manantiales de cierto interés, de los cuales 7 pertenecen al acuífero Amasa, lo que da idea de su compartimentación, 1 pertenece al acuífero Guadalupe y 2 pertenecen al acuífero Pisuaga, existiendo además salidas difusas. Los caudales de los manantiales no superan en conjunto los 20 l/s.

**Igarategi:** constituye el principal drenaje del acuífero, con un caudal medio ligeramente por encima de 10 l/s. Su conductividad media, 600 µS/cm, revela su contacto con las facies evaporíticas próximas. Está captado para abastecimiento de Villabona.

**Guadalupe:** se trata de un manantial situado en la ladera noroeste del Uzturre. Presenta un caudal de estiaje de unos 5 l/s; sin embargo el sondeo Guadalupe, aguas abajo del mismo, bombea un caudal de 15 l/s secando la surgencia. En la actualidad ambos están captados por el Ayuntamiento de Irura.

**Pisuaga:** constituye el drenaje del acuífero. En realidad se trata de una serie de salidas a lo largo de la regata Pisuaga, situada en la base del monte Uzturre. Su caudal de estiaje es de unos 10 l/s, estando captado por el Ayuntamiento de Tolosa.

**Funcionamiento hidráulico y parámetros**

Se trata de acuíferos kársticos, en sentido estricto y de escaso poder regulador los dos superiores, y de flujo difuso el inferior. La mayor parte de los tres acuíferos se encuentra confinada.

Unicamente se dispone de dos datos de ensayos de bombeo realizados en los sondeos Sodedorre y Guadalupe, habiéndose obtenido unas transmisividades de 11 m$^2$/día. Los caudales de explotación son de 7 l/s y 10 l/s respectivamente.

*SUBUNIDAD OTSABIO*

Engloba a una serie de materiales urgonianos calcáreos afectados por frecuentes cambios de facies hacia materiales arcillosos o areniscosos que forman acuíferos de pequeña entidad con descarga al río Araxes y a la regata Jaizkugaña. En la subunidad existen, al Norte, una serie de afloramientos jurásicos que constituyen acuíferos de poco interés por su escasa superficie.

La estructura de la subunidad corresponde a una serie monoclinal buzante al Sur. Las calizas arrecifales urgonianas (109) constituyen los acuíferos, presentando en algún punto potencias de 900 m, si bien ésta decrece rápidamente tanto hacia el Norte como hacia el Sur.

**Características geométricas**

Se han distinguido dos acuíferos en la subunidad, además de los pequeños acuíferos jurásicos.

**Acuífero Insalus.** Situado en el monte Otsabio, continúa por la Comunidad Autónoma de Navarra. Se ha desarrollado sobre calizas urgonianas (109) con potencia variable de 900 a 200 m. El substrato impermeable está constituido por una alternancia de margas y calizas arenosas (147) del Santoniense-Campaniense y por arcillas yesíferas (95) del Trías. El acuífero se encuentra dividido por el río Araxes que actúa como elemento de drenaje en aguas altas y parece que recarga el acuífero en épocas de estiaje. El flujo del acuífero se produce de Oeste a Este en la margen izquierda y de Este a Oeste en la margen derecha. La superficie de materiales permeables de la margen izquierda es de 1,17 km$^2$, siendo la cuenca externa vertiente de 1,15 km$^2$. La superficie de la margen derecha dentro del Territorio Histórico de Gipuzkoa es de 2,3 km$^2$.

**Acuífero Artarreka.** Se instala entre Alegia y el río Araxes. El acuífero se desarrolla en calizas

urgonianas (109) al igual que el acuífero Insalus, siendo su potencia en las zonas extremas de unos 50 m. El substrato impermeable está constituido por la serie detrítica (108) del complejo Urgoniano encontrándose a techo margas, calcarenitas, areniscas y limolitas (116) del supraurgoniano. En el tercio occidental existe una falla de dirección NE-SO que divide el acuífero en dos sectores quizá individualizados. La superficie del sector occidental es de 0,4 km$^2$, siendo la cuenca externa de 0,8 km$^2$. El sector oriental tiene una superficie de materiales permeables de 3,2 km$^2$, siendo la cuenca externa que aporta agua al acuífero de 0,8 km$^2$. El flujo se dirige desde las zonas de recarga a la regata Jaizkugaña.

**Puntos de agua**

Existen en la subunidad 6 manantiales importantes además de salidas difusas al río Araxes y regata Jaizkugaña. Los más destacados son:

**Insalus:** se trata de tres manantiales con declaración de agua minero-medicinal y captados para su comercialización, además de otras surgencias difusas. El conjunto presenta un caudal medio de 25 l/s.

**Jaizkugaña:** se trata de dos surgencias próximas, situadas en el cauce de la regata Jaizkugaña a cota 200 m, con un caudal medio de 50 l/s. Existe además un tercer manantial intermitente a cota 165 m, que drena el sector occidental.

**Funcionamiento hidráulico y parámetros**

La tipología de los acuíferos responde a acuíferos kársticos en sentido estricto, que han desarrollado su permeabilidad por disolución a través de fracturas. El funcionamiento es libre produciéndose el drenaje hacia los dos cursos fluviales que atraviesan los acuíferos. En épocas de aguas bajas se piensa que el río Araxes en su curso alto recarga el acuífero Insalus y la regata Jaizkugaña recarga el acuífero Artarreka**.** Según ésto, el flujo del acuífero se produce desde las zonas altas hacia los cauces de los ríos en aguas altas, invirtiéndose el mismo únicamente en estiajes acusados y en las zonas altas de las cuencas.

*BALANCE HIDRICO*

Para realizar el balance hídrico de las subunidades se ha contado con las estaciones de aforo de Urbeltza y del río Berastegi y con las estaciones pluviométricas de Elduain, Berastegi y Lasarte**.** En los casos en que se dispone de estaciones hidrometeorológicas, el balance se ha realizado apoyándose en éstas. En los demás casos se han utilizado los mapas de lluvia útil incluidos en el Anexo de Planos, contrastándolos con los aforos puntuales existentes.

**Subunidad Urbeltza**

La estación de aforos de Urbeltza controla las salidas de la subunidad a excepción de los sobrantes en aguas altas de los manantiales Urbeltza y principalmente Marijan. La superficie de recarga de la subunidad es:

- Materiales permeables: 8,4 km$^2$, se infiltra la totalidad de la lluvia útil.

- Materiales de baja permeabilidad vertientes: 7,1 km$^2$, se infiltra aproximadamente el 35% de la lluvia útil.

Según esto, la aportación de la subunidad correspondería a una cuenca teórica de 11 km$^2$, lo que, considerando una pluviometría en Elduain de 1.987 mm y una lluvia útil de 1.300 mm, supone unos recursos teóricos de 14,3 Hm$^3$/año. El ajuste de esta cifra con la aportación registrada en la estación de aforos de Urbeltza 11,3 Hm$^3$/año (1984-94), requiere suponer un porcentaje del 20% de caudal no contabilizado por la estación.

El caudal específico resultante, 37,3 l/s/km$^2$, es a su vez inferior al medido en la estación de aforos de Berastegi (1991-95) donde se registra un valor de 45 l/s/km$^2$.

**Subunidad de la escama inferior**

- Materiales permeables: 2 km$^2$, se infiltra el 100%.

- Materiales de baja permeabiliad vertientes: 1,1 km$^2$, se infiltra aproximadamente el 40%.

Admitiendo una lluvia útil igual a la supuesta para la subunidad Urbeltza, 1.300 mm, se obtienen unos recursos de 3,1 Hm$^3$/año. Las salidas de la subunidad se evalúan en 3,7 Hm$^3$/año. La diferencia se explica por una recarga del río Berastegi al manantial Kalparsoro, o bien por aporte de agua de materiales de permeabilidad baja en contacto con los materiales permeables.

**Subunidad Uzturre**

- Afloramientos materiales permeables: 10 km², se infiltra el 60%.

- Materiales de baja permeabilidad vertientes: 5,4 km², se infiltra el 10%.

De los tres acuíferos diferenciados, se considera una lluvia útil de 1.000 mm en Amasa y de 1.150 mm en Guadalupe y Pisuaga. Asimismo, se considera una infiltración del 50% en las calizas de Amasa y Guadalupe y del 80% en Pisuaga. Según ésto, los recursos renovables serían 6,8 Hm³/año, siendo las salidas conocidas del orden de 4,5 Hm³. Existe, por tanto, un flujo difuso al río Oria que se evalúa en 2,3 Hm³/año, más el agua que se infiltra a la subunidad de las cuencas externas que al menos debe ser de 1 Hm³/año, es decir, el 10% aproximadamente de la lluvia útil.

**Subunidad Otsabio:**

- Afloramientos materiales permeables: 8 km², se infiltra el 70%.

- Materiales de baja permeabilidad vertientes: 4 km², se infiltra el 10%.

Admitiendo un valor de lluvia útil de 1.200 mm, una infiltración sobre las calizas urgonianas del 70%, y un 10% de las cuencas externas impermeables, se obtienen unos recursos de 7,2 Hm³/año. Las salidas conocidas son del orden de 3 Hm³/año, por lo que existe un aporte al río Araxes y regata Jaizkugaña de unos 4,2 Hm³/año, drenados fundamentalmente en épocas de aguas altas.

En resumen, los recursos renovables de la unidad se han evaluado en 32 Hm³/año.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Se han realizado 400 análisis químicos de aguas de manantiales y sondeos, 41 del pluviómetro de Berastegi, y un número inferior de análisis bacteriológicos de manantiales. Asimismo, existen análisis isotópicos de los manantiales Urbeltza, Marijan y Galitxi y del pluviómetro de Berastegi. El mayor número de análisis se concentra en la subunidad Urbeltza, lo que permite conocer la evolución temporal de la hidroquímica.

Los manantiales Urbeltza, Kalparsoro, Igarategi e Insalus drenan aguas sulfatadas cálcicas con contenidos salinos elevados (hasta 700 mg/l), al igual que los sondeos perforados en el entorno del primero. El resto de las aguas son de naturaleza bicarbonatada cálcica con contenidos salinos más moderados.

El agua recogida en el pluviómetro de Berastegi sirve de referencia a la hora de analizar la hidroquímica de los acuíferos, siendo los valores medios de los parámetros más representativos los siguientes: conductividad 50,13 µS/cm, sulfatos 8,9 mg/l, bicarbonatos 23,5 mg/l, cloruros 4,9 mg/l, magnesio 0,49 mg/l, sodio 2,26 mg/l, potasio 0,26 mg/l, nitratos 1,7 mg/l. Las variaciones estacionales son importantes, alcanzándose los máximos contenidos en periodos estivales, en los que la conductividad alcanza valores de 130 µS/cm.

El carácter sulfatado y el grado de mineralización de los manantiales Urbeltza y Kalparsoro es acorde con la naturaleza geológica de los acuíferos a los que están ligados y al tiempo de permanencia en los mismos. No así en el caso de Insalus, salvo que se recurra a un origen profundo ligado a la presencia del accidente que limita el acuífero por el Norte, junto con la aportación de agua de recorrido más somero. El resto de las surgencias presentan aguas que son indicativas de acuíferos con menor capacidad de regulación natural.

El análisis de la evolución temporal del quimismo, en este caso la conductividad, de los manantiales más importantes (figura 6) y la determinación del coeficiente de variación (Urbeltza 0,08, Galitxi 0,13, Kalparsoro 0,24 y Marijan 0,33) da una idea de las posibles mezclas de aguas y del grado de regulación del sistema. Así, Urbeltza presenta una notable regulación. Galitxi, no presenta mucha regulación pero siempre recibe el mismo tipo de agua. Marijan y Kalparsoro presentan distintos tipos de agua, según la situación hidrológica.

A partir de los análisis de oxígeno-18 y tritio se han estimado los tiempos de permanencia del agua drenada por Urbeltza (4-6 años), Marijan (1-2 años) y Galitzi (inferior a 1 año).

Con respecto a la calidad bacteriológica, el único manantial exento de contaminación orgánica es Urbeltza, fenómeno achacable a la larga permanencia del agua en el acuífero antes de su salida al exterior.

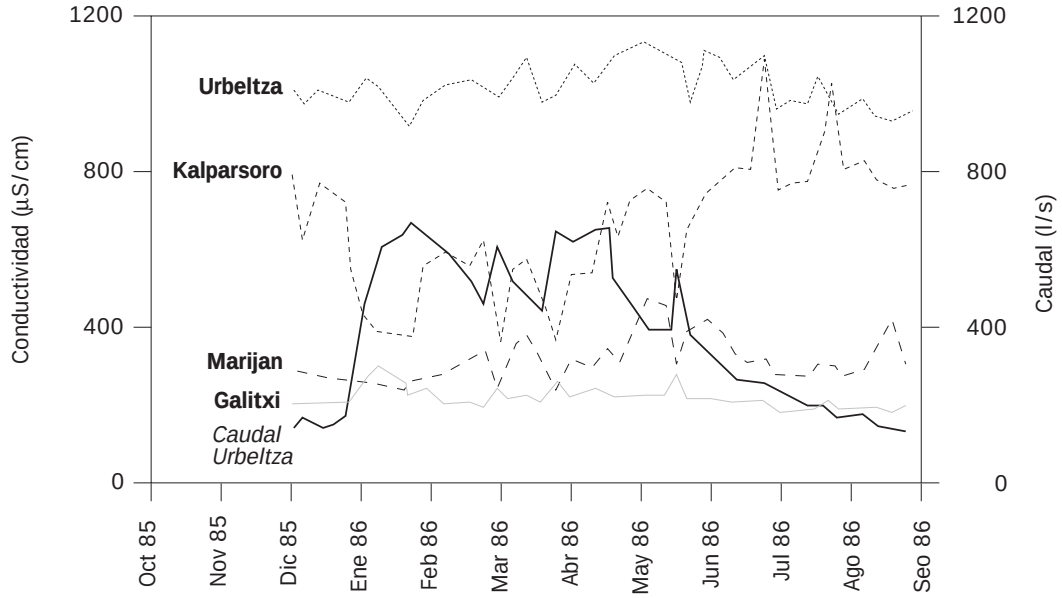



Figura 6. Evolución de la conductividad.

Respecto a la vulnerabilidad a la contaminación, se trata de materiales en general de alta permeabilidad y escaso poder depurador. Sin embargo, la posición geográfica de las áreas de recarga, mayoritariamente en zonas elevadas, limita notablemente el riesgo.

Los manantiales Insalus, cuyas aguas se comercializan, tienen declarado perímetro de protección.

## INVESTIGACION COMPLEMENTARIA

Los trabajos han estado centrados principalmente en la Subunidad Urbeltza**,** ya que es la que presenta a priori mejores condiciones para aumentar la regulación de sus recursos. Los trabajos más importantes realizados han sido:

**Sondeos**. En el cuadro 1 se presentan los datos más significativos, donde destacan los 4 sondeos de explotación construidos, de los cuales 3 tienen una elevada productividad.

| Tipología | Nº sondeos | M.L. perforado | Subunidad |
|---|---|---|---|
| Reconocimiento Rotación con testigo continuo | 6 | 1.157 | Urbeltza |
| Pequeño diámetro | 5 | 550 | Urbeltza Uzturre Escamas inferiores |
| Explotación | 4 | 950 | Urbeltza |

Cuadro 1. Sondeos perforados.

**Geofísica.** Se ha realizado geofísica en la depresión de Berastegi con objeto de estudiar el espesor del aluvial y en el barranco de Marijan a fin de obtener información sobre el substrato.

**Acidificaciones.** Se han realizado 3 desarrollos de pozos mediante ácido, habiéndose obtenido un incremento de caudal específico medio de un 12%.

**Ensayos de bombeo.** Se han realizado 5 ensayos de bombeo de los pozos de explotación, siendo el último de ellos conjunto de tres pozos con una duración de 150 horas y 300 l/s de caudal de bombeo.

## APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION

El aprovechamiento actual es muy elevado debido a dos factores: por un lado la elevada industrialización de la zona con numerosas empresas papeleras, núcleos urbanos importantes etc., y por otra parte la notable regulación natural que presentan las distintas subunidades, sobre todo las jurásicas, y el escaso número de manantiales, lo que facilita su captación.

Se puede estimar que el 70% de los recursos anuales de la unidad se aprovechan

(22,4 $Hm^3$). Así, los manantiales más importantes están captados por papeleras para producción de papel y energía eléctrica como Urbeltza, Marijan, Kalparsoro**.** Otros manantiales se usan como abastecimiento a municipios como Elduain e Ibarra (Galitxi)**,** Tolosa (Mahala Erreka, Pisuaga), Irura (Guadalupe), Alegia (Jaizkugaña), Villabona (Igarategi). El agua de los manantiales Insalus se comercializa como agua mineral.

Esta regulación natural se puede incrementar por medio del bombeo de agua de los acuíferos en los pozos de explotación existentes. Estos permiten aportar un caudal adicional al natural de estiaje de 100 l/s utilizables para aumentar el caudal y mejorar la calidad del agua en la cuenca del Oria.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**


IGME (1971). Estudio hidrogeológico de la provincia de Guipúzcoa.

DFG-SGOP (1983). Estudio de evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos del Territorio Histórico de Gipuzkoa. (EUROESTUDIOS-INGEMISA).

DFG (1986). Informe sobre la acidificación y bombeo de ensayo del pozo de Elduaien. (EUROESTUDIOS).

DFG (1987). Estudio hidrogeológico del área de Tolosa Oriental. (EUROESTUDIOS).

EVE-GV (1987). Síntesis hidrogeológica de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

SGOP (1987). Estudio Geofísico del entorno de Elduaien.

DFG (1987). Informe sobre el bombeo de ensayo del pozo Elduaien después de la 2ª acidificación. (EUROESTUDIOS).

EVE-DFG (1987). Informe técnico del sondeo de reconocimiento E-3. (EUROESTUDIOS).

SGOP (1988). Regulación del manantial Urbeltza.

DFG (1988). Informe sobre el pozo Elduaien II.

UPV-EHU (1988). Estudio hidroquímico del área de Elduaien.

DFG (1988). Informe técnico y bombeo de ensayo sobre el pozo de Villabona en Soderrore-Erreka. (EUROESTUDIOS).

DFG-SGOP (1988). Investigación geoeléctrica de la depresión de Berastegi. (INGEMISA).

DFG (1989). Informe de interpretación correspondiente al control y seguimiento del ensayo de bombeo conjunto de los pozos Elduaien I y II para el estudio de regulación del manantial Urbeltza. (NIÑEROLA).

EVE (1989). Sondeo de investigación hidrogeológica de Elduaien.

DFG (1990). Informe del Pozo Elduaien III.

DFG (1991). Informe de interpretación correspondiente al control y seguimiento del ensayo de bombeo conjunto de los pozos Elduaien III y I, para el estudio de regulación del manantial Urbeltza. (NIÑEROLA).

DFG (1992). Estudio hidrográfico de Berastegi. (GIGSA).

DFG (1992). Estudio de regulación del manantial Urbeltza (Elduaien, Gipuzkoa). (YACU).

DFG (1993). Informe del seguimiento, control e interpretación del ensayo de bombeo conjunto de los pozos Elduaien I, II y III entre el 3-10 de agosto de 1993. (NIÑEROLA).


| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Marijan | 580830 | 4776526 | 285 | 50 | Abastecimiento papelera. Producción hidroeléctrica |
| Galitxi | 587750 | 4776598 | 265 | 30 | |
| San José | 576770 | 4776483 | 95 | 30 | Abastecimiento papelera |
| Pisuaga | 576870 | 4778330 | 380 | 20 | 3 salidas en la regata Pisuaga |
| Mahala Erreka | 578100 | 4774870 | 185 | 50 | 2 manantiales muy próximos |
| Cantera | 578720 | 4774800 | 255 | >10 | |
| Berrobi | 579350 | 4776680 | 225 | 15 | |

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Oioko | 577340 | 4776400 | 225 | >10 | Abastecimiento de Beotibar y Polígono Ibarra |
| Guadalupe | 575644 | 4782110 | 100 | 20 | |
| Jaizkugaña | 575980 | 4771160 | 200 | 50 | 2 salidas en la regata Jaizkugaña |
| Kalparsoro | 580100 | 4777280 | 175 | 30 | Aprovechamiento industrial |
| Insalus | 578620 | 4711970 | 170 | 25 | Abastecimiento planta de envasado de agua mineral |
| Urbeltza | 580900 | 4776510 | 263 | 330 | Abastecimiento papelera. Producción hidroeléctrica |
| Igarategi | 577200 | 4781550 | 70 | >10 | Abastecimiento de Villabona |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Elduain-1 | 580850 | 4776301 | 266 | 120 | Regulación unidad. Dilución rio Oria |
| Elduain-2 | 581042 | 4776146 | 281 | 50 | Regulación unidad. Dilución rio Oria |
| Elduain-3 | 580702 | 4776273 | 300 | 150 | Regulación unidad. Dilución rio Oria |
| Sodedorre | 577430 | 4782111 | 95 | 7 | Abastecimiento municipal |
| Guadalupe | 576160 | 4779000 | 95 | 15 | Abastecimiento de Irura |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA ERNIO

## GENERALIDADES

Se localiza en la zona septentrional del Territorio Histórico de Gipuzkoa, extendiéndose entre los núcleos de Tolosa y Urnieta.

En el extremo Sur se localiza uno de los relieves más característicos de la zona, el monte Ernio (1.075 m), máxima cota de la unidad. El río Oria en las proximidades de la localidad Oria constituye el punto más bajo de la unidad, a cota 30 m.




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

El área delimitada, con una superficie total de unos 53 km$^2$, pertenece hidrográficamente casi en su totalidad a la cuenca del río Oria, constituyendo las cuencas de los afluentes Alkiza, Asteasu y de otros arroyos de menor entidad. No obstante, se localizan pequeñas porciones del área de recarga en la cuenca del río Urola (2,6 km$^2$) y del Urumea (1 km$^2$).

La vegetación es variada y consiste pincipalmente en frondosas, especialmente asociadas a los afloramientos urgonianos, coníferas de repoblación, básicamente *Pinus radiata,* y frutales y pastizales en las vegas y proximidades de núcleos de población. La cabaña ganadera, especialmente la bovina, es muy importante.

Administrativamente la unidad comprende terrenos de los términos municipales de Aduna, Albiztur, Alkiza, Andoain, Anoeta, Asteasu, Bidegoian, Errezil, Hernialde, Larraul, Tolosa, Urnieta, Villabona y Zizurkil.

Aunque integrada en el Dominio Hidrogeológico Anticlinorio Norte, incluye en su descripción términos correspondientes al Dominio Cretácico superior (figura 1).

## GEOLOGIA

Está constituida, principalmente, por los materiales más antiguos del denominado Arco Vasco, desde el Permotrías hasta el Cretácico inferior. Se diferencian los siguientes términos:

Areniscas cuarzo-feldespáticas y limolitas rojas, en la base microconglomerados (94). Conjunto del Permotrías de materiales de carácter granodecreciente al que se le calcula una potencia de 400-600 m. Aparece orlando el macizo de Cinco Villas y se le atribuye un medio de depósito de abanico aluvial para el tramo inferior y llanura aluvial a techo.

Arcillas abigarradas y yesos (95). Ofitas (96). Rocas volcanoclásticas (97). Constituye el Keuper autóctono. El primer término diferenciado consiste en arcillas con niveles de yesos. Engloban masas muy importantes de rocas ofíticas con frecuencia muy alteradas, constituyendo la representación mayoritaria del Keuper en la zona. El tercer término lo forman rocas volcánicas brechoides con afloramientos de muy escasa entidad.

Carniolas, calizas grises y dolomías laminadas (98). La serie calizo-dolomítica del Lías inferior suele presentar en su base carniolas y brechas intraformacionales sobre las que se disponen calizas grises, calizas dolomíticas y pasadas de carniolas. A techo aparecen dolomías blancas laminadas y calizas. La potencia total de la serie en la zona no supera los 100 m al hallarse el contacto de muro mecanizado.

Margas y margocalizas grises (99). Este término, Lías margoso, está constituido por una alternancia en bancos decimétricos de margas

gris-azuladas, margocalizas y calizas arcillosas, con abundante pirita y restos de fauna, especialmente Belemnites y Anmonites. La potencia de este término en la zona es de unos 200 m.

Calizas bioclásticas y calizas nodulosas con sílex (100). Conocido como Dogger calizo, se trata de un tramo compuesto por calizas grises y negras tableadas, con alguna intercalación margosa. La potencia media de este termino es de unos 90 m.

Margas arenosas y limolitas (101). Compuesto por margas arenosas gris oscuras y negras micáceas con alguna pasada de calizas arenosas y limolitas rojo vino. La potencia máxima de afloramiento en la zona es de unos 100 m.

Calizas grises estratificadas (calizas de Sérpulas) (106). Calizas gris oscuro y negras, laminadas y estratificadas en bancos decimétricos de edad Jurásico terminal-Neocomiense. La potencia de este término, en la zona considerada, puede alcanzar los 150 m.

Alternancia de limolitas calcáreas, margas y calizas impuras (108). Facies de implantación urgoniana. En la zona este término está compuesto por lutitas (pizarras) negras con intercalaciones de margas arenosas con una potencia máxima de unos 50 m.

Calizas arrecifales (rudistas y corales dominantes) (109). Constituyen los afloramientos más típicos del complejo Urgoniano. En la zona considerada, consisten en calizas micríticas y bioclásticas generalmente masivas pero también estratificadas en bancos potentes, con abundantes rudistas y corales y con una potencia máxima de unos 500 m.

Grauvacas negras, arenas y limos rojos y versicolores (112). Estos materiales, pertenecientes también a la facies de implantación urgoniana, se presentan en la zona con potencias de hasta 300 m. La litología principal consiste en grauvacas negras, mal estratificadas con frecuentes concrecciones férricas que proporcionan un característico color de alteración rojo.

Alternancia de lutitas negras y areniscas (120). Alternancia de areniscas y lutitas (121). Flysch negro del complejo Supraurgoniano. Constituye una potente sucesión de origen turbidítico que en la zona alcanza los 250 m. Se trata de una alternancia de lutitas y areniscas en distinta proporción lo que permite la diferenciación de dos términos, uno predominantemente lutítico y el otro areniscoso.

Alternancia de margas y margocalizas (141). Flysch calcáreo del Cretácico superior. Compuesto por una sucesión de margas grises y azuladas, muy esquistosas, con ocasionales intercalaciones de bancos delgados de calizas.

Aluviales, aluvio-coluviales (200). Gravas, de composición muy variable en función del área fuente, arenas y arcillas que conforman las llanuras aluviales o las zonas de borde de estos depósitos. Los espesores en la zona son reducidos, inferior a la docena de metros.

La estructura de la zona es muy compleja. El sector más meridional está constituido por el sinclinal volcado de Ernio, que verge al Norte y en el que afloran todos los términos anteriormente descritos desde el Permotrías hasta el complejo Supraurgoniano. El sector septentrional constituye el flanco meridional de un sinclinal cuyo eje tiene una dirección NE-SO y limitado al Este por los materiales del Keuper que afloran a lo largo del Oria. El conjunto se encuentra fuertemente replegado y fracturado, observándose abundantes fenómenos diapíricos.

**HIDROGEOLOGIA**

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

La serie aflorante en la unidad presenta numerosos términos con una permeabilidad alta, aunque la extensión de los mismos limita en la mayor parte de los casos su interés hidrogeológico.

El término compuesto por las carniolas, calizas grises y dolomías laminadas (98) del Lías inferior presenta una permeabilidad alta constituyendo acuíferos kársticos de flujo difuso. La circulación se realiza a través de una tupida red de planos de fractura y estratificación ensanchados por disolución y karstificación. Los niveles de carniolas componen el término más permeable de la sucesión al combinarse los procesos de karstificación con la notable porosidad diagenética que genera la dolomitización y posterior disolución de cantos blandos.

Las calizas bioclásticas y calizas nodulosas con sílex (100) del Dogger se caracterizan por una permeabilidad alta constituyendo pequeños acuíferos de tipología kárstica *sensu stricto*, con un comportamiento análogo al de las calizas

grises estratificadas (calizas de Sérpulas, 106) que afloran, así mismo, en forma de bandas poco potentes en el flanco Sur del sinclinal de Ernio.

Separadas de los términos expuestos por materiales de baja permeabilidad se disponen las calizas arrecifales (109). Caracterizadas por una permeabilidad global alta, afloran fundamentalmente ocupando amplias superficies en el núcleo del sinclinal de Ernio. Tipológicamente constituyen acuíferos kársticos en sentido estricto donde el flujo se jerarquiza y canaliza rápidamente a través de grandes colectores.

Los depósitos aluviales y aluvio-coluviales (200) del Oria y sus afluentes poseen una permeabilidad alta, constituyendo niveles acuíferos de escasa potencia y extensión. La naturaleza no consolidada de los mismos hace que se puedan alcanzar valores locales de la permeabilidad muy elevados, asociados a las granulometrías más gruesas, conectando distintos acuíferos entre sí o enmascarando el drenaje de algunos de los términos descritos.

Del resto de los términos aflorantes, únicamente las ofitas (96) alcanzan una permeabilidad media, propiciada por procesos de meteorización. Se consideran de baja permeabilidad los materiales 94, 97, 99, 101, 108, 112, 121 y 141, y de muy baja permeabilidad los materiales 95 y 120.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

La superficie total considerada es de unos 53 km$^2$, si bien los términos permeables con interés hidrogeológico se encuentran muy fragmentados, separados con frecuencia por materiales de baja permeabilidad ocupando una superficie conjunta algo superior a 20 km$^2$.

En función de criterios hidrogeológicos y descriptivos se han establecido los siguientes límites de la unidad:

Se considera la falla de Errezil y la alternancia de limolitas y margas (108) del núcleo del anticlinal de Urkizu como límite meridional con la Unidad Hidrogeológica Albiztur. La no existencia de un borde impermeable continuo permite esperar una cierta conexión entre ambas unidades, con una recarga limitada de la Unidad Albiztur por la Unidad Ernio.

El límite Norte se fija en la divisoria de aguas superficiales de la cuenca del río Abalotz.

El límite occidental de la unidad lo constituyen los afloramientos del Lías margoso (101) y las limolitas y margas (108) que constituyen el collado entre los macizos de Ernio y Gatzume (Unidad Hidrogeológica Gatzume), y las lutitas negras y areniscas (120) que constituyen la divisoria de aguas entre los arroyos Asteasu e Iruraerreka.

Finalmente, el límite Este se ha fijado en el río Oria que discurre por las cotas inferiores de la unidad y constituye el eje de drenaje de los principales puntos de agua de la misma.

La unidad carece de un sustrato impermeable común a todos su términos cumpliendo este papel diversas litologías en función de la subunidad y acuífero considerado. En efecto, la unidad aparece constituida por un gran número de sectores complejamente interrelacionados, por lo que parece más adecuado abordar su descripción a este nivel.

*SUBUNIDADES. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. PARAMETROS*

Se han definido 2 subunidades, coincidentes con las estructuras geológicas más relevantes: la Subunidad Ernio y la Subunidad Andoain. Estas se dividen, a su vez, en 9 sectores de dimensiones y características dispares constituidos por uno o más acuíferos. En el cuadro 1 y en la figura 2 se presentan los sectores diferenciados, cuyas principales características se describen a continuación.

| | | | SUPERFICIE (km$^2$) | |
|---|---|---|---|---|
| *SUBUNIDAD* | *SECTOR* | *ACUIFERO* | *Afloramiento* | *Cuenca vert.* |
| *Andoain* | *Buruntza* | *Urgoniano Buruntza* | *2,2* | *0,5* |
| | *Aduna* | *Lías Aduna* | *0,4* | *2,8* |
| | *Lepasoro* | *Urgoniano Lepasoro* | *0,8* | *5* |
| | *Aldaia* | *Urgoniano Aldaia* | *1,3* | *1,7* |
| | | *Lías Asteasu* | *0,8* | *1,4* |
| *Ernio* | *Matxinzulo* | *Lías Matxinzulo* | *1,9* | *5,8* |
| | *Anoeta* | *Lías Anoeta* | *0,8* | *2,7* |
| | *Hernialde* | *Lías Hernialde* | *0,8* | *3* |
| | *Tolosa* | *Lías Tolosa* | *2* | *2,5* |
| | | *Urgoniano Urkizu* | *0,4* | *-* |
| | *Ernio* | *Urgoniano Ernio (1)* | *8,5* | *4,3* |
| | | *Lías Arraia* | *0,8* | *2,3* |
| *Total* | | | *20,7* | *32* |

*(1) Urgoniano + Jurásico superior*

Cuadro 1. Subunidades y Sectores.

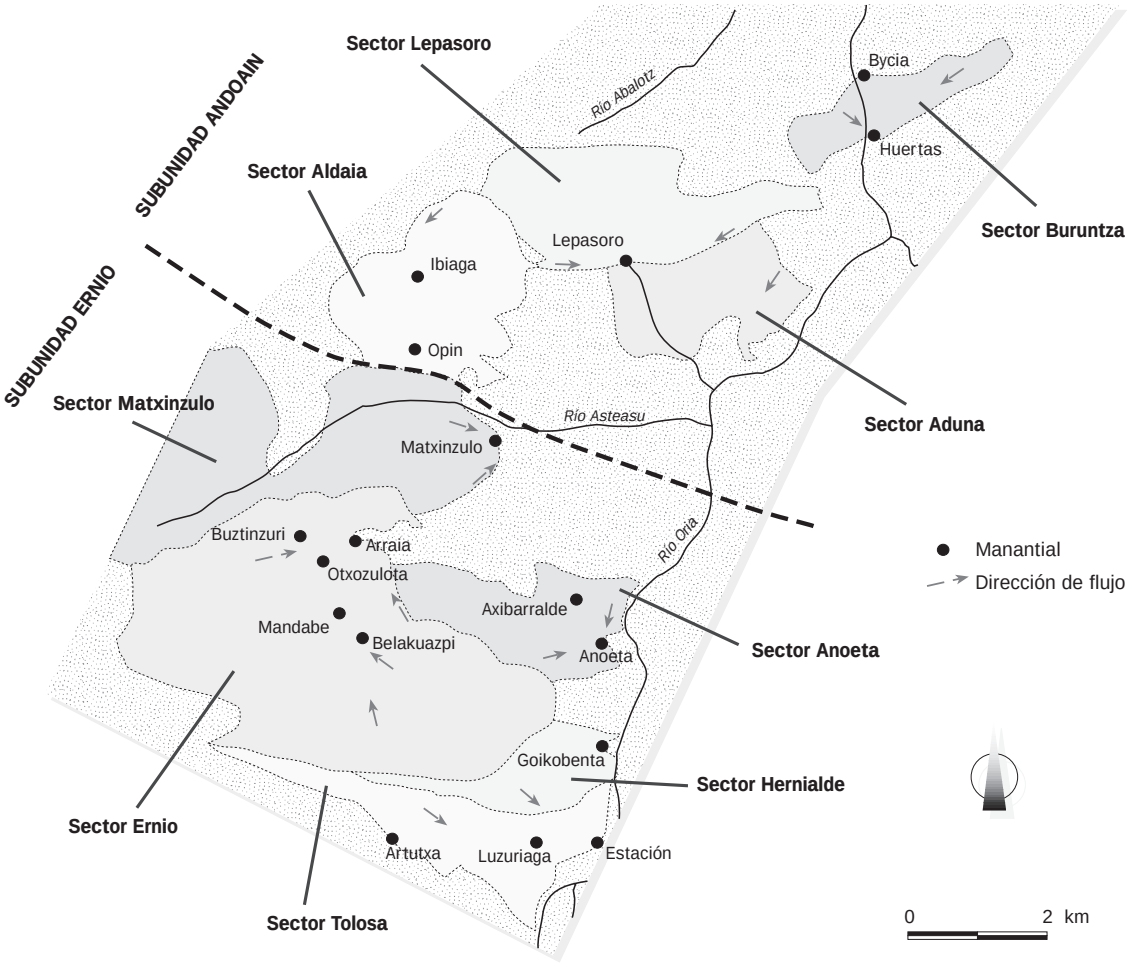



Figura 2. Esquema de subunidades y sectores.

**Subunidad Ernio**

Agrupa los sectores señalados en el cuadro 1.

**Sector Ernio**

Por su extensión y recursos es el sector principal, ocupando el sinclinal del mismo nombre. Se han diferenciado dos acuíferos: Ernio y Arraia, constituidos por materiales urgonianos y jurásicos respectivamente.

La alimentación del acuífero Ernio procede de la infiltración de la precipitación caída principalmente sobre los afloramientos de calizas (109), pero también sobre los términos carbonatados jurásicos (100, 106) y por la infiltración de la escorrentía procedente de la cuenca vertiente de los detríticos (121) que ocupan el núcleo del sinclinal. Los materiales detríticos basales (108) constituyen el sustrato impermeable e imponen las condiciones de borde condicionando el funcionamiento hidrogeológico del sector.

El drenaje principal se realiza por los manantiales **Mandabe** y **Belakuazpi.** Situados a cotas 375 y 325, en la cabecera del arroyo Alkiza, tienen un caudal medio estimado del orden de 100 l/s, con puntas superiores a 1.000 l/s y caudales de estiaje de 20-30 l/s. En una situación geológica análoga, pero a cota algo superior (375 y 385) y en la cuenca del Arraia, se localizan **Buztinzuri** y **Otxozulota** con un caudal medio estimado de 20 l/s.

Por razones de balance hidrológico y por las características hidroquímicas que luego se expondrán, es evidente que parte de los recursos de este acuífero pasan a alimentar el acuífero Arraia. Del mismo modo, no se pueden descartar posibles conexiones menores con otros sectores de la subunidad.

El esquema hidráulico del acuífero urgoniano de Ernio responde al de un acuífero kárstico en sentido estricto de funcionamiento libre, aunque localmente pueda ser confinado. La precipitación caída se infiltra rápidamente a través de una densa red de fracturas karstificadas. Por medio de una jerarquizada red tridimensional se conduce a los colectores principales que alimentan las surgencias. Estos conductos pueden presentar importantes dimensiones, alcanzando el mayor fenómeno espeleológico descrito en la unidad, Sabesaiako leizea, un desnivel visitable total de 340 m y un desarrollo superior a 2 km. El gradiente de la superficie piezométrica es bajo, inferior al 1%, tal y como corresponde a la tipología del acuífero.

El otro acuífero diferenciado en el sector, Arraia, se alimenta por la infiltración de la precipitación caída sobre los afloramientos permeables y de la escorrentía aportada por la cuenca vertiente, y por transferencia directa de recursos desde el acuífero suprayacente, el urgoniano de Ernio.

El drenaje de este acuífero se realiza a través de los manantiales **Arraia**. Emplazados en las proximidades del contacto entre el Lías y los materiales triásicos, que constituyen el sustrato impermeable en la zona, presentan caudales punta superiores a los 1.000 l/s y mínimos del orden de pocas decenas de l/s. Su caudal medio es de 75 l/s.

**Sector Tolosa**

Se sitúa al Sur de la zona definida. Está formado por los afloramientos calizo-dolomíticos liásicos (98) y urgonianos (109) que afloran en el núcleo de la estructura anticlinal existente al SE de Ernio. El anticlinal presenta su núcleo fallado e intensamente tectonizado y su extremo occidental se encuentra, asi mismo, cepillado. El límite oriental de la estructura son los afloramientos triásicos del Oria, cubiertos por el aluvial, que constituyen el sustrato impermeable de la formación. Los afloramientos permeables se sitúan a cotas muy variables entre los 800 y los 80 m. La recarga de este sector procede exclusivamente de la infiltración de la precipitación caída sobre los propios afloramientos y del drenaje de una cuenca vertiente de unos 2,5 km$^2$.

Se diferencian dos acuíferos: Tolosa y Urkizu, constituidos por materiales jurásicos y urgonianos respectivamente.

El primero es drenado por el manantial **Estación**, con caudales medios de 35 l/s, y **Luzuriaga**, con caudal entre 5 y 10 l/s. Es de esperar que un volumen notable de recursos sea aportado al río Oria, enmascarado por el aluvial, tal como lo confirma el sondeo Estrella.

En el otro acuífero diferenciado, Urkizu, la disposición del sustrato impermeable, margas y limolitas de la facies de implantación urgoniana (108), genera el manantial de **Artutxa** (Qm=5 l/s), manantial de rebose que drena buena parte del paquete a cota 500. No obstante, dada la geometría del acuífero se puede esperar que parte del drenaje pase a alimentar el acuífero Tolosa, al Norte, o incluso pueda ser drenado por el manantial Igaran situado en la Unidad Hidrogeológica Albiztur.

**Sector Hernialde**

Se localiza al Norte del anterior comprendiendo, casi en su totalidad, el valle de Hernialde. El acuífero está constituido básicamente por materiales calizo-dolomíticos (98) del Lías inferior dispuestos en una suave estructura anticlinal que se sumerge hacia el Oeste. Esta estructura se encuentra truncada al Oeste por un sistema de fracturas que la relaciona con el sinclinal de Ernio y provoca la existencia de otro afloramiento liásico de dimensiones menores. La recarga procede de la infiltración de la precipitación caída sobre los propios afloramientos, asi como la escorrentía procedente de una cuenca vertiente de unos 3 km$^2$ de superficie.

El drenaje se realiza al río Oria y de forma difusa a las regatas de la zona que drenan un caudal medio estimado, en función de los aforos diferenciales realizados, en 20 l/s. El único manantial de importancia inventariado es **Goikobenta**, de caudal medio 5 l/s. Los sondeos Hernialde-1 y Hernialde-3, aunque con un funcionamiento estacional, extraen caudales considerables para el abastecimiento de Tolosa (caudal de explotación conjunto de 40 l/s). Los ensayos de bombeo realizados en estos sondeos arrojan valores de la transmisividad comprendidos entre 0,25 y 150 m$^2$/día, y valores del coeficiente de almacenamiento, correspondientes a un acuífero confinado, de 1,4 x $10^{-5}$ a 3,6 x $10^{-5}$. Los caudales específicos obtenidos son de 0,3 l/s/m para un caudal de bombeo de 20 l/s en el sondeo Hernialde-3. Los ensayos realizados reflejan fenómenos que aparentan corresponder a semiconfinamiento, aunque parece más probable que se trate de fenómenos de flujo

complejo, relacionados con un desarrollo deficiente del acuífero en el entorno del pozo.

**Sector Anoeta**

Se localiza al Norte del anterior coincidiendo con el valle del arroyo Alkiza. La serie del Lías inferior (98) constituye, también en este caso, el acuífero principal. Los afloramientos se disponen ocupando la confluencia entre el arroyo Alkiza y el río Oria y a lo largo de la margen derecha del arroyo Alkiza, ocupando una delgada banda en la base del sinclinal de Ernio.

La recarga del acuífero liásico procede principalmente de infiltración de la aportación de la cuenca vertiente. Otras vías de recarga son la precipitación sobre los propios afloramientos y la posible transferencia de recursos desde el sector Ernio. La descarga del acuífero se produce a través de una serie de puntos de agua emplazados a distinta cota, lo que es indicativo de una mala conexión hidraúlica de los mismos. Los principales puntos de drenaje inventariados son los manantiales de **Anoeta** (Qm=10 l/s) y **Axibarralde** (Qm=5 l/s) y el sondeo Anoeta, que se utiliza en el abastecimiento del pueblo del mismo nombre, durante el estiaje, con un caudal de unos 4 l/s.

Los valores de transmisividad calculados a partir del bombeo del sondeo Ospelalde son de casi 2.000 $m^2$/día. Los caudales específicos obtenidos son también elevados, superiores a 10 l/s/m, si bien se hallan influenciados por la cercanía de una barrera positiva, el arroyo Alkiza.

**Sector Matxinzulo**

El acuífero principal está constituido, una vez más, por los materiales calizo-dolomíticos (98) del Lías inferior que se localizan entre los arroyos Asteasu y Arraia. A cotas superiores, en las inmediaciones del núcleo de Larraul, se localizan algunos afloramientos de calizas bioclásticas y calizas nodulosas con sílex (100) de extensión e interés muy reducido.

La recarga procede de la infiltración de la precipitación caída sobre los propios afloramientos y la aportación de la cuenca vertiente. El drenaje se realiza principalmente por el manantial **Matxinzulo**, localizado en el contacto Lías-Keuper, con un caudal medio estimado de 70 l/s, y otros manantiales de menor entidad.

La colmatación de las fisuras y conductos parece ser importante y llega a reducir de un modo muy notable la permeabilidad de la formación cuando adopta la forma de depósitos arcillosos, como se ha observado en sondeos perforados en la zona.

**Subunidad Andoain**

Agrupa los sectores de la mitad septentrional de la unidad.

**Sector Aldaia**

Se sitúa en el extremo occidental de la subunidad Andoain. Los materiales acuíferos son las calizas y dolomías (98) del Lías inferior y, principalmente, las calizas urgonianas (109). La recarga procede de la infiltración de la precipitación caída sobre los propios afloramientos permeables, así como por la aportación de la cuenca vertiente. La descarga del acuífero urgoniano se produce por los manantiales **Ibiaga**, con un caudal medio conjunto de unos 25 l/s, y **Opin**, surgencia de menor entidad localizada en el extremo Sur de la barra urgoniana y con un caudal medio del orden de 5 l/s. La descarga de los materiales jurásicos, localizados aguas abajo de los anteriores, se realiza a través de varias surgencias de pequeña entidad. Los afloramientos de la zona presentan una importante colmatación arcillosa con la consiguiente reducción de la permeabilidad que ello acarrea.

**Sector Lepasoro**

El sector Lepasoro se extiende al Este del anterior. La recarga del acuífero procede de la infiltración de la precipitación caída sobre los propios afloramientos y de la infiltración, a su paso por las calizas, de la regata Antzibar. El drenaje se produce por el grupo de surgencias **Lepasoro**, con un caudal medio de 100 l/s, que se localizan en las proximidades del contacto de las calizas (109) con las grauvacas negras (112), sustrato impermeable del acuífero en la zona.

El grado de colmatación de la zona saturada del acuífero, en áreas que no constituyen conductos principales, es importante, tal y como ha sido puesto en evidencia con la perforación del sondeo Lepasoro-2. En consecuencia se produce una reducción de la permeabilidad de las vías de circulación afectadas, que puede ser casi total en función de la granulometría de los depósitos, y un empeoramiento de las características físicas del agua debido a la presencia de los arrastres. Los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento obtenidos en las distintas pruebas reali-

zadas, están comprendidos entre 37 y 132 $m^2$/día y 3 x $10^{-2}$ y 9 x $10^{-3}$ respectivamente. El caudal específico obtenido es de 1,2 a 1,6 l/s/m en función del caudal y tiempo de referencia considerado, observándose una neta disminución del mismo con el tiempo de bombeo y la consiguiente reducción del espesor saturado. Por otra parte, el control de los niveles realizado en el piezómetro adjunto revela unas importantes pérdidas de carga en el entorno inmediato del sondeo, que para caudales superiores a 60 l/s, ocasionan más del 50% del descenso total experimentado en el sondeo.

**Sector Aduna**

Está situado al Sur del anterior y en su mayor parte en contacto con el aluvial del Oria. El acuífero está constituido por un conjunto de pequeños afloramientos liásicos (98) que son alimentados por la precipitación recibida y por la aportación de una cuenca vertiente de unos 2,8 $km^2$. El drenaje se realiza por una serie de manantiales menores y por salidas no visibles al aluvial.

**Sector Buruntza**

El último sector diferenciado es el de Buruntza, situado en el extremo Norte de la Subunidad Andoain y constituido por los afloramientos urgonianos localizados en ambas márgenes del río Oria. La recarga procede básicamente de la infiltración de la precipitación recibida por los propios afloramientos y la aportada por una pequeña cuenca vertiente. La circulación se realiza principalmente hacia el río Oria; no obstante una pequeña parte se dirige hacia el Este, en la cuenca del Urumea.

El drenaje se produce principalmente por los manantiales **Bycia** y **Huertas**, con caudales medios de 30 y 15 l/s respectivamente.

Al margen de los citados, existe un número elevado de puntos de agua con caudales superiores a 1 l/s asociados tanto a los sectores señalados como a pequeños lentejones e intercalaciones de calizas que se disponen entre las grauvacas de la facies de implantación urgoniana (112).

*BALANCE HIDRICO*

La estimación de los recursos correspondientes a cada uno de los sectores considerados es relativamente compleja. La información hidrológica disponible consiste principalmente en aforos puntuales de los puntos de agua descritos. Unicamente el conjunto de surgencias de Lepasoro ha sido objeto de control continuo, mediante la instalación de dos estaciones de aforo, aguas arriba y aguas abajo del sector. Para la realización del balance se considerará esta información así como la procedente de otros estudios realizados en áreas del entorno.

En función de los datos de las estaciones pluviométricas de Lasarte, Villabona y Andoain se considera una precipitación media para la zona de 1.500 mm/año, variando la temperatura anual entre 10°C en las zonas altas de Ernio y 13°C en el área Norte de la Subunidad Andoain. En función de las distribución media mensual de estos parámetros se obtiene un valor promedio Turc-Coutagne de la evapotranspiración real de 500 mm para las áreas más elevadas de la unidad y 580 mm para el resto, lo que significa unos valores de la lluvia útil de 1.000 y 920 mm/año respectivamente.

En el cuadro 2 se resumen los resultados obtenidos, basados en los siguientes supuestos:

- Afloramientos urgonianos. A pesar de presentar fuertes pendientes, posee amplias áreas de lapiaz descubierto en las que la lluvia útil es superior a la calculada y la infiltración es próxima al 100%.

- Cuenca vertiente sobre los materiales urgonianos. Constituida en general por la alternancia de areniscas y lutitas del complejo Supraurgoniano. La infiltración del caudal aportado a su paso por las calizas se considera completa (100%) en los acuíferos Ernio y Buruntza dada la extensión de la zona de infiltración y el elevado gradiente existente. Para el sector Lepasoro, teniendo en cuenta el alto potencial hídrico de los afloramientos y la muy escasa longitud de cauce en calizas, este coeficiente se reduce a un 10%. En el acuífero Aldaia se combinan las dos circunstancias anteriores por lo que se ha aplicado un coeficiente del 60% sobre la escorrentía vertiente.

- Afloramientos del Jurásico superior englobados en el acuífero Ernio. Se les atribuye un coeficiente de infiltración del 50% de la lluvia útil sobre los afloramientos y del 30% de la aportación de la cuenca vertiente.

- Afloramientos liásicos. A pesar de la morfología de los afloramientos, dispuestos con frecuencia en forma de delgadas franjas, se les ha atribuido un coeficiente de infiltración del 80%

| | ENTRADAS Hm$^3$ | | | | | SALIDAS Hm$^3$ | | | OBSERVACIONES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ACUIFERO | Aflora.(1) | C.Verti. (2) | Transf. (3) | Otras (4) | *Total* | Visibles | Otras (5) | *Total* | |
| Urgoniano Buruntza | 1,6 | 0,5 | | | *2,1* | 2,1 | | *2,1* | 0,2 Hm$^3$ a cuenca Urumea |
| Lías Aduna | 0,2 | 0,5 | | | *0,7* | 0,7 | | *0,7* | |
| Urgon. Lepasoro | 0,6 | 0,5 | 0,9 | 1,3 | *3,2* | 3,2 | | *3,2* | 1,3 Hm$^3$ de Supraurgoniano |
| Urgoniano Aldaia | 1,0 | 0,9 | | | *1,9* | 1 | 0,9 | *1,9* | 0,9 Hm$^3$ a Lepasoro |
| Lías Asteasu | 0,4 | 0,3 | | | *0,7* | 0,3 | 0,4 | *0,7* | 0,4 Hm$^3$ a río Asteasu |
| Lías Matxinzulo | 1,4 | 1,4 | | | *2,8* | 2,6 | 0,2 | *2,8* | 0,2 Hm$^3$ a río Asteasu |
| Lías Anoeta | 0,6 | 1,1 | | | *1,7* | 0,5 | 1,2 | *1,7* | 1,2 Hm$^3$ a aluvial Oria |
| Lías Hernialde | 0,6 | 1,1 | | | *1,7* | 1 | 0,7 | *1,7* | 0,7 Hm$^3$ a aluvial Oria |
| Lías Tolosa | 1,5 | 1 | 0,1 | | *2,6* | 1,5 | 1,1 | *2,6* | 1,1 Hm$^3$ a aluvial Oria |
| Urgoniano Urkizu | 0,3 | | | | *0,3* | 0,2 | 0,1 | *0,3* | 0,1 Hm$^3$ a Lías Tolosa |
| Urgoniano Ernio* | 6 | 2,7 | | | *8,9* | 7,7 | 1,2 | *8,9* | 1,2 Hm$^3$ a Lías Arraia |
| Lías Arraia | 0,4 | 0,8 | 1,2 | | *2,4* | 2,4 | 0,0 | *2,4* | |
| **TOTAL** | 14,8 | 10,7 | 2,2 | 1,3 | **29,0** | 23,2 | 5,8 | **29,0** | |

Cuadro 2. Balance hídrico.

* Urgoniano + Jurásico superior
(1) Aportación de afloramientos permeables
(2) Aportación cuenca vertiente
(3) Recursos transferidos desde otros sectores
(4) Recursos procedentes del exterior de la unidad
(5) Salidas a otros sectores de la unidad

que se ajusta bastante bien a los recursos estimados para los manantiales. Los acuíferos Asteasu y Aduna se consideran excepcionales debido a la importante colmatación arcillosa que parecen presentar. Por ello el coeficiente de infiltración estimado para estos sectores se ha reducido a un 60%. Este mismo coeficiente se ha aplicado en los afloramientos de Arraia (Sector Ernio) dada la morfología particularmente alargada de los mismos.

- Cuenca vertiente sobre afloramientos liásicos. Se han diferenciado dos casos principales:

a. Cuenca vertiente emplazada en materiales jurásicos que alimenta a los Sectores Matxinzulo, Hernialde y Tolosa. Dadas las superficies de contacto que presentan se les ha atribuido un coeficiente de infiltración del 40%.

b. Cuenca vertiente emplazada en materiales jurásicos y cretácicos que alimentan a los acuíferos Aduna, Asteasu, Anoeta y Arraia. En función de la colmatación observada y/o de que la superficie de infiltración se reduce en casi todos los casos al cauce de los arroyos, Usarrobi, Alkiza, etc., se estima un coeficiente del 20%. Se considera la aportación a los cauces de los puntos de agua situados aguas arriba, que drenan otros acuíferos de la unidad, reduciendo su influencia al estiaje y estimando esta en un 5% del caudal medio de los mismos.

Como se observa en el cuadro 2, los recursos totales de la unidad son de 29 Hm$^3$/año de los que 26 corresponden a recursos netos, básicamente infiltración de la precipitación caída sobre los afloramientos y de la aportación de la cuenca vertiente, y el resto a transferencias entre sectores.

Unicamente Lepasoro parece presentar un volumen significativo de recursos transferidos desde otro sistema externo. En efecto, la instalación de dos estaciones de aforo en la regata Antzibar permite cifrar los recursos del sector en algo más de 3 Hm$^3$/año, de los que 0,6 corresponden a infiltración de la precipitación caída en las calizas y 0,4 a infiltración de la regata a su paso por las calizas. El resto corresponde a transferencia desde el Sector Aldaia, estimada en 0,9 Hm$^3$, por lo que quedan del orden de 1,3 Hm$^3$/año cuyo origen es incierto. Los materiales supraurgonianos (120) emplazados a techo, están constituidos por una alternancia de lutitas y areniscas que se han calificado globalmente como de permeabilidad muy baja. Ello no impide que localmente se presenten bancos de areniscas de potencias próximas al centenar de metros que poseen una permeabilidad media y que puedan ejercer el papel de colectores de la infiltración producida en otros niveles menores. En la parte oriental estos materiales pasan a términos más areniscosos (121) de permeabilidad baja y localmente media enclavados en la cuenca del Abalotz. Han de ser, pues, estos

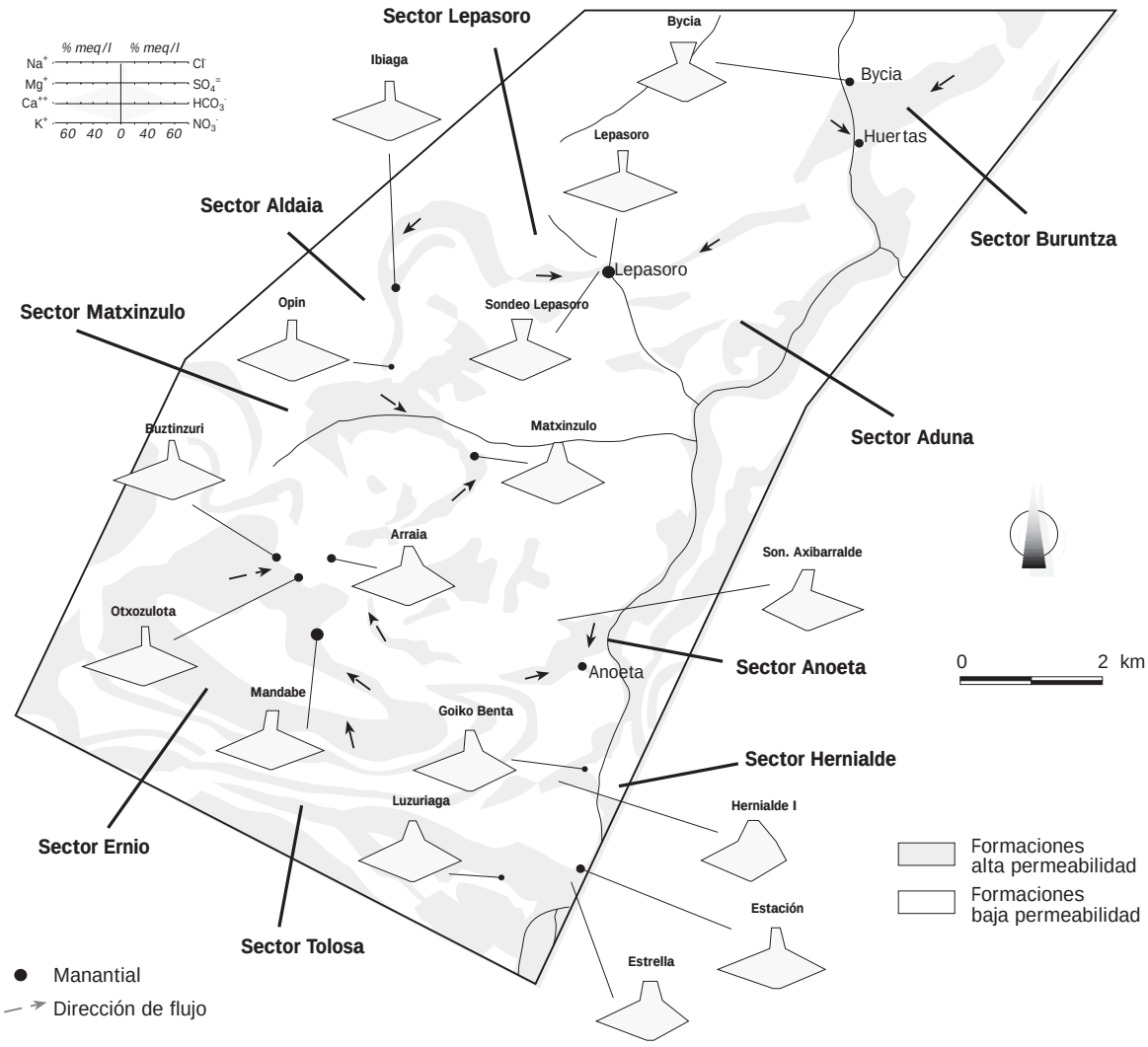



Figura 3. Diagramas de Stiff de análisis químicos representativos.

materiales supraurgonianos los que aportan el caudal excedentario, probablemente por transferencia a lo largo de todo el contacto con las calizas.

El Sector Ernio aparece como el más importante en cuanto a recursos con un total de más de 10 $Hm^3$/año. Los acuíferos jurásicos poseen unos recursos globales de casi 14 $Hm^3$/año. No obstante, la gran compartimentación que presentan hace que los recursos del mayor de los acuíferos liásicos definidos, el de Matxinzulo, se reduzcan a 2,8 $Hm^3$/año. Por otra parte, hay que reseñar que el 15% del total de los recursos, del orden de 4,5 $Hm^3$/año, es drenado al río Oria o a alguno de sus afluentes, bien directamente bien a través de los depósitos aluviales.

## HIDROQUIMICA. CALIDAD

Los principales puntos de agua de la unidad han sido objeto de muestreos periódicos, principalmente durante el año 1986, y en la actualidad se dispone de más de 150 análisis físico-químicos correspondientes a 25 puntos de agua. En el cuadro 3 se recogen los resultados más significativos.

En la figura 3 se presentan los diagramas de Stiff correspondientes a un análisis promediado de los principales puntos de agua de la unidad. De ella se deduce una pequeña variación espacial del quimismo de las aguas que presentan una marcada facies bicarbonatada cálcica. Sólamente las de los sondeos Hernialde se pueden definir como bicarbonatada-sulfatada cálcica.

El grado de mineralización de las muestras es de bajo a medio, generalmente inferior a 300 mg/l. Unicamente los puntos de agua pertenecientes a los acuíferos liásicos, con la excepción del acuífero Arraia que presenta concentraciones comprendidas entre 250 y 300 mg/l, presentan valores superiores, entre 300 y 500 mg/l. Las aguas con mayor grado de mineralización corresponden a los sondeos Hernialde y Estrella con valores medios del orden de 425 mg/l y máximos de 500 mg/l. Este aumento está relacionado con un enriquecimiento de las aguas en $Ca^{++}$, $HCO_3^-$ y principalmente en $SO_4^=$, cuya causa debe hallarse en las frecuentes intercalaciones de margas con yesos que se localizan en la base de la serie calizo-dolomítica liásica. De este modo las concentraciones de $SO_4^=$, comprendidas entre 10 y 20 mg/l en los manantiales urgonianos, se sitúan entre 20 y 110 mg/l en los acuíferos liásicos, llegando a ser hasta 5 veces superiores en el sondeo Hernialde-1.

En lo referente a la distribución espacial del ion $Cl^-$ se observa una gran homogeneidad, con contenidos comprendidos entre 6 y 13 mg/l, con la excepción del sondeo Estrella que presenta concentraciones medias de 28 mg/l. El contenido en $Cl^-$ de este sondeo, emplazado en el área urbana de Tolosa, va acompañada por el máximo valor de $NO_3^-$ detectado en la unidad (concentración media >21 mg/l), lo que unido a la importante presencia bacteriana, permite asociar está anomalía con afección de aguas residuales del propio núcleo.

| | $Na^+$ | $K^+$ | $Ca^{++}$ | $Mg^{++}$ | $Cl^-$ | $SO_4^=$ | $HCO_3^-$ | $NO_3^-$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Xm Opin (3) | 5,91 | 1,40 | 68,74 | 5,13 | 8,07 | 12,80 | 189,81 | 5,02 |
| Dst | - | - | - | - | 0,52 | 9,65 | - | 3,24 |
| Xm Arraia-1 (4) | 3,90 | 0,33 | 55,41 | 4,92 | 9,45 | 36,76 | 150,85 | 3,07 |
| Dst | 0,71 | 0,04 | 4,12 | 1,29 | 6,02 | 17,50 | 24,68 | 1,23 |
| Xm Arraia-2 (3) | 3,66 | 0,63 | 63,77 | 4,57 | 7,36 | 30,53 | 174,73 | 3,60 |
| Dst | 0,35 | 0,32 | 2,30 | 2,50 | 0,77 | 17,71 | 11,61 | 1,27 |
| Xm Bustinzuri (2) | 3,38 | 0,25 | 59,99 | 3,00 | 6,36 | 17,92 | 162,89 | 10,13 |
| Dst | 0,04 | 0,06 | 8,48 | 1,97 | 1,23 | 3,85 | 11,80 | 6,90 |
| Xm Mandabe (3) | 3,62 | 0,18 | 40,76 | 3,32 | 11,03 | 10,28 | 130,72 | 2,58 |
| Dst | 0,70 | 0,04 | 13,03 | 1,40 | 7,68 | 6,59 | 23,45 | 1,11 |
| Xm Lepasoro-1 (15) | 5,04 | 0,45 | 61,90 | 1,88 | 10,19 | 10,66 | 180,61 | 4,57 |
| Dst | 0,37 | 0,19 | 9,59 | 0,40 | 1,66 | 5,14 | 27,82 | 0,83 |
| Xm S. Lepasoro-2 (20) | 11,01 | 0,65 | 49,82 | 3,11 | 17,25 | 13,12 | 141,82 | 3,74 |
| Dst | 5,13 | 0,19 | 16,44 | 0,94 | 6,55 | 3,91 | 43,93 | 2,02 |
| Xm Matxinzulo (12) | 5,38 | 3,19 | 76,48 | 7,19 | 12,93 | 36,47 | 209,48 | 15,30 |
| Dst | 0,97 | 1,77 | 7,50 | 3,26 | 5,41 | 14,90 | 10,99 | 6,60 |
| Xm Goiko benta (2) | 5,54 | 2,54 | 82,92 | 5,59 | 9,96 | 46,93 | 216,69 | 13,93 |
| Dst | 0,76 | 0,40 | 1,05 | 0,83 | 3,21 | 12,83 | 11,05 | 0,54 |
| Xm Estación (2) | 4,04 | 2,01 | 66,79 | 3,05 | 8,89 | 24,26 | 179,51 | 10,91 |
| Dst | 1,08 | 1,68 | 4,98 | 0,43 | 0,86 | 10,38 | 4,11 | 8,33 |
| Xm Luzuriaga (2) | 3,93 | 1,80 | 83,80 | 9,51 | 8,43 | 43,68 | 228,22 | 10,99 |
| Dst | 0,18 | 0,28 | 6,39 | 7,09 | 0,83 | 15,81 | 17,44 | 2,00 |
| Xm Hernialde-1 (10) | 5,03 | 0,83 | 90,04 | 14,28 | 11,47 | 106,22 | 197,13 | 3,00 |
| Dst | 1,60 | 0,54 | 13,10 | 3,76 | 3,82 | 44,16 | 17,45 | 1,29 |
| Xm Estrella (6) | 9,06 | 2,68 | 88,47 | 8,29 | 28,36 | 59,50 | 219,64 | 21,20 |
| Dst | 0,62 | 0,66 | 5,76 | 2,65 | 32,64 | 4,83 | 14,08 | 5,51 |
| Xm Hernialde-2 (3) | 9,69 | 1,52 | 127,87 | 15,90 | 38,43 | 96,27 | 214,67 | 10,22 |
| Dst | 2,88 | 0,56 | 41,94 | - | 44,31 | 46,83 | 16,26 | 5,07 |
| Xm Ibiaga (8) | 4,95 | 0,37 | 57,57 | 2,23 | 9,39 | 13,12 | 167,19 | 3,88 |
| Dst | 0,18 | 0,11 | 4,67 | 1,28 | 2,17 | 4,76 | 12,53 | 1,05 |
| Xm Bycia (15) | 14,26 | 0,53 | 43,07 | 2,94 | 21,44 | 15,55 | 128,54 | 3,93 |
| Dst | 3,73 | 0,09 | 16,81 | 0,85 | 4,60 | 2,04 | 46,64 | 2,49 |

Cuadro 3. Concentraciones medias (mg/l) de las aguas de la unidad (entre paréntesis número de análisis considerados).

La distribución espacial del $NO_3^-$ presenta las concentraciones máximas en los acuíferos liásicos con valores medios comprendidos entre 10 y 20 mg/l frente a las concentraciones, por lo general, inferiores a 5 mg/l de los acuíferos urgonianos. Este fenómeno parece relacionado con el mayor aprovechamiento agropecuario de las superficies de infiltración de los acuíferos jurásicos. Su localización a menor cota, las pendientes menores y el mayor desarrollo del suelo, todo ello en comparación con los afloramientos urgonianos, permite el riego intensivo con purines de grandes superficies de los mismos ocasionando el aumento en $NO_3^-$ de las aguas infiltradas.

Los diferentes estudios realizados en la unidad recogen un buen número de análisis bacteriológicos (67) de los distintos puntos de agua. De acuerdo con ello, 27 muestras son clasificadas como A1; 39 muestras reciben la calificación de A2; finalmente 1 muestra del manantial Matxinzulo es A3 al contabilizarse 1.116 col/100 ml de estreptococos fecales. La mejor calidad bacteriológica se observa en la muestra del manantial Estación en la que la presencia bacteriana se reduce a 6 col/100 ml de bacterias aerobias a 37°C. Los manantiales Bycia y Lepasoro presentan la mejor calidad bacteriológica con casi un 70% de las muestras analizadas calificadas como A1. Las muestras más contaminadas pertenecen al manantial Matxinzulo (7 muestras A2; 1 A3) y al sondeo Estrella (6 muestras A2). La contaminación en Matxinzulo parece asociarse, principalmente, con la intensa actividad agrícola que registra la zona y, particularmente, con los riegos de abono de los pastos con purines.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

Han sido relativamente numerosos los sondeos de investigación que han perforado materiales jurásicos, especialmente del Lías calizo-dolomítico, a fin de establecer áreas de actuación preferente, desechando aquellas en las que la colmatación de huecos resta interés a la zona.

Los materiales urgonianos han sido objeto de investigación mediante perforación de sondeos. Los más significativos son los sondeos Lepasoro. Las pruebas de producción realizadas en el Lepasoro-2 alcanzan un caudal superior a 70 l/s con depresiones del orden de 60 m. No obstante, importantes arrastres de arena y arcilla reducen el rendimiento del sondeo, limitando su caudal de explotación a 30 l/s.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

En conjunto, se estima que el volumen total de recursos utilizados de la unidad asciende a 7 $Hm^3$/año, lo que supone el 24% del total de los renovables en un año medio. El porcentaje de aprovechamiento varía en función del sector considerado. En la Subunidad Andoain la mayoría de los manantiales se encuentran captados para uso doméstico e industrial aunque los caudales medios derivados son próximos o inferiores al caudal de estiaje. El principal aprovechamiento de la zona es la captación del manantial Bycia del que se derivan unos 20 l/s para abastecimiento industrial y de algunos barrios del Sur de Lasarte. En total se cifran en unos 50 l/s, algo más de 1,5 $Hm^3$/año, los recursos aprovechados en esta subunidad, lo que supone el 20% del total de la misma.

En la Subunidad Ernio las captaciones de abastecimiento municipal detraen un caudal estimado en unos 50 l/s. A esta cifra hay que añadir el uso del manantial Mandabe para producción hidroeléctrica (60 l/s) y la captación del manantial Anoeta para uso industrial, lo que supone otros 5 l/s. Añadiendo las captaciones de caseríos y pequeñas industrias la cifra total debe ser próxima a 135 l/s, unos 4,25 $Hm^3$/año, el 22% de los recursos de la subunidad.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

DFG-SGOP (1985). Estudio de evaluación de los recursos hidraúlicos subterráneos del Territorio Histórico de Gipuzkoa. (EUROESTUDIOS-INGEMISA).

EVE-DFG (1987). Estudio hidrogeológico del Area de Tolosa Occidental. (INGEMISA).

EVE-DFG (1987). Estudio hidrogeológico del Area de Andoain. (INGEMISA).

EVE (1988). Cartografía 1:10.000 del área Regil-Tolosa. (GIGSA).

EVE-DFG (1987). Sondeo de reconocimiento hidrogeológico Lepasoro-1. (INGEMISA).

EVE-DFG (1987). Sondeo de reconocimiento hidrogeológico en Andoain. (INGEMISA).

DFG (1988). Informe sobre el pozo Lepasoro.

DFG (1988). Ensayo de bombeo. Pozo Lepasoro. (GIGSA).

GALAN, P. (1988). Zonas kársticas de Guipúzcoa: los grandes sistemas subterráneos. MUNIBE.

DFG (1990). Informe técnico sobre el control de ejecución y bombeo de ensayo del sondeo Hernialde-2. (INGEMISA).

DFG (1990). Informe técnico sobre el control de ejecución y bombeo de ensayo del sondeo Hernialde-3. (INGEMISA).

DFG (1990). Acidificación del pozo Hernialde-3 y bombeo de limpieza. (NIÑEROLA).

DFG (1991). Ensayo de bombeo. Pozo Lepasoro. (GIGSA).

EVE-DFG (1993). Estudio hidrogeológico de la cadena costera (Gipuzkoa). (GEYSER-INGEMISA).

DFG-EVE (1994). Análisis del abastecimiento de los términos municipales de Abaltzisketa, Aia, Anoeta, Asteasu, Belauntza, Berrobi, Deba (Itziar), Gainza, Larraul, Leaburu-Gaztelu-Txarama, Tolosa (Urkizu), y Zestoa.

DFG-EVE (1994). Sondeos de investigación hidrogeológica Leaburu, Matxinzulo, Beobide, Ospelalde, Axibarralde, Azpillaga-1, Azpillaga-2, Urkizu, Luzuriaga, Pisuaga y Usabiartza.

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Buztinzuri | 571200 | 4780850 | 375 | 20 | Abastecimiento de caserío |
| Otxozulota | 571200 | 4780750 | 385 | 20 | |
| Arraia | 571950 | 4781125 | 205 | 75 | Abastecimiento de Zizurkil |
| Matxinzulo | 573700 | 4782350 | 100 | 70 | |
| Estación | 575200 | 4776700 | 80 | 35 | |
| Ibiaga | 572620 | 4784800 | 190 | 25 | Abastecimiento de Asteasu |
| Bycia | 579070 | 4788405 | 30 | 30 | Abastecimiento de Lasarte y uso industrial |
| Huertas | 579655 | 4786910 | 40 | 15 | |
| Anoeta | 575230 | 4779600 | 77 | 10 | Captado por papelera |
| Mandabe | 571375 | 4779950 | 375 | >100 | Abastecimiento de Alkiza |
| Belakuazpi | 571650 | 4779750 | 325 | >100 | |
| Lepasoro | 575520 | 4785000 | 105 | >100 | Incluye cinco surgencias |
| Axibarralde | 575530 | 4779030 | 120 | 5 | Abastecimiento de Anoeta |
| Goikobenta | 575420 | 4778150 | 75 | 5 | |
| Luzuriaga | 574500 | 4776550 | 95 | 5-10 | |
| Opin | 572500 | 4783800 | 145 | 5 | Abastecimiento de Asteasu |
| Artutxa | 572245 | 4776650 | 500 | 5 | |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Estrella | 575200 | 4776560 | 77 | - | |
| Hernialde-1 | 574710 | 4777900 | 95 | 20 | Abastecimiento de Tolosa |
| Hernialde-3 | 574890 | 4777910 | 92 | 20 | Abastecimiento de Tolosa |
| Anoeta | 575200 | 4779630 | 80 | 4 | Abastecimiento de Anoeta |
| Ospelalde | 574970 | 4779540 | 87 | >20 | |
| Lepasoro-2 | 575450 | 4785075 | 108 | 30 | |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA ALBIZTUR

## GENERALIDADES

Está situada en la margen izquierda del río Oria entre las localidades de Tolosa hacia el Este y Urrestilla en el Oeste, con los núcleos de Bidania, Goiaz y Albiztur en su zona central (figura 1).

Por el extremo oriental discurre el río Oria en sentido Sur-Norte y por el extremo occidental el río Urrestilla, tributario del Urola, que también discurre en sentido Sur-Norte. Por el borde noroccidental de la unidad, en sentido Este-Oeste discurre el río Errezil.

Dentro del ámbito de la unidad, el principal curso de agua es el arroyo Albiztur (también denominado Salubita) cuya cabecera se sitúa al Este de Santutxu y desemboca en el río Oria, al Sur de Tolosa. Por la margen izquierda recibe el arroyo Igaran, que discurre por la ladera del monte Ernio.




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

Otro curso significativo es el arroyo de Bidania que recibe varios tributarios y después de un corto recorrido se sumerge en un sumidero situado al Sur del núcleo de Bidania.

Topográficamente es una zona de relieve abrupto, con cotas máximas que superan los 700 m y cotas mínimas del orden de 100-150 m.

La pluviometría de la zona es de 1.500 mm, con valores extremos de 1.300 y 1.700 mm en años secos y húmedos respectivamente. La temperatura media anual es de 12°C.

## GEOLOGIA

Los materiales que conforman la unidad forman parte de la cobertera mesozoica que recubre las estribaciones occidentales del macizo prehercínico de Cinco Villas, algunos de cuyos materiales afloran al Norte de la unidad (valle de Errezil).

Se describe a continuación, someramente, la serie litoestratigráfica de la unidad (incluidos sus límites).

**Paleozoico** (3). Constituido por una alternancia de pizarras y grauvacas, aflora en el valle de Errezil.

**Pérmico** (94). Aflora al Norte de Urrestilla y está constituido por areniscas cuarzo feldespáticas y limolitas rojas con intercalaciones de microconglomerados hacia la base.

**Trías.** Está formado por arcillas abigarradas y yesos (95) que intercalan niveles de limolitas micáceas versicolores y engloban importantes masas de rocas ofíticas (96).

**Lías inferior** (98). Aflora en una banda continua por el borde Norte de la unidad. Está constituido en la base por carniolas y brechas intraformacionales de tonos grises y rosados con huecos centimétricos. Sobre las carniolas aparecen calizas grises y calizas dolomíticas. En el techo predominan las dolomías blancas, laminadas, que pasan lateralmente a calizas. La potencia máxima puede ser del orden de 100-150 m.

**Lías superior** (99). Aflora al Sur de la barra anterior, en contacto normal con ella. Se trata de margas gris azuladas que alternan con bancos decimétricos de calizas margosas, calizas limosas y margocalizas. La potencia máxima es inferior a 100 metros.

**Dogger** (100). Aflora ampliamente entre Tolosa y Urrestilla, al Norte de Bidania. Se trata

de calizas micríticas gris oscuro, tableadas, a veces nodulosas en las que son frecuentes los nódulos de sílex. A techo aparecen calizas bioclásticas estratificadas en bancos poco potentes. La potencia supera los 100 metros.

**Jurásico indiferenciado** (105). Se trata de una unidad comprensiva Lías medio-Malm donde alternan margas, margocalizas, calizas bioclásticas y limolitas.

**Neocomiense-Barremiense** (106). Aflora en contacto con el Dogger al Norte de Bidania. Son las denominadas "calizas de sérpulas". Se trata de calizas grises a veces muy oscuras, laminadas y estratificadas en bancos de orden decimétrico. La potencia máxima es del orden de 150 metros.

**Aptiense**. Corresponde a materiales del complejo Urgoniano. En esta zona está representado por alternancias de limolitas calcáreas, margas y calizas impuras (108), calizas arrecifales con rudistas y corales, masivas o con estratificación difusa (109) y calcarenitas bioclásticas estratificadas con algunas intercalaciones margosas (110), cuya potencia máxima, en la zona de Albiztur, alcanza los 700 metros.

**Albiense-Cenomaniense** (120). Forma parte del complejo Supraurgoniano. Está constituido por una alternancia de lutitas negras y areniscas, que afloran al Sur de la unidad imponiendo su límite meridional.

**Cretácico superior** (141). Está constituido por una alternancia de margas y margocalizas.

**Cuaternario**. Son depósitos aluviales (200) relacionados con los cursos fluviales y el relleno de depresiones kársticas. Están constituidos por mezclas de gravas, arenas, limos y arcillas, con predominio de materiales gruesos en la base. Pueden alcanzar potencias de varias decenas de metros. En la depresión de Santutxu se ha delimitado un relleno antrópico (206) que colmata una parte importante de la misma.

La estructura general de la unidad responde a un sinclinal de amplio radio de dirección NO-SE, modificado por frecuentes fallas agrupadas en dos familias, una de dirección NNO-SSE y otra de dirección NE-SO. Hacia el Norte se evidencia un esquema compresivo patentizado por la presencia de pliegues tumbados vergentes al Norte como consecuencia de la acción de la falla de Errezil.

**HIDROGEOLOGIA**

En función de las características geológicas de la unidad, se pueden diferenciar tres subunidades hidrogeológicas con características individualizadas. Estas son:

- Subunidad Albiztur. Formada por los materiales aptienses de alta permeabilidad: calizas arrecifales y calcarenitas bioclásticas.

- Subunidad Igaran-Urrestilla. Formada por los materiales del Dogger y Neocomiense-Barremiense: calizas bioclásticas, calizas con sílex y calizas grises.

- Subunidad Ugena. Formada por los materiales del Lías inferior: carniolas, calizas y dolomías.

Además de ello, es necesario considerar la existencia de los acuíferos cuaternarios.

A continuación se describen cada una de estas unidades, cuya situación relativa se refleja en la figura 2.

**Subunidad Albiztur**

Es la subunidad más extensa e importante. Está incluida, en su mayor parte, en la cuenca del río Oria, con una pequeña fracción, en el extremo occidental, que se incluye en la cuenca del Urola.

Los materiales permeables están constituidos por calizas urgonianas masivas y estratificadas, muy karstificadas en superficie, con una potencia máxima de 700 metros, con reducciones laterales significativas por efecto de cambios de facies.

El sustrato impermeable está formado por limolitas calcáreas y margas aptienses de la base del complejo Urgoniano, que imponen, así mismo, las condiciones de borde en la mayor parte de la unidad, excepto en la mitad oriental del límite Sur que corresponde al contacto con los materiales del complejo Supraurgoniano (lutitas y areniscas).

Las menores cotas topográficas corresponden al cauce bajo de la regata de Albiztur (o regata Salubita) en el extremo oriental de la subunidad (cota 120 m) y al cauce del río Ibai Eder en su extremo occidental (cota 150 m). A partir de aquí las cotas de sus bordes aumentan

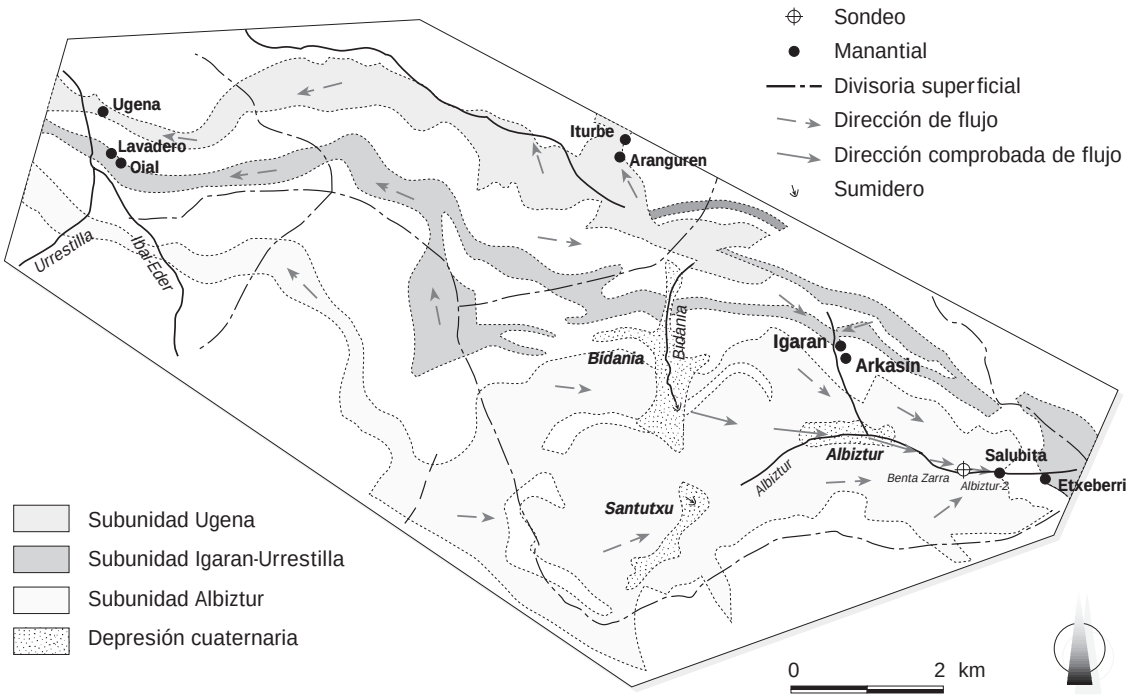



Figura 2. Esquema de subunidades.

progresivamente hasta alcanzar valores de 450 a 750 m en el límite Norte y unos 500-600 m en el límite meridional.

Estructuralmente constituye el núcleo de un suave sinclinal de eje NO-SE. En superficie, las calizas urgonianas se encuentran muy karstificadas con numerosas dolinas y depresiones de grandes dimensiones rellenas de materiales detríticos cuaternarios. Las más importantes son las de Bidania (1,4 km$^2$), Albiztur (0,34 km$^2$) y Santutxu (0,3 km$^2$). El espesor de recubrimiento puede alcanzar los 70 m (caso de Bidania). Estas depresiones albergan acuíferos que juegan un importante papel en el funcionamiento hidráulico del sistema.

La superficie de materiales permeables, incluidos los depósitos cuaternarios, es de unos 15 km$^2$, con una cuenca exterior (sobre materiales detríticos) de unos 4 km$^2$. Además es necesario considerar que una parte importante (unos 7 km$^2$) de la Subunidad Igaran-Urestilla drena directamente a esta subunidad.

**Puntos de agua**

Sólo existe un punto de agua significativo relacionado con la unidad. Se trata del manantial **Salubita**, situado en el cauce de la regata del mismo nombre, a cota 120 m. En realidad se trata de un grupo de surgencias próximas entre sí, mayoritariamente concentradas en la margen derecha del cauce. En épocas de aportaciones pluviométricas se observan surgencias situadas aguas arriba de éstas.

El caudal medio de las surgencias se ha establecido en 640 l/s con valores mínimos y máximos registrados de 130 l/s y 3.900 l/s.

Aforos diferenciales realizados en dos puntos aguas arriba de las surgencias han permitido descomponer el hidrograma del período oct 85-set 86 (figura 3) e individualizar la componente de escorrentía subterránea, correspondiente al aporte exclusivo del manantial.

De todos los datos disponibles se deducen, en primer lugar, las siguientes consideraciones:

- en épocas de estiaje, el caudal de la regata Albiztur en Benta Zarra, es de unos 30 l/s como máximo, que se infiltran en su totalidad, entre este punto y el manantial Salubita; la mayor parte de este caudal procede del drenaje de la Subunidad Igaran-Urrestilla.

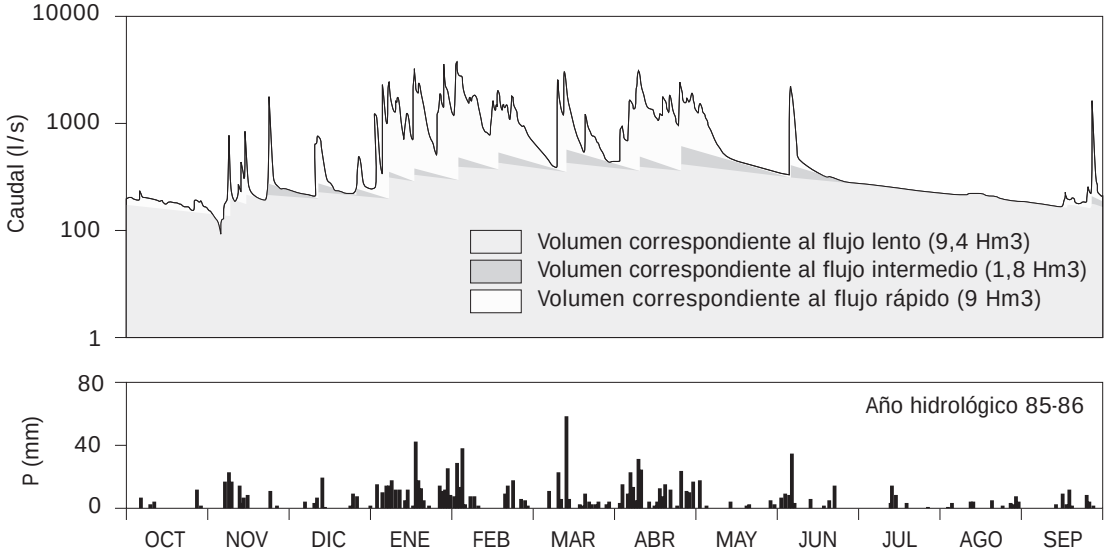



Figura 3. Hidrograma del manantial Salubita.

- no existe circulación superficial en la regata para registros del orden de 200 l/s en la estación de aforos.

De la observación del hidrograma se deduce que existe una rápida respuesta ante el estímulo pluviométrico, aunque lluvias aisladas inferiores a 10 mm apenas introducen modificación en el mismo.

Considerando la descomposición del hidrograma que corresponde al drenaje subterráneo de la unidad, se puede deducir la existencia de, al menos, tres tipos de flujo según la forma del agotamiento:

- flujo rápido, manifestado por un brusco incremento de caudal al producirse las lluvias y un rápido descenso al cesar las mismas; este tipo de flujo representa el 44,5% del total drenado (9 $Hm^3$).

- flujo intermedio, la curva de agotamiento adopta una menor pendiente e indicaría la circulación a través de conductos de relativa amplitud, pero de desarrollo limitado; cuantitativamente este flujo representa el 9% del total (1,8 $Hm^3$).

- finalmente, existe un flujo lento, responsable del caudal de base de las surgencias, que representa el 46,5% del drenaje total de la unidad (9,4 $Hm^3$). Este flujo podría corresponder a la presencia de una red de pequeñas fracturas interconectadas, coadyuvando al mismo efecto la recarga producida a partir de los acuíferos cuaternarios.

En síntesis, los principales parámetros deducidos de los hidrogramas en el periodo citado, son los siguientes:

- escorrentía total: 23,3 $Hm^3$
- escorrentía superficial: 3,1 $Hm^3$
- escorrentía subterránea: 20,2 $Hm^3$
- componente del flujo rápido: 9 $Hm^3$ (44,5%)
- componente del flujo intermedio: 1,8 $Hm^3$ (9%)
- componente del flujo lento: 9,4 $Hm^3$ (46,5%)
- caudal mínimo de las surgencias: 130 l/s
- caudal máximo de las surgencias: 3.900 l/s
- caudal medio de las surgencias: 640 l/s
- caudal medio total: 740 l/s
- coeficiente de agotamiento ($\alpha$) en $días^{-1}$:
  $\alpha$ = 0,00417 (flujo lento)
  $\alpha$ = 0,134 (flujo intermedio)

El estudio estructural de la crónica de caudales evidencia dos componentes principales del flujo, uno rápido y otro lento, con diferente predominio temporal en la surgencia. Así mismo, se aprecia filtraje de precipitaciones aisladas por efecto probable de los abundantes rellenos superficiales. La buena dependencia (memoria) de los caudales para pasos grandes de tiempo, confirman la importancia de la infiltración retardada, responsable de la lenta disminución de caudales en estiaje.

Otros puntos de agua destacables son tres sondeos de reconocimiento perforados a rotopercusión en el entorno del manantial, de profundidades entre 125 y 212 m, con caudales observados durante la perforación inferiores a 10 l/s en todos los casos.

**Piezometría**

Aunque los datos disponibles no permiten establecer con precisión la morfología de la superficie piezométrica, es posible deducir información significativa sobre la misma a partir de la situación de los puntos de descarga, el nivel piezométrico de los sondeos y el análisis de los ensayos de trazado disponibles.

Los ensayos de trazado realizados en la depresión de Bidania, descritos con más detalle en otro apartado, demuestran la conexión entre su principal sumidero y el manantial Salubita. Las velocidades de flujo, según las condiciones hidrológicas en las que se realizaron los ensayos, varían entre 193 m/h en aguas altas y 49 m/h en estiaje. Por otra parte, confirman que la mayor parte del flujo subterráneo se realiza en sentido Oeste-Este, convergente hacia el manantial.

Una fracción poco significativa del flujo subterráneo se dirige hacia el Oeste, a partir de una divisoria hidrogeológica estimada a la altura de Beizama y a favor de una barra calcárea cuyo drenaje se realiza, probablemente, de forma difusa, al cauce del río Ibai Eder.

Los gradientes hidráulicos medidos entre los sondeos citados y entre éstos y el manantial Salubita varían, por lo general, entre el 3 y el 5%.

**Hidroquímica. Calidad**

Existen numerosos análisis químicos y bacteriológicos de esta subunidad, correspondientes a los siguientes puntos:

- manantial Salubita
- sondeo Albiztur-2
- regata Albiztur, inmediatamente aguas arriba del manantial
- regata Albiztur en Benta Zarra

En lo que al manantial respecta, las muestras presentan facies bicarbonatadas cálcicas con contenidos salinos moderados, del orden de 300 mg/l.

En la regata Albiztur (Benta Zarra), la variación hidroquímica es muy grande, llegando a presentar facies sulfatadas cálcicas y altos contenidos en $Mg^{++}$ en las aguas de estiaje, debido, probablemente, a la influencia de aguas procedentes de los materiales jurásicos (Subunidad Igaran). En aguas altas, la dilución es importante indicando el predominio de las aguas superficiales. Algo similar se puede decir para la regata Albiztur aguas arriba del manantial.

Las aguas del sondeo Albiztur-2 presentan una facies sulfatada-bicarbonatada cálcica. El sondeo se encuentra en un sector del acuífero mal comunicado, produciéndose, en cierta medida, un estancamiento de sus aguas.

Las conclusiones fundamentales desde el punto de vista hidroquímico son:

- existe una acusada homogeneidad a pesar de la rápida respuesta del acuífero ante el estímulo pluviométrico.

- se pone de manifiesto la influencia que ejercen los aportes procedentes del drenaje de terrenos jurásicos (Subunidad Igaran), sobre el carácter sulfatado de las aguas, fundamentalmente al final del estiaje; ello puede indicar la existencia de dos sistemas de flujo, uno más bicarbonatado y profundo, relativo a la formación urgoniana, y otro más sulfatado, superficial, en relación con la infiltración de las aguas de materiales jurásicos, produciéndose procesos de mezclas entre ambas que condicionan el quimismo observado en el manantial.

Los análisis bacteriológicos realizados en la unidad (en los cuatro puntos de muestreo citados) presentan, sobre todo las muestras tomadas en la regata Albiztur, una contaminación en coliformes, estreptococos fecales, bacterias aerobias y clostridios sulfito-reductores.

La causa de esta contaminación tiene su origen en el vertido de las aguas residuales de Albiztur a la regata, así como los vertidos urbanos de Bidania y Goiaz además de los caseríos dispersos. Un factor adicional, no menos importante, que puede contribuir a la contaminación del acuífero consiste en la existencia de un vertedero ubicado en la dolina de Santutxu.

**Acuíferos cuaternarios relacionados con la subunidad**

La Subunidad Albiztur se considera bien delimitada en sus bordes y sustrato constituyendo un acuífero individualizado sin contacto directo con otras subunidades, salvo con los materiales cuaternarios que rellenan las depresiones desarrolladas sobre las calizas urgonianas.

Estos materiales cuaternarios constituyen acuíferos de suficiente entidad para influir en el comportamiento hidráulico de la unidad, por lo que se justifica realizar una descripción más detallada de los mismos.

Las depresiones kársticas más importantes, desarrolladas en las calizas urgonianas, son las de Bidania, Albiztur y Santutxu. Todas ellas están más o menos rellenas por materiales detríticos constituidos por mezclas de gravas, arenas, limos y arcillas procedentes de productos de decalcificación de calizas, acumulaciones coluviales y depósitos aluviales ligados a cursos superficiales.

La depresión de Santutxu, jalonada de grandes dolinas en embudo recubiertas parcialmente por un vertedero de residuos inertes, tiene un relleno cuaternario aluvial de menor entidad que el observado en las depresiones de Bidania y Albiztur.

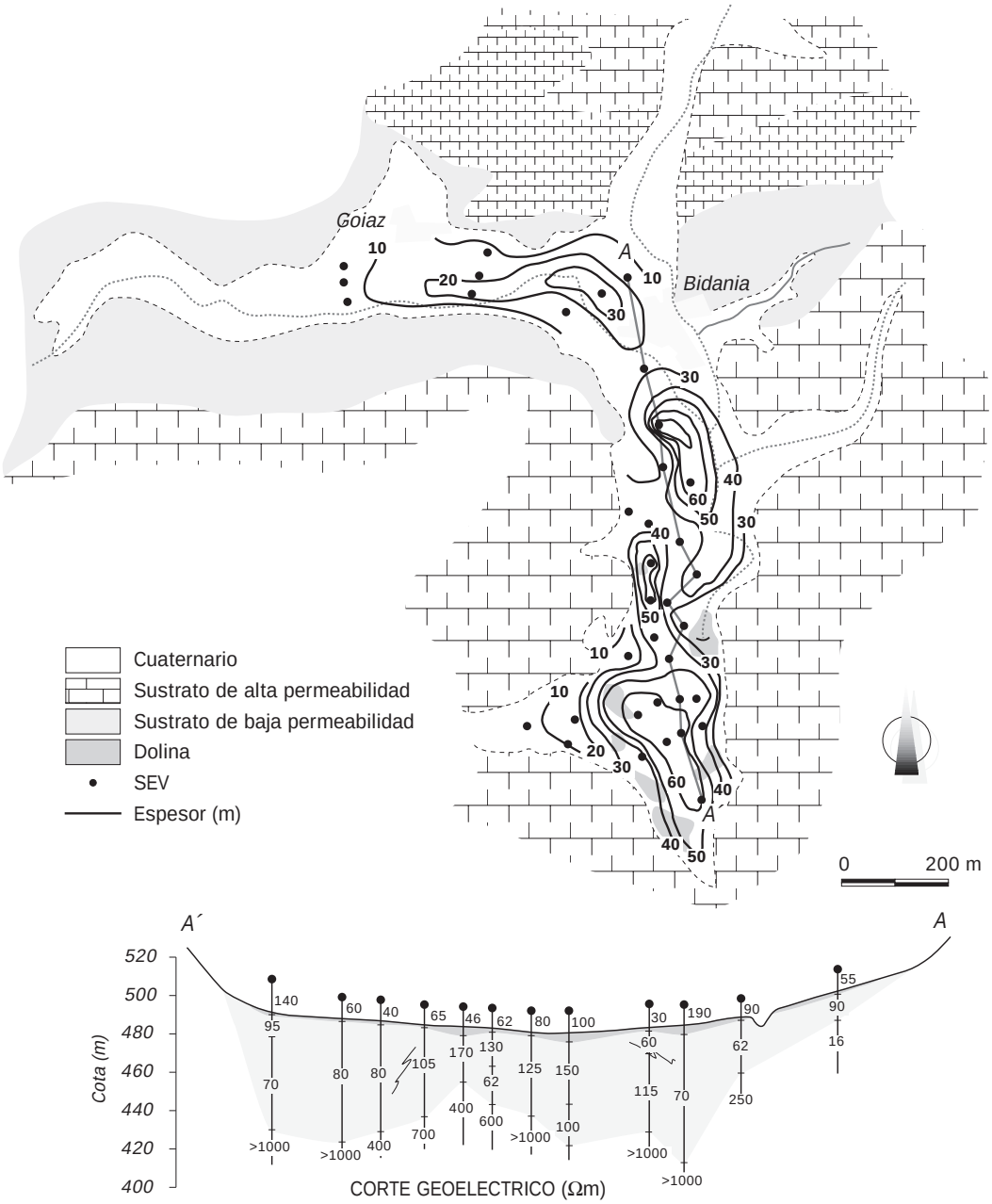



Figura 4. Investigación geofísica en la depresión de Bidania.

A partir de los datos aportados por una campaña de investigación geofísica, realizada en ambas depresiones, se establecerá la descripción de ambos acuíferos.

*Depresión de Bidania*

Se trata de una depresión cerrada, con una superficie de 1,4 km$^2$, desarrollada, en su mitad meridional, sobre calizas urgonianas, y en su mitad septentrional, sobre materiales predominantemente margoarcillosos urgonianos y jurásicos.

Está recorrida superficialmente por varios arroyos que forman un único cauce al Sur del núcleo de Bidania antes de infiltrarse, totalmente, a través de una serie de sumideros localizados en el fondo de una dolina de contorno elíptico de radio máximo de 300 m y mínimo de 200 m. Al Sur de esta gran dolina existen varias de similares dimensiones además de otras más pequeñas y numerosas.

La investigación geofísica confirma que el sustrato de la depresión es muy accidentado, con una sucesión de surcos y crestas correspondientes a la existencia de un importante aparato kárstico con notable desarrollo vertical. El espesor de recubrimiento es muy irregular de unos puntos a otros, pudiendo alcanzar en algunas zonas los 70 m (figura 4).

Según los valores de resistividad calculados, se deduce que los materiales de granulometría gruesa (gravas y arenas con más o menos contenidos en finos) predominan en el sector central de la depresión mientras que los términos más arcillosos predominan hacia los bordes Norte y Sur de la misma y en zonas intercaladas entre los materiales granulares.

Estos materiales constituyen un acuífero libre, con permeabilidad muy variable en función de la irregular distribución de materiales granulares y arcillosos. En conjunto se estima una permeabilidad media.

La alimentación procede de la infiltración de la precipitación directa sobre la depresión, además de los aportes de escorrentía de laderas y la infiltración producida en los cauces. Además de ello es posible que existan aportes subterráneos a partir de las barras de calizas jurásicas existentes al Norte de Bidania. La cuantificación de las entradas entraña serias dificultades, pero como orden de magnitud se estima que pueden ser del orden de 2 Hm$^3$/año. Puesto que no existen surgencias ni explotación del acuífero, el drenaje se produce, integramente, por transferencia hacia las calizas subyacentes.

Actualmente se desconoce la morfología de la superficie piezométrica y la evolución de los niveles, por lo que no es posible cuantificar la velocidad y modalidad de la circulación entre ambos acuíferos. En cualquier caso, existirá en el acuífero kárstico una zona no saturada entre el fondo de la depresión y el nivel piezométrico de las calizas. Este se modificará, en virtud de esta influencia, adoptado una morfología en domo.

Si se admite la cifra de entradas supuesta para el acuífero cuaternario (unos 2 Hm$^3$/año), el caudal medio que aporta a las calizas es superior a 60 l/s. Probablemente, este flujo no se realiza a caudal constante, sino que dependerá de la posición relativa de ambos niveles y de la relación de permeabilidad entre los dos acuíferos.

*Depresión de Albiztur*

Esta depresión se desarrolla, en su totalidad, sobre las calizas urgonianas. Tiene una superficie de 0,34 km$^2$ y un espesor máximo de recubrimiento del orden de 30 metros, aunque en la mayor parte de la misma, el relleno es poco importante (unos pocos metros).

Según los SEV realizados, gran parte del recubrimiento corresponde a materiales detríticos gruesos (gravas y arenas con escasos finos), que constituyen un acuífero de permeabilidad media-alta.

Contrariamente al caso anterior, no es una depresión cerrada sino que por su borde septentrional circula la regata Albiztur o Salubita, que desemboca en el río Oria al Sur de Tolosa.

Los recursos del acuífero se estiman del orden de 0,5 Hm$^3$/año como máximo, cuyo drenaje se realiza, en su mayor parte, hacia las calizas subyacentes, según un esquema similar al comentado para la depresión de Bidania.

**Funcionamiento hidráulico. Balance**

La Subunidad Albiztur, conceptualmente, corresponde a un acuífero libre, globalmente de tipología kárstico mixto, con características que varían espacialmente entre las de los de tipo difuso y los *sensu stricto*.

Se caracteriza por la existencia de una zona superior afectada por abundantes procesos de karstificación que determinan la presencia de una red de conductos bien desarrollada y jerarquizada cuya modalidad de drenaje es equivalente a la realizada por una red superficial. Ello condiciona las rápidas respuestas de las surgencias ante las precipitaciones, así como la presencia de rebosaderos que funcionan en aguas altas y el rápido decrecimiento de caudales al cesar las lluvias. La velocidad de circulación es muy alta y se realiza en régimen turbulento. Esta red es la responsable de una fracción muy importante del drenaje subterráneo (44,5% en el periodo observado).

Superpuesta a esta red existiría otra, localizada en una estrecha banda saturada, situada en la zona de fluctuación del nivel piezométrico, con menores velocidades de flujo y con desarrollo limitado, ya que sólo drena el 9% del total de recursos.

Finalmente, existiría otra red de pequeñas fracturas, más abundantes e interconectadas, desarrolladas en las proximidades de la zona de fluctuación piezométrica, que constituyen un medio de circulación relativamente lenta, responsable de la existencia de reservas en el acuífero y del caudal de base de las surgencias. El comportamiento se acercaría al de acuíferos de flujo difuso desarrollados sobre materiales permeables por porosidad intergranular. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que, probablemente, se produce una disminución de la permeabilidad con la profundidad y que los acuíferos cuaternarios de las depresiones kársticas (Bidania sobre todo) constituyen elementos capacitivos de suficiente entidad para justificar, en buena parte, la fracción del flujo lento calculado (46,5% del total).

Los sondeos perforados, hasta el momento, han resultado negativos, pero detectan cavidades de grandes dimensiones, situadas sobre el nivel piezométrico, que corresponderían a la red más superficial descrita anteriormente. También han detectado cavidades por debajo de la zona saturada pero sin conexión con la red de flujo principal, aunque no parece existir discontinuidad en la superficie piezométrica. Aún cuando es posible que existan, dentro de la misma subunidad, sectores que correspondan a modelos diferentes, no se explica fácilmente el resultado negativo de los sondeos, dadas las posibilidades teóricas de regulación a que apuntan todos los datos analizados.

La alimentación de la subunidad procede de la infiltración directa de las precipitaciones sobre los materiales permeables (superficie total 14,7 $km^2$) y de los aportes de cuencas externas, cuyas aguas se infiltran prácticamente en su totalidad en las calizas, generalmente a través de sumideros.

Los aportes de cuencas externas se pueden diferenciar en dos tipos:

- aportes procedentes de cuencas en materiales detríticos cuyas aguas alimentan a la Subunidad Albiztur, infiltrándose en su totalidad a través de sumideros; dichos aportes se localizan en el borde meridional de la subunidad y en la zona Norte de la depresión de Bidania, con una superficie total de 4,2 $km^2$.

- aportes procedentes de la Subunidad Igaran-Urrestilla, correspondientes tanto al drenaje subterráneo de dicha subunidad que surge por el manantial Igaran, como a la escorrentía superficial; la superficie de esta subunidad que vierte hacia Albiztur es de 6,8 $km^2$.

La superficie considerada es por lo tanto de 25,7 $km^2$.

Las salidas se realizan a través de los manantiales Salubita, situados en el cauce de la regata Albiztur.

Para realizar el balance se han utilizado los datos de aforo de la estación situada en la regata de Albiztur que registra los aportes totales de la subunidad.

Los datos termopluviométricos manejados son los siguientes:

- Precipitación: 1.500 mm
- Temperatura media: 12°C
- Lluvia útil: 920 mm

Puesto que la superficie considerada es de 25,7 $km^2$, las entradas totales a la subunidad se evalúan en 23,6 $Hm^3$, cifra prácticamente equivalente al volumen medio de salidas controladas (23,3 $Hm^3$), de los cuales 3,1 $Hm^3$ corresponden a la Subunidad Igaran-Urrestilla.

El volumen drenado a través del grupo de surgencias Salubita es de 20,2 $Hm^3$, lo que significa una fracción de infiltración del 87% de la lluvia útil o bien el 52% de la precipitación total.

**Subunidad Igaran- Urrestilla**

Se sitúa al Norte de la Subunidad Albiztur, formando una banda de materiales permeables que se disponen paralelamente al borde septentrional de la misma y separada de ella por materiales aptienses de baja permeabilidad (limolitas y margas).

Los materiales permeables están constituidos por calizas bioclásticas y calizas con sílex del Dogger y por calizas grises ("calizas de serpulas") del Neocomiense-Barremiense. En conjunto, la potencia máxima de estos materiales alcanza 250 m.

El sustrato impermeable está formado por margas y margocalizas jurásicas, que imponen, también, las condiciones de borde en la mayor parte del límite septentrional.

En el techo (y límite meridional de la subunidad) se disponen los materiales limolíticos y margosos de la base del complejo Urgoniano.

La estructura corresponde a un anticlinal tumbado ESE-ONO, de flancos paralelos, vergente al Norte, afectado por fallas inversas en su núcleo, paralelas a la dirección del pliegue y fallas normales transversales al mismo. Por efecto de estas fallas, se produce la individualización de algunos bloques en la subunidad, como en el caso del bloque de Etxeberri, situado en el extremo oriental de la misma.

La subunidad, así definida, tiene una superficie de 7,5 km$^2$, con una cuenca externa vertiente a la misma de 6 km$^2$.

**Puntos de agua**

Los principales puntos de agua, relacionados con la subunidad son los siguientes:

**Etxeberri**. Está situado en la margen izquierda de la regata de Albiztur a una cota de 108 m, ligado a los materiales calcáreos de un bloque individualizado en el extremo oriental de la subunidad. Su caudal medio es del orden de 30 l/s, con fluctuaciones medidas que varían entre 10 y 60 l/s.

**Igaran**. Situado en el cauce de la regata del mismo nombre a una cota de 350 m. Su caudal medio se estima del orden de 100 l/s (se han medido caudales entre 25 y 300 l/s).

**Arkasin**. Se localiza próximo al anterior pero a menor cota (320 m). Su caudal medio es del orden de 10 l/s.

**Oial**. Situado en el extremo occidental de la subunidad, en la margen derecha del río Ibai Eder, a una cota de 145 m. Su caudal medio es de unos 30 l/s (se han medido caudales entre 15 y 100 l/s).

**Lavadero**. Se localiza próximo al anterior a una cota de 123 m. Su caudal medio es, igualmente, de unos 30 l/s.

**Piezometría**

Los únicos datos disponibles para estimar las características piezométricas de la subunidad, consisten en la ubicación de los manantiales y las características morfoestructurales de los materiales.

El drenaje, y por tanto la circulación subterránea se realiza hacia las zonas de los manantiales. Coincidiendo con una importante línea de fractura y un supuesto umbral en el sustrato, se ha estimado la posición de una divisoria hidrogeológica al Oeste de Bidania. A partir de esta divisoria, el flujo subterráneo se realizará tanto hacia el Oeste (manantiales Oial y Lavadero) como hacia el Este (manantiales Igaran y Arkasin).

La existencia de un umbral del sustrato que condiciona la divisoria hidrogeológica mencionada justifica que exista una diferencia de cotas tan acusada (del orden de 200 m) entre las áreas de descarga en el río Ibai Eder (cotas 123-145 m) y los de la regata de Igaran (cotas 320-350 m), aún cuando en esta última zona se produce un volumen de descarga significativamente mayor que en aquella.

En el bloque individualizado del extremo oriental de la subunidad, la dirección del flujo subterráneo es convergente hacia el principal manantial que lo drena: manantial Etxeberri, situado a cota 108 m.

**Calidad del agua**

Todos los análisis químicos disponibles (existen, al menos, dos análisis en cada uno de los manantiales) muestran que las facies son bicarbonatadas cálcicas en todos los casos, moderadamente mineralizadas (residuo seco inferior a 400 mg/l en estiaje y menor de 300 mg/l en aguas altas).

El contenido en sulfatos es moderado (inferior, en general, a 30 mg/l) salvo en Igaran donde se han medido concentraciones superiores a 60 mg/l.

**Funcionamiento hidráulico. Balance**

El funcionamiento hidráulico de la subunidad es complejo en detalle, de acuerdo con la complejidad tectónica. La alta densidad de fracturación juega un importante papel en el comportamiento del sistema.

El modelo responde a un acuífero libre de tipología kárstica de flujo difuso determinado por la fracturación que contribuye a la creación de una red con un volumen interesante de reservas.

La alimentación se produce por infiltración directa de las precipitaciones sobre los afloramientos permeables y por escorrentía superficial procedente de la cuenca externa.

Las salidas se producen, prácticamente en su totalidad, a través de los manantiales, cuyos caudales sufren fluctuaciones en función de las condiciones pluviométricas pero con un rango de variación acotado entre límites más estrechos que en el caso de la Subunidad Albiztur, lo que indicaría un mayor efecto modulador de las entradas como corresponde a un acuífero de flujo difuso.

El balance hídrico de la subunidad es el siguiente:

- superficie total de afloramientos calcáreos: 7,5 $km^2$
- superficie total de la cuenca exterior vertiente: 6 $km^2$
- lluvia útil: 920 mm
- infiltración por precipitación directa: 60%
- infiltración por escorrentía de cuenca vertiente: 30%
- entradas teóricas: ~ 6 $Hm^3$
- salidas visibles (manantiales Etxeberri, Igaran, Arkasin, Oial y Lavadero): ~ 6 $Hm^3$

**<u>Subunidad Ugena</u>**

Está constituida por una banda calcárea situada al Norte de la Subunidad Igaran-Urrestilla y paralela a ella.

Los materiales permeables están constituidos por carniolas, calizas y dolomías del Lías inferior cuya potencia máxima es del orden de 150 m.

Por el Norte, limita con materiales paleozoicos y permotriásicos de baja permeabilidad, que afloran a lo largo del valle de Errezil y que constituyen el sustrato impermeable del acuífero. En el techo, y límite meridional de la subunidad, se disponen los materiales margosos y limolíticos de la unidad compresiva del Jurásico indiferenciado.

La estructura corresponde a una serie monoclinal buzante al Sur, que cabalga sobre materiales permotriásicos y paleozoicos por efecto de la falla de Errezil, importante accidente tectónico de carácter regional.

La subunidad así definida tiene una superficie de unos 3 $km^2$, con una cuenca externa, vertiente a la misma, de unos 7 $km^2$.

En el extremo oriental de la subunidad (alrededores de Errezil) existen varios manantiales de escaso caudal de los cuales los más importantes son **Aranguren** e **Iturbe** situados a cotas de 268 y 295 m respectivamente y con caudales medios de unos pocos litros por segundo. En el extremo occidental próximo a la margen derecha del río Ibai Eder se localiza la principal surgencia de la subunidad, denominada **Ugena** situada a la cota 145 m.

El control sistemático de caudales y muestreo evidencia el carácter singular de esta última surgencia, que no es comparable con ninguna otra de la unidad. En el gráfico de la figura 5 se presenta la magnitud y evolución de los parámetros físicos y químicos del manantial.

Se observa que la evolución de caudales es atípica y no tiene relación clara con el régimen pluviométrico. En efecto, en el periodo nov 85-feb 86, el caudal varía entre 5 l/s y 20 l/s, aumentando progresivamente hasta estabilizarse alrededor de 100 l/s, que se mantienen al menos hasta junio de 1986 (fin del periodo de observación).

La temperatura de la surgencia, que en aguas bajas es variable entre 17 y 19°C, aumenta progresivamente, durante el periodo de mayor caudal, hasta aproximarse a 20°C.

La facies del agua es sulfatada cálcica, muy mineralizada, con residuo seco variable entre 1.250 y 2.026 mg/l. La evolución hidroquímica muestra un progresivo aumento de la mineralización con el incremento de caudales salvo casos puntuales atribuidos a procesos de mezcla según se expondrá más adelante.

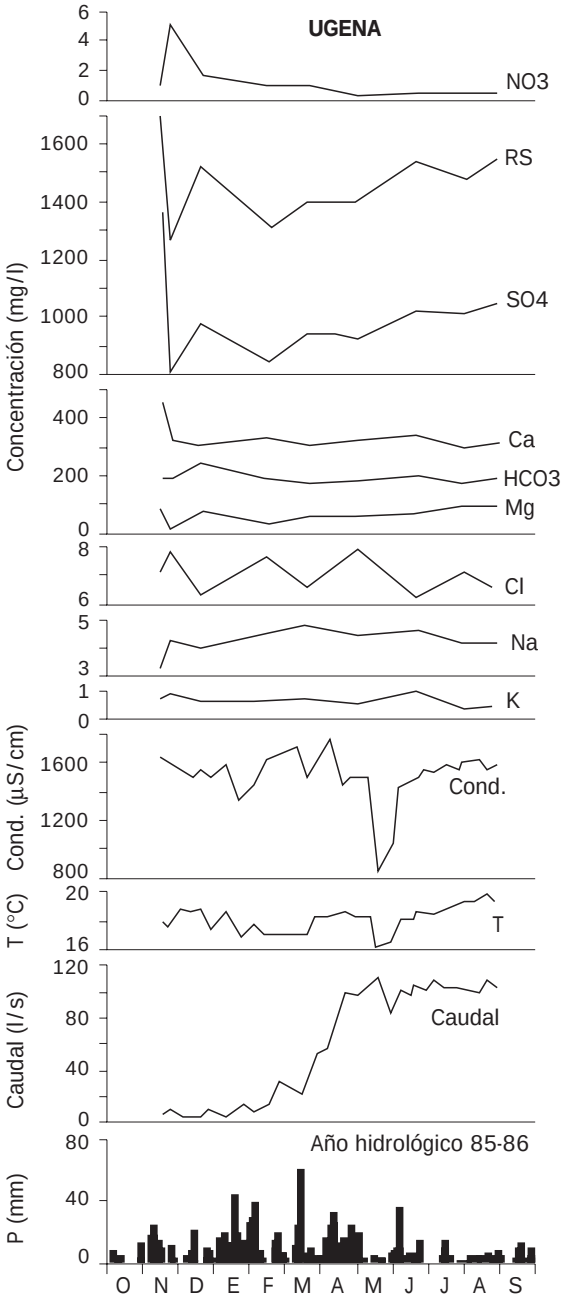



Figura 5. Evolución hidroquímica del manantial Ugena.

En la figura 6 se han representado la conductividad y temperatura en relación con el caudal y la conductividad en relación con la temperatura.

Globalmente, no se aprecia relación entre los caudales y la temperatura y conductividad aunque es de señalar que los mayores valores de la temperatura corresponden a los caudales extremos (mínimos y máximos). Mayor relación se aprecia entre conductividad y temperatura

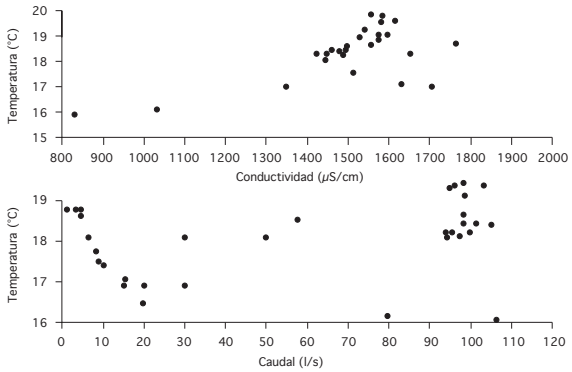



Figura 6. Relaciones conductividad/temperatura y caudal/temperatura en el manantial Ugena.

confirmando que las mayores temperaturas corresponden a las aguas más mineralizadas.

En función de estos datos se pueden deducir dos sistemas de flujo, uno profundo, responsable de la mineralización de las aguas y de su temperatura, y otro superficial, más frío y menos mineralizado. Las muestras correspondientes a caudales bajos presentan contenidos más bajos en $SO_4^=$ y $Mg^{++}$ y en cambio se aprecian mayores concentraciones de $CO_3H^-$ como consecuencia de las mezclas de aguas, en una época donde la fracción del flujo superficial es proporcionalmente importante (aunque en magnitud absoluta es poco significativa).

El esquema de evolución de caudales parece sugerir que el retardo entre la recarga y descarga puede ser de varios meses, produciéndose una modulación muy neta de la señal de entrada (precipitaciones).

Todas estas consideraciones apuntan a la existencia de un esquema estructural muy complejo, como corresponde a una zona situada en el frente de un importante cabalgamiento en las proximidades de afloramientos paleozoicos.

La alimentación del acuífero procede de la infiltración de la lluvia directa sobre la barra calcárea y de la escorrentía superficial de la cuenca externa. Parte del agua infiltrada desciende hasta profundidades relativamente importantes a través de la falla de Errezil o fracturas asociadas, donde sufre un incremento de temperatura y progresivo aumento de la mineralización. El esquema de acuífero correspondería a un modelo kárstico de flujo difuso.

Aproximadamente en la zona central se sitúa una divisoria hidrogeológica a partir de la cual la

circulación subterránea se produce hacia el Este (pequeños manantiales de los alrededores de Errezil) y hacia el Oeste (Ugena). El sector que drena hacia Ugena tiene una superficie aproximada de 1,5 $km^2$ de afloramientos permeables y unos 3 $km^2$ de cuenca vertiente. Adoptando los mismos parámetros que en la Subunidad Igaran-Urrestilla, el volumen de entradas teóricas es del orden de 1,7 $Hm^3$ equivalente al volumen controlado en la surgencia de Ugena.

El sector que drena hacia el Este tiene un volumen teórico de entradas del mismo orden de magnitud que el descrito, pero las salidas visibles sólo representan un volumen aproximado de 0,5-0,7 $Hm^3$, por lo que se debe producir una descarga oculta hacia el cauce del río Errezil.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

Para la mejor definición de las características hidrogeológicas de la Unidad Albiztur se han realizado diversos trabajos de investigación entre los que destacan los siguientes:

- Investigación geofísica en las depresiones de Bidania y Albiztur

- Ensayos con trazadores

A continuación se resumen los aspectos más significativos de esta investigación complementaria.

**Investigación geofísica**

Su objetivo consistió en la definición de las características geométricas y litológicas de los acuíferos cuaternarios de las depresiones de Bidania y Albiztur, así como las características del sustrato.

Se utilizaron métodos eléctricos en la modalidad de sondeos eléctricos verticales (SEV) mediante un dispositivo tetrangular de tipo Schlumberger con líneas de emisión AB=200 metros.

En total se realizaron 42 SEV, de los que 36 se efectuaron en la depresión de Bidania y 6 en la de Albiztur. Las principales conclusiones obtenidas en cada una de las depresiones mencionadas son:

*Depresión de Bidania*

Los materiales detríticos cuaternarios poseen resistividades variables, en general más elevadas a medida que se progresa hacia el centro de la depresión. Por tanto, en este sector predominan materiales granulares gruesos, con resistividades comprendidas entre 100 y 250 Ωm. Los niveles menos resistivos (inferior a 100 Ωm), atribuidos a materiales arcillosos predominan hacia los bordes Norte y Sur de la depresión y en zonas intercaladas entre capas más resistivas.

El sustrato es muy accidentado, sobre todo en la mitad meridional, con depresiones cónicas separadas por umbrales, atribuidos a la presencia de un importante aparato kárstico con formas de notable desarrollo vertical (figura 4). El espesor de recubrimiento puede alcanzar los 70 metros en alguna de las zonas más deprimidas.

*Depresión de Albiztur*

Está totalmente desarrollada sobre calizas urgonianas y presenta menor espesor de recubrimiento (máximo detectado de 30 metros) que en el caso de Bidania. Los materiales de relleno están formados, esencialmente, por mezclas de gravas y arenas con escasos finos y 100 a 250 Ωm de resistividad.

**Ensayos con trazadores**

Durante los meses de abril y noviembre de 1986 se realizaron sendos ensayos de trazado para verificar la conexión y las características del flujo subterráneo entre el sumidero de Bidania y la surgencia Salubita.

Dado que el agua procedente de esta surgencia se utiliza en una factoría de fabricación de papel, se desestimó el uso de trazadores colorantes y se decidió el empleo del cloruro de litio.

Previamente a la inyección de los trazadores se realizó un muestreo de las surgencias para conocer el contenido natural de litio en el agua. En todos los casos, la concentración de litio quedó por debajo del umbral de detección del equipo analítico empleado (espectrómetro de absorción atómica).

*1$^{er}$ ensayo de trazado (Abril 86)*

Se utilizaron 50 Kg de LiCl, vertidos en el sumidero de Bidania en un momento en el que el caudal del arroyo infiltrado era de 300 l/s y en el manantial Salubita de 1.900 l/s.

El litio comienza a aparecer en la surgencia a las 21 h, definiendo la evolución representada en la figura 7.

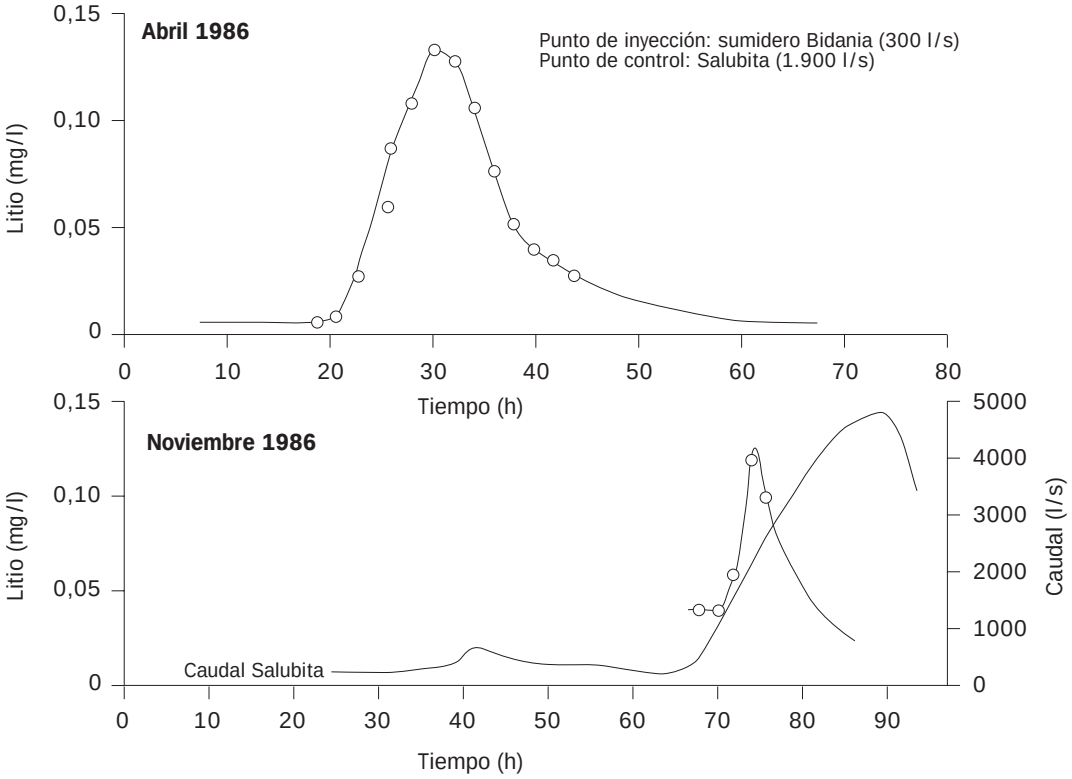



Figura 7. Ensayos con trazadores entre el sumidero Bidania y el manantial Salubita.

Dado que la distancia entre el sumidero y el manantial es de 4.050 m y la diferencia de cota de 355 m, se establecen los siguientes parámetros:

- velocidad máxima: 193 m/h
- velocidad media: 135 m/h
- gradiente sumidero/manantial: 8,8%

De acuerdo con las concentraciones de litio medidas y los caudales del manantial, la tasa de restitución del trazador parece próxima al 100%, sin que se haya producido retención o dispersión dentro del acuífero.

*2º ensayo de trazado (Noviembre 86)*

Se realiza en el mismo lugar en un momento de aguas bajas (caudal en el sumidero de 6 l/s y 240 l/s en la surgencia) utilizando igualmente 50 Kg de LiCl.

Sin embargo, las condiciones hidrológicas se modifican una vez realizada la inyección, mostrando el ensayo la evolución que se recoge en la figura 7.

A la vista del gráfico, parece razonable suponer que las fuertes lluvias registradas han acelerado la velocidad de circulación del trazador, que en otras condiciones hubiese tardado un mayor tiempo en manifestarse. Cabe esperar, por tanto, que las velocidades de circulación, en estiaje, serán menores que las calculadas en este ensayo:

- velocidad máxima: 54 m/h
- velocidad media: 49 m/h

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

El volumen de recursos de la unidad se evalúa en 30,5 $Hm^3$/año, de los que se aprovechan en la actualidad del orden de 4 $Hm^3$/año, lo que supone una fracción aproximada del 13% del total.

Estos aprovechamientos se realizan por captación directa de las surgencias naturales.

Los principales aprovechamientos, en cada una de las subunidades, son los siguientes:

*Subunidad Albiztur*

El principal manantial, Salubita, está captado para uso industrial (papelera). Se estima que se utilizan para este fin, del orden del 10-15% de los recursos.

*Subunidad Igaran-Urrestilla*

- Etxeberri, captado para una piscifactoría. Se utiliza del orden del 50% el caudal.

- Igaran, captado para abastecimiento de Albiztur (se estima que se utiliza el 10% del caudal medio).

- Arkasin, captado parcialmente (5-10%) para una fuente pública en Albiztur.

- Oial, captado para abastecimiento a Urrestilla, se utiliza aproximadamente el 15% del caudal.

*Subunidad Ugena*

- Aranguren e Iturbe captados íntegramente para abastecimiento de Errezil.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

DFG-SGOP (1985). Estudio de Evaluación de los Recursos Hidráulicos Subterráneos del Territorio Histórico de Gipuzkoa. (INGEMISA-EUROESTUDIOS).

EVE-DFG (1987). Estudio Hidrogeológico del Area de Tolosa Occidental. (INGEMISA).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Lavadero | 561835 | 4778995 | 113 | 30 | |
| Etxeberri | 573365 | 4775095 | 108 | 30 | Abastecimiento de una piscifactoría |
| Oial | 562110 | 4778990 | 143 | 30 | Abastecimiento de Urrestilla |
| Salubita | 572495 | 4775239 | 120 | 640 | Uso industiral |
| Igaran | 570650 | 4776700 | 350 | 100 | Abastecimiento de Albiztur |
| Ugena | 561875 | 4779480 | 145 | 55 | Características termales. T=18,8°C |
| Arkasin | 570675 | 4776550 | 340 | 10 | Fuente pública |
| Aranguren | 567510 | 4779000 | 268 | 1-10 | Abastecimiento Errezil |
| Iturbe | 567680 | 4779620 | 295 | 1-10 | Abastecimiento Errezil |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Albiztur-2 | 572030 | 4775340 | 165 | | Sondeo de reconocimiento |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA GATZUME

## GENERALIDADES

Se sitúa en el Territorio Histórico de Gipuzkoa, en su sector centro-septentrional. La posición en el dominio hidrogeológico queda reflejada en la figura 1.




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

La principal población en ella incluida es Zestoa con 3.400 habitantes, existiendo otras de menor entidad, Aizarnazabal, Aizarna, Erdoizta, etc. La actividad principal es agropecuaria.

Es una zona de topografía abrupta, con valles encajados y laderas de fuerte pendiente, destacando como puntos más elevados el monte Ernio (1.075 m), en el límite sur-occidental de la unidad, Gatzume (1.006 m) y Pagoeta (714 m).

La red hidrográfica principal es la del río Urola, al que vierten la mayoría de los arroyos de la zona a excepción de los situados en el sector oriental, que vierten al Oria.

## GEOLOGIA

La unidad está incluida en el Arco Vasco, estructura extensa y compleja, con numerosos pliegues menores, uno de los cuales conforma gran parte de la unidad. Se trata del sinclinal volcado de Zestoa, de dirección NO-SE, cuyo flanco normal (el NE) se encuentra recortado por la escama de Pagoeta, que produce el cabalgamiento de materiales jurásicos sobre cretácicos en los sectores más septentrionales. El núcleo del sinclinal volcado está integrado por una potente serie supraurgoniana, flanqueada por materiales fundamentalmente carbonatados del complejo Urgoniano.

Desde el punto de vista estratigráfico, los materiales incluidos abarcan desde el Trías hasta el Cretácico superior, encontrándose sobre ellos algunos recubrimientos de edad cuaternaria. Las características más sobresalientes son:

**Trías** (95-96). Constituye un nivel de despegue. Si bien en la zona aflora en pequeños núcleos asociados al frente del cabalgamiento, su presencia se hace más extensa en las proximidades de Asteasu (sureste de la unidad). Está formado por arcillas abigarradas (95) que incluyen algunas pequeñas masas de rocas ofíticas (96).

**Jurásico** (98-101). La parte basal (98) se encuentra constituida por un paquete de calizas, calizas dolomíticas, dolomías, carniolas y brechas intraformacionales de unos 200-250 m de potencia. Por encima aparece una alternancia de margas, margocalizas y calizas limosas (99) bastante descalcificadas. El techo de este término en algunos sectores se encuentra constituido por limolitas negras y areniscas micáceas rojas (101). Ocasionalmente se diferencian algunos niveles constituidos por calizas margosas y calizas bioclásticas (100).

El Jurásico terminal (106) se encuentra constituido por un tramo de unos 70-100 m de potencia de calizas micríticas, tableadas.

**Complejo Urgoniano** (108, 109). Engloba una gran diversidad de facies en tránsito lateral. Lutitas calcáreas, calizas y margas (108) con frecuentes cambios de facies. Calizas masivas (109). Calizas micríticas con rudistas y calizas bioclásticas con abundantes fragmentos de corales y otros restos orgánicos. Presentan un aspecto masivo en el que resulta difícil observar la estratificación llegando en algunas ocasiones a formar barras con cierta continuidad lateral. Mientras en la zona de Zestoa la potencia es casi de 1.000 m, en el extremo oriental del flanco Sur

tan solo alcanza los 200 m. Son las típicas calizas urgonianas que generan los principales resaltes topográficos de la zona.

**Complejo Supraurgoniano** (120, 121). Se trata de una serie monótona de lutitas (120), compactas y laminadas que intercalan paquetes areniscosos y niveles con nódulos ferruginosos (121). Ocupa el núcleo del sinclinal volcado donde alcanza un espesor superior a 800 m.

**Cretácico superior** (141, 147). La parte basal se encuentra constituida por margas y limolitas negras así como por margocalizas grises estratificadas. Los episodios cretácicos más altos (147) están formados por una alternancia de margas, margocalizas.

**Cuaternario** (200). Se diferencian materiales aluviales asociados al río Urola y constituidos por gravas y bolos englobados en una matriz arcillo-arenosa así como rellenos de depresiones kársticas, constituidos por arcillas que tapizan áreas endorreicas.

La estructura principal del área es el sinclinal volcado que recorre la misma en dirección NO-SE. Se diferencian dos sectores con estilos tectónicos diferentes:

-Una tectónica tangencial en la zona nororiental, que trae consigo el cabalgamiento de las series inferiores sobre el Cretácico superior, habiendo constituido muy probablemente el Trías en facies Keuper el nivel de despegue.

-Una tectónica de bloques en la zona de Zestoa, condicionados por un sustrato "móvil" (Trías).

Las fracturas más importantes presentan dos directrices predominantes: N120°E y N60°E, siendo las primeras las que han jugado un papel más importante, tanto si se trata de cabalgamientos como de fallas normales.

**HIDROGEOLOGIA**

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

De los materiales aflorantes en el área tienen permeabilidad alta las calizas y dolomías jurásicas (98, 100, 106), las calizas urgonianas (109) y los depósitos cuaternarios (200).

La permeabilidad de las calizas y dolomías jurásicas está favorecida por procesos de karstificación que se han desarrollado con intensidad en algunos puntos, sobre todo en los cercanos al frente de cabalgamiento donde los materiales se encuentran bastante tectonizados.

Las variaciones de caudal que presentan los manantiales asociados a estos materiales reflejan un grado de karstificación funcional importante, traducido en un rápido acceso del agua infiltrada a la surgencia.

Las calizas urgonianas originan el acuífero principal de la unidad. Su permeabilidad es debida, casi exclusivamente, a porosidad secundaria, desarrollada a favor de procesos de fracturación y karstificación. No obstante, se detectan algunas variaciones en el grado de permeabilidad. En el sector Norte (depresión de Aizarna) los materiales exhiben un grado de karstificación notablemente mayor que el observado en el sector Sur (monte Gatzume). La zona de Aizarna constituye una depresión endorreica con abundantes formas exokársticas, lo que da una idea de la alta permeabilidad de los materiales carbonatados.

La individualización de ambos acuíferos, jurásico y urgoniano, se realiza mediante la denominada facies de implantación urgoniana (108) de permeabilidad baja-muy baja.

De los depósitos cuaternarios tienen interés los que ocupan las depresiones de Aizarna, de escasa superficie pero importante potencia, debido al papel regulador que juegan en el funcionamiento hidrogeológico de la unidad.

Los términos 96 y 111, presentan permeabilidad media, si bien su escasa representación en la unidad les resta interés.

El resto de los materiales presentan permeabilidad baja (99, 101, 113, 114, 121, 141, 147) o muy baja (95, 120).

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

Las calizas y dolomías jurásicas definen bandas aproximadamente paralelas a la traza del frente de cabalgamiento. La estructura interna es suavemente ondulada, a favor de una sucesión de pliegues poco apretados y paralelos a la estructura general.

El Cretácico superior actúa de sustrato impermeable del acuífero jurásico; asimismo, las intercalaciones detríticas llegan a definir sectores

de funcionamiento independiente. La superficie de afloramiento de los materiales jurásicos permeables es de aproximadamente 4 km$^2$ y la cuenca vertiente sobre ellos se estima en unos 6 km$^2$.

En la descripción geométrica del acuífero urgoniano se puede hacer una diferenciación entre la mitad noroccidental de su afloramiento y la mitad Sur. En la primera, el rasgo más destacable es el desarrollo de grandes depresiones kársticas, ocupadas por rellenos arcillosos cuaternarios. Por el contrario, la segunda mitad dibuja una estrecha franja, con su punto más elevado en el monte Gatzume, que casi desaparece en el flanco invertido de la estructura. La superficie de afloramiento del acuífero es de aproximadamente 25 km$^2$. Como sustrato impermeable se encuentran, en algunos sectores, las margas y margocalizas del Cretácico superior y, en otros, la facies de implantación urgoniana.

*PUNTOS DE DESCARGA*

Del total de manantiales inventariados en esta unidad, únicamente tres presentan un caudal de estiaje superior a 5 l/s. Todos se encuentran asociados al acuífero urgoniano: Hamabiturri, Granadaerreka y Utzeta.

**Hamabiturri.** Surge aproximadamente a cota 50 m en las inmediaciones de la margen derecha del río Urola a su paso por Zestoa. La temperatura de sus aguas varía entre 9 y 11°C. Presenta un caudal base de unos 60-70 l/s y puntas de varios metros cúbicos por segundo. Se ha ejercido un control de los caudales de esta surgencia durante el período 1986-93. El caudal medio anual durante el tiempo controlado varía entre 311 y 763 l/s. Son varios los puntos de salida de agua en este manantial lo que, junto a su proximidad al río Urola, induce a pensar en la existencia de aportes directos al cauce. Algunas tandas de aforos diferenciales a lo largo del río han permitido establecer aportes desde las calizas, sobre todo en períodos de aguas medias-altas. Aforos realizados en período de estiaje ponen de manifiesto que los aportes, caso de existir, son mínimos. Es de destacar la gran turbidez que presentan las aguas de este manantial en períodos de aguas altas, debido a una importante removilización de finos en el acuífero.

**Granadaerreka.** Surgente a cota 260 m, presenta un caudal base algo superior a 10 l/s y caudal medio de 130 l/s. La temperatura de sus aguas varía entre 8 y 10°C. Es utilizado para aprovechamiento hidroeléctrico y para el abastecimiento a Zarautz. En las inmediaciones se observan otras surgencias que pueden considerarse insignificantes en épocas de estiaje. En períodos de aguas altas el caudal conjunto aportado por estas pequeñas surgencias se sitúa en torno a 20 l/s. Al contrario que ocurre en Hamabiturri, llama la atención la transparencia de sus aguas aún en períodos de crecida.

Tanto el manantial como los caudales del propio arroyo Granadaerreka se controlan mediante una estación de aforos desde 1986. El caudal medio anual de la estación en los 8 años hidrológicos de registro se sitúa sobre los 170 l/s, habiendo bajado hasta valores próximos a 100 l/s durante la sequía de los años 1988-90. En la figura 2 se muestran los hidrogramas de los manantiales Granadaerreka y Hamabiturri en el periodo 1987-89.

**Utzeta.** Surge dentro del nivel de calizas (de carácter marmóreo en esta zona) a cota 250 m. Se encuentra captado actualmente para el abastecimiento a Azpeitia, utilizándose la totalidad de su caudal en períodos de estiaje. Este caudal es del orden de 9 l/s, si bien en períodos de estiaje prolongado llega a bajar hasta 5 l/s. Su caudal punta se sitúa sobre los 400 l/s. La temperatura en la surgencia varía entre 8 y 11°C. Al contrario que Hamabiturri y en menor proporción Granadaerreka, la transparencia de sus aguas es total en cualquier momento hidrológico. En el período 1986-87 se controló de forma periódica su aportación. Las variaciones en cuanto a caudal son muy altas. La respuesta de la surgencia ante la recarga pluviométrica es prácticamente instantánea y más rápida que en los manantiales Granadaerreka y Hamabiturri. Un dato significativo puede ser el hecho de que el mejor coeficiente de correlación se de entre los caudales de Utzeta y Granadaerreka, pero considerando en este último los caudales 8 horas después de haberse aforado Utzeta.

En un segundo grupo de manantiales inventariados en este área, se pueden agrupar aquellos que mientras en períodos de estiaje presentan un caudal inferior a 5 l/s muestran importantes variaciones estacionales. En este sentido, merecen atención los manantiales Giltza Iturri, Alzola, Zeteta, Intxausti, Sastarrain y Osinbeltz.

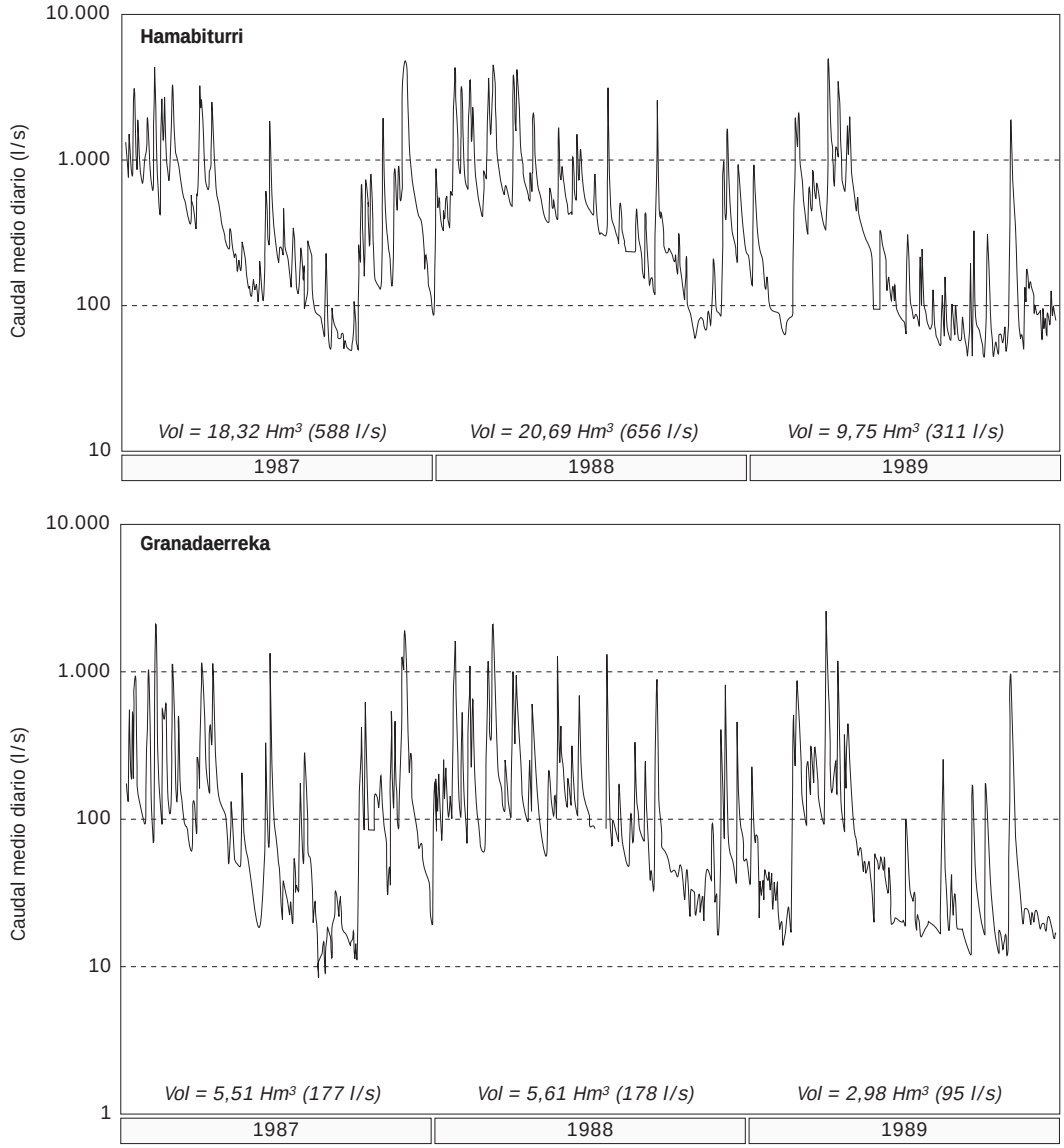



Figura 2. Hidrogramas de caudales medios diarios de Hamabiturri y Granadaerreka.

**Giltza Iturri.** Constituye el drenaje principal del acuífero jurásico. Su caudal medio se ha establecido en 10 l/s, aunque está sujeto a variaciones relativamente importantes. Se distinguen varias salidas, a algunas de las cuales se asocian depósitos de tobas y travertinos.

**Alzola.** Surge en los materiales carbonatados jurásicos de las inmediaciones del cauce del arroyo Altzolaratz a cota 90 m. Presenta un caudal base en torno a 2-3 l/s y en períodos de intensa precipitación se ha llegado a aforar un caudal de 98 l/s.

**Zeteta.** Surgente a cota 325 m en el frente de cabalgamiento, presenta un caudal base de 1-1,5 l/s, incrementándose en periodos de aguas altas hasta 50-60 l/s.

**Intxausti.** Surgente en una situación similar al anterior, su caudal varía entre 2-3 l/s en estiaje hasta 50 l/s en períodos de crecida.

**Sastarrain.** Asociado a las calizas urgonianas, está sujeto a crecidas importantes, con caudales superiores a 100 l/s.

**Osinbeltz.** Manantial de carácter temporal, asociado a las calizas urgonianas. Presenta caudales punta de 40 l/s.

El resto de los manantiales de la zona presentan un caudal en estiaje muy pequeño, inferior a 1 l/s. Entre ellos merece ser destacado el manantial Zestoa, utilizado en las instalaciones balnearias del mismo nombre. Consta de dos salidas, situadas en el cauce del río Urola, con un caudal conjunto cercano a 1 l/s. Tiene características termales (28°C) y declaración de agua minero-medicinal. La composición del agua es clorurada sódica con una mineralización que alcanza los 10.000 µS/cm de conductividad.

Hay que señalar, no obstante, que algunos manantiales surgen prácticamente dentro de los cauces de algunos arroyos, y no es posible observar su variación en aguas altas cuando llegan a ser cubiertas por las aguas de estos arroyos.

*SUBUNIDADES*

Las características geológicas del acuífero jurásico producen una compartimentación importante del mismo, con formación de sectores con poca superficie de recarga, individualizados hidráulicamente. Se trata mayoritariamente de acuíferos kársticos *sensu stricto* en funcionamiento libre, asociándose los principales puntos de descarga al frente del cabalgamiento. Localmente, los materiales jurásicos de baja permeabilidad (margas y lutitas) pueden provocar el confinamiento en algunos sectores.

El drenaje se realiza a través de varios puntos de descarga: Alzola, Intxausti, Zeteta, etc., además de salidas directas al cauce de algunos arroyos, principalmente arroyo Altzolaratz. Los puntos de descarga muestran una rápida respuesta a la precipitación recibida sobre el afloramiento. Esto lleva a pensar en una red de drenaje escasamente reguladora de caudales.

El funcionamiento del acuífero urgoniano, también de tipología kárstica *sensu stricto*, es variable de un extremo a otro. Los datos actualmente disponibles apuntan a la existencia de una divisoria hidrogeológica al Norte del manantial Granadaerreka que dividiría los materiales urgonianos en dos subunidades (figura 3):

- Subunidad Zestoa (al Norte)
- Subunidad Gatzume (al Sur).

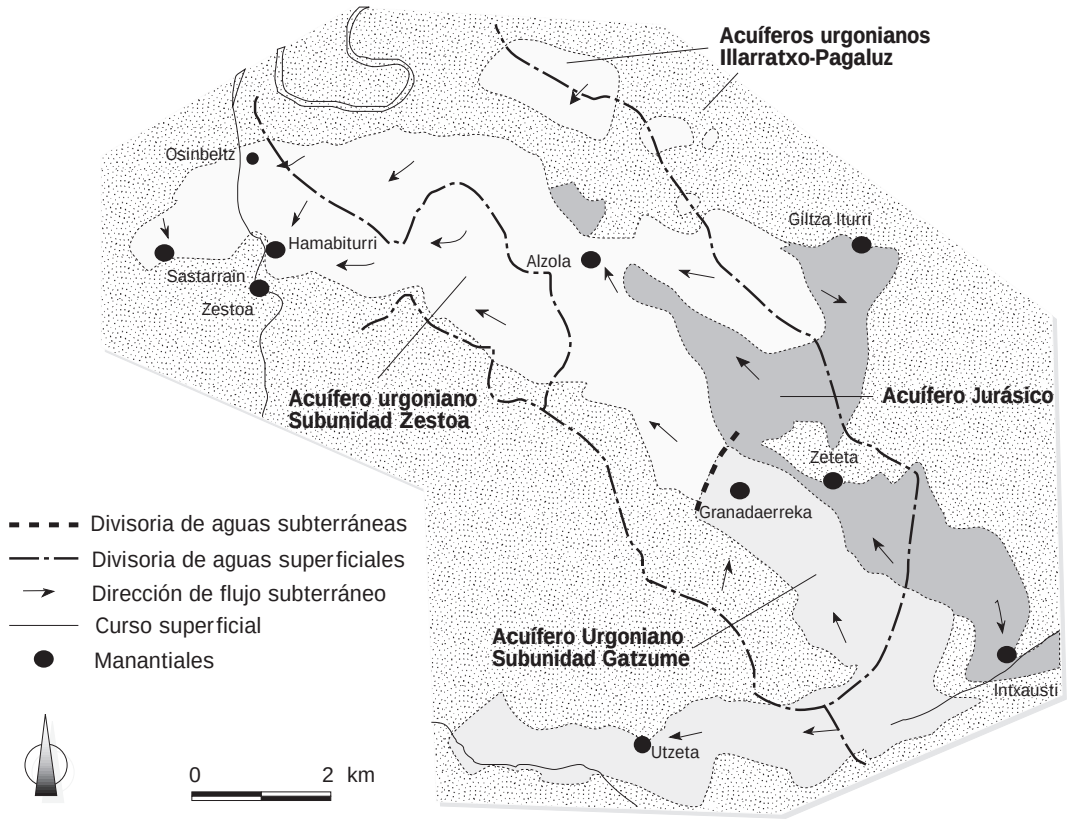



Figura 3. Esquema de subunidades.

**Subunidad Zestoa.** Presenta una superficie de recarga de unos 16 km$^2$, constituyendo las principales zonas de alimentación las depresiones kársticas de Aizarna y Akua. Esta superficie se encuentra constituida tanto por materiales carbonatados permeables como por otros materiales de menor permeabilidad cuyas aguas de precipitación tras discurrir superficialmente acaban por infiltrarse en los niveles carbonatados. El principal punto de descarga de la subunidad lo constituye el manantial Hamabiturri, el cual drena todo el área localizada al Este del río Urola. El sector situado al Oeste del Urola es drenado por una serie de pequeños manantiales, destacando sobre todo los aportes al arroyo Sastarrain, lo que lleva a pensar en una compartimentación de este sector, posiblemente desconectado hidráulicamente del anterior.

Se trata de un acuífero de funcionamiento libre con una dirección del flujo subterráneo predominante hacia el manantial Hamabiturri. La variación de caudales de descarga muestra una rápida respuesta en la surgencia ante la alimentación pluviométrica. No obstante en períodos de estiaje el sistema se muestra más inercial debido a la mayor influencia que en esas situaciones tiene el flujo a través de fisuras respecto al flujo en conductos.

La velocidad de circulación subterránea (obtenida mediante ensayos con trazadores) varía entre 3 m/h en periodos de estiaje prolongado y 45 m/h en periodos de aguas altas.

**Subunidad Gatzume.** Presenta un área de recarga aproximada de 9 km$^2$. Dada la estructura geológica en la que se asienta el acuífero, éste puede encontrarse confinado en gran parte de su extensión. Al igual que en el caso de la subunidad Zestoa, la recarga al sistema se produce por infiltración directa en los materiales carbonatados así como por infiltración en sumideros de la escorrentía superficial asociada a materiales supraurgonianos. Además, cabe esperar una cierta componente subterránea procedente de las áreas más areniscosas del supraurgoniano.

Los principales puntos de descarga de esta subunidad los constituyen las surgencias Granadaerreka y Utzeta. Los balances realizados parecen confirmar la existencia de una divisoria hidrogeológica coincidente a grandes rasgos con el trazado del eje sinclinal. Esta divisoria separaría dos sectores con diferente dirección del flujo subterráneo: una en dirección NE hacia el manantial Granadaerreka y otra en dirección SO hacia el manantial Utzeta.

La investigación mediante sondeos en la zona de Granadaerreka y Erdoizta demuestra la existencia de una compartimentación importante del acuífero (al menos en sectores próximos a la surgencia) que provocan la desconexión hidráulica entre sectores muy cercanos.

Los manantiales Utzeta y Granadaerreka podrían responder a un esquema de conducto preferente que actuaría como colector del flujo subterráneo.

Por último, y dentro del área de la unidad, aparecen al Norte y Este respectivamente dos pequeños acuíferos constituidos por retazos urgonianos, aislados y cabalgantes sobre materiales flyschoides del Cretácico superior. Su interés hidrogeológico es menor. Se han venido denominando acuíferos Illarratxo y Pagaluz. Se trata de pequeños acuíferos de escaso interés, de funcionamiento libre y direcciones de flujos subterráneo predominantemente hacia el Este. Debido a la intensa deformación en algunas zonas, puede existir en el caso del acuífero Pagaluz una cierta mezcla de aguas con otras provenientes de materiales jurásicos.

*BALANCE HIDRICO*

El balance se realiza por contraste entre los métodos empíricos y la información hidrometeorológica disponible en la zona. La estación pluviométrica más cercana se ubica en Azpeitia fuera del área ocupada por la unidad. Los valores medios resultantes son los siguientes:

- Isoyeta media = 1.600 mm.
- Isoterma media = 12°C.
- Lluvia útil = 1.025 mm (64% de la precipitación).

Los recursos totales de la unidad quedarían de esta forma en torno a 25 Hm$^3$/año, distribuidos de la siguiente manera:

- El acuífero jurásico, con un porcentaje de infiltración estimado en el 60% de la lluvia útil en los términos permeables, presenta un recurso renovable de 3 Hm$^3$/año.

- El acuífero urgoniano presenta unos recursos renovables de 21 Hm$^3$/año, de los cuales 14 Hm$^3$/año son drenados por el manantial Hamabiturri, mientras el resto (7 Hm$^3$/año)

son drenados por Utzeta y Granadaerreka. La infiltración media resulta del 85% de la lluvia útil, con sectores del 100% donde el desarrollo de formas kársticas es más acusado y porcentajes progresivamente inferiores en las zonas con mayores pendientes y/o menor desarrollo de formas de absorción kárstica. El drenaje efectuado por las tres surgencias principales justifica el 84% del balance de la unidad.

- Por último, los pequeños acuíferos urgonianos Illarratxo y Pagaluz completan el 1 $Hm^3$/año restante en el balance.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

La información hidroquímica se basa en un total de 60 análisis químicos correspondientes a 18 puntos de agua muestreados; 42 de estos análisis responden a muestreos periódicos de las surgencias más importantes, Hamabiturri, Granadaerreka y Utzeta.

En el cuadro 1 se muestra la tabla resumen de los valores medios de los componentes mayoritarios en siete de los principales puntos de agua de la unidad.

Prácticamente todas las muestras analizadas corresponden a facies hidroquímicas bicarbonatadas cálcicas, presentando un grado de mineralización mayor aquellas aparentemente asociadas a materiales jurásicos. Este carácter puede verse favorecido por la presencia de sulfuros y cierta dolomitización. Para el caso de las aguas que drenan materiales urgonianos hay que considerar la influencia que en la mineralización pueden ejercer las depresiones superficiales, así como la posible presencia de materiales triásicos en la Subunidad Zestoa.

La surgencia Hamabiturri presenta las aguas más mineralizadas, entre las principales surgencias, con una notable variabilidad temporal. Las surgencias Utzeta y Granadaerreka presentan una evolución hidroquímica temporal similar, con oscilaciones menos variables y más suavizadas en el caso de Utzeta. Los contenidos medios para los elementos considerados son muy parecidos en ambas, lo que evidencia una homogeneidad en los procesos modificadores del quimismo. Por ello, es razonable pensar en un comportamiento hidrogeológico parecido en ambos manantiales, más regularizado que en Hamabiturri.

Las curvas de distribución de los valores de la conductividad, parámetro representativo de la mineralización de las aguas, son las que mejor visualizan, de forma general, las observaciones anteriores (figura 4). Mientras los manantiales Granadaerreka y Utzeta presentan unas curvas de distribución de la conductividad marcadamente unimodales, el manantial Hamabiturri y también Alzola presentan una clara plurimodalidad en sus curvas.

Como elementos minoritarios se ha analizado en 18 muestras el contenido en plomo, zinc, cobre, hierro, manganeso y cadmio. En general no se detectan anomalías importantes presentando todos ellos valores similares y bastante bajos.

Los parámetros físico-químicos analizados permiten clasificar las aguas de la unidad entre los índices de calidad A01 y A1. Unicamente se ve rebajada en algunas muestras por valores ligeramente significativos de nitritos, demanda química de oxígeno y dureza.

En lo que se refiere a la calidad microbiológica, se han realizado análisis microbiológicos de 35 muestras correspondientes al control hidroquímico temporal realizado sobre los tres manantiales principales. Los resultados son

| Manantial | $Na^+$ | $K^+$ | $Ca^{++}$ | $Mg^{++}$ | $Cl^-$ | $SO_4^=$ | $HCO_3^-$ | $NO_3^-$ | $SiO_2$ | pH | Cond. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hamabiturri | 8,6 | 0,9 | 60,0 | 4,2 | 14,6 | 34,6 | 158,8 | 5,0 | 2,5 | | 290 |
| Granadaerreka | 3,4 | 0,2 | 50,0 | 1,9 | 7,2 | 13,8 | 143,1 | 2,4 | 1,8 | | 205 |
| Utzeta | 3,4 | 0,2 | 48,0 | 1,5 | 6,2 | 10,9 | 138,2 | 4,6 | 1,6 | | 200 |
| Alzola | 6,3 | 0,3 | 71,7 | 6,6 | 9,6 | 34,2 | 210,6 | 0,1 | 5,66 | 7,95 | 390 |
| Intxausti | 3,7 | 0,2 | 56,2 | 4,7 | 5,8 | 17,5 | 180,8 | 0,1 | 3,32 | 8,05 | 290 |
| Sastarrain | 6,8 | 0,7 | 59,4 | 4,7 | 11,0 | 15,0 | 189,2 | 3,1 | 6,01 | 8,00 | 323 |
| Zeteta | 4,0 | 0,3 | 41,6 | 9,3 | 7,5 | 7,3 | 170,9 | 2,2 | 1,72 | 8,00 | 285 |

Cuadro 1. Valores medios de componentes mayoritarios de los principales manantiales.
Valores en mg/l salvo pH y Conductividad (µS/cm)

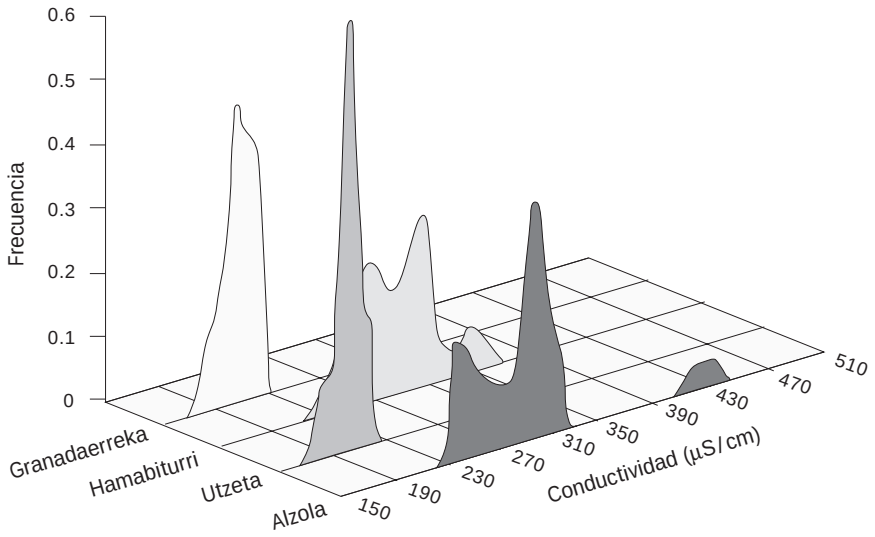



Figura 4. Histogramas de la conductividad.

muy significativos: sólo 6 muestras estaban exentas de microorganismos en el momento de la recogida y las 6 corresponden al manantial Utzeta.

La máxima presencia bacteriológica se produce en el manantial Hamabiturri, fruto de la actividad agrícola-ganadera desarrollada en la depresión de Aizarna. Además, la mayor concentración se produce en período de estiaje, coincidente muy probablemente con períodos de abonado agrícola donde una precipitación aislada origina el inmediato acceso al acuífero de los microorganismos.

En Utzeta y Granadaerreka el dispositivo es distinto. Además de la práctica inexistencia de focos contaminantes la velocidad de infiltración puede ser menor en algún caso, por lo que el sistema ejerce una mayor función filtro.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

La investigación complementaria llevada a cabo en la unidad puede subdividirse en 2 apartados:

- Ensayos con trazadores.
- Sondeos de investigación y explotación.

**Ensayos con trazadores**

Se han efectuado varios trazados con el doble objetivo de confirmar algunas conexiones hidráulicas y determinar ciertos parámetros del acuífero.

Los ensayos realizados en el entorno de Granadaerreka no han presentado resultados satisfactorios, introduciendo aún más interrogantes en el esquema de funcionamiento. El primer ensayo de trazado realizado en esta zona se efectúa desde un sumidero distante 1.900 m del manantial Granadaerreka. El trazador utilizado es cloruro de litio (28 kg).

Cincuenta días después de la inyección se dio por finalizado el ensayo no habiéndose detectado litio en ninguna de las muestras recogidas (inicialmente muestras cada 5 horas).

El ensayo volvió a repetirse en período de aguas altas utilizándose en esta ocasión como trazador 0,5 kg de fluoresceína sódica. La detección de la fluoresceína se pretendía realizar mediante fluocaptores que se instalaron esta vez en un mayor número de puntos de control: Granadaerreka, arroyo Altzolaratz, Utzeta, Hamabiturri y Alzola. Treinta y seis días después de realizarse la inyección se da por finalizado el ensayo sin haber registrado fluoresceína en ninguno de los fluocaptores recogidos. Los resultados obtenidos no son concluyentes, ya que la no detección del trazador no descarta la conexión entre el sumidero y el manantial.

En Hamabiturri se ha constatado la conexión hidráulica con la depresión de Aizarna mediante dos ensayos con trazador. El primero, se realizó en estiaje adicionando 2 kg de fluoresceína sódica en el sumidero Zabaleko Zulota. El

colorante apareció a los 38 días de la inyección en el manantial Hamabiturri no habiéndose detectado la presencia de fluoresceína en ningún otro punto. La fluoresceína persistió en la surgencia durante 2 semanas.

El segundo ensayo se realiza en 1987 en otro sumidero de Aizarna, a una cota aproximada de 202 m y distante 2,4 km del manantial Hamabiturri. En este caso se utilizan 100 kg de cloruro de litio. Las fuertes precipitaciones que se producen 2 días después provocan la rápida salida del trazador por el manantial.

Como se observa las diferencias entre ambos ensayos son notables. Mientras en el período de aguas bajas (estiaje) del primer ensayo la velocidad modal de tránsito resulta ser de 2,5 m/h, en el período de aguas altas del segundo ensayo esta velocidad es de 43 m/h, es decir, la velocidad experimentada en aguas altas es al menos 17 veces superior a la que se observa en estiaje.

**Sondeos**

La investigación hidrogeológica mediante sondeos se ha centrado en tres sectores principales de descarga: cercanías de los manantiales Granadaerreka y Hamabiturri y arroyo Altzolaratz.

En su mayoría los sondeos se han limitado a la fase de investigación, dados los resultados poco satisfactorios. Así, en el entorno de los manantiales Hamabiturri y Granadaerreka se han perforado varios sondeos, ninguno de los cuales ha conectado con las zonas de aporte de las surgencias.

Las perforaciones en los materiales jurásicos han resultado más concluyentes, dentro de lo limitado de los caudales obtenidos. El sondeo Bekola-1 atraviesa 79 m de acuífero jurásico de transmisividad media 5 $m^2$/día, con un caudal de explotación de 5 l/s.

El sondeo Bekola-2, situado a 400 m del Bekola-1 y a escasos 10 m del manantial Alzola, atraviesa una serie jurásica intensamente fracturada que impide la finalización del mismo, perforado por el sistema de rotopercusión. La perforación se abandona a los 103 m con un caudal durante la perforación de 10 l/s y sin afección al manantial. El sondeo, una vez finalizado, es surgente con un caudal entre 0,5-1 l/s. El agua obtenida presenta una facies sulfatada cálcica con contenidos en sulfatos y calcio por encima de los límites de potabilidad. A pesar de que el sondeo no atraviesa materiales evaporíticos triásicos su hidroquímica refleja su presencia cercana.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

El aprovechamiento actual de los recursos disponibles se centra fundamentalmente en las captaciones de Granadaerreka y Utzeta para el abastecimiento a Zarautz y Azpeitia respectivamente.

El grado de utilización de los recursos de la unidad es mínimo. En algunas ocasiones se ha bombeado, en periodo de estiaje, el agua del manantial Hamabiturri para abastecimiento a Zarautz, Zestoa y Zumaia.

Aunque de menor cuantía, hay que tener en cuenta también las captaciones del arroyo Sastarrain y sondeo Bekola-1 para abastecimiento a Zestoa y Zarautz respectivamente, y del manantial Giltza Iturri para abastecimiento de Aia.

El recurso aprovechado se estima en torno al 15%, es decir, casi 4 $Hm^3$/año.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

EVE-DFG (1987). Estudio de la Unidad Hidrogeológica Gatzume-Zestoa. (GIGSA).

EVE-DFG (1987). Control y seguimiento del sondeo Granadaerreka-4. (GIGSA).

EVE-DFG (1987). Control y seguimiento del sondeo Bekola-2. (GIGSA).

EVE-DFG (1988). Control y seguimiento del sondeo Hamabiturri. (GIGSA).

EVE-GV (1987). Síntesis Hidrogeológica de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Granadaerreka | 566750 | 4784100 | 260 | 130 | Abastecimiento a Zarautz |
| Utzeta | 565515 | 4780800 | 250 | 90 | Abastecimiento a Azpeitia |
| Alzola | 564650 | 4787890 | 90 | 1-10 | |
| Zeteta | 568300 | 4784250 | 325 | 1-10 | |
| Hamabiturri | 560630 | 4787475 | 50 | 440 | Abastecimiento temporal a Zestoa |
| Intxausti | 570650 | 4782350 | 340 | 1-10 | Abastecimiento a Larraul |
| Osinbeltz | 560195 | 4788685 | 45 | 1-10 | |
| Sastarrain | 559000 | 4787410 | 80 | 10-100 | Abastecimiento de Zestoa |
| Giltza Iturri | 568435 | 4787545 | 400 | 10 | Abastecimiento de Aia |
| Zestoa | 560375 | 4787030 | 45 | <1 | Dos salidas. Instalaciones balnearias. Termal (28°C). Mineromedicinal |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Bekola-1 | 564330 | 4787170 | 75 | 5 | Abastecimiento a Zarautz |
| Bekola-2 | 564655 | 4787900 | 94 | 10 | |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA IZARRAITZ

## GENERALIDADES

Se sitúa al NO del Territorio Histórico de Gipuzkoa, formando una amplia banda de calizas urgonianas que se extiende desde Azpeitia a Mutriku con dirección SE-NO. Hidrográficamente queda incluida en las cuencas bajas de los ríos Deba y Urola, cuyos cauces principales atraviesan la unidad en sentido S-N.

Los municipios más importantes incluidos son: Mutriku, Deba, Mendaro, Azpeitia, Azkoitia y Elgoibar, si bien únicamente Mendaro tiene el casco urbano dentro de la unidad, encontrándose también como núcleo urbano de cierta entidad Itziar.

La industria se localiza preferentemente en las cercanías de los cauces de los ríos principales, a excepción del polígono industrial de Itziar, predominando la ganadería y explotación forestal en el resto del área.




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

Los relieves más altos se encuentran en la Sierra de Izarraitz al Sur, donde destaca el Erlo de 1.026 m de altura. El monte Arno, 628 m, es el relieve más significativo en la parte occidental de la unidad. Los puntos más bajos se encuentran en los valles del Urola y Deba a cotas inferiores a 100 m.

## GEOLOGIA

Geológicamente, la unidad está encuadrada íntegramente en el Dominio Hidrogeológico Anticlinorio Norte (figura 1). Su estructura corresponde a una sucesión de pliegues con dirección NO-SE, tumbados o inclinados, vergentes al Norte en la mitad meridional. El conjunto está afectado por fallas generalmente normales, cuyas direcciones principales son NO-SE, NE-SO y N-S.

Los materiales más antiguos afloran al Sur de la unidad, en las cercanías de Azkoitia. Son materiales margosos (99, 105) jurásicos de baja permeabilidad.

Subiendo en la serie aparecen calizas de sérpulas (106) del Neocomiense-Barremiense de alta permeabilidad. Sobre estos materiales se dispone el complejo Urgoniano con sus limolitas calcáreas, margas y calizas impuras (108) de baja permeabilidad, encontrándose igualmente la facies de calizas arrecifales (109) de alta permeabilidad, calizas margosas (111) de permeabilidad media, areniscas silíceas y lutitas (113) y margas grises (114), ambas de permeabilidad baja. También existe un pequeño afloramiento de brechas calcáreas (115) de permeabilidad media. El último término consolidado existente en la unidad, está constituido por una alternancia de lutitas y areniscas (120, 121) del complejo Supraurgoniano de muy baja y baja permeabilidad. Los materiales cuaternarios únicamente están presentes en forma de depósitos aluviales en los ríos Deba y Urola, de alta permeabilidad pero escasa entidad, y en algunas depresiones kársticas.

## HIDROGEOLOGIA

Las litologías clasificadas como de permeabilidad alta son las que conforman los acuíferos de interés de la unidad. Según ésto, son las calizas arrecifales (109), por su permeabilidad y extensión, las que ofrecen mayor interés. Otras litologías, como las calizas de Sérpulas (106) y depósitos aluviales (200), si bien presentan valores altos de permeabilidad su reducida superficie les resta interés.

La compartimentación que afecta a las calizas arrecifales urgonianas (109), causadas en

buena medida por cambios de facies, origina diferentes direcciones de drenaje y, como consecuencia, distintas subunidades hidrogeológicas, aunque no son descartables conexiones hidráulicas de escasa entidad.

Otro fenómeno que es necesario resaltar para comprender el funcionamiento hidrogeológico de la unidad, es el papel que juega la facies detrítica (108) del complejo Urgoniano. Son materiales de permeabilidad baja, y generalmente actúan como tal, pero en los que se desarrollan frecuentemente conductos muy localizados que actúan como auténticos ríos, poniendo en ocasiones en comunicación hidráulica diferentes masas de calizas urgonianas.

Este fenómeno explica los resultados obtenidos en los numerosos ensayos con trazadores realizados, como pueden ser los de Ugarteberri y Lastur, en los que el trazador salió por manantiales muy lejanos, desconectados al menos en superficie de los puntos de inyección. Igualmente esto explicaría la existencia de manantiales de notable caudal como Tantorta y Sasiola, que no están asociados a una superficie importante de materiales permeables. En cualquier caso, existe una segunda explicación para el fenómeno mencionado anteriormente, y es que el recubrimiento de las calizas por la serie detrítica sea mínimo y, por tanto, exista una continuidad del acuífero en profundidad, pero los datos geológicos apoyan más la hipótesis anterior.

Las subunidades hidrogeológicas (figura 2) diferenciadas son:

- Subunidad Izarraitz
- Subunidad Goltzibar
- Subunidad Lastur-Arno
- Subunidad Itziar

*SUBUNIDAD IZARRAITZ*

Se sitúa al Norte de Azkoitia y Azpeitia y ocupa la mayor parte del macizo de Izarraitz. Hidrológicamente, está incluida en su totalidad en la cuenca del río Urola, hacia donde drena.

**Características geométricas**

Está constituida por calizas arrecifales (109) masivas, que presentan una potencia máxima estimada de 700 m disminuyendo hacia los bordes. En las cercanías del río Urola se da un cambio de facies a calizas margosas (111) de permeabilidad media, pero con evidente conexión hidráulica con el resto de la subunidad. El substrato impermeable está constituido por margas, calizas y limolitas calcáreas (108) del mismo complejo Urgoniano.

Los límites se han definido por criterios geológicos, por la información aportada por las coloraciones y por los datos de caudales medidos en la estación de aforos situada en el arroyo Kilimon o Aranerreka.

Las cotas más alta y más baja se sitúan en el monte Erlo, 1.026 m, y el río Urola, 80 m, puntos distantes tan sólo 2,2 km.

Estructuralmente, la subunidad consiste en un sinclinal de dirección variable NO-SE y E-O, apareciendo volcado en sus extremos NO y SE donde la serie se invierte.

La subunidad, tal como ha sido definida, tiene una superficie de 6,1 km$^2$ de materiales permeables y de 2 km$^2$ de cuenca vertiente de baja permeabilidad.

**Puntos de agua**

Únicamente existen dos puntos de agua importantes en la subunidad, situándose todos ellos en las cercanías del río Urola.

**Gasolinera.** En realidad se trata de una salida difusa de agua junto al cauce del río Urola. El caudal en épocas de estiaje es de 10 l/s, si bien pueden existir salidas directas al río no controladas.

**Motrailo.** Se trata de un manantial situado junto a la cantera Eskusta y al río Urola. El caudal de estiaje es parecido al anterior. Asociado a este manantial, existe un trop-plein importante que, en épocas de crecidas, supera los 1.000 l/s.

**Funcionamiento hidráulico y parámetros**

La subunidad presenta una tipología de acuífero libre kárstico, en el que la permeabilidad es debida a procesos de karstificación y fisuración. Conceptualmente, se trataría de un acuífero kárstico en sentido estricto, con un desarrollo muy importante de simas, dolinas y galerías. Además, en algunas zonas, existe un lapiaz desnudo.

El desarrollo de los procesos kársticos está controlado por factores litológicos y estructurales, que han ocasionado la aparición de grandes

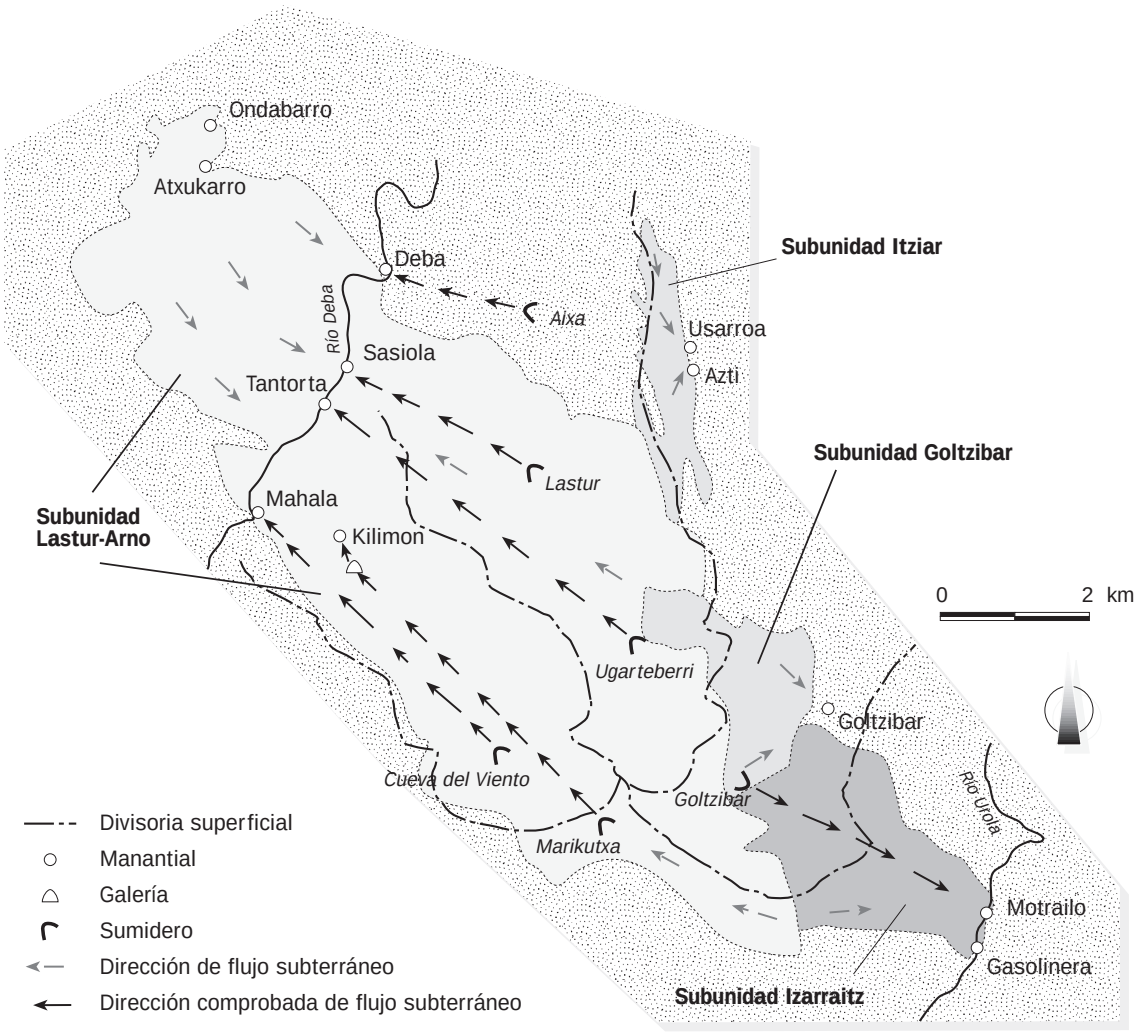



Figura 2. Esquema de subunidades.

conductos que actuan como red de drenaje principal, la cual presenta comunicación con una red secundaria de pequeñas fracturas, responsable de la permeabilidad media del acuífero.

La circulación subterránea en la zona saturada se realiza de Oeste a Este, es decir, de las zonas altas hacia el cauce del río Urola. La caracterización geométrica de la subunidad presenta algunas dudas que podrán ser resueltas cuando se dispongan de más años de datos de caudales de Kilimon y del manantial Motrailo y regata Goltzibar.

Los datos existentes sobre la piezometría de la subunidad no permiten realizar ninguna aproximación sobre la misma, ya que presentan muchos interrogantes. Considerando el sondeo Eskusta, el gradiente obtenido es del 5%; sin embargo, su situación en una zona poco transmisiva del acuífero puede ser la causa del elevado valor.

De los dos sondeos realizados en la cantera Eskusta, se obtiene una transmisividad del acuífero en esa zona de 100 $m^2$/día.

*SUBUNIDAD GOLTZIBAR*

Se extiende al Norte de la de Izarraitz, entre el monte Erlo y el valle de Ugarteberri, quedando incluida en la cuenca del río Urola.

**Características geométricas**

Los materiales permeables, de 3,3 $km^2$ de extensión, están constituidos por calizas arrecifales (109), que presentan una potencia máxima

de 700 m, disminuyendo según zonas por cambios de facies. El substrato impermeable lo constituyen limolitas calcáreas, margas y calizas impuras (108) a excepción de la zona Norte, donde por contacto mecánico el substrato impermeable está formado por areniscas y lutitas (121).

Las cotas menores de la subunidad se dan en la regata Goltzibar, 200 m. A partir de esta zona, las cotas de contacto ascienden progresivamente hasta alcanzar los 600 m.

La estructura corresponde a una sucesión de pliegues tumbados vergentes al NE, afectados por un sistema de fracturas NE-SO, a favor de las cuales se desarrollan dolinas, valles ciegos y regatas.

**Puntos de agua**

Existen 4 manantiales importantes en la subunidad. Todos ellos se sitúan en la regata Goltzibar, y pueden ser considerados como un conjunto relacionado, ya que parte del caudal del más alto se infiltra en la regata para resurgir más abajo. Además existe un aporte difuso a la propia regata Goltzibar.

El caudal conjunto de estiaje de los manantiales es de 15 l/s, evaluándose las salidas difusas a la regata en una cifra similar, por lo que la cifra total en estiaje se acerca a 30 l/s.

**Funcionamiento hidráulico y parámetros**

La subunidad tiene un funcionamiento similar a la de Izarraitz, es decir, se trata de un acuífero libre, kárstico en sentido estricto, con un desarrollo importante de conductos y fracturas. Por los datos existentes, se piensa que existe un almacenamiento importante en una red de pequeñas fracturas secundarias. La existencia de una única zona de descarga sugiere que la circulación de agua se realiza en sentido convergente a la regata Goltzibar.

No se han realizado sondeos en la subunidad, por lo que no se conocen los parámetros de la misma ni existen datos de su piezometría.

*SUBUNIDAD LASTUR-ARNO*

Es la subunidad más importante tanto por su extensión y recursos como por el grado de aprovechamiento de los mismos. Se extiende desde Izarraitz hasta las proximidades de Mutriku, estando cortada por el río Deba hacia donde drena.

Esta subunidad engloba una extensión de materiales permeables, calizas (109), de 28 km$^2$ que presentan características comunes pero que están compartimentados hidráulicamente, drenando por diferentes manantiales. La cuenca vertiente de baja permeabilidad es de 21,7 km$^2$.

**Características geométricas**

Las características de los materiales permeables, potencia, bordes impermeables, etc., son iguales a las de las subunidades ya descritas.

El río Deba atraviesa la subunidad en su zona central, constituyendo el área de menor cota topográfica de la misma (entre 4 y 15 m). A partir de aquí, las cotas ascienden hasta alcanzar los 250 m en el borde nororiental y los 900 m en el borde suroccidental.

El curso del río Deba actúa como línea de drenaje de la subunidad, situándose los manantiales en sus cercanías. Según ésto pueden diferenciarse dos sectores en la subunidad, el Norte y el Sur.

La estructura de la subunidad corresponde a una sucesión de pliegues con dirección NO-SE, afectados por importantes fracturas de dirección NE-SO.

**Puntos de agua**

Dentro de la subunidad se pueden destacar 20 manantiales, de los cuales los más importantes se localizan en el sector Sur.

En el sector Norte, el manantial más importante es **Deba**, situado junto al río del mismo nombre, en la terminación septentrional de la subunidad, con un caudal muy variable, desde más de 500 l/s hasta prácticamente el agotamiento. En este sector existen además dos pequeños manantiales, **Atxukarro** y **Ondabarro**, captados para abastecimiento a Mutriku, de caudal medio inferior a 5 l/s. A lo largo del río Deba deben existir salidas más o menos difusas pero de difícil identificación.

En el sector Sur (margen derecha del río Deba), es donde se localizan los manantiales más importantes. Entre ellos cabe destacar:

**Regata Kilimon.** Bajo esta denominación se agrupan una serie de puntos de agua que jalonan dicha regata (conocida también como Aranerreka), de los que algunos funcionan como tropplein. Los dos más importantes son:

- Galería Irabaneta. Se considera la salida actual más importante del sistema Kilimon. Se trata de una galería natural, situada a cota 50 junto a la regata Kilimon, en la que se ha realizado una presa que deriva por medio de un canal un caudal máximo de unos 150 l/s, provenientes de los aportes de un conducto que actúa de drenaje del acuífero. Esta surgencia es conocida desde el siglo pasado por sus intermitencias, que se observan con caudales inferiores a 120 l/s. Dichas intermitencias se asocian al vaciado y llenado por medio de sifones naturales de una serie de cavidades kársticas. Se pueden diferenciar, por su efecto sobre el hidrograma, al menos dos cavidades de diferente volumen; una provoca oscilaciones del caudal pequeñas, (el caudal varía en un rango de 25 l/s durante un período de 6 horas), y la más importante (figura 3) provoca variaciones de caudal de hasta 60 l/s, llegándose prácticamente a secar el manantial. En estiajes acusados el tiempo del periodo decrecida-crecida es de unas 12 horas, manteniéndose el mínimo del caudal durante 1 hora; posteriormente, durante 24 horas, el manantial compensa el caudal no drenado. Se ha calculado el volumen teórico de la cavidad que produce el sifón, obteniéndose un valor de 1.300 m³, es decir, una cavidad de 13 m x 10 m x 10 m. No es totalmente desechable que se produzcan variaciones de caudal en aguas altas, pero los sistemas de medición existentes no las detectan. El agua que no es captada por el canal alivia por la presa y, por otro conducto, llega a la otra salida importante del sistema.

- Kilimon. Es difícil saber si era la salida inicial de todo el sistema, modificado posteriormente por la galería Irabaneta. Actualmente sale por este manantial el agua procedente del drenaje de un pequeño sector del acuífero y los sobrantes de la galería Irabaneta. El manantial surge de una grieta situada junto a la regata Kilimon, a cota 35 m. El caudal de estiaje es de 2 l/s, siendo su caudal medio difícil de cuantificar.

**Mahala.** Se trata de dos manantiales situados en la margen derecha del río Deba, con un caudal de estiaje de 28 l/s y volumen anual de descarga de 2 Hm³.

**Tantorta** y **Sasiola.** Son dos manantiales distantes 500 m que surgen en la margen derecha del río Deba, con estiajes de 15 l/s, produciéndose también intermitencias en estiajes muy acusados en Tantorta.

**Altzola.** Se trata de dos manantiales próximos, asociados a un lentejón calizo y probablemente a una fractura, uno de ellos termal, con temperatura de 28,4°C y caudal de estiaje total de 6 l/s.

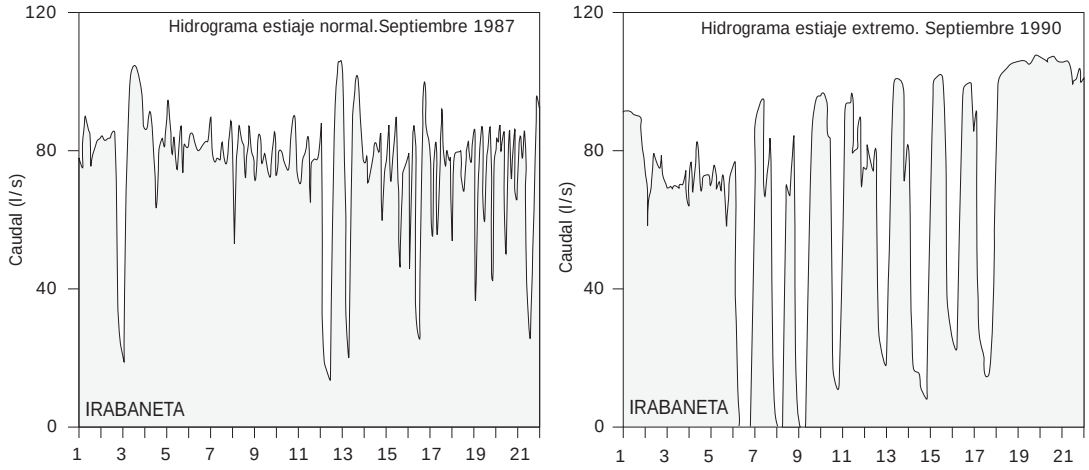



Figura 3. Hidrogramas de la galería Irabaneta.

**Funcionamiento hidráulico y parámetros**

Se trata de un acuífero libre, kárstico en sentido estricto, donde se ha desarrollado un sistema de cavernas y conductos que forman auténticos ríos subterráneos. Estos salen al exterior por los distintos manantiales y actúan como elementos de drenaje de una red de pequeñas fracturas con poco poder de almacenamiento, pero que provocan unos caudales de estiaje superiores al medio de materiales de baja permeabilidad en la zona.

Con este esquema, la subunidad está compartimentada dentro de los dos sectores diferenciados. El Norte, que es el menos conocido y drena en sentido NO-SE, y el Sur, en el que por los numerosos trazados realizados se ha comprobado la existencia de cuatro grandes líneas de drenaje, si bien existen pequeñas comunicaciones entre algunas de ellas (figura 2).

- Sistema Mahala: conecta la cabecera de la regata Kilimon y la Cueva del Viento con los manantiales Mahala, con un recorrido mínimo de 4.560 m.

- Sistema Kilimon: conecta el comienzo de las calizas de Izarraitz, en Marikutxa, atravesando la cuenca de baja permeabilidad con los manantiales Kilimon, con un recorrido de 5.925 m.

- Sistema Tantorta: conecta las cuevas de Ugarteberri con Tantorta, con un recorrido de 5.800 m.

- Sistema Sasiola: conecta Lastur con el manantial de Sasiola, con un recorrido de 3.264 m.

Los valores sobre la velocidad del flujo obtenidos en las coloraciones realizadas varían desde 10 m/h hasta 255 m/h, si bien los valores más frecuentes se sitúan alrededor de 50 m/h.

Los gradientes hidráulicos que se pueden calcular dan valores de 0,5% en el sector Norte, zona de Astigarribia y variable entre 1,25 y 2,5% en la regata Kilimon.

La existencia de sondeos en la subunidad aporta información sobre los parámetros hidráulicos de la misma. Así, se observa una variación muy fuerte de los valores de transmisividad de las zonas superiores del acuífero (T>1.000 $m^2$/día) a las zonas más profundas (100 m, T<50 $m^2$/día). Respecto a los coeficientes de almacenamiento se obtiene una variación similar, desde 1% en la parte alta del acuífero hasta valores inferiores a 0,01% en la baja.

Es preciso indicar que por los datos que se tienen, existe colmatación por arcillas y arenas

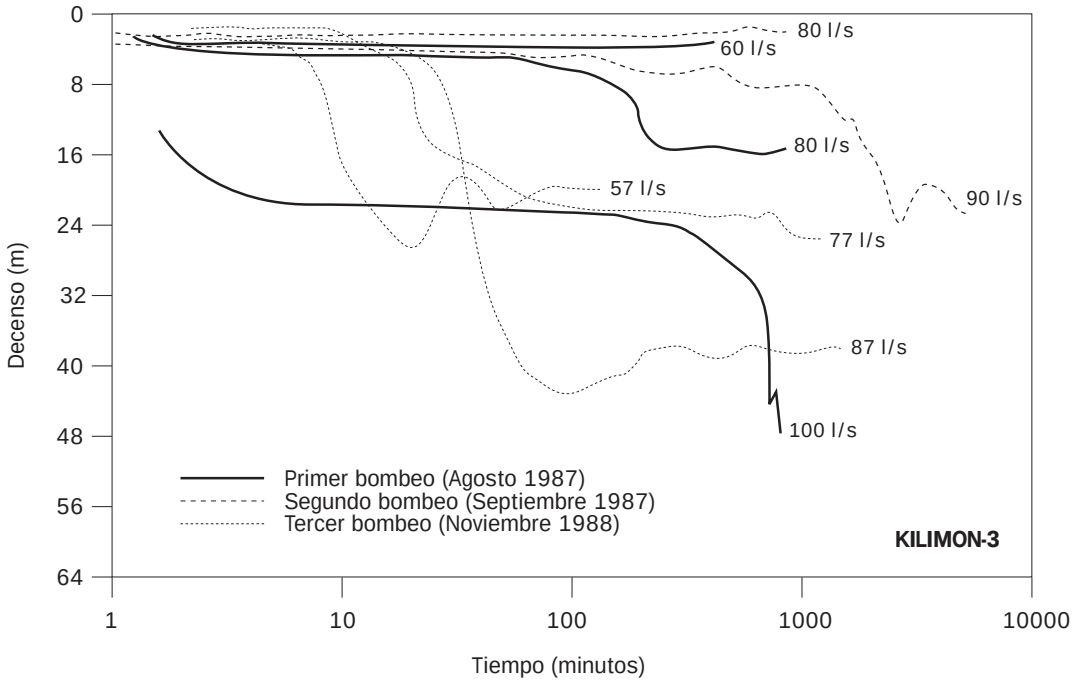



Figura 4. Evolución de los niveles en los ensayos de bombeo en el sondeo Kilimon-3.

del sistema de cuevas y conductos, provocando frecuentemente la existencia de zonas aisladas. Este fenómeno se manifiesta por el fuerte incremento de caudal específico que han tenido comúnmente los sondeos tras el desarrollo de los mismos mediante bombeos escalonados y acidificaciones. Así, en la figura 4 se han representado las curvas s-logt del sondeo Kilimon-3 obtenidas en distintos ensayos de bombeo en los que se observa el incremento del caudal específico del sondeo, que varía de 2,1 l/s/m hasta 3,7 l/s/m del primero al último realizado, debido al desarrollo del mismo. Otro fenómeno curioso que se observa en dicha figura es la influencia del sifón del Kilimon en los descensos medidos en el sondeo, lo que explica las subidas de nivel en el mismo durante periodos de tiempo similares al de los sifones. Según ésto, el sondeo se sitúa entre la zona de sifones y la galería Irabaneta.

*SUBUNIDAD ITZIAR*

Se trata de una pequeña subunidad, situada al Este de Itziar, que ocupa los relieves montañosos de Andutz. Los materiales permeables están constituidos por calizas arrecifales (109) y por calizas margosas (111) del complejo Urgoniano, actuando las areniscas silíceas y lutitas (113) y las margas grises (114) también del complejo Urgoniano como substrato impermeable.

La estructura de la subunidad corresponde al flanco oriental cabalgante de un anticlinal de eje Norte-Sur, afectado por una falla inversa que lo dispone sobre materiales detríticos.

Las menores cotas topográficas de la subunidad se sitúan en el extremo Norte, 105 m, y en la parte central del borde oriental, 125 m. A partir de estos puntos, las cotas ascienden progresivamente hasta alcanzar 400 m en el extremo Sur y borde occidental.

La superficie de la subunidad es de 2,5 km$^2$, recibiendo además los aportes de una cuenca externa de baja permeabilidad de 0,6 km$^2$.

Existen 4 manantiales ligados a la subunidad, de los cuales tienen interés:

**Azti.** Situado en el borde oriental, tiene un caudal de estiaje inferior a 1 l/s con un caudal medio estimado de 15 l/s.

**Usarroa.** Se sitúa al lado del anterior, a una cota de 125 m; tiene un caudal de estiaje de 5 l/s, estimándose su caudal medio en 50 l/s.

La circulación subterránea de la unidad se realiza mayoritariamente hacia el manantial Usarroa, además de un pequeño sector cuyo drenaje se dirige hacia el manantial Azti.

Unicamente se ha realizado un sondeo en esta subunidad, Usabiartza, con resultado negativo debido principalmente a aportes de arena y arcilla de las cavidades kársticas. Las pruebas realizadas en el sondeo no permiten conocer los parámetros característicos del acuífero.

*BALANCE HIDRICO*

Para el cálculo del balance hídrico de la unidad se dispone de la estación de aforos Irabaneta con datos desde 1985 hasta la actualidad, y con datos de la estación de aforos en la regata Kilimon, en funcionamiento desde 1985 hasta 1990, aunque con lagunas.

Existen tres estaciones pluviométricas en la unidad o su entorno. La estación de Eibar, que se sitúa en las cercanías, es la que tiene una serie más larga, siendo la pluviometría media para el periodo 1950-1994 de 1.452 mm/año. Las estaciones de Mendaro y Lastur indican una pluviometría igual en Mendaro que en Eibar, y un 5% superior en Lastur. Según ésto, y teniendo en cuenta que las áreas de recarga se sitúan en puntos altos, se considera como pluviometría más representativa de la unidad la de Eibar incrementada en un 5%, con lo que se obtienen 1.525 mm/año. Considerando una evapotranspiración real, según Thornthwaite, de 625 mm resulta una lluvia útil de 900 mm/año.

**Subunidad Izarraitz.** La superficie de materiales permeables del propio macizo de Izarraitz que drena al Urola es de 2,4 km$^2$, la superficie de materiales permeables de la zona de Erlo de 3,7 km$^2$, y la cuenca de baja permeabilidad vertiente de 2 km$^2$. Se considera que se infiltra el 90% de la lluvia útil caída en las calizas y el 70% sobre los demás materiales.

Materiales Permeables:
6,1 km$^2$ x 900 mm/año x 0,9 = 4,94 Hm$^3$/año.

Materiales de baja permeabilidad:
2 km$^2$ x 900 mm/año x 0,7 = 1,26 Hm$^3$/año.

Total Recursos 6,2 Hm$^3$/año

Las descargas evaluadas en Motrailo y directamente al río Urola se ajustan al balance teórico.

**Subunidad Goltzibar.** La superficie de materiales permeables es de 3,35 km². Admitiendo una infiltración del 90% de la lluvia útil, el balance que se obtiene es:

Materiales Permeables:
3,4 km² x 900 mm/año x 0,9 = 2,7 Hm³/año.

Las salidas de los manantiales situados en la regata Goltzibar y de la propia regata Goltzibar, se evalúan entre 2-3 Hm³/año, por lo que el balance está equilibrado.

**Subunidad Lastur-Arno.** Para calcular este balance, se analiza inicialmente el correspondiente al sector de Kilimon, ya que es el único del que se dispone de registros de caudal. Del registro disponible, año hidrológico 1987-88, resulta una aportación de 17,5 Hm³. Añadiendo a esta cifra los 2 Hm³ en los que se evalúa el drenaje de los manantiales de Mahala y 1,5 Hm³ derivados para el abastecimiento de Elgoibar, la aportación anual alcanza 21 Hm³. Dado que la precipitación de ese año en Lastur fue de 1.895 mm, a la que correspondería una lluvia útil de 1.270 mm, se obtiene el balance que se presenta a continuación.

Para su ajuste, es necesario considerar que la aportación medida por la estación es del orden del 90% de la lluvia útil caída sobre las superficies de materiales permeables incluidos en la subunidad, Kilimon-Mahala 5,3 km² e Izarraitz 3,9 km² y sobre la cuenca vertiente, de 8,6 km².

Materiales Permeables:

Sector Kilimon-Mahala:
5,3 km² x 1.270 mm/año x 0,9 = 6,05 Hm³
Sector Izarraitz:
3,9 km² x 1.270 mm/año x 0,9 = 4,45 Hm³

Materiales de baja permeabilidad:
8,64 km² x 1.270 mm/año x 0,9= 9,87 Hm³

Total Recursos 20,38 Hm³

Tomando por bueno el índice del 90% de infiltración de la lluvia útil y aplicándolo a un año medio (900 mm) daría para una superficie de 28,6 km² de materiales permeables y 21,7 km² de materiales de baja permeabilidad lo siguiente:

Materiales Permeables:
28,6 km² x 900 mm/año x 0,9 = 23,1 Hm³/año

Materiales de baja permeabilidad:
21,7 km² x 900 mm/año x 0,9 = 17,6 Hm³/año

Total Recursos: 40,7 Hm³/año

**Subunidad Itziar.** La superficie de materiales permeables es de 2,5 km², evaluándose la infiltración en un 90% de la lluvia útil. La cuenca vertiente impermeable es de 0,6 km², por lo que el balance es el siguiente:

Materiales Permeables:
2,5 km² x 900 mm/año x 0,9 = 2,0 Hm³/año

Materiales de baja permeabilidad:
0,6 km² x 900 mm/año x 0,9 = 0,5 Hm³/año

Total Recursos 2,5 Hm³/año

Según el balance realizado para las distintas subunidades, el balance global de la unidad sería el siguiente:

| | |
|---|---|
| Subunidad Izarraitz | 6,2 Hm³/año |
| Subunidad Goltzibar | 2,7 Hm³/año |
| Subunidad Lastur-Arno | 40,7 Hm³/año |
| Subunidad Itziar | 2,5 Hm³/año |
| TOTAL UNIDAD | 52,1 Hm³/año |

Siendo la superficie total de materiales implicados en la unidad de 64,85 km², se obtienen unos recursos subterráneos anuales por km² de 0,80 Hm³ equivalentes a 25,5 l/s/km².

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Existe un archivo de 367 análisis químicos, efectuados desde los primeros estudios en el año 1975 hasta la actualidad. De éstos, 87 corresponden a sondeos, 51 a dos pluviómetros, y el resto a manantiales. El mayor número de datos corresponde a la Subunidad Lastur-Arno, específicamente a los manantiales Mahala e Irabaneta. Además, se dispone de análisis isotópicos de estos manantiales.

De los análisis disponibles de las surgencias, se puede decir que prácticamente toda la unidad presenta el mismo tipo de agua, con facies bicarbonatada cálcica escasa o moderadamente mineralizada, con residuos secos inferiores a 400 mg/l, conductividades cercanas a 300 µS/cm, con frecuente contaminación de origen orgánico y temperaturas cercanas a 12°C.

Como excepción hay que considerar los manantiales termales de Altzola que presentan una temperatura de 28,4°C y una conductividad de 500 µS/cm, y los manantiales septentrionales del río Deba, que presentan contenidos elevados en sales producidos por la intrusión de la marea en los mismos.

El tratamiento comparativo de la información analítica disponible muestra que los manantiales de las subunidades orientales presentan menor variación hidroquímica temporal, lo cual es significativo de un mayor poder regulador.

En los manantiales Irabaneta y Mahala se han realizados análisis isotópicos del contenido en oxígeno-18 y tritio. Del resultado de los mismos se desprende que el tiempo medio de permanencia del agua en el acuífero es de un año para Irabaneta, siendo superior al año para los manantiales Mahala.

Con respecto a la calidad del agua para su uso como abastecimiento, se puede decir que los principales problemas están en relación con la turbidez, nitritos, aluminio y hierro, observándose incrementos puntuales de estos parámetros ligados a precipitaciones elevadas en el caso de la turbidez, aluminio y hierro, y a vertidos puntuales de caseríos para los nitritos. No se ha observado ninguna tendencia a la degradación progresiva del agua del acuífero, por lo que la situación del mismo es satisfactoria.

Ligado al aumento de los nitritos por vertidos puntuales de caseríos, se observan también incrementos bruscos en el contenido de coliformes totales, fecales y estreptococos fecales, coincidente con la época de mayor estiaje.

## INVESTIGACION COMPLEMENTARIA

Esta unidad, tanto por su situación geográfica como por su extensión, es una de las más importantes de Gipuzkoa, lo que ha propiciado un esfuerzo importante de investigación.

Los trabajos realizados más importantes han sido:

**Sondeos.** En el cuadro 1 se presentan los datos más significativos. Es de destacar que el mayor número de perforaciones se han realizado en la zona del Kilimon.

| Tipología | nº Sondeos | metros perf. | Subunidad |
|---|---|---|---|
| Reconocimiento Rotación con testigo continuo | 2 | 300 | Lastur-Arno |
| Pequeño diámetro | 10 | 1.200 | Lastur-Arno Izarraitz |
| Explotación | 5 | 700 | Lastur-Arno Izarraitz |

Cuadro 1. Resumen de sondeos perforados.

**Geofísica.** Se ha realizado geofísica en la regata Kilimon para estudiar direcciones preferentes de flujo hacia la galería Irabaneta.

**Acidificaciones.** Se han desarrollado con ácido los sondeos Kilimon K-2, K-3 y K-4, habiéndose incrementado el caudal específico del sondeo K-3 en un 76%, con resultados negativos en los otros dos.

**Ensayos de bombeo.** Se han realizado ensayos de bombeo en todos los sondeos de pequeño diámetro y explotación realizados; destacan los sucesivos ensayos en Kilimon, habiéndose llevado a cabo un ensayo de bombeo conjunto de los sondeos K-2 y K-3 de 15 días de duración.

**Ensayos con trazadores**. Es una de las unidades con mayor número de ensayos cualitativos, la gran mayoría realizados por grupos espeleológicos, que han dado una información muy valiosa sobre las cuencas hidrogeológicas.

**Investigación espeleológica**. El sistema de cuevas, simas, etc., ha sido reconocido en profundidad por los grupos espeleológicos, lo que ha significado una aportación importante para la caracterización hidrogeológica.

## APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION

Actualmente se aprovecha el 15% de los recursos de la unidad (7,8 $Hm^3$/año). Esta cifra no es elevada, pero su incremento tropieza con las dificultades propias de la regulación en el karst y, más específicamente, del desarrollado en esta unidad.

Aún así, en esta unidad se encuentra el aprovechamiento de agua subterránea más importante del Territorio Histórico de Gipuzkoa. Se captan la galería Irabaneta, los sondeos K-1, K-2 y K-3 y los manantiales Mahala para abastecer a la comarca del Bajo Deba (Deba, Mendaro, Elgoibar

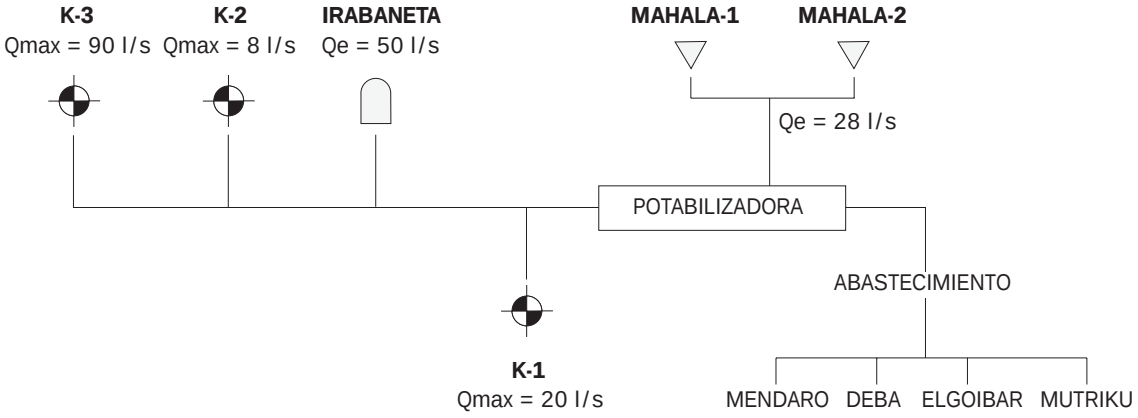



Figura 5. Esquema de aprovechamiento del Sistema Kilimon.

y Mutriku) que presentan una demanda en el año horizonte 2.012 de 120 l/s. En aguas altas se captan los recursos fluyentes de la galería Irabaneta, al inicio del estiaje se captan los manantiales Mahala y en estiaje acusado se ponen en marcha los bombeos de los sondeos hasta cubrir la demanda. La figura 5 recoge de manera esquemática lo descrito. El entorno de las captaciones ha sido objeto de un estudio para la delimitación del perímetro de protección.

La surgencia termal de los manantiales Altzola ha sido objeto de aprovechamiento balneoterápico. En la actualidad se utiliza el recurso para su comercialización como agua mineral natural.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

IGME (1972). Estudio hidrogeológico de la provincia de Guipúzcoa.

DFG-SGOP (1985). Estudio de evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos del Territorio Histórico de Gipuzkoa. (EUROESTUDIOS-INGEMISA).

CADEM-DFG-DFB (1986). Estudio hidrogeológico del área de Ereñozar-Izarraitz. (INGEMISA).

DFG (1986). Control de un sondeo a percusión en la regata Kilimon. (INGEMISA).

EVE-GV (1987). Síntesis hidrogeológica de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

EVE (1987). Sondeos de investigación hidrogeológica Kilimon 3 y 4.

DFG (1988). Informe técnico del sondeo de explotación P-3 en el sector de Kilimon (Mendaro). (INGEMISA).

DFG (1988). Informe técnico sobre el desarrollo por acidificación y los bombeos de ensayo en el sondeo Azpeitia II. (INGEMISA).

DFG (1989). Acidificacón de los pozos Kilimon I, II y III y bombeo de limpieza. (NIÑEROLA).

DFG (1989). Informe técnico de los ensayos de bombeo en los sondeos P-3 y P-2 de Kilimon (Mendaro). (INGEMISA).

DFG (1990). Informe técnico sobre los bombeos de ensayo de los pozos P-2 P-3 y P-4 de Kilimon (Mendaro). (INGEMISA).

DFG (1991). Descripción e interpretación del aforo y bombeo de ensayo de los pozos Mahala I y Mahala II (Mendaro). (NIÑEROLA).

DFG (1991). Acidificación y aforo del pozo nº4 de Mendaro. (NIÑEROLA).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Gasolinera | 560280 | 4782255 | 75 | >10 | |
| Motrailo | 560228 | 4782595 | 70 | >10 | |
| Goltzibar | 557960 | 4786105 | 200 | 30-100 | Salidas dispersas en la regata |
| Mahala | 549750 | 4788550 | 5 | 60 | Abastecimiento del Bajo Deba |
| Tantorta | 550525 | 4790325 | 6 | 10-100 | Abastecimiento del Bajo Deba |
| Sasiola | 551115 | 4790800 | 5 | 10-100 | Varias salidas directamente al río |
| Usarroa | 555915 | 4791440 | 135 | 50 | Abastecimiento de Zumaia |
| Kilimon | 550815 | 4788460 | 45 | 10-100 | Abastecimiento del Bajo Deba |
| Deba | 551450 | 4792640 | 4 | 1-10 | Salida junto al río, sólo visible en bajamar |
| Altzola | 548625 | 4787340 | 15 | >10 | Planta de envasado de agua mineral |
| Ondabarro | 549310 | 4794530 | 105 | <5 | Abastecimiento de Mutriku |
| Atxukarro | 548055 | 4794850 | 100 | 5 | Abastecimiento de Mutriku |
| Azti | 555540 | 4792730 | 100 | 15 | Abastecimiento de caserío |
| Irabaneta | 551035 | 4788180 | 50 | >100 | Abastecimiento del Bajo Deba |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Eskusta | 560228 | 4782597 | 98 | 50 | Abastecimiento Azpeitia |
| Kilimon-1 | 550777 | 4788476 | 50 | 20 | Abastecimiento del Bajo Deba |
| Kilimon-2 | 551373 | 4707889 | 69 | 8 | Abastecimiento del Bajo Deba |
| Kilimon-3 | 551396 | 4787856 | 75 | 90 | Abastecimiento del Bajo Deba |
| Kilimon-4 | 551742 | 4787645 | 72 | - | - |
| Usabiartza | 555125 | 4791465 | 150 | >5 | Arrastres de arcilla |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA EREÑOZAR

## GENERALIDADES

Se sitúa en la zona septentrional de Bizkaia (figura 1) y se extiende entre Markina, Lekeitio y Gernika. Está asociada a un extenso afloramiento calizo que da lugar a una nítida alineación montañosa entre Markina y la playa de Laida, en la que se suceden de SE a NO las cumbres de Santa Eufemia (691 m), Bedartzandi (669 m), Iluntzar-Nabarniz (727 m), Bustarrigane (558 m) y Atxerre (310 m). Desde la parte central de esta alineación (Iluntzar-Bustarrigane), la masa caliza se extiende hacia el NE y desciende suavemente hasta el mar en Lekeitio. Además de esta masa principal existen otros afloramientos calizos de menor extensión en Cabo Ogoño, Arbina, Ereñozar y Forua-Sukarrieta, estos últimos en la orilla occidental de la ría de Gernika. Este conjunto de afloramientos calizos ocupa una extensión total de 78 km$^2$.

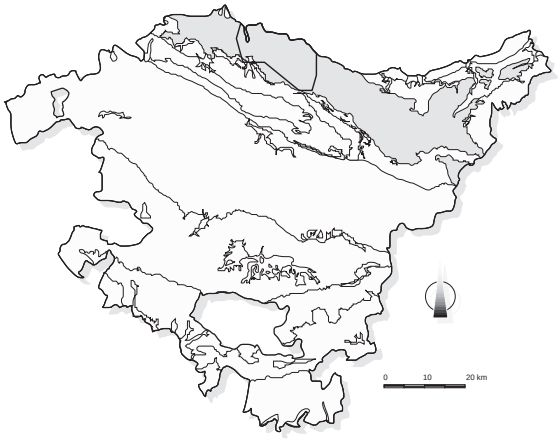



Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

La unidad se extiende sobre tres cuencas superficiales de importancia que son, de Oeste a Este, Oka, Lea y Artibai. En la cuenca del río Oka, los afloramientos calizos dan lugar a resaltes en el relieve de relativa importancia, entre los que se incluyen buena parte de los macizos y montes que flanquean la ría de Gernika-Mundaka en sus tramos medio y final. También se integran en esta cuenca hidrográfica los recursos propios del macizo de Ereñozar. Hacia el Este, una parte importante del principal afloramiento calizo se extiende por los municipios de Ereño, Nabarniz e Ipazter, hasta alcanzar la cuenca del río Lea. Se desarrolla, así, un impresionante macizo kárstico entre ambas cuencas superficiales, con abundantes depresiones endorreicas, lo que dificulta el establecimiento nítido de la divisoria de aguas entre ellas. El afloramiento calizo continúa hacia el Sureste, donde está desarrollado el macizo de Bedartzandi, y termina en las proximidades del núcleo de Markina. En la zona de costa, los acantilados que se desarrollan entre el núcleo de Lekeitio y la playa de Ogeia y en el cabo Ogoño, deben su espectacularidad a estar desarrollados, precisamente, sobre estos materiales calizos.

La pluviosidad en la zona experimenta un nítido aumento hacia el interior del territorio. En este sentido, los relieves de la unidad son el primer obstáculo orográfico que encuentran las masas de aire oceánico que desde el Norte y Noroeste se desplazan hacia el interior del continente, condicionando la distribución de precipitaciones sobre la unidad. En la zona costera (Lekeitio, Bermeo) la precipitación media anual es del orden de 1.300 mm. En valles del interior de la unidad y su entorno (Etxebarria, Markina, Arrazua) su valor asciende a algo más de 1.500 mm. Por último, en zonas de montaña (Ereño-macizo de Bustarrigane) la precipitación alcanza valores de 1.600 mm. Los valores medios de temperatura en la zona se sitúan en torno a los 12,5°C, aunque se carece de registros de montaña para este parámetro.

## GEOLOGIA

La mayor parte de los materiales calizos de esta unidad pertenecen al complejo Urgoniano. Se trata, principalmente, de calizas masivas con abundante fauna fósil, en las que destaca la presencia de rudistas y corales (109). Localmente otros materiales de este mismo complejo sedimentario presentan también un notable interés hidrogeológico. Es el caso de los niveles de brechas calcáreas con matriz carbonatada (115), que afloran en el entorno de la playa de Laida, y de algunos niveles de calizas margosas (111) de zonas centrales de la unidad. La potencia media del paquete calizo principal es del orden de 500 m; en zonas centrales puede

alcanzar potencias de unos 800 m y en zonas de borde llega a desaparecer, dando paso al dominio de materiales del mismo complejo de menor permeabilidad y de naturaleza más margosa (114) e incluso lutítica y areniscosa (113).

Este paquete calizo descansa sobre materiales detríticos y margosos del complejo Purbeck-Weald o de la base del complejo Urgoniano (108). Unicamente en las proximidades de la ría de Gernika y a lo largo del valle que se extiende entre Bollar y Aulesti se identifican niveles calizos de notable permeabilidad, comparativamente mucho menos potentes (algunas decenas de metros), pertenecientes al complejo Purbeck-Weald (107), o de edad jurásica (105). En la zona de la ría de Gernika afloran, además, carniolas, calizas grises y dolomías de la base del Jurásico (98).

Sobre las calizas afloran generalmente materiales detríticos del denominado flysch negro (118, 120, 121, 122), del complejo Supraurgoniano; en otros casos, sobre las calizas aparecen términos arcillosos, areniscosos y margosos urgonianos, que también pueden estar intercalados en el paquete calizo o constituir tránsitos laterales de éste (116 y los ya citados 114 y 113).

En contacto mecánico con distintos materiales de la secuencia aparecen ofitas triásicas (11), de permeabilidad localmente alta. Se observan pequeños afloramientos de estos materiales en el sector de Cabo Ogoño y Santa Eufemia. Un afloramiento de mayor extensión existe en la zona de Gernika y forma parte de una estructura anticlinal diapírica de dirección aproximada NNO-SSE de cierta envergadura.

Desde un punto de vista hidrogeológico, tiene mayor interés la estructura anticlinal de Nabarniz, con núcleo en los materiales wealdenses y jurásicos que se extienden desde el valle de Bollar, entre los relieves de Ereñozar y Bustarrigane, hasta Santa Eufemia. En el núcleo de esta misma estructura afloran los materiales triásicos de este último sector, en clara relación con una zona de fracturación de dirección NO-SE, con vergencias hacia el SO en superficie. En el flanco septentrional las capas se hunden hacia el NE, con buzamientos que se atenúan progresivamente en dicha dirección, hasta disponerse subhorizontalmente; en esta zona, el contacto con los materiales más modernos del flysch negro es, en gran medida, mecánico e implica una elevación relativa de las calizas urgonianas. En el otro flanco, los buzamientos al SO son algo más fuertes; en el sector de Santa Eufemia la estructura es más compleja y parece resolverse en una serie de fracturas. Al Este de Markina esta estructura cierra periclinalmente.

Más al Norte, el afloramiento calizo de Arbina está relacionado con una suave estructura antiforme de dirección ONO-ESE que permite, de nuevo, la aparición en superficie de materiales urgonianos.

Por último, aparecen en esta zona distintos depósitos de materiales recientes (cuaternarios), cuya disposición y características están íntimamente relacionadas con la orografía actual del terreno. Se trata de materiales aluviales (200), coluviales (201), costeros y eólico-costeros (204), estuarinos (205) y antropogénicos (206).

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

Los materiales de la zona que presentan una mayor permeabilidad son las calizas masivas urgonianas (109). En ellas se desarrollan los principales sistemas de flujo subterráneo, en cuanto a volumen de agua involucrado, que son drenados, consecuentemente, por los manantiales mas caudalosos de la unidad; se trata, en todos los casos, de acuíferos kársticos bien desarrollados.

Las calizas margosas urgonianas (111) que afloran en ambos flancos del macizo de Ereñozar y en el entorno del macizo de Iluntzar en Nabarniz presentan una permeabilidad media, que localmente puede ser relativamente elevada; al igual que en el caso anterior, el desarrollo de la permeabilidad de estos materiales se debe, fundamentalmente, a procesos de karstificación.

Por su parte, las brechas calcáreas con matriz carbonatada y/o terrígena (115) presentan en la zona de Laida una notable permeabilidad por karstificación; en el resto de afloramientos de la costa estos materiales tienen una permeabilidad mucho más limitada.

El resto de materiales urgonianos cartografiados (113, 114, 116) muestran una menor permeabilidad, de baja a muy baja, y sólo localmente, en el entorno de zonas fisuradas y fracturadas, llegan a desarrollar flujos subterráneos de cierta entidad.

Los niveles calizos del complejo Purbeck-Weald (107) que aparecen en las proximidades de la ría de Gernika y a lo largo del valle que se extiende entre Bollar y Aulesti, pueden llegar a desarrollar una karstificación notable, lo que hace que su permeabilidad llegue a ser elevada. El resto de materiales purbeckienses-wealdenses (encuadrados en el término 108) presentan una permeabilidad baja. Las carniolas, calizas y dolomías de la base del Jurásico (98) presentan una notable fracturación y tendrían una permeabilidad alta. La serie compresiva jurásica (105) de permeabilidad global baja, alberga términos de permeabilidad puntualmente más alta.

En los materiales ofíticos triásicos (11) se llegan a desarrollar flujos locales de cierta importancia, a los que se asocian surgencias que mantienen un caudal significativo a lo largo del año. La permeabilidad de estos materiales sería de tipo medio y estaría directamente relacionada con su grado de fisuración y/o alteración.

Los materiales detríticos que se encuadran bajo la denominación de flysch negro (118, 120, 121, 122) presentan una permeabilidad que va de muy baja (120) a media (122) aunque, en conjunto, se les puede considerar de baja permeabilidad.

Por último, los materiales cuaternarios que aparecen en la zona pueden presentar una permeabilidad incluso elevada, como en el caso de los depósitos eólico-costeros de Laida y Laga (204). Sin embargo, el escaso desarrollo de sus depósitos hace que no lleguen a constituir acuíferos de entidad.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS. SUBUNIDADES*

La geometría de esta unidad hidrogeológica está condicionada fundamentalmente por la disposición, características y desarrollo de la karstificación en los materiales calizos masivos urgonianos que mayoritariamente la constituyen.

El paquete calizo principal de la unidad tiene una potencia media del orden de 500 m, aunque, como se ha comentado anteriormente, se alcanzan potencias del orden de 800 m en zonas internas de la unidad y llegan a desaparecer en las zonas de borde. En cualquier caso, dada la disposición de los estratos, estas calizas llegan a alcanzar desarrollos en la vertical de algunos miles de metros. Existen, además, niveles carbonatados (urgonianos, wealdenses y jurásicos) de menor desarrollo, pero de indudable interés hidrogeológico.

En el seno de estos materiales la karstificación llega a ser muy importante y conduce al desarrollo en el interior de los macizos de redes muy evolucionadas. En la zona de infiltración y, por tanto, no saturada, son frecuentes las cuevas con distintas formas de depósito carbonatado (espeleotemas); algunas de las formas mas espectaculares se encuentran en las cuevas visitables de Santimamiñe, desarrolladas en el interior del macizo de Ereñozar. En la zona saturada el desarrollo de la karstificación es también muy importante, aunque la circulación de agua tiende a concentrarse en formas y estructuras privilegiadas. En el entorno de las mismas, las formas kársticas tienden a presentar un desarrollo inferior y suelen aparecer ocupadas por materiales arcillosos.

Al margen de una diferenciación interna de la unidad en sistemas kársticos que aseguran su drenaje, y que será tratada posteriormente, se puede establecer una primera diferenciación de la misma en subunidades, relacionadas con afloramientos calizos aislados superficial y subterráneamente de la masa caliza principal, y sectores, individualizados dentro de esta masa caliza por las divisorias de las principales corrientes superficiales de agua de la zona (figura 2). De esta forma, la Unidad Ereñozar puede considerarse constituida por las Subunidades Atxapunta-Peña de Atxondo (margen occidental de la ría de Gernika), Atxerre (margen oriental de la ría de Gernika), Ogoño, Ereño-Ipazter (sector Norte), Ereñozar, Iluntzar-Lekeitio (sector del río Lea), Bedartzandi-Santa Eufemia (sector del río Artibai) y Arbina. En conjunto los afloramientos carbonatados de la unidad tienen una extensión de 78 km$^2$.

*ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA*

La recarga del conjunto de la unidad se realiza a partir de la precipitación sobre los afloramientos de calizas. Además, la escorrentía superficial que se genera en materiales escasamente permeables de su entorno recarga el medio kárstico, en gran medida, a través de sumideros puntuales bien desarrollados. En conjunto, el área de recarga ha sido evaluado en 97,5 km$^2$.

En lo que se refiere a la descarga, se realiza, fundamentalmente, a favor de manantiales que se sitúan en los límites de los relieves calizos y

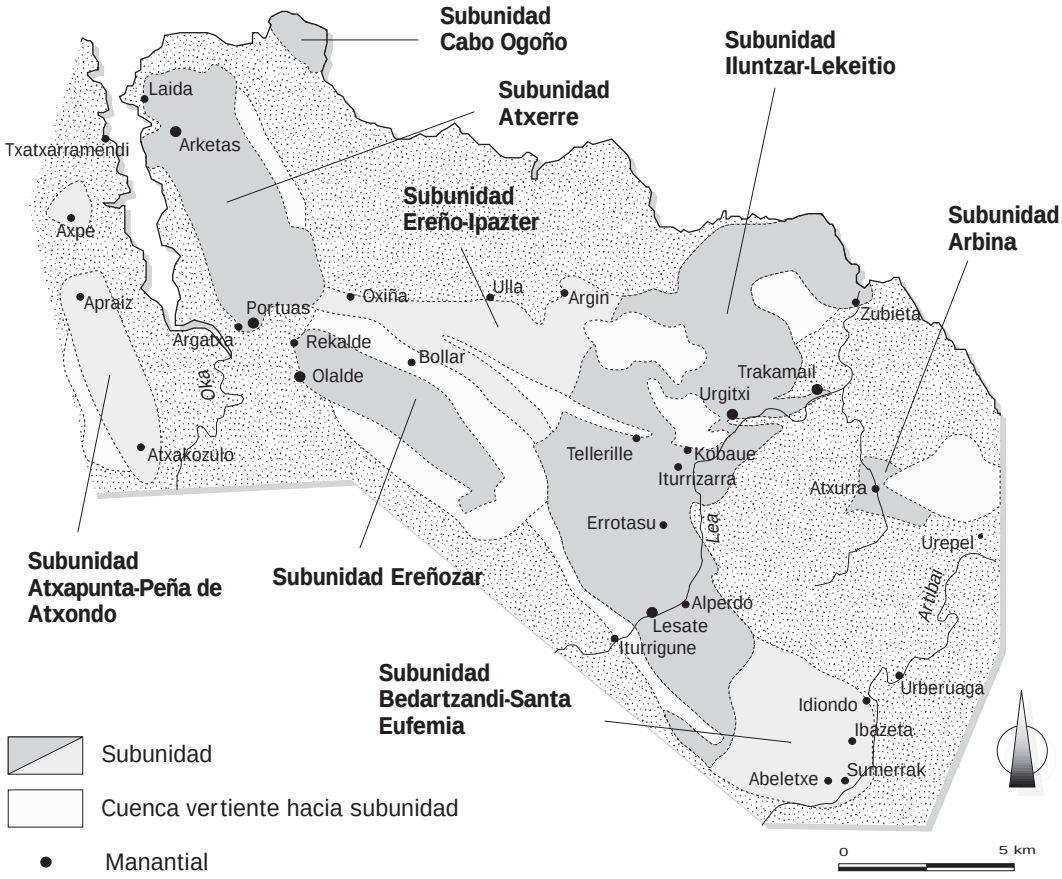



Figura 2. Esquema de subunidades.

cuyos caudales experimentan fuertes variaciones. En la margen derecha de la ría de Gernika, en el enclave del cabo Ogoño y en la linea de costa entre la playa de Ogeia y Lekeitio existirían flujos directos hacia el mar de difícil observación. Se registran, por último, aportes directos a los ríos Lea y Artibai a su paso por la unidad.

A continuación se recogen algunas características de los principales manantiales que drenan la unidad y se introduce su contexto hidrogeológico, tomando como marco para esta exposición la diferenciación en subunidades establecida previamente.

**Subunidad Atxapunta-Peña de Atxondo**

El paquete calizo principal de esta subunidad es drenado, de Sur a Norte, por los manantiales Atxakozulo, Apraiz, Axpe y Txatxarramendi; este último queda sumergido al ascender la marea. El caudal medio de las surgencias **Txatxarramendi** y **Axpe** se sitúa entre los 10 y 100 l/s. En el caso de **Atxakozulo** y **Apraiz** los caudales son netamente superiores, aunque también se sitúan en el intervalo de caudales medios de 10 a 100 l/s. Todas estas surgencias presentan variaciones muy marcadas de caudal, lo que sugiere la existencia de redes kársticas bien desarrolladas.

En todos los casos, estos sistemas kársticos reciben aportes procedentes de cuencas de pequeñas dimensiones ocupadas por materiales de escasa permeabilidad. Estas cuencas son de carácter endorreico, a excepción de la drenada por el arroyo Amunetegi que, a pesar de su conexión hidraúlica con la surgencia Axpe, llega a alcanzar la ría de Gernika. El flujo en estos sistemas, dado el dispositivo geológico de la zona, es en gran medida subparalelo a la dirección de los estratos. Los principales sumideros puntuales y surgencias de esta subunidad se sitúan en la proximidad inmediata de fracturas que cortan los niveles calizos de la secuencia que afloran en esta zona.

Existen, además, algunas surgencias de escaso caudal asociadas a sistemas kársticos de menor entidad, así como a afloramientos de ofitas.

**Subunidad Atxerre**

Las principales surgencias se sitúan en la base del importante relieve calizo que constituye el margen oriental de la ría de Gernika en su tramo final. Se trata de los manantiales Portuas y Argatxa, al Sur de este afloramiento, y Arketas y Laida, al Norte del mismo. Entre estos dos grupos de surgencias es probable que exista una descarga adicional a los depósitos cuaternarios que colmatan la ría de Gernika y directamente a sus canales en aquellas zonas en que el dispositivo hidrogeológico lo permita.

El manantial **Portuas**, con un caudal medio que supera los 100 l/s, está conectado con el sumidero de Oxiña y recibe a través de él parte del caudal no aprovechado del manantial del mismo nombre, perteneciente a la subunidad Ereño-Ipazter. Sobre él se sitúan las cuevas del mismo nombre que, en episodios de crecida, tienen un funcionamiento de tipo trop-plein. Este dispositivo está en clara relación con una zona de fracturación OSO-ENE que pone en contacto las estructuras anticlinales de Gernika al NO y Nabarniz al SE. Así, las surgencias Portuas y, a menor cota, **Argatxa**, con un caudal próximo a 10 l/s, están situadas en la terminación occidental de una importante fractura que limita el afloramiento calizo y posibilita el contacto en esta zona de dichos materiales con depósitos de estuario de la ría de Gernika.

La surgencia **Arketas** tiene un caudal medio ligeramente superior a 100 l/s y parte de su flujo recarga el acuífero asociado al relleno cuaternario del entrante de Arketas. La surgencia **Laida** tiene un caudal medio inferior, en el intervalo de 10 a 100 l/s.

En cualquier caso, dado el importante desarrollo de la karstificación, las variaciones de caudal en todas estas surgencias son muy acusadas.

**Subunidad Ogoño**

Su drenaje principal se realiza directamente al mar Cantábrico, no existiendo manantiales de entidad asociados a esta subunidad.

**Subunidad Ereño-Ipazter**

Agrupa tres sistemas kársticos de notable entidad cuyas surgencias descargan hacia pequeñas cuencas desarrolladas entre la unidad y el mar Cantábrico. Se trata de los sistemas drenados por las surgencias Oxiña, Ulla y Argin.

La más caudalosa es la surgencia **Oxiña**, con un caudal medio próximo a 100 l/s y que constituye el drenaje principal del macizo kárstico en la zona de Ereño-Bustarrigane; el sentido principal de flujo, dado el dispositivo hidrogeológico, es SE-NO. En la actualidad, parte de su caudal es captado en la surgencia, por la Mancomunidad de Oxiña; el resto, tras un breve recorrido superficial, recarga la Subunidad Atxerre a través del sumidero de Oxiña.

El manantial **Ulla** presenta también una notable variación en sus caudales, con un caudal en el intervalo 10 a 100 l/s. Su zona de alimentación estaría situada, verosímilmente, al E de la correspondiente al manantial Oxiña. Por su parte, el manantial **Argin** tiene un caudal medio de 50 l/s y experimenta importantes variaciones; se han registrado caudales máximos próximos a 1.500 l/s y mínimos de 4,5 l/s. Este manantial drena un afloramiento calizo de extensión próxima a 2 km$^2$, relativamente individualizado hidrogeológicamente del afloramiento calizo principal.

Además, aportes de menor entidad, procedentes de áreas de afloramiento de materiales detríticos escasamente permeables recargan el sistema, en ocasiones a través de sumideros puntuales de cierta entidad.

**Subunidad Ereñozar**

Es drenada por manantiales que surgen en el extremo noroccidental del afloramiento. Al Norte se sitúan los manantiales **Rekalde** que, con un caudal conjunto por debajo de 100 l/s, están asociados a los niveles calizos situados a muro del paquete calizo principal. Al Sur, en los niveles correspondientes al techo de la formación caliza, se encuentra el manantial **Olalde**. Este último manantial, que drena la mayor parte de la superficie ocupada por las calizas de Ereñozar, constituye, además, la salida de importantes zonas endorreicas (Gabika-Nabarniz, al Norte del afloramiento calizo, y Santimamiñe, Basondo y Oma, al Sur del mismo), en parte ocupadas por materiales eminentemente de baja permeabilidad (figura 3).

La depresión de Gabika-Nabarniz está constituida, en realidad, por una sucesión de pequeñas cuencas endorreicas. El sentido del flujo en este sector es principalmente NE-SO, en

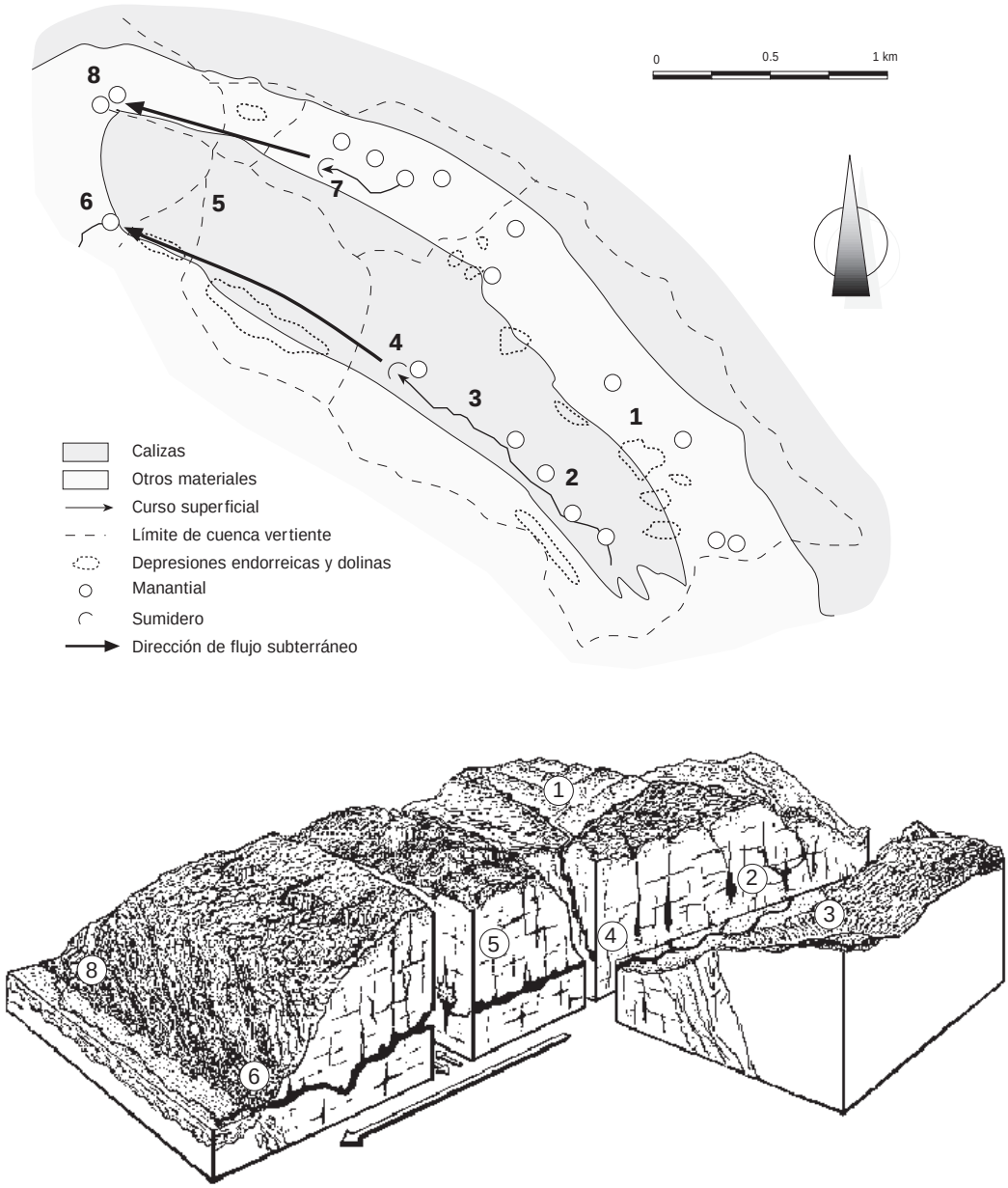



Figura 3. Esquema hidrogeológico de Olalde. 1. Depresiones endorreicas en el área de recarga. 2. Surgencias kársticas en el Valle de Oma. 3. Arroyo de Oma. 4. Sumidero Boluntzulo. 5. Cueva de Santimamiñe. 6. Manantial Olalde. 7. Sumidero Bollarkoerrota. 8. Manantiales Rekalde.

clara relación con la red de fracturación que afecta a los materiales calizos. Gran parte de este área es drenada por una serie de manantiales surgentes en su mayoría en formas kársticas muy desarrolladas (cuevas de varios metros de diámetro, etc.), algunas de ellas situadas a cierta altura (algunos metros) sobre el fondo del valle.

La aportación de estos manantiales es conducida superficialmente por el arroyo Oma en dirección noroeste hasta el espectacular sumidero Boluntzulo, situado en la base del relieve calizo. El manantial Olalde surge precisamente en idénticos niveles de la secuencia. Es digno de señalar que el alargamiento de las formas kársticas más llamativas, entre ellas el mencionado sumidero y la alineación de zonas endorreicas en el área, es coincidente con la dirección de la estratificación.

La distancia entre el manantial Olalde y el sumidero Boluntzulo es de 2,75 km y la diferencia de cotas 37,5 m. En conjunto, el

manantial Olalde drena una superficie total de aproximadamente 9,75 km$^2$ y resulta ser uno de los mas caudalosos de Bizkaia; su caudal medio es de 240 l/s y experimenta fuertes variaciones, habiéndose superado los 11.000 l/s como caudal máximo y alcanzándose mínimos de 15 a 20 l/s en estiajes prolongados.

Por su parte, la depresión de Bollar, al Norte, está ocupada, además de por materiales urgonianos, por materiales del complejo Purbeck-Weald e incluso jurásicos del núcleo de la estructura anticlinal descrita anteriormente. En ella surgen algunos pequeños manantiales ligados a niveles calizos; el único destacable es **Bollar**, con un caudal medio entre 10 y 100 l/s. El arroyo que recoge el agua de estos manantiales recorre el fondo de la depresión y se infiltra en las calizas en el sumidero Bollarkoerrota; este sumidero recarga el sistema drenado por los manantiales Rekalde.

**Subunidad Iluntzar-Lekeitio**

Esta subunidad agrupa al conjunto de sistemas kársticos que drenan sus aguas al río Lea. Los principales manantiales inventariados en la margen izquierda del río se sitúan en la proximidad inmediata de esta corriente superficial y son de Sur a Norte: **Iturrigune**, con un caudal medio algo superior a 10 l/s y que surge en materiales jurásicos; **Lesate**, con un caudal medio superior a 100 l/s; **Errotasu**, con un caudal medio próximo a 100 l/s; las surgencias **Tellerille**, de caudal conjunto similar a los anteriores y cuyas aportaciones tras un breve recorrido superficial vuelven a sumirse en terrenos kársticos; **Iturrizarra**, con un caudal muy inferior, aunque también en el rango de 10 a 100 l/s; **Kobaue**, con caudal medio entre 10 y 100 l/s; **Urgitxi**, que es uno de los más importantes de este sector, con un caudal medio que supera los 100 l/s, y recibe parte de su alimentación a través de sumideros puntuales; **Trakamail**, con un caudal medio que también supera los 100 l/s, y **Zubieta**, con un caudal medio entre 10 y 100 l/s, que recibe a través de varios sumideros de la zona de Larrotegi importantes aportes de agua de escorrentía generada sobre materiales urgonianos detríticos.

También se encuentran varios sumideros puntuales en el fondo de la depresión de Ipazter, sin que el sentido de flujo subterráneo del agua a partir de ellos haya podido ser establecido. En cualquier caso, dado el gran desarrollo de la karstificación que se observa entre la depresión de Ipazter y la línea de acantilados que va de Ogeia a Lekeitio, debe existir un importante drenaje directo de la subunidad al mar en este sector.

En la margen derecha del río Lea el único manantial de cierta entidad es **Alperdo**, que tiene un caudal medio entre 10 y 100 l/s, aunque en estiajes prolongados llega a secarse prácticamente. Ello hace suponer que el drenaje principal de los materiales carbonatados se realiza, en este caso, directamente al propio cauce del río Lea o a través de los materiales aluviales asociados al mismo.

**Subunidad Bedartzandi-Santa Eufemia**

El río Artibai atraviesa la unidad en su borde oriental. De esta forma, existe un importante número de surgencias kársticas situadas en la base de los relieves calizos de la margen izquierda del río Artibai, en el que vierten sus aguas. De Sur a Norte, los principales manantiales de este sector son: **Abeletxe**, con un caudal medio superior a 10 l/s y **Sumerrak (Itxurzulo)**, con mayor caudal, aunque también en el rango de 10 a 100 l/s; **Ibazeta**, con un caudal medio similar al anterior, e **Idiondo (Arizmendi)**, con un caudal medio algo superior a 10 l/s, que surge en el propio cauce del río. Todos ellos presentan acusadas variaciones de caudal a favor de redes kársticas bien desarrolladas.

En la otra margen, los afloramientos calizos son de mucha menor entidad y las surgencias identificadas de menor caudal. Mención especial merecen las surgencias termales (27°C) **Urberuaga** de Ubilla, situadas al NE de este afloramiento calizo y verosímilmente conectadas con él. Su caudal conjunto es del orden de 30 l/s. Su temperatura de base calculada a partir de datos hidroquímicos es de 43°C.

**Subunidad Arbina**

Al Este del afloramiento calizo principal se localiza el afloramiento de Arbina. El principal sistema kárstico desarrollado en él es drenado por la surgencia **Atxurra**, que recibe aportaciones de una importante zona endorreica, ocupada en gran medida por materiales detríticos poco permeables de edad urgoniana; la escorrentía superficial procedente de los mismos recarga el sistema a través de sumideros bien desarrollados. El caudal medio de esta surgencia está entre 10 y 100 l/s, aunque en estiajes prolongados llega a valores inferiores a 1 l/s.

Parte de los recursos de esta subunidad serían, verosímilmente, responsables del mantenimiento de los caudales en las surgencias termales (21°C) **Urepel**, con un caudal conjunto de unos 8 l/s, que se sitúan en idénticos niveles de la secuencia, en la cuenca del río Artibai. Su temperatura de base calculada a partir de datos hidroquímicos es de 40°C.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. PARAMETROS*

En lo que se refiere al flujo de agua en el seno de este medio (dominio endokárstico), se realiza a favor de sistemas fuertemente estructurados, bien organizados y marcadamente individualizados. Se trata, por tanto, de acuíferos kársticos en sentido estricto.

Estos sistemas kársticos reciben agua desde el exterior a través de su zona de infiltración, no saturada en agua. En esta zona existen desarrolladas espectaculares cuevas kársticas. En la parte superior de algunos macizos, como el drenado por la surgencia Argin, parece haberse desarrollado una zona saturada con carácter discontinuo (acuífero epikárstico). Este acuífero almacenaría volúmenes relativamente importantes de agua durante tiempos mas o menos prolongados y condicionaría el modo en que tiene lugar la infiltración más profunda; constituye, por tanto, un elemento colgado.

Posteriormente el agua alcanza la zona saturada del sistema. En ésta, el importante desarrollo general alcanzado por los elementos más transmisivos (drenes) da lugar a una respuesta inmediata en las surgencias frente a los impulsos externos. En el entorno de estos drenes el flujo tiende a desarrollarse a favor de estructuras altamente ramificadas y jerarquizadas, incluso en la proximidad inmediata de las surgencias.

En este sentido, algunos sondeos realizados en esta unidad muestran una afección parcial a las surgencias próximas, con las que obviamente están hidráulicamente conectados. En base a la información obtenida mediante ensayos de bombeo y recuperación, puede indicarse que la conexión entre sondeos y surgencias parece realizarse mas a favor de estructuras relativamente individualizadas (tipo sistemas anexos) que a favor de un medio relativamente homogéneo de transmisividad limitada (tipo elemento capacitivo).

El resto del medio presenta un desarrollo más limitado de la karstificación y, en todo caso, las oquedades y conductos existentes tienden a encontrarse rellenas por materiales arcillosos. De esta forma, la zona saturada de estos sistemas tendría un carácter marcadamente discontinuo.

Estos sistemas reciben, además, aportes que proceden de afloramientos de materiales de baja permeabilidad en contacto con las calizas. Estos aportes se reciben en gran medida a través de sumideros puntuales que permiten un acceso rápido y concentrado del agua al interior del medio kárstico. En ocasiones, la conexión entre sumideros y manantiales se realiza a favor de una linea de flujo preferencial directa (caso del sumidero Boluntzulo y el manantial Olalde). En otras ocasiones la conexión no resulta tan directa y el agua debe atravesar una importante zona no saturada del macizo antes de alcanzar el manantial (caso del sumidero Oxiña y el manantial Argatxa).

Los sistemas kársticos son finalmente drenados por manantiales, casi siempre situados en la base de los relieves calizos. Cuando el drenaje se realiza a favor de varios manantiales, estos se sitúan muy próximos unos a otros. Se trata muchas veces de surgencias de contacto, con salidas de tipo trop-plein. Tras episodios lluviosos de entidad se registra un inmediato aumento generalizado de caudales en las surgencias, con notables arrastres arcillosos, todo ello en relación con la red kárstica. Los ríos Lea y Artibai reciben, también, aportes directos de la unidad a su paso por la misma. Por último, en las zonas de costa debe haber flujos directos hacia el mar.

En conjunto, y dado que los niveles acuíferos carbonatados no están confinados por otros materiales de menor permeabilidad, salvo en algunas zonas de borde, su comportamiento puede ser asimilado, a gran escala, al de acuíferos libres. Sin embargo, al tratarse de un medio kárstico, es lógico pensar que en su interior deben existir situaciones, más o menos abundantes, de confinamiento local y flujos en conductos de presión. No sorprende, por tanto, la existencia de algún sondeo de investigación surgente perforado en zonas de borde de la unidad.

Los valores de transmisividad, obtenidos a partir de los ensayos de bombeo y recuperación efectuados, varían desde 10 a 20 $m^2$/día para los niveles productivos menos transmisivos de la unidad, hasta 500 a 800 $m^2$/día para los de

mayor transmisividad. En cualquier caso, dada la naturaleza del medio investigado (heterogéneo, anisótropo y marcadamente discontinuo) estos datos tiene un valor indicativo.

*BALANCE HIDRICO*

Los recursos hídricos subterráneos de la unidad y los balances correspondientes a cada subunidad y sector diferenciado, han sido establecidos en función de la información foronómica y termo-pluviométrica disponible. Los resultados se exponen a continuación:

**Subunidad Atxapunta-Peña de Atxondo**
Superficie de afloramiento calizo: 6 km$^2$
Area de recarga (sin arroyo Amunetegi): 8 km$^2$
Precipitación anual: 1.400 mm
Tasa de infiltración: 52% de la precipitación
Recursos: 6 Hm$^3$/año

**Subunidad Atxerre**
Superficie de afloramiento calizo: 9 km$^2$
Area de recarga: 10,5 km$^2$
Precipitación anual: 1.400 mm
Tasa de infiltración: 52%
Recursos: 8 Hm$^3$/año (+2 Hm$^3$/año de aportes de Oxiña)

**Subunidad Cabo Ogoño**
Superficie de afloramiento calizo: 1 km$^2$
Area de recarga: 1 km$^2$
Precipitación anual: 1.300 mm
Tasa de infiltración: 50%
Recursos: 0,6 Hm$^3$/año

**Subunidad Ereño-Ipazter**
Superficie de afloramiento calizo: 10,5
Area de recarga : 11,5 km$^2$
Precipitación anual: 1.500 mm
Tasa de infiltración: 55%
Recursos: 9,5 Hm$^3$/año

**Subunidad Ereñozar**
Superficie de afloramiento calizo: 6,5 km$^2$
Area de recarga : 14 km$^2$
Precipitación anual: 1.550 mm
Tasa de infiltración: 55%
Recursos: 12 Hm$^3$/año

**Subunidad Iluntzar-Lekeitio**
Superficie de afloramiento calizo: 33,5 km$^2$
Area de recarga : 39,5 km$^2$
Precipitación anual: 1.300 mm (Norte)-1.600 mm (Sur)
Tasa de infiltración: 52% (Norte)-57% (Sur)
Recursos: 33,5 Hm$^3$/año

**Subunidad Bedartzandi-Santa Eufemia**
Superficie de afloramiento calizo: 9 km$^2$
Area de recarga: 9 km$^2$
Precipitación anual: 1.550 mm
Tasa de infiltración: 55%
Recursos: 8 Hm$^3$/año.

**Subunidad Arbina**
Superficie de afloramiento calizos: 2,5 km$^2$
Area de recarga: 4 km$^2$
Precipitación anual: 1.400 mm
Tasa de infiltración: 50%
Recursos: 3 Hm$^3$/año

En conjunto, la unidad presenta un área de recarga de 97,5 km$^2$, de los cuales 78 km$^2$ corresponden a los afloramientos calizos de mayor entidad de la zona y 19,5 km$^2$ a áreas ocupadas, fundamentalmente, por materiales detríticos escasamente permeables, cuyas aportaciones son íntegramente recogidas por distintos sistemas kársticos.

Los recursos medios anuales de la misma pueden, de esta forma, establecerse en 80,6 Hm$^3$/año. Los elementos más representativos de su balance son:

Area de recarga : 97,5 km$^2$.
Superficie de afloramiento calizo : 78 km$^2$.
Aportes anuales : 80,6 Hm$^3$/año.
Precipitación anual: 1.300-1600 mm.
Tasa de infiltración: 50-57% de la precipitación.

Por sectores, los valores máximos de infiltración corresponden a las Subunidad Ereñozar y a la zona Sur de la Subunidad Iluntzar-Lekeitio (sector del río Lea). Por el contrario, los menores valores de tasa de infiltración corresponden a las subunidades más próximas a la linea de costa, incluida la Subunidad Arbina.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

El quimismo de las aguas drenadas por los principales sistemas kársticos de esta unidad es similar. Todas ellas tienen una facies bicarbonatada cálcica y su representación en un diagrama de Piper (figura 4) da como resultado una nube de puntos muy próximos.

No obstante, la representación del quimismo mediante diagramas de Stiff y el tratamiento estadístico de esta información ha permitido poner de manifiesto los siguientes aspectos:

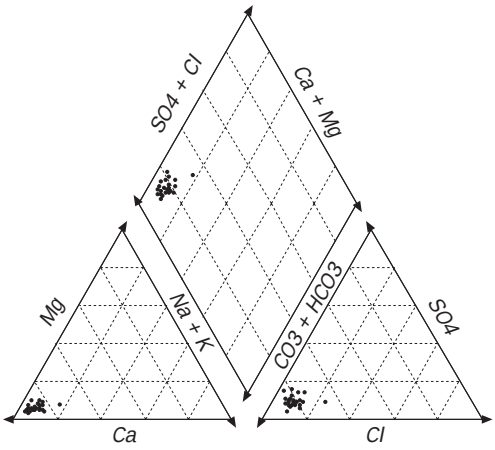



Figura 4. Representación en diagrama de Piper de los análisis químicos correspondientes a las principales surgencias.

- Las surgencias que drenan los materiales del núcleo anticlinal de Nabarniz presentan contenidos relativamente elevados en sulfato, magnesio y residuo seco. Este sulfato procedería de la oxidación de los sulfuros diseminados en estos materiales y de la facies evaporíticas del Trías asociado a la estructura lo que favorecería, además, la agresividad de estas aguas y su capacidad para disolver roca carbonatada. Los sistemas desarrollados en el macizo de Ereñozar, que reciben los aportes de los manantiales anteriormente citados, también presentan un cierto enriquecimiento en los mismos elementos, aunque sus aguas muestran una marcada dilución.

- Las surgencias situadas en la base de los relieves calizos que flanquean la ría de Gernika presentan una salinidad y contenidos en cloruros y sodio relativamente elevados. Este hecho estaría en clara relación con la influencia marina que disminuye de forma clara al alejarse de la costa. Hay que destacar, además, que la propia ría de Gernika está desarrollada a favor de la estructura anticlinal diapírica de Gernika.

- En el resto de la unidad se observa una neta evolución del quimismo del agua, que aumenta en salinidad hacia el Norte. Esta situación es especialmente evidente a lo largo del río Lea. En este caso, los manantiales situados más al Sur presentan los contenidos salinos más bajos de manera que hacia el Norte los manantiales son progresivamente mas ricos en sales. Este hecho coincide con un mayor desarrollo de suelos y vegetación en la parte septentrional del área. Así, los afloramientos calizos del Sur de la unidad se presentan con escasa cobertera vegetal, constituyendo un paisaje típico de peñas e importante desarrollo de lapiaz semidesnudo, mientras hacia el Norte la cobertera vegetal en las zonas de alimentación tiende a estar mas desarrollada.

Por su parte, la calidad de las aguas para consumo es buena de forma general; sin embargo, se han registrado contaminaciones episódicas o sistemáticas relacionables con vertidos y actuaciones locales, que afectan exclusivamente a los sistemas sobre los que éstas se producen, en el seno de un macizo kárstico fuertemente estructurado y con una marcada compartimentación en unidades de drenaje.

Debido a la alta vulnerabilidad general de los sistemas kársticos desarrollados en este macizo, la contaminación de sus aguas está condicionada directamente por el vertido de sustancias contaminantes en sus áreas de alimentación, cantidad de las mismas, estado hidrodinámico del sistema y localización del vertido en relación con los elementos más transmisivos del mismo. De esta forma, y puesto que el uso del territorio ocupado por estos afloramientos y sus inmediaciones es fundamentalmente de carácter rural, en la mayor parte de los casos la contaminación se relaciona con la presencia en las aguas de compuestos nitrogenados, fenoles, materia orgánica en suspensión y, en su caso, microorganismos patógenos, que llegan a convertir el agua en algunas ocasiones en no potable.

Así, se sitúan ocasionalmente en el rango de aguas no potables las asociadas a las surgencias Axpe, en el margen occidental de la ría de Gernika, Laida y Arketas, en su margen oriental, Oxiña y Ulla, en la zona Norte de la unidad, Olalde y Rekalde, en relación con la Subunidad Ereñozar, Trakamail, Urgitxi, Iturrigune, Lesate, Kobaue y Alperdo, en el sector del río Lea, y Atxurra, en la Subunidad Arbina. En todos los casos, son los compuestos nitrogenados, principalmente el amoniaco, que llega a alcanzar valores de 5 mg/l y, en menor medida los fenoles, los que condicionan la calidad del agua. La contaminación sería debida, fundamentalmente, a la eliminación de aguas residuales de los pequeños núcleos rurales de la zona y otros residuos relacionados con la actividad agrícola-ganadera de la región, en la proximidad inmediata de las propias surgencias o en arroyos que recargan los sistemas a favor de sumideros.

Además, la existencia de diversos vertederos urbanos localizados directamente sobre afloramientos de estos materiales o en sus zonas de recarga favorecen la incorporación a las aguas subterráneas de sus lixiviados. Mención aparte requiere la surgencia Zubieta, que recibe aportes directos de la red de saneamiento del municipio de Lekeitio y evidencia una neta contaminación por aguas residuales urbanas; en este caso, resultan importantes los contenidos en nitrito (1,3 mg/l), amoniaco (superior a 1,5 mg/l) y fósforo (superior a 0,5 mg/l). Se evidencia, además, la presencia de coliformes totales y fecales muy por encima de 500 unidades por 100 ml.

Por su parte, a excepción de las extracciones de agua en Arketas, que se efectúan a favor de los materiales arenosos cuaternarios que rellenan este entrante, en el resto de manantiales próximos a la linea de costa, los caudales son captados en la propia surgencia y no se han detectado problemas reseñables de salinización por intrusión de agua marina, aunque el quimismo de algunas de ellas esté condicionado por el hecho de quedar cubiertas durante la pleamar.

Por último, la actividad forestal intensiva que se desarrolla en buena parte de la superficie de la unidad y, en su caso, la deforestación asociada fundamentalmente a incendios de su cubierta vegetal, favorecen la pérdida de suelos en la zona y la presencia de arrastres arcillosos en las aguas.

En definitiva, el uso inadecuado del terreno y la ausencia de control de los vertidos, favorece, en la actualidad, la presencia ocasional o sistemática de cantidades importantes de sustancias contaminantes en las aguas de la unidad.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

Además del reconocimiento hidrogeológico más elemental de la unidad, que incluiría la cartografía hidrogeológica y el inventario de puntos de agua de la misma, se han efectuado distintas labores de investigación que han permitido un conocimiento más profundo de la dinámica, funcionamiento y características de los sistemas kársticos que la conforman.

En este marco es de reseñar el estudio de las respuestas naturales de algunos de los sistemas kársticos de mayor interés: Olalde, Argin, Axpe y Urgitxi. En estos casos, tras el oportuno control de caudales y quimismo del agua en sus surgencias, se ha procedido a su caracterización a partir del análisis de curvas de recesión, del tratamiento de series cronológicas de precipitación y caudal y del estudio de la variabilidad del quimismo. Los resultados obtenidos permiten evidenciar, con matices de interés, el fuerte desarrollo de la karstificación en todos los sistemas investigados.

Por otra parte, se han efectuado 16 ensayos con trazadores entre distintos puntos de la unidad en condiciones de flujo no influenciado. Estos ensayos han permitido poner en evidencia la conexión entre distintos puntos de la unidad (sumideros-surgencias, drenes subterráneos-surgencias) y efectuar estudios sobre la estructura interna del medio y su modo de funcionamiento. Además, los resultados obtenidos en las campañas realizadas han permitido determinar tiempos de estancia, velocidades de desplazamiento y dispersión de solutos en el interior de estos sistemas; esta información resulta absolutamente necesaria para el análisis de la evolución de contaminantes en el medio.

Por último, se han efectuado un total de 37 sondeos en la unidad con fines eminentemente hidrogeológicos. Estos sondeos han permitido perfilar las características geométricas de la unidad y reconocer su modo de funcionamiento a partir de los oportunos ensayos de bombeo y recuperación.

Son muy escasos los sondeos que afectan de forma directa a los drenes del sistema. De entre ellos, destacan los sondeos Okamika-A y B y Olalde-B, el último de los cuales ha admitido bombeos superiores a 130 l/s, con rendimientos específicos mayores de 1 l/s/m, aunque su caudal de explotación se ha fijado en 50 l/s.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

La regulación natural de caudales por los sistemas kársticos de esta unidad es escasa. Directamente relacionada con esta característica, las posibilidades de regulación artificial son limitadas, a pesar del importante desarrollo de la karstificación en el medio y la existencia de sistemas de flujo muy evolucionados.

Se han inventariado un total de 37 sondeos de carácter hidrogeológico en el ámbito de la unidad, de los cuales 9 han sido construidos con fines de explotación de los recursos y los restantes de investigación y control piezométrico.

Los sondeos de explotación Apraiz y Ulla, complementan el abastecimiento de los núcleos del entorno, el cual es en gran medida cubierto por la captación de las surgencias principales. Aún así, el porcentaje de recurso subterráneo aprovechado puede considerarse inferior al 5% (4 $Hm^3$) del renovable de la unidad en un año medio.

Otro aprovechamiento significativo es el de las surgencias termales de Urberuaga de Ubilla, utilizadas en su día en las instalaciones balnearias del mismo nombre y que actualmente abastecen a una planta de embotellado de agua mineral. El manantial Urepel, de características similares, es utilizado como fuente pública.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

CADEM (1984). Estudio hidrogeológico de la Mancomunidad de Oxiña. (INGEMISA).

EVE-DFB-DFG-IGME (1986). Estudio hidrogeológico del área Ereñozar-Izarraitz. (INGEMISA).

EVE (1986). Control y seguimiento del sondeo Apraiz (Busturia). (INGEMISA).

EVE (1987). Control y seguimiento del sondeo Ulla. (GIGSA).

EVE (1988). Estudio hidrogeológico de Angiz-Aulesti. (GIGSA).

EVE (1989). Control y seguimiento del bombeo Ulla. (GIGSA).

MORALES, T. (1991). Estudio hidrogeológico de la zona Norte de Vizcaya. (Tesis de Doctorado. UPV-EHU).

EVE-DFB-GV (1994). Evaluación y regulación de los recursos hídricos subterráneos de las unidades hidrogeológicas de Bizkaia.

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Atxakozulo | 525625 | 4797925 | 14 | 10-100 | Abastecimiento de Forua |
| Apraiz | 524225 | 4801350 | 22 | 10-100 | Dos surgencias |
| Laida | 525650 | 4805450 | 6 | 10-100 | Abastecimiento de la Mancomunidad de Oxiña |
| Oxiña | 529825 | 4801300 | 38 | 10-100 | Abastecimiento de la Mancomunidad de Oxiña |
| Ulla | 533050 | 4801200 | 100 | 10-100 | Abastecimiento de Ea |
| Argin | 534350 | 4801550 | 70 | 50 | Abastecimiento de Ipazter |
| Rekalde | 528750 | 4800575 | 25 | 10-100 | Abastecimiento de la Mancomunidad de Oxiña |
| Bollar | 531250 | 4800075 | 220 | 10-100 | Abastecimiento de Ereño |
| Iturrigune | 535775 | 4794375 | 85 | 10-100 | Abastecimiento de Aulestia |
| Kobaue | 537125 | 4797875 | 50 | 10-100 | |
| Alperdo | 537200 | 4794725 | 90 | 10-100 | Tres surgencias muy próximas |
| Abeletxe | 540225 | 4790925 | 95 | 10-100 | Abastecimiento de Markina |
| Sumerrak | 540425 | 4791000 | 90 | 10-100 | Abastecimiento y fuente pública |
| Ibazeta | 540900 | 4792050 | 75 | 10-100 | Dos salidas. Abastecimiento de caseríos |
| Idiondo | 540975 | 4792625 | 75 | 10-100 | Suministra agua a la cantera de Aizmendi |
| Atxurra | 541075 | 4797475 | 30 | 10-100 | Surge en las cuevas del mismo nombre |
| Portuas | 527800 | 4800925 | 10 | >100 | |
| Arketas | 526250 | 4804900 | 8 | >100 | Abastecimiento del camping de Arketas |
| Olalde | 528850 | 4799750 | 10 | >100 | Abastecimiento de Kortezubi y Arteaga |
| Lesate | 536225 | 4794525 | 92 | >100 | Abastecimiento de Aulesti |
| Urgitxi | 538350 | 4798925 | 25 | >100 | |
| Trakamail | 539800 | 4799325 | 23 | >100 | Abastecimiento de Mendexa |
| Urberuaga | 541500 | 4793000 | 55 | 10-100 | Termal (25°C). Planta de envasado |
| Urepel | 543300 | 4795800 | 20 | 8 | Termal (19-21°C). Fuente pública |
| Axpe | 524325 | 4803500 | 25 | 1-10 | |
| Zubieta | 540300 | 4801200 | 5 | 10-100 | |
| Txatxarramendi | 524900 | 4804650 | 0 | 1-10 | Surgencia difusa a nivel del mar |

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Argatxa | 527790 | 4800925 | 2 | 10-100 | |
| Errotasu | 536025 | 4796000 | 575 | 10-100 | Abastecimiento de Aulesti |
| Tellerille | 534300 | 4796600 | 400 | 10-100 | |
| Iturrizarra | 537050 | 4797675 | 40 | 10-100 | |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Okamika-A | 536800 | 4797700 | 54 | 10 | Arrastres de arcillas |
| Okamika-B | 537100 | 4798100 | 66 | 25 | Arrastres de arcillas |
| Olalde-B | 528900 | 4800100 | 39 | >50 | Abastecimiento del Consorcio de Aguas de Busturialdea |
| Apraiz | 524200 | 4801400 | 20 | 6 | Abastecimiento de la Mancomunidad de Buspemun |
| Ulla | 533000 | 4801000 | 155 | 7 | Abastecimiento de Ea |

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO ANTICLINORIO SUR

**GENERALIDADES**

Se corresponde con una banda que en dirección NO-SE atraviesa el territorio de la Comunidad Autónoma del País Vasco desde el Valle de Karrantza (Bizkaia), en su extremo occidental, hasta la Sierra de Aralar (Gipuzkoa) en el oriental, incluyendo terrenos alaveses y el enclave cántabro de Villaverde de Trucios. Los límites de esta banda se han elegido con criterios geológicos como se comenta posteriormente (figura 1).




Figura 1. Situación del dominio.

La banda está limitada al Norte por una sucesión de núcleos urbanos: Bilbao, Amorebieta, Durango, Elorrio, Zumarraga, Beasain. En el límite Sur: Amurrio, Murgia, Legutiano, Barrundia, Asparrena. Incluido en ella están el Valle de Karrantza, las Encartaciones, Aiala y el Bajo Nervión, la cuenca del Ibaizabal, el Valle de Arratia, la cuenca alta de los ríos Deba, Urola y Oria. Aunque la mayor parte de la población tiende a concentrarse en los núcleos urbano-industriales citados, pequeños núcleos rurales, de actividad agro-forestal, aparecen repartidos por toda la extensión del dominio.

La red hidrográfica que atraviesa el dominio está constituida por ríos de la vertiente cantábrica, que de Oeste a Este son: Karrantza, Barbadun, Kadagua, Nervión-Altube, Ibaizabal-Arratia, Deba, Urola y Oria. A grosso modo, el tramo central y oriental del límite Sur del dominio está próximo a la divisoria de aguas entre la vertiente cantábrica y la mediterránea. Hay un buen número de embalses cuyo fin es, fundamentalmente, cubrir el abastecimiento. Los más importantes son: Regato (río Galindo), Undurraga (río Arratia), Urrunaga-Ullibarri-Albina (río Zadorra), Urkulu (río Deba), Barrendiola (río Urola), Arriaran y Lareo (río Oria).

La orografía es abrupta en la parte septentrional y oriental del dominio, haciéndose más suave hacia el Suroeste. Los relieves más importantes existentes en el dominio son, siempre de Oeste a Este: Zalama (1.335 m) en el Valle de Karrantza, Kolitza (879 m) en las Encartaciones, Ganekogorta (998 m) cerca de Ugao-Miravalles, Mugarra (964 m) y Anboto (1.331 m) en el Duranguesado, Gorbea (1.481 m) en el macizo de igual nombre, Udalaitz (1.117 m) en Arrasate-Mondragon, Aizkorri (1.528 m) en la sierra de igual nombre, Txindoki (1.346 m) en la Sierra de Aralar.

Respecto a la climatología, las precipitaciones más altas se dan en las zonas de montaña (Macizo del Gorbea, Sierra de Aizkorri y Sierra de Aralar) donde se alcanzan valores de

1.800-2.000 mm en años medios. Estas zonas (junto con la del Valle de Karrantza con una precipitación superior a 1.500 mm) ocupan una posición a modo de eje central del dominio, de manera que las precipitaciones disminuyen a partir de ese eje hacia ambos lados. Hacia el Norte las precipitaciones, siempre para años medios, están por encima de 1.300 mm, encontrándose los valores más bajos (1.200-1.300 mm) en las proximidades de la ría de Bilbao. Hacia el Sur la regularidad espacial en el descenso de la pluviometría es mayor, coincidiendo prácticamente el límite Sur del dominio con la isoyeta de 1.200 mm (puntualmente con la de 1.100 mm).

En lo que a las temperaturas medias anuales se refiere, las isotermas reflejan una disminución desde el límite Norte (13-14°C en el sector occidental, 12-13°C en el oriental) hacia el límite Sur (10-11°C), observándose las temperaturas más bajas (por debajo de 10°C) en las zonas de montaña anteriormente citadas. Mediante la aplicación de los métodos de Turc y Thornthwaite para la estimación de la evapotranspiración real anual resultan unos valores comprendidos entre los 600-650 mm del límite Norte del dominio y los 500-550 mm del Sur. En consecuencia, la lluvia útil anual estimada es del orden de 900-1.100 mm en las zonas de montaña antes citadas y en el Valle de Karrantza, disminuyendo hacia el Norte (600 mm en el área metropolitana de Bilbao, 800 mm en el sector oriental) y hacia el Sur (600-700 mm).

**GEOLOGIA**

Dentro del esquema de distribución de dominios estructurales del País Vasco el dominio hidrogeológico ahora considerado ocupa la mitad septentrional del Dominio de la Plataforma Alavesa-Anticlinorio de Bilbao y la parte más meridional del Dominio del Arco Vasco. Ambos dominios estructurales están separados por un accidente mayor que es la falla de Bilbao.

Como se ha señalado, los límites impuestos a este dominio son de carácter geológico. Hacia el Norte, los últimos materiales considerados dentro del dominio corresponden al Cenomaniense medio del Dominio Estructural del Arco Vasco; como se puede observar en la columna geológica, a partir del Cenomaniense superior los materiales aflorantes presentan una distribución más regular y son considerados ya parte del Dominio Hidrogeológico Cretácico superior.

Hacia el Sur, los últimos materiales del dominio corresponden al Cenomaniense inferior del Dominio Estructural de la Plataforma Alavesa-Anticlinorio de Bilbao. A partir de ahí los materiales aflorantes, más regularmente distribuidos, forman parte del Dominio Hidrogeológico Plataforma Alavesa.

Los materiales más bajos de la columna corresponden al Lías en el Dominio Estructural del Arco Vasco y al complejo Purbeck en el Dominio Estructural de la Plataforma Alavesa-Anticlinorio de Bilbao.

Estructuralmente, hay que diferenciar la mitad Norte de la mitad Sur. En efecto, la primera, con frecuentes pliegues, fallas y fracturas, de dirección predominante NO-SE, está asociada a estructuras mayores como el anticlinorio de Bilbao, anticlinal de Aralar y falla de Bilbao. Como consecuencia de la complejidad tectónica, los afloramientos se muestran muy compartimentados, originando una orografía abrupta. En la mitad Sur, sin embargo, los materiales presentan continuidad lateral debido a una mayor tranquilidad en las condiciones de sedimentación. La tectónica aquí es más suave disponiéndose los materiales en forma monoclinal con bajos buzamientos (30°) hacia el SO.

En lo que a las características litológicas se refiere, se hace un breve repaso del Mapa Geológico del País Vasco a escala 1:100.000 según los dos dominios estructurales incluidos.

**Dominio del Arco Vasco** (Lías al Cenomaniense medio). Los materiales más bajos de la columna (Jurásico, 98 a 101) son sobre todo carbonatado-margosos. Geográficamente sólo afloran en el extremo más nororiental del dominio, constituyendo el núcleo de la Sierra de Aralar.

Por encima se sitúa una potente serie del Aptiense-Albiense (107 a 116) de carácter también carbonatado-margoso, localmente detrítico, que se dispone alrededor de los materiales jurásicos antes citados prolongándose alguno de sus tramos hasta las proximidades de Arrasate-Mondragon.

Los materiales más altos de la columna pertenecen al Albiense superior-Cenomaniense medio y ocupan la mayor extensión dentro de la parte considerada de este dominio estructural. Son de carácter fundamentalmente lutítico-arenisco so (128 a 140) y predominan a lo largo de toda

la banda Beasain-Arrasate-Bilbao. Localmente se dan afloramientos reducidos de rocas volcánicas.

**Dominio Plataforma Alavesa-Anticlinorio de Bilbao** (Purbeck al Cenomaniense inferior). Por una parte, los materiales más bajos de la columna (30-34, 38, 39), Purbeck-Aptiense medio, son de carácter fundamentalmente lutítico-areniscoso (128 a 140) y predominan a lo largo de toda la banda Beasain-Arrasate-Bilbao. Localmente se dan afloramientos reducidos de rocas volcánicas.

A ambos lados de esta banda se sitúa una serie de materiales (40 a 55) de naturaleza muy diversa (carbonatada, lutítico-areniscosa, calcarenítica), del Aptiense medio-Albiense medio, que se extiende desde la margen izquierda de la ría de Bilbao hasta Arrasate-Mondragon, por el Norte, y desde el Valle de Karrantza hasta el Macizo del Gorbea, por el Sur. Dentro de esta serie son fácilmente reconocibles las calizas arrecifales (40) por dar los resaltes orográficos más vistosos (Zona Minera, Anboto, Udalaitz...).

Finalmente, en la parte más alta de la columna están los materiales areniscoso-lutíticos del Albiense superior-Cenomaniense inferior (56 a 60) que se prolongan ocupando una ancha banda desde Karrantza hasta los embalses del Zadorra y la Sierra de Urkilla en el extremo oriental del dominio.

**Depósitos cuaternarios.** A la escala considerada, sólo tienen reflejo en el mapa geológico como depósitos cuaternarios los aluviales (200) de los principales cursos de agua superficiales, algunas terrazas (197), coluviales (201) relacionados con estribaciones montañosas y algunos depósitos antropogénicos (206).

**ASIGNACION DE PERMEABILIDADES**

Se ha asignado un grado de permeabilidad a cada formación aflorante en el dominio en función tanto de su litología concreta como de las observaciones efectuadas sobre el terreno.

**Dominio del Arco Vasco.** Los materiales que presentan mayor permeabilidad son de naturaleza carbonatada: carniolas (98), calizas bioclásticas jurásicas (100) y cretácicas (107) y calizas arrecifales cretácicas (109, 132). Aunque de reducida extensión de afloramiento, estos materiales se sitúan principalmente en el núcleo de la Sierra de Aralar. Con permeabilidad media se han diferenciado brechas calcáreas cretácicas (115, 131) y algunos lentejones areniscosos cretácicos (129, 137) que aparecen esporádicamente en el sector más oriental.

De permeabilidad baja son los materiales de naturaleza margosa, con alternancia de margocalizas, lutitas y areniscas, tanto jurásicos (99, 101) como cretácicos (108 y, sobre todo por su extensión, 116); los primeros afloran en la Sierra de Aralar y los últimos se extienden desde esa Sierra hasta Arrasate-Mondragon. También con permeabilidad baja, y en este sector, afloran series lutítico-areniscosas cretácicas (113, 130, 133, 138) y materiales volcánicos (135) de reducida extensión. En territorio vizcaíno es de señalar, por su extensión, la alternancia lutítico-areniscosa (133) en los alrededores de Amorebieta-Etxano.

El resto de afloramientos del dominio corresponden a materiales que se pueden considerar de permeabilidad muy baja. Son de naturaleza fundamentalmente lutítica con presencia de areniscas. Los más importantes en cuanto a su extensión son el 128, hacia el Este de Arrasate-Mondragon, y el 134, hacia el Oeste, hasta Bilbao. En afloramientos más reducidos aparecen el 139 y 140, en la Sierra de Aralar, y el 136 en las cercanías de Bilbao.

**Dominio Plataforma Alavesa-Anticlinorio de Bilbao.** Las formaciones más permeables son de naturaleza carbonatada: calizas arrecifales (40, 52), calcarenitas (45, 50) y brechas (51). Las más importantes en cuanto a la extensión de sus afloramientos son las primeras (40) que dan origen a las alineaciones montañosas de Karrantza, Aramotz-Anboto-Udalaitz, Itxina y Aizkorri, aflorando también de forma compartimentada y discontinua en otros lugares (Valle de Arratia). Las otras formaciones citadas normalmente afloran acompañando a las calizas arrecifales.

Con permeabilidad media se presentan materiales de naturaleza carbonatada, con presencia de calcarenitas y margocalizas (30, 34, 41, 49), que habitualmente se asocian a las calizas arrecifales comentadas y que en algún caso (49) tienen una extensión longitudinal considerable (desde el valle de Karrantza hasta el Gorbea). Con ese mismo grado de permeabilidad se encuentran también formaciones de carácter detrítico (54, 58), la última dando los resaltes de las Sierras de Elgea y Urkilla.

Un porcentaje importante de los materiales aflorantes presentan una permeabi-

lidad baja. Son de carácter fundamentalmente areniscoso-lutítico (33, 38, 39, 46, 48, 57, 59). Las más importantes por su extensión son las areniscas y lutitas del Albiense superior (57) que se extienden de lado a lado del dominio hidrogeológico considerado. También a materiales de naturaleza margosa (42, 47, 60) de presencia localizada, se les ha asignado esta permeabilidad, así como a las rocas volcánicas (32, 44).

Los materiales de permeabilidad muy baja ocupan una amplia extensión de dominio, sobre todo en su mitad occidental. Predomina en ellos la naturaleza lutítica (31, 43, 53, 55, 56), aunque con cierta componente detrítica ocasional.

**Depósitos cuaternarios.** Prácticamente todos estos depósitos son de alta permeabilidad: los materiales aluviales (200) relacionados con la red fluvial; los coluviales (201), de reducida extensión y asociados a estribaciones montañosas; las terrazas (197) y depósitos glaciares (196) de presencia muy puntual. A los depósitos antropogénicos (206), frecuentes en la zona minera de Bilbao, se les ha asignado una permeabilidad alta.

## HIDROGEOLOGIA

A partir de lo hasta ahora expuesto se deduce una disparidad en cuanto al interés hidrogeológico que presentan los materiales aflorantes en este dominio. Desde aquéllos que constituyen importantes y extensos acuíferos hasta los que presentan un interés más reducido pero que en cualquier caso son también a considerar en la medida que pueden ayudar a resolver situaciones puntuales.

Según su interés hidrogeológico, se han agrupado los materiales en:

**Unidades hidrogeológicas.** Areas geográficas que incluyen uno o varios acuíferos, independientes o interrelacionados, y que constituyen una unidad práctica de investigación y gestión del recurso. Los materiales aflorantes son fundamentalmente de una permeabilidad alta. En este dominio hidrogeológico se han diferenciado cuatro unidades:

**Aramotz** Calizas arrecifales del Cretácico inferior (40)

**Itxina** Calizas arrecifales del Cretácico inferior (40)

**Aizkorri** Calizas arrecifales del Cretácico inferior (40, 41)

**Aralar** Calizas del Jurásico (100) y del Cretácico inferior (107, 109)

Estas unidades tienen un tratamiento pormenorizado en los capítulos correspondientes.

Los depósitos cuaternarios de una cierta extensión e interés son tratados dentro del Dominio Hidrogeológico Cuaternario.

**Sectores hidrogeológicos.** Se trata de áreas geográficas en las que las formaciones de alta y media permeabilidad, susceptibles de ser consideradas como acuíferos, se presentan de forma aislada, compartimentada, en afloramientos de reducida extensión, separadas por materiales de baja o muy baja permeabilidad. Todo ello dificulta su investigación y hace que no sea práctico su consideración como unidad hidrogeológica, dándoles, a la escala del dominio, una importancia menor que a éstas pero, en cualquier caso, siendo consideradas como áreas de interés hidrogeológico.

En este dominio se han considerado los siguientes sectores:

**Karrantza** Materiales del Cretácico inferior, de alta y media permeabilidad, de naturaleza diversa: calizas (40, 41), calcarenitas (49, 50), brechas (51) y areniscas (54)

**Jorrios-Sodupe** Calizas (40, 41) y calcarenitas (49, 50) del Cretácico inferior

**Galdames** Calizas arrecifales del Cretácico inferior (40)

**Gallarta** Calizas arrecifales del Cretácico inferior (40)

**Troya** Calizas arrecifales del Cretácico inferior (109)

Estos sectores se describen en los siguientes apartados.

**Resto del Dominio.** Se considera en este apartado el interés hidrogeológico que localmente llegan a tener algunas formaciones, de permeabilidad media o incluso baja, pero que pueden, a escala local, ser consideradas para la captación de pequeños caudales.

En la figura 2 se presenta la ubicación de las unidades y sectores distinguidos.

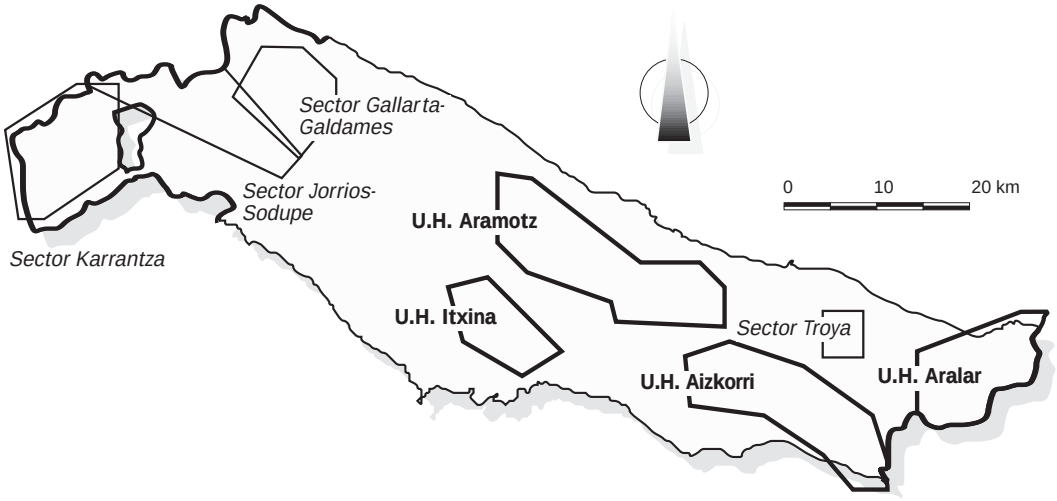



Figura 2. Esquema de unidades y sectores.

*SECTOR KARRANTZA*

Este sector se sitúa en el extremo occidental del dominio hidrogeológico, en el límite con Cantabria. Está atravesado por los ríos Kalera y Karrantza, afluentes ambos del río Asón, que confieren al valle una morfología de tipo circular limitada por la Peña de Ranero al Norte y los Montes de Ordunte al Sur. El núcleo poblacional más importante es Karrantza (La Concha) estando el resto de la población dispersa por sus alrededores. El sector primario es la actividad económica principal. En el sector terciario es a señalar la existencia del Balneario del Molinar.

**Geología. Hidrogeología**

Los materiales aflorantes en el sector corresponden al Cretácico inferior y se estructuran en un pliegue anticlinal de dirección aproximada NO-SE cuyo cierre periclinal se sitúa en la Comunidad Autónoma del País Vasco continuando el pliegue en Cantabria. Se caracterizan por una amplia variación de potencias y por frecuentes cambios de facies.

La permeabilidad más alta se asocia a las calizas arrecifales (40), calcarenitas (50) y brechas calcáreas (51), que afloran en el límite noroccidental del sector y cuya mayor representación se encuentra dentro ya de Cantabria. Las principales surgencias, ubicadas a lo largo del río Karrantza, se asocian a estos materiales. Los depósitos cuaternarios (201), aunque de permeabilidad también alta, no se consideran debido a su muy reducida extensión.

Con permeabilidad media afloran otros materiales de naturaleza variada: calizas (41), calcarenitas (49) y areniscas (54), que con frecuencia alternan con los anteriores dando origen a flujos subterráneos compartimentados, como lo evidencia la existencia de manantiales próximos entre sí y, sin embargo, desconectados.

Todos los materiales hasta ahora descritos concentran el interés hidrogeológico del sector. Las condiciones de borde a los flujos subterráneos están impuestas por los materiales de baja y muy baja permeabilidad.

Estos, que ocupan la mayor extensión del sector, están constituidos por secuencias areniscosas y lutíticas. A pesar de ello, en este tipo de materiales se han inventariado una veintena de manantiales, siempre de muy escaso caudal, inferior a 1 l/s, y que incluso suelen secarse en estiajes un tanto prolongados. Estos manantiales son a menudo utilizados para abastecimiento directo a caseríos aislados.

La alternancia de formaciones de distinta permeabilidad y reducida extensión de afloramiento en la zona descrita, unida a la presencia del límite administrativo con Cantabria, hace que la hidrogeología de este sector sólo pueda ser considerada de manera parcial, imposibilitando la delimitación geométrica de sus acuíferos.

**Funcionamiento hidráulico. Balance**

Como se ha expuesto anteriormente, el mayor interés hidrogeológico se centra en las formaciones de naturaleza carbonatada. En éstas,

y sobre todo en las calizas arrecifales, abundan las formas exo y endokársticas. El grado de karstificación varía de mayor a menor desde las calizas masivas arrecifales hasta los materiales mejor estratificados y con una naturaleza más margosa.

El desarrollo de la karstificación queda reflejado en el inventario de cavidades realizado, en el que hay al menos 75 catalogadas, algunas con profundidades de hasta 530 m. Así, en la Torca de Jornos, en el extremo nororiental del sector, se efectuaron varias coloraciones durante los años 1971 y 1973 comprobándose que la fluoresceína salía por el manantial La Cueva (Cantabria), distante nueve kilómetros en línea recta, deduciéndose velocidades de entre 20 y 41 m/h.

Los acuíferos asociados a los materiales calcáreos presentes en el sector corresponden al tipo de acuíferos kársticos en sentido estricto, con permeabilidad alta originada por fracturación y karstificación y respuesta rápida a las precipitaciones. El funcionamiento es, en general, libre, aunque localmente se dan condiciones de confinamiento. El flujo está bastante compartimentado, como lo demuestran las diferencias de nivel observadas en pozos próximos. No se descarta que existan acuíferos con comportamientos más inerciales asociados a las calcarenitas, si bien no hay datos al respecto.

La recarga de los acuíferos se produce por infiltración de aguas de precipitación caída sobre los propios afloramientos y de aguas de escorrentía superficial procedente de materiales de baja permeabilidad, aprovechando para ello la abundancia de formas de absorción kársticas.

Como puntos de descarga los manantiales más importantes del sector son los representados en la figura 3. En general, se ubican en las cotas más bajas, a lo largo del río Karrantza, que actúa como receptor principal de los flujos subterráneos tanto de los manantiales como de aportes directos al cauce. De todas maneras, los flujos más significativos se dirigen hacia Cantabria donde se encuentran los manantiales más importantes (La Cueva) con caudales medios superiores a 100 l/s.

En el río Kalera no existen surgencias visibles y se ha comprobado su carácter influente, al menos en período de estiaje. Los materiales permeables de esta última cuenca también drenan hacia Cantabria (manantiales de Ramales de la Victoria).

Las observaciones realizadas en los manantiales indican que su descarga está sometida a variaciones estacionales muy fuertes, hasta el extremo de que la Fuentona se suele secar en estiaje. Sólo el manantial Lanestosa ha sido objeto de control continuo, durante el año 1989-90, habiéndose cuantificado un caudal medio del orden de 120 l/s, con variaciones entre 12 y más de 10.000 l/s; la respuesta del manantial ante las precipitaciones es inmediata.

El manantial Molinar (en realidad se trata de varios manantiales) ha dado origen al balneario allí existente en el que se aprovechan las cualidades terapéuticas del agua que llega a presentar en la surgencia una temperatura de unos 30°C. Un sondeo perforado en las inmediaciones de las surgencias mejora la aportación hasta un caudal de 10-12 l/s.

Respecto al balance hidrológico hay que recordar lo anteriormente expuesto sobre la complejidad del dispositivo geológico-hidrogeológico y sobre el hecho de que buena parte de la descarga se produzca hacia Cantabria. De cualquier forma, aunque suponga un tratamiento parcial del balance, se puede hacer una estimación de las cantidades de agua aportadas al río Karrantza en el territorio descrito en base a los controles de caudal que se han realizado esporádicamente, tanto en el propio río como en algunas de las surgencias importantes. Como se ha dicho, en el sector del río Kalera prácticamente todos los flujos convergen hacia Cantabria, de ahí que no se consideren en términos de balance.

Desde la margen derecha del río Karrantza (zona de Peña Ranero) se estiman unos aportes del orden de 3 $Hm^3$ (unos 100 l/s), que serían drenados fundamentalmente por las surgencias la Cadena y la Fuentona y directamente al cauce del río. Aforos diferenciales realizados en éste permiten estimar en unos 30 l/s los aportes directos al cauce en épocas de estiaje; el aporte principal se daría a la altura de la presa de la Cadena.

Por la margen izquierda la estimación es de unos 4 $Hm^3$, drenados sobre todo por la surgencia Lanestosa y también de forma directa al río. Por tanto, el total de los recursos subterráneos anuales estimados para la cuenca del río Karrantza sería del orden de 7 $Hm^3$.

**Hidroquímica. Calidad**

A partir de los análisis efectuados en los diversos estudios realizados en el sector se

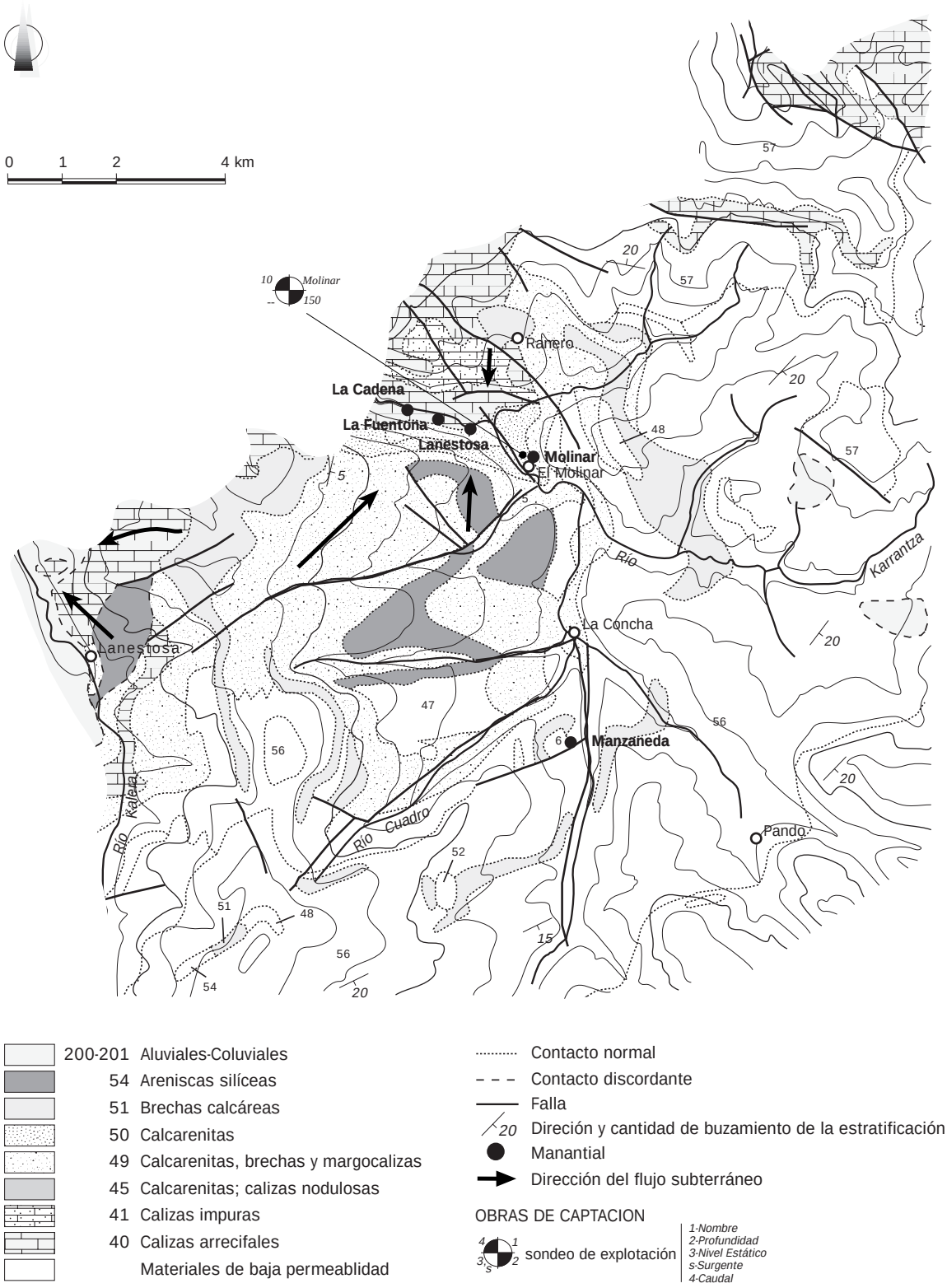



Figura 3. Esquema del Sector Karrantza.

observa que prácticamente la totalidad de las aguas subterráneas son de naturaleza claramente bicarbonatada cálcica, con bajos contenidos salinos (residuos secos entre 200 y 400 mg/l). En el cuadro 1 aparecen los rangos de variación usual de algunos de los parámetros físico-químicos más habituales en estas aguas. Las aguas de escorrentía superficial, por su parte, presentan la misma facies pero sus contenidos salinos suelen ser menores.

| Parámetro | Rango de variación |
|---|---|
| Conductividad (µS/cm) | 180-330 |
| pH | 7,5-8,0 |
| Dureza (°F) | 8-16 |
| Cloruros (mg/l) | 10-20 |
| Calcio (mg/l) | 30-60 |
| Sulfatos (mg/l) | 15-30 |
| Nitratos (mg/l) | hasta 10 |

Cuadro 1. Parámetros hidroquímicos representativos.

En lo que a la calidad para el consumo respecta, la mayoría de estas aguas cumplen la reglamentación en lo que a los parámetros físico-químicos se refiere. Sin embargo, buena parte de ellas resultan ser no potables debido a su composición bacteriológica en la que coliformes y estreptococos presentan contenidos por encima de los permitidos. Este hecho se relaciona con la importante actividad agraria del sector y la inexistencia, en general, de unas mínimas condiciones de protección de los manantiales, que repercute en la calidad de sus aguas.

Mención especial merecen las aguas del Molinar, ya que a su carácter termal (27-30°C) hay que añadir su alto contenido salino, con residuos secos del orden de 1.000 mg/l, y la escasa oscilación de sus caudales. Estas aguas presentan una facies claramente clorurada sódica, posiblemente en relación con flujos profundos en contacto con sales evaporíticas.

En cuanto a su composición química todos los elementos analizados en estas aguas termales tienen contenidos por encima de los expuestos en la tabla anterior para el resto de los manantiales, excepción hecha de los elementos indicadores de contaminación superficial, como es el caso de los nitratos, prácticamente ausentes. Son a señalar contenidos relativamente altos en elementos minoritarios como litio (0,2-0,4 mg/l) y boro (0,03-0,04 mg/l) indicadores de flujos profundos, lentos y a altas temperaturas.

Aguas similares a las del Molinar afloran también en otros lugares, aunque con escaso caudal. Es el caso de Manzaneda, con residuo seco del orden de 1.000 mg/l. Estas aguas probablemente están relacionadas entre sí y su punto de surgencia parece estar condicionado por la fracturación. En el caso del Molinar son utilizadas en el Balneario allí existente con fines terapéuticos.

*SECTORES JORRIOS-SODUPE, GALDAMES Y GALLARTA*

Aunque en su caracterización hidrogeológica se presentan separadamente, en lo que se refiere a sus aspectos generales se tratan de forma conjunta. Estos sectores se ubican en el extremo noroccidental del dominio hidrogeológico, limitando con Cantabria. De Oeste a Este los ríos que los atraviesan son: Agüera, Barbadun (o Mercadillo) y Kadagua. Los núcleos de población más importantes son Arcentales, Sopuerta, Somorrostro, Galdames, Gallarta, Ortuella y Trapagaran.

Los relieves más altos corresponden a Castro Alen (798 m), por el Oeste, y a Eretza (880 m) por el Este. Buena parte de los relieves altos se asocian con los afloramientos de calizas arrecifales, que en estos sectores se caracterizan por su discontinuidad dando resaltes aislados.

En relación con estas calizas ha tenido lugar una muy importante actividad minera (de hierro fundamentalmente, pero también de plomo-zinc en algunos lugares) desde el siglo pasado si bien en la actualidad está prácticamente desaparecida. Esta actividad fue importante por su extensión sobre todo en la Zona Minera de Galdames-Gallarta-La Arboleda, y en menor medida en la cuenca del río Agüera. Las labores mineras han dejado una importante huella en el paisaje de estos sectores, tanto por extracción (canteras, cortas, galerías...) como por acumulación (numerosas escombreras), a la vez que en algunas áreas han condicionado totalmente la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas y, sobre todo, su calidad.

**Geología. Hidrogeología**

Los materiales aflorantes en estos sectores corresponden al Cretácico inferior. Los únicos depósitos cuaternarios con entidad suficiente para ser cartografiados a la escala considerada son los depósitos aluviales (200), ligados a la

red fluvial actual, algunos coluviales (201) y los depósitos antropogénicos (206), ligados a la actividad minera, de importancia en la zona de Gallarta.

Los materiales cretácicos son de naturaleza muy variada, con incidencia en su grado de permeabilidad. Así, los materiales más permeables en estos sectores corresponden a series carbonatadas, calizas arrecifales (40), calcarenitas (45, 50) y brechas y olistolitos (51, 52), cuyos afloramientos son, por lo general, de reducida extensión, muy compartimentados por la fracturación y con frecuentes cambios de facies hacia términos más terrígenos.

Estas formaciones carbonatadas conforman los macizos de Jorrios y de Castro Alen en el Sector Jorrios, las Peñas de Galdames en el sector de igual nombre y la Zona Minera de Gallarta-La Arboleda, y a ellas se asocian los principales manantiales inventariados en la región.

Con permeabilidad media afloran materiales carbonatados con una mayor presencia de margas y arcillas (41, 49). Estos materiales abundan en el Sector Jorrios mientras que son inexistentes en los otros dos sectores considerados. El resto de afloramientos corresponden a formaciones arenoso-lutíticas (38, 39, 57) o margosas (47), de permeabilidad baja, y lutíticas (43, 56) de permeabilidad muy baja.

A la vista de lo expuesto se deduce que el mayor interés hidrogeológico de estos sectores se centra en las formaciones carbonatadas.

En cuanto a la disposición estructural, el Sector Galdames se sitúa prácticamente en el eje del Anticlinorio de Bilbao, el de Gallarta en su flanco Norte y el de Jorrios en el Sur, cada uno de ellos con estructuras menores asociadas. La fracturación es importante en los tres sectores, con fallas normales de importancia regional, de dirección preferente NO-SE y otras, de menor importancia, perpendiculares a las anteriores. En consecuencia, la cartografía se hace compleja en el detalle, al igual que la delimitación geométrica detallada de los acuíferos.

**Funcionamiento hidráulico. Balance**

Según los estudios realizados hasta el presente en estos sectores, las formaciones calizas originan acuíferos de tipo kárstico en sentido estricto, con permeabilidad alta, originada por fracturación y karstificación, y circulación por conductos preferentes de amplio desarrollo, favorecida por la red de galerías excavadas para la extracción de mineral. Las formaciones de naturaleza calcarenítica, por su parte, de menor permeabilidad, presentan una morfología kárstica menos acusada y, probablemente, con una cierta porosidad primaria de tipo intergranular.

El funcionamiento de estos acuíferos es, en general, libre y caracterizado por un sistema de flujo bastante compartimentado, lo que dificulta en ocasiones la definición de las áreas de recarga de los manantiales. Las formas exokársticas (dolinas, torcas, sumideros...) y endokársticas (simas, galerías...) son frecuentes, como lo atestiguan las numerosas actividades espeleológicas habidas en la zona. Sólo en el Macizo de Jorrios, por ejemplo, se han llegado a inventariar del orden de 150 cavidades alcanzando profundidades de hasta 324 m. La existencia de formas de absorción (sumideros) ha posibilitado la realización de coloraciones, sobre todo con fluoresceína, y la verificación de conexiones con surgencias. En las zonas ocupadas por las calizas apenas hay desarrollo de suelo.

Una información más detallada es ahora dada por sectores:

*Sector Jorrios-Sodupe*

Se extiende desde el Macizo de Jorrios (cuenca del río Agüera), limitando ya con Cantabria, formado por calizas arrecifales, hacia Sodupe (cuenca del río Kadagua), dándose un cambio de facies hacia materiales calcareníticos de permeabilidad media. No es posible una delimitación clara de los acuíferos presentes en este sector, ya que el más importante (Macizo de Jorrios-Gordon) se prolonga por Cantabria, fuera ya de los límites del Mapa, y el resto se asocia a reducidos afloramientos aislados de calizas arrecifales con relaciones hidráulicas desconocidas con los materiales de permeabilidad media circundantes (figura 4).

La recarga de los acuíferos se produce principalmente por infiltración de las aguas de precipitación, proceso favorecido en ciertas zonas, como en el Macizo de Jorrios y en el de Gordon, por la existencia de un espectacular desarrollo kárstico de cuencas endorreicas (torcas, hoyos) y la consiguiente escasa presencia de suelo y vegetación. En otras áreas, como en el arroyo de Peñalba (próximo a Trucios), también hay que considerar la recarga con aguas de escorrentía superficial procedente de formaciones

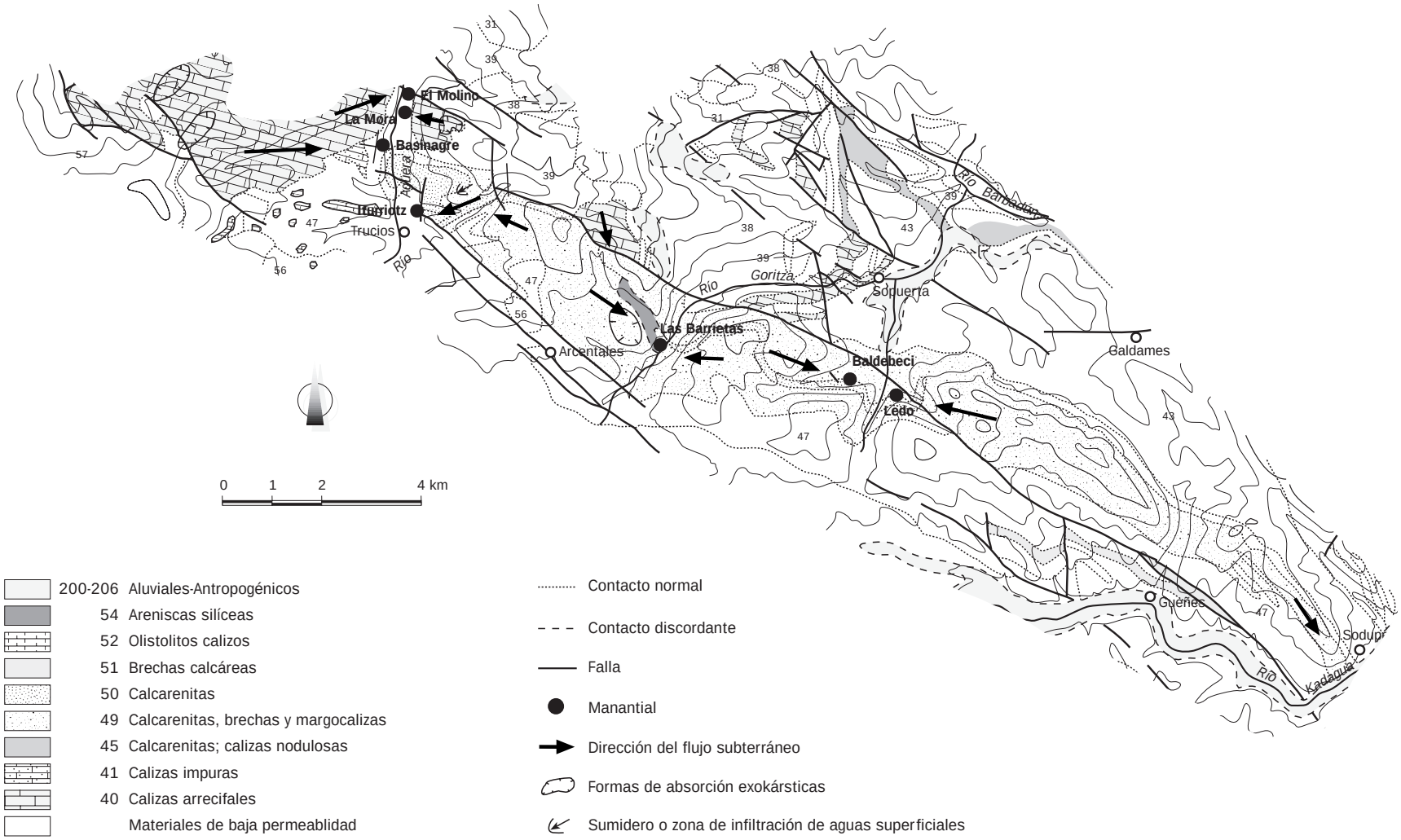



Figura 4. Esquema del Sector Jorrios-Sodupe.

de escasa permeabilidad y que terminan infiltrándose, incluso totalmente en época de estiaje, en los sumideros presentes en el cauce.

La descarga se realiza a través de manantiales y directamente al cauce de los ríos que atraviesan el sector (Agüera, Goritza, Barbadun o Mercadillo, Kadagua). Los manantiales más importantes se ubican en el área de Agüera, en contacto con las calizas, junto al río, y en algunos casos, Basinagre o Cueva del Refugio y la Mora, se trata de surgencias de tipo trop-plein, en las que a medida que el nivel piezométrico en el acuífero asciende se activan salidas situadas a cotas superiores. El ejemplo más espectacular de este tipo de comportamiento es el de la Mora, salida más alta del manantial, activa sólo en situaciones de aguas altas aportando entonces caudales de varios metros cúbicos por segundo.

También son a destacar el manantial Iturriotz, situado en el arroyo de Peñalba, influenciado por la infiltración, total en estiaje, de ese arroyo, y el conjunto de surgencias que configuran el llamado manantial las Barrietas, junto al río Goritza, que drenan materiales de naturaleza fundamentalmente calcarenítica. El resto de manantiales de cierta entidad considerados en el mapa, distribuidos a lo largo del sector, se asocian siempre a las calcarenitas o a las calizas arrecifales.

Aunque en este sector no hay estaciones de aforo permanente, varios puntos han sido objeto de control durante períodos amplios en el marco de estudios hidrogeológicos. Así, las aportaciones del río Agüera fueron controladas en varias secciones, a la entrada y salida de las calizas, evidenciándose la concentración de flujos subterráneos hacia ese tramo del cauce, sobre todo en el sector de la presa de El Molino. Comportamiento similar ha sido observado en el río Goritza y en el río Barbadun, recibiendo ambos aportes subterráneos directos procedentes de los materiales calcareníticos.

El manantial Iturriotz, también llamado Laguanaz y Ojo La Fuente, fue objeto de control continuo de caudal durante algunos años (1983-85) siendo sus aportaciones medias del orden de 90 l/s. Similares aportaciones pueden tener el resto de surgencias asociadas al río Agüera, (Basinagre, la Mora, el Molino), aunque la gran variabilidad de caudales observados, desde varios $m^3/s$ hasta casi el agotamiento, y su funcionamiento de tipo trop-plein dificultan una estimación más precisa.

El esquema de flujos subterráneos del sector aparece en la figura 4. Como se ha comentado con anterioridad, los flujos se organizan convergiendo hacia los ríos, que constituyen el nivel de base. En el área del Macizo de Jorrios se han efectuado algunos ensayos con trazador, usando la fluoresceína sódica y el cloruro de litio, lo que ha permitido verificar relaciones entre sumideros y manantiales o ríos.

Así, se ha puesto de manifiesto que la importante surgencia la Mora ubicada en la orilla derecha del río Agüera, es un punto de descarga no sólo del pequeño afloramiento carbonatado que origina el Macizo de Gordon sino también del propio Macizo de Jorrios, ubicado éste en la margen izquierda del río, evidenciándose así la existencia de una circulación sifonante bajo el cauce del río. Los trazadores también aparecieron en el manantial Basinagre y directamente en el cauce del Agüera. Coloraciones realizadas en sumideros del Macizo de Jorrios pero en territorio de Cantabria también han tenido su salida hacia esta parte del río Agüera. En algunos ensayos las tasas de trazador recuperado han sido muy bajas (<10%) lo que ha llevado a pensar que en algunos sectores de Jorrios-Gordon las reservas puedan ser importantes.

Como ejemplo de ensayo con trazador, en la figura 5 se observan los resultados del efectuado en Octubre de 1987, con cloruro de litio, en un sumidero del arroyo de Peñalba, próximo a Trucios, y que salió por la surgencia Iturriotz. La tasa de restitución fue del 95%, lo que muestra la bondad del ensayo. La velocidad media estimada para el tránsito del trazador desde el sumidero hasta el manantial, distante 1.280 m, fue de unos 11 m/h, en las condiciones de realización del ensayo (observar el hidrograma del manantial). Velocidades algo más altas, del orden de 17-20 m/h, han sido evidenciadas en el Macizo de Jorrios en similares condiciones de caudales.

Respecto al balance hídrico hay que tener presente lo anteriormente expuesto sobre las condiciones de afloramiento de las calizas y la falta de conocimiento del comportamiento de las calcarenitas asociadas (ya que no se tiene constancia de sondeo alguno), a lo que hay que añadir el problema que para los estudios de detalle supone el límite administrativo con Cantabria. En consecuencia, los datos que se aportan son estimaciones, realizadas en base a las medidas puntuales disponibles.

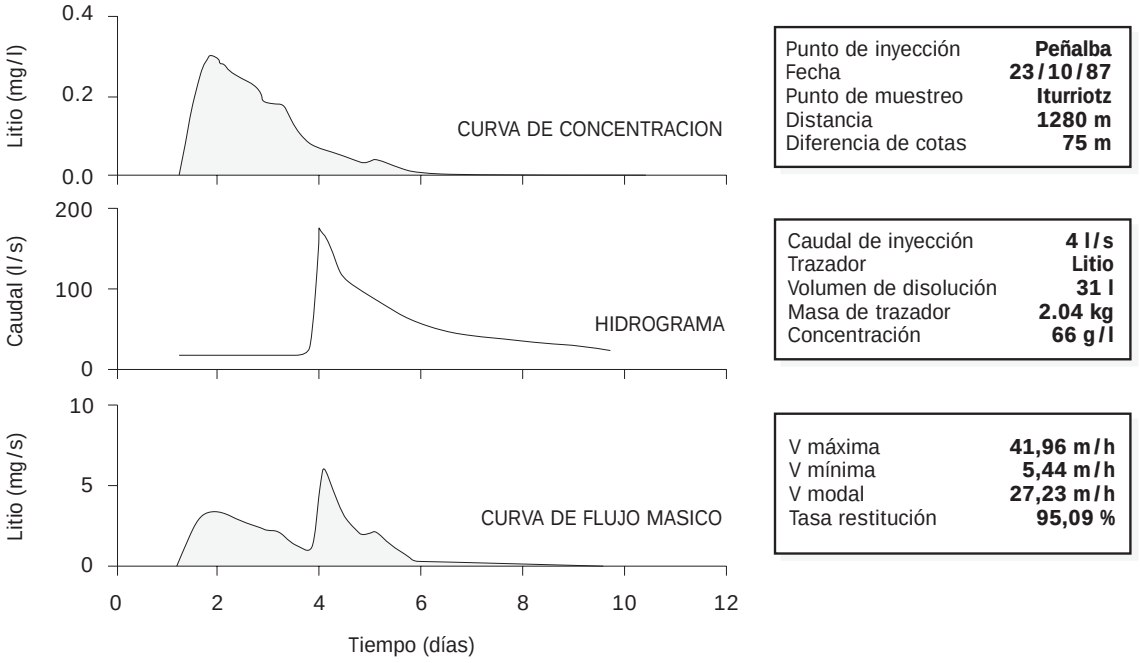



Figura 5. Ensayo con trazador en Jorrios.

En el área del río Agüera, para una extensión de afloramiento del orden de 17 km$^2$, una lluvia útil de 950 mm y un coeficiente de infiltración oscilando entre el 100% en buena parte de los afloramientos carbonatados y un 50% en los calcareníticos, resultan unos recursos renovables medios anuales de 14 Hm$^3$. Estos recursos son drenados por las surgencias próximas al río Agüera y directamente al propio río.

Teniendo en cuenta que la lluvia útil disminuye hacia el Este y aplicando el coeficiente de infiltración citado para los materiales calcareníticos, resultan unos recursos anuales del orden de 3,5 Hm$^3$ tanto para los aportes drenados por el arroyo Goritza, a través de las Barrietas sobre todo, como para los drenados por el río Barbadun, a través de los manantiales Baldebeci y Ledo fundamentalmente. Un valor menor, 1,5 Hm$^3$, serían los recursos drenados al río Kadagua, en el extremo oriental del sector.

En consecuencia, se estiman unos recursos anuales para la totalidad del sector de 19 Hm$^3$.

*Sector Galdames*

Este sector se ubica en las proximidades del núcleo de Galdames, limitando hacia el Sur con el río de igual nombre. Comprende los afloramientos de calizas arrecifales, en los que se centra el interés hidrogeológico del sector, y las formaciones arenoso-lutíticas intercaladas, de permeabilidad baja o muy baja. Las calizas se presentan muy fracturadas, estableciéndose compartimentación del flujo, y se prolongan hacia el Este hasta el río Kadagua (figura 6).

La recarga de los acuíferos se produce fundamentalmente por infiltración del agua de lluvia. Este proceso se ve favorecido por la abundancia de formas exo y endokársticas (dolinas, cavidades, simas) y por las depresiones originadas durante la actividad minera (Mina Princesa, Mina Buena). En el arroyo Arenaga se evidencia la existencia de sumideros a favor de los cuales se produce una recarga complementaria.

La descarga se realiza a favor de manantiales y directamente al cauce del río Galdames. Prácticamente la totalidad de los manantiales de interés, los reflejados en la figura 6, están asociados a las calizas arrecifales. Se localizan a favor de los contactos, en relación con fracturas, o bien, si están dentro de las propias calizas, en relación con depresiones kársticas. Fuera de ellas los manantiales son de escasa entidad (caudal inferior a 1 l/s).

Los más significativos son Magdalena y Aguas Frías, ambos exponentes claros de manantial asociado a un acuífero kárstico *sensu stricto*. Por la naturaleza del acuífero y sus peculiares características geométricas están sujetos a

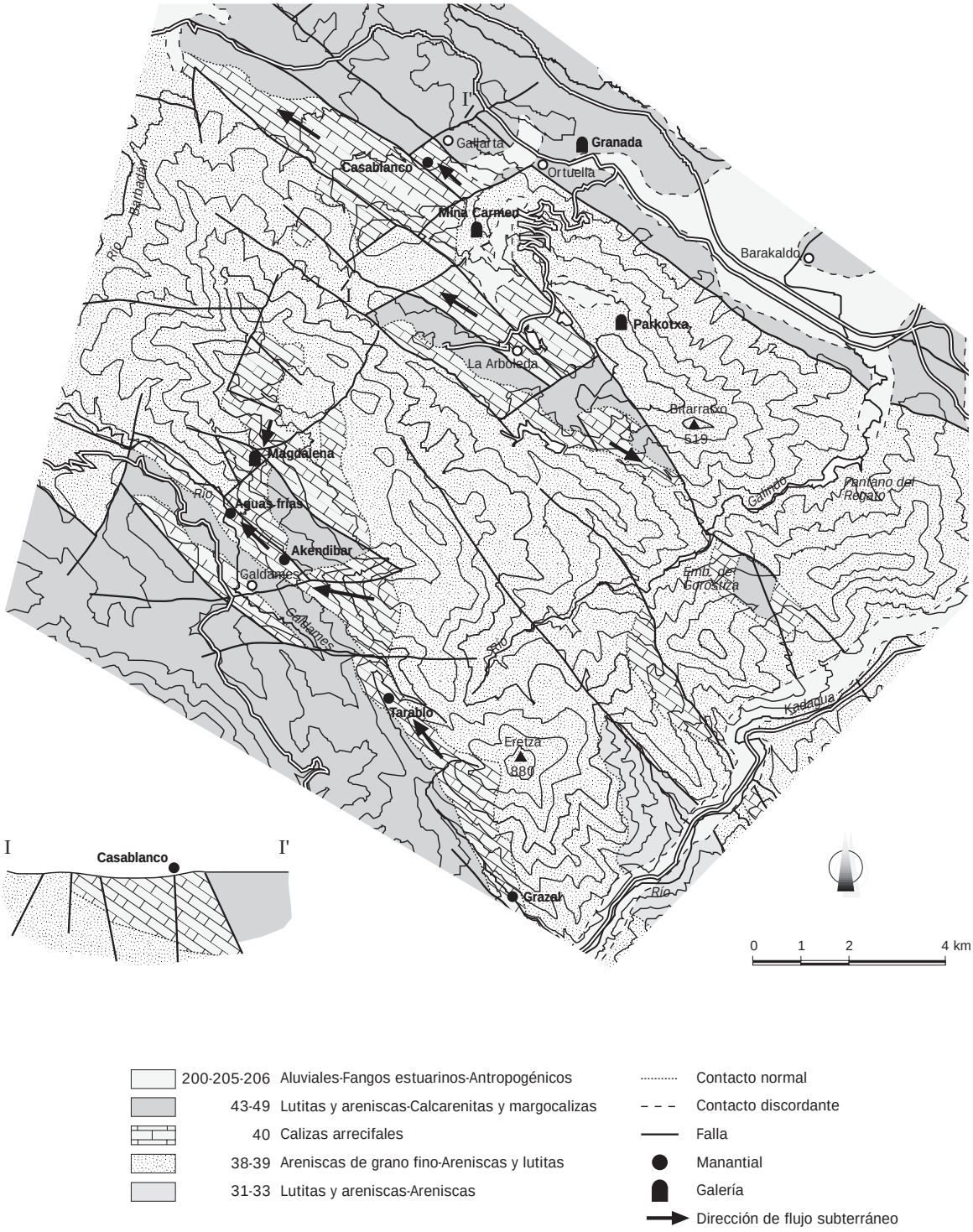



Figura 6. Esquema del Sector Gallarta-Galdames.

crecidas casi inmediatas y estiajes próximos al agotamiento.

Algunos de estos manantiales sirven al abastecimiento de barrios de Galdames, mientras que otros son captados como abastecimiento complementario de núcleos de la Margen Izquierda, tal que Santurtzi y Trapagaran. Los situados en la cuenca del Kadagua sirven para el abastecimiento de Sodupe.

Si bien en este sector no hay estaciones de aforo algunos datos disponibles, referentes a aforos diferenciales en el río Galdames, evidencian que éste actúa como colector de descarga de los flujos subterráneos de las calizas. El aporte al río se ha estimado en unos 150 l/s en situación de aguas medias; una tercera parte de ese caudal sería drenado a través de las surgencias y el resto por aporte directo a lo largo del cauce.

Conviene hacer mención de la existencia de dos grandes charcas en el barrio de La Aceña, junto al río. De una de ellas se llegó a bombear agua para el abastecimiento de Santurtzi durante la época de la actividad minera. Actualmente esta charca está colmatada por vertidos de diversa procedencia y sólo recoge agua de lluvia. La otra charca, sin embargo, situada a cota unos 12 m por debajo del manantial Aguas Frías presenta lámina de agua permanente, y todo hace suponer que ésta representa el nivel freático de las calizas.

El esquema de los flujos subterráneos queda reflejado en la figura 6. Como se ha expuesto anteriormente los flujos convergen hacia el río Galdames, que constituye el eje de drenaje principal, y hacia los manantiales. Coloraciones realizadas en un sumidero del arroyo de Arenaga, justo al este del pueblo de Galdames, han evidenciado conexión con el manantial Aguas Frías y con el propio río Galdames, pero no con el manantial Akendibar, ubicado en las proximidades del arroyo. En cualquier caso, las coloraciones no son siempre posibles y no se conocen en el detalle las áreas de recarga de cada uno de los manantiales.

Las calizas del extremo más oriental del sector drenan hacia el manantial Grazal y directamente hacia el río Kadagua aunque, habida cuenta de la extensión que ocupan, los caudales puestos en juego deben ser escasos.

Algunos pocos sondeos de investigación realizados en las calizas, con profundidades comprendidas entre 40 y 100 m, evidencian la discontinuidad del flujo, usual por otra parte en el medio kárstico, de manera que sondeos próximos entre sí presentan niveles piezométricos con cotas muy dispares.

Respecto al balance hidrológico hay que señalar lo ya indicado sobre la compartimentación de flujos como consecuencia de la fracturación y separación en bloques. Las estimaciones realizadas con los datos disponibles dan unos recursos anuales medios para las calizas del sector, únicas formaciones con permeabilidad adecuada, del orden de 6,5 $Hm^3$ (unos 200 l/s) correspondientes a la consideración de una lluvia útil de 700 mm y una extensión de afloramientos calizos de unos 12 $km^2$. La mayor parte de estos recursos son drenados, directa o indirectamente, al río Galdames (estimación de unos 150 l/s) y el resto al río Kadagua.

*Sector Gallarta*

Este sector comprende las formaciones de calizas arrecifales a las que se asocian los yacimientos de hierro que originaron una intensiva actividad minera durante el siglo pasado y buena parte del actual. Es la zona de los Montes de Triano, o Zona Minera (Meatzeta), incluida en los términos municipales de Trapagaran, Ortuella, Abanto y Zierbena. El sector está limitado por los arroyos Picón y Kotorrio, afluentes del Barbadun y por el arroyo Granada, afluente del Galindo (figura 6).

Los materiales de interés hidrogeológico son las calizas y, puntualmente en las partes más bajas, los depósitos aluviales de muy reducida extensión en el sector, ya que el resto de materiales aflorantes, de naturaleza arenoso-lutítica, se consideran de baja o muy baja permeabilidad. La importante fracturación ha provocado la separación en bloques de las calizas.

Sin embargo, en este sector adquieren notable importancia, por su extensión, los depósitos antropogénicos ligados a la actividad extractiva y que, en general, se pueden considerar de permeabilidad alta. Aunque se trata sobre todo de escombreras mineras y balsas de decantación, otros tipos de residuos, tanto urbanos como industriales, han incidido fuertemente en la calidad de las aguas subterráneas y superficiales.

Pero estos depósitos no inciden sólo en la calidad de las aguas sino también en el propio esquema de flujos del sector, como se puede

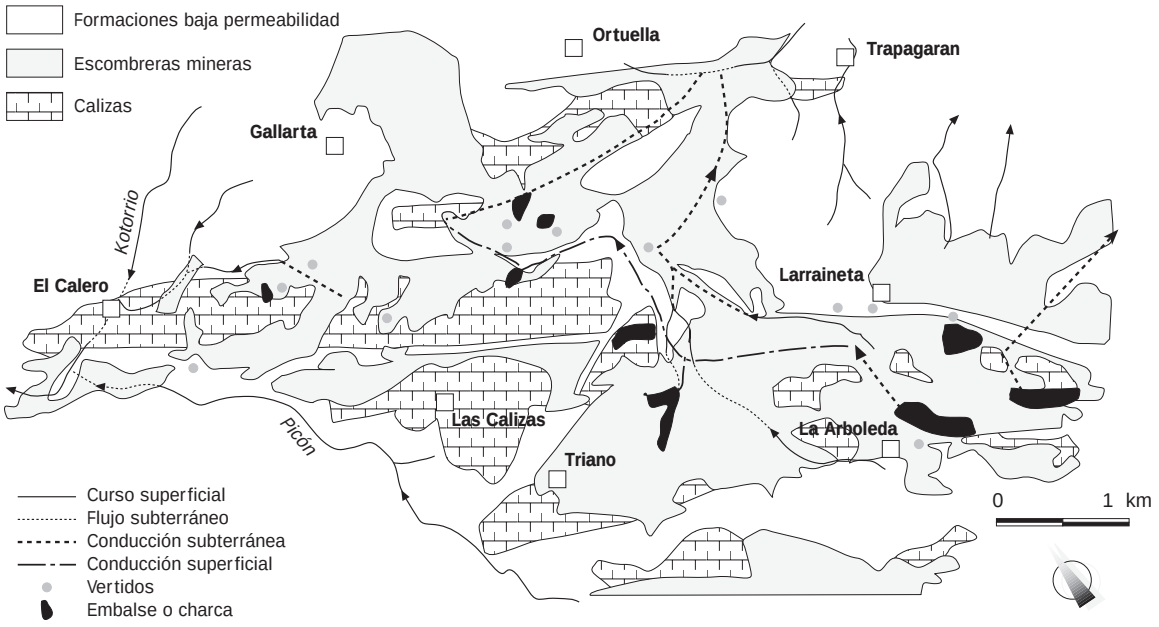



Figura 7. Esquema de flujos en la Zona Minera.

observar en la figura 7, en donde se representa en detalle la extensión ocupada por los depósitos antropogénicos y su influencia en los cursos de agua y en los flujos subterráneos. También se aprecia en la misma figura la compartimentación en bloques de los afloramientos calizos y el papel de "puente" entre bloques que juegan los depósitos mineros.

La recarga se produce de manera principal por infiltración de aguas de lluvia. Por otra parte, también se observa infiltración concentrada en numerosos sumideros situados en el contacto de calizas o bien de los depósitos antropogénicos. En esos puntos se sumen aguas de pequeños arroyos que resurgen aguas abajo para volver a sumirse en un nuevo sumidero. Un ejemplo de este fenómeno puede observarse en las cercanías de La Arboleda con los arroyos que procedentes del Sur terminan finalmente, después de frecuentes entradas-salidas, descargando al río Granada, en el borde Norte del sector. La presencia de los depósitos antropogénicos condiciona totalmente este comportamiento.

Respecto a la descarga principal y última, ésta se realiza mediante manantiales a los arroyos que bordean el sector: Picón y Lanchas, en el extremo occidental (cuenca del río Barbadun), y arroyo Granada, en el septentrional (cuenca del río Galindo). Se han contabilizado un total de 85 puntos de agua, de los cuales la mitad son manantiales que drenan depósitos antropogénicos, lo cual evidencia el control hidrogeológico que estos depósitos ejercen. El resto de puntos corresponden a manantiales asociados sobre todo a las calizas y, en algunos casos, a niveles areniscosos. Es probable que también se dé drenaje directo de las calizas y de los depósitos hacia los cauces de esos arroyos.

Los manantiales inventariados son de muy escaso caudal (inferior a 1 l/s) casi en su totalidad. Para su representación cartográfica se han elegido aquéllos que regionalmente presentan un mayor interés. El único que presenta un caudal medio anual considerable es Casablanco, también conocido como Casa Yagüe. En la actualidad prácticamente ninguno de los señalados es objeto de utilización, sobre todo debido a la mala calidad de sus aguas, aunque en su día algunos sirvieron para el abastecimiento de los núcleos próximos; fue el caso de Casablanco.

En algún caso se han señalado como manantiales salidas de galerías (Mina Carmen, Granada, Parkotxa) ya que, en ocasiones, por drenaje interno de la explotación minera o por conducción para su uso en lavaderos, las aguas han sido canalizadas por galerías funcionando actualmente su salida como punto de descarga.

Como puntos de descarga local, dentro del sector, hay que mencionar las charcas, de las cuales se ha inventariado un centenar, formadas

en depresiones originadas como consecuencia de la actividad minera; hacia ellas convergen flujos subterráneos y esporádicos flujos superficiales. Muchas de ellas, debido a su pequeña capacidad, se secan totalmente en estiaje, pero otras son permanentes llegando a presentar interés como ecosistemas particulares; es el caso de la charca de la Mina Pickwick, junto a la antigua Mina Carmen.

Aunque no se trate de zonas de descarga, sino más bien del propio nivel piezométrico en algunos casos, son también a señalar los pozos, fondos de cortas mineras que han sido inundados. Cabe mencionar los casos de Pozo Gerente, Cantera Matilde, Mina Concha, etc. En la figura 7 están señaladas estas zonas húmedas como charcas. Como embalses de regulación hay que citar el de Triano y el de Arana, ambos de poca capacidad.

En este sector no existen estaciones de aforo. Los únicos, escasos, datos disponibles se refieren al control puntual de caudales en algunos manantiales y al que durante una época (1984-85) se llevó a cabo en el arroyo que originan los manantiales de Casablanco, en el área de Putxeta. Estos dieron un caudal medio de 30 l/s durante ese período.

El esquema de flujos del sector aparece en la figura 7. El esquema es complicado debido a la propia compartimentación en bloques de los afloramientos carbonatados, la intensa actividad extractiva asociada, y la amplia extensión de los depósitos antropogénicos que constituyen cuerpos acuíferos, de porosidad similar a la intergranular, superpuestos a los de naturaleza carbonatada, haciendo en ocasiones de puente entre ellos. De hecho, estos últimos factores han condicionado notablemente la organización de los flujos subterráneos y su interacción con las esporádicas corrientes superficiales existentes en el interior del sector.

La karstificación es intensa, al menos en superficie donde se presentan buenos ejemplos de karst en torres, favoreciendo una rápida infiltración. Sin embargo, en profundidad los flujos son bastante heterogéneos, como lo demuestra el hecho de que durante la explotación minera había problemas de drenaje en algunas áreas mientras que en otras se trabajaba en seco.

En lo que se refiere al balance, y teniendo en cuenta lo ya expuesto sobre la escasez de datos, se ha realizado uno global para todo el sector. La extensión considerada es de unos 5 $km^2$. Para una lluvia útil anual del orden de 600 mm, y teniendo en cuenta el esquema de flujos comentado, resultan unos recursos anuales de 3 $Hm^3$, de los que 1 $Hm^3$ descargaría por los manantiales de Casablanco y el resto, sin especificar, a los arroyos de borde.

**Hidroquímica. Calidad**

Casi la totalidad de las aguas analizadas en estos tres sectores muestran una facies netamente bicarbonatada cálcica, con bajos contenidos salinos, correspondientes a residuos secos comprendidos entre 200 y 400 mg/l. De acuerdo con los parámetros usualmente analizados, parámetros físico-químicos, las aguas son, en general, de buena calidad aunque es previsible que presenten problemas por contaminación bacteriológica y orgánica.

Las aguas que drenan calizas arrecifales son, por lo general, las menos mineralizadas, como consecuencia de flujos más rápidos, mientras que la mineralización se incrementa en las aguas que drenan formaciones calcareníticas, margosas y areniscosas. La temperatura de las aguas en la surgencia suele ser de 10-12°C.

El quimismo de las aguas del Sector Gallarta es claramente diferente al de las aguas de los otros dos sectores, debido sobre todo a la influencia de las actividades extractivas y de las asociadas.

Los análisis efectuados en las aguas del Sector Gallarta evidencian residuos secos comprendidos entre 400 y 900 mg/l, alcanzando incluso valores locales superiores a 2.000 mg/l. En el cuadro 2 se observan rangos de valores usuales para algunos parámetros correspondientes a las aguas de manantiales de este sector. Las aguas de las charcas presentan valores superiores, y mayores aún los lixiviados de los diversos vertederos repartidos por el sector.

La mayoría de manantiales presentan altos contenidos en sulfatos, siendo en algunos casos (Casablanco) el anión predominante de manera que la facies llega a ser sulfatada, cálcica e incluso magnésica. En el resto de casos las aguas mantienen una facies bicarbonatada cálcica. También son a considerar los, en ocasiones, elevados contenidos en metales pesados (Mn, Al, Ni, Cu) y bajos pH.

La contaminación de las aguas, subterráneas y superficiales, es generalizada en el Sector Gallarta siendo difícil establecer relaciones causa-efecto con el posible foco contaminante habida cuenta de su diversidad (actividades mineras y vertederos incontrolados) y de la gran cantidad de sustancias contaminantes asociadas, muchas de ellas no consideradas en los análisis químicos habituales. En general, las zonas más contaminadas son la del arroyo Lanchas y la del arroyo Granada, además de, por supuesto, buena parte de las charcas internas del sector.

| Sector | **Jorrios-Sodupe** | | **Galdames** | **Gallarta** |
|---|---|---|---|---|
| | Calizas | Calcarenitas | | |
| Cond. | 180-300 | 300-450 | 170-300 | 400-900 |
| Res. seco | 200-280 | 300-370 | 180-240 | 400-900 |
| pH | 7-8 | 7-8 | 7,5-8 | 5-8 |
| Dureza (°F) | 13-16 | 17-26 | 10-18 | |
| Cloruros | 8-16 | 10-16 | 8-16 | 20-120 |
| Calcio | 45-60 | 65-85 | 40-60 | 80-200 |
| Sulfatos | 10-15 | 10-30 | 8-20 | 60-400 |
| Nitratos | 1-7 | 4-8 | 1-8 | 10-50 |

Cuadro 2. Características físico-químicas de las aguas de los diferentes sectores. Conductividad en µS/cm y dureza en °F. Resto de parámetros en mg/l (salvo pH).

*SECTOR TROYA*

Se localiza al suroeste de Gipuzkoa, casi en su totalidad en los términos municipales de Gabiria y Mutiloa. Hidrográficamente, la zona se sitúa en la cabecera de la cuenca del Oria, y específicamente en las regatas Mutiloa y Bengoetxea (figura 8).

Geológicamente este sector está ubicado en la parte Sur del Sinclinorio de Bizkaia, al suroeste de la figura de cierre de dicho sinclinorio. El acuífero se ha desarrollado en calizas arrecifales de permeabilidad alta (109) del Aptiense (Cretácico inferior), de unos 200 m de espesor, que conforman el flanco Norte del "domo de Mutiloa". La plataforma caliza tiene una extensión mínima de 15 km$^2$. La ejecución de los sondeos y labores mineras han permitido obtener un conocimiento detallado de la morfología de la parte superior de la plataforma en las inmediaciones del yacimiento, que es fundamentalmente la zona que ha sido drenada, ya que la mineralización se sitúa en la parte más apical del suave antiforme que describe la plataforma caliza, con su flanco Oeste hundiéndose progresivamente hacia cotas más bajas y el flanco Este cortado por una serie de fallas Norte-Sur. El eje teórico de dicho antiforme buza ligeramente hacia el Norte.

**Hidrogeología**

Tal como se ha indicado, el acuífero se instala sobre el flanco Norte del pequeño domo de Mutiloa. La superficie aflorante es muy pequeña (0,87 km$^2$), aunque se extiende hacia el Norte en profundidad buzando suavemente. Al este, el acuífero está limitado por una serie de fallas de dirección Norte-Sur, que truncan las calizas, sellando prácticamente el acuífero con las series margosas del Albiense. No se conocen sus conexiones laterales pudiendo ser que esté compartimentado en bloques independientes o bien que exista una conexión lateral de toda la plataforma caliza, lo que implicaría un volumen de acuífero importante.

El acuífero en su mayor extensión está confinado y puede ser considerado como kárstico en sentido estricto, habiendo desarrollado su permeabilidad por procesos de disolución que han avanzado preferentemente a través de fracturas y diaclasas. Por los datos existentes no se observa una disminución de la karstificación en profundidad, por lo que se considera que el acuífero ocupa toda la potencia de la plataforma caliza.

La descarga del acuífero ha sufrido variaciones a lo largo de este último siglo. Originalmente, drenaba de forma natural por algún punto del contacto Norte de los afloramientos calizos, en una zona donde la caliza se hunde por la acción de una falla. En esta zona se realizaron galerías y catas mineras para explotar siderita. Una de ellas, emboquillada en margas y con un recorrido de unos 90 m, debió establecer conexión hidráulica con el acuífero, de forma que al estar a cota más baja que la salida original, surgió el manantial conocido por Troy (435 m). Desde esa fecha, anterior a 1911, el manantial abasteció a Segura y fue el punto de drenaje del acuífero. A partir de 1970, comienzan las labores de investigación minera que no varían la situación hasta 1977, fecha en la que la construcción de la rampa Sur de acceso a la mina (395 m) agota el manantial, produciéndose a partir de este momento el drenaje del acuífero mediante bombeos.

La actividad minera continúa hasta Junio de 1993, manteniéndose los bombeos de la mina hasta Enero de 1994, momento en que al cesar los mismos empieza a recuperarse el nivel del acuífero deprimido durante esos años, hasta que

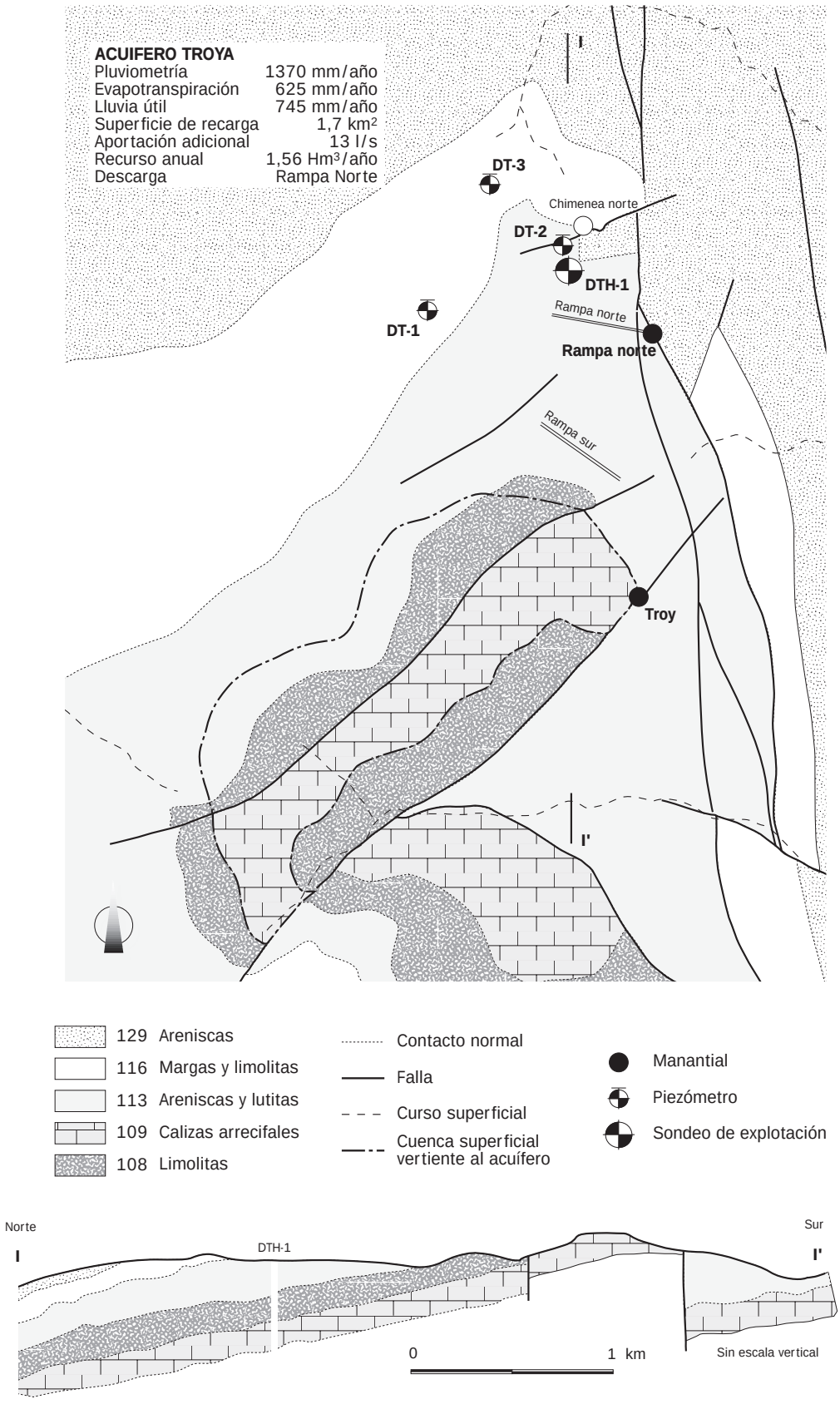



Figura 8. Esquema del Sector Troya.

el 8 de Marzo de 1995 sale el agua por la Rampa Norte (335 m), siendo este punto la actual descarga del acuífero.

Los numerosos sondeos de investigación minera y de extracción de agua para el mantenimiento en seco de las labores han quedado inutilizados como consecuencia del abandono de la actividad minera. A partir de ese momento se han realizado tres piezómetros (DT-1, 2 y 3) para controlar la recuperación de los niveles y la hidroquímica del agua. Por último, se ha realizado un sondeo de explotación a percusión (DTH-1), del que se han bombeado 80 l/s sin que se produjera un descenso de niveles apreciable.

Por otra parte, en la zona existían 68 pequeños manantiales asociados a niveles de areniscas, con caudales entre 0,5 y 45 l/min que se fueron agotando bien por el drenaje de la mina, bien debido a los sondeos de investigación realizados que favorecen flujos verticales descendentes.

El acuífero se recarga por infiltración directa del agua de lluvia sobre materiales calizos permeables con una superficie de 0,87 km$^2$, y por la infiltración del agua de escorrentía generada en una pequeña cuenca externa de una superficie de 0,79 km$^2$, dando una superficie total de casi 1,7 km$^2$.

La pluviometría media anual para el período 1980-92, según el pluviómetro instalado en la mina, es de 1.370 mm. Mediante las fórmulas teóricas de Turc y Thornthwaite, la evapotranspiración real para una capacidad de campo de 60 mm puede evaluarse en 625 mm, es decir, un 47% de la precipitación. La lluvia útil puede evaluarse, por tanto, en un 53% de la precipitación total. Por las observaciones efectuadas, se considera que la escorrentía superficial que se produce en la cuenca es prácticamente nula, por lo que se infiltra en el acuífero el 50% de la precipitación anual. Resultan, por tanto, unos recursos medios anuales de 1,16 Hm$^3$. Además, el acuífero recibe una recarga adicional que se ha evaluado, en períodos secos, en 13 l/s (0,4 Hm$^3$/año), proveniente de la serie detrítica superior por goteo y por la comunicación establecida por el gran número de sondeos de investigación realizados, o bien por aporte profundo. En conjunto los recursos medios son de 1,56 Hm$^3$/año.

**Evolución piezométrica y parámetros del acuífero**

Los primeros datos sobre los parámetros del acuífero Troya se obtienen por medio de ensayos de bombeo realizados en 4 sondeos a rotopercusión, construidos para el drenaje de la mina. Se obtienen transmisividades comprendidas entre 170 y 260 m$^2$/día y coeficientes de almacenamiento de 1-1,9 x 10$^{-3}$. De las conclusiones que se obtuvieron de estos trabajos, cabe destacar la viabilidad del drenaje de la mina por medio de bombeos del orden de 70 l/s.

A partir de Octubre de 1982 comienza el drenaje de la mina, lo que provoca, con las variaciones normales producidas según las condiciones hidrológicas, el descenso del nivel piezométrico desde la cota 422 hasta la cota 192, en Enero de 1992 (figura 9). El caudal medio bombeado fue de 53,6 l/s; teniendo en cuenta que por la geometría del acuífero se conoce el volumen de roca implicado en el descenso, 413,6 Hm$^3$, y que la recarga del acuífero durante ese período fue de 1,56 Hm$^3$/año, se obtiene un coeficiente de almacenamiento medio de 3,2 x 10$^{-3}$.

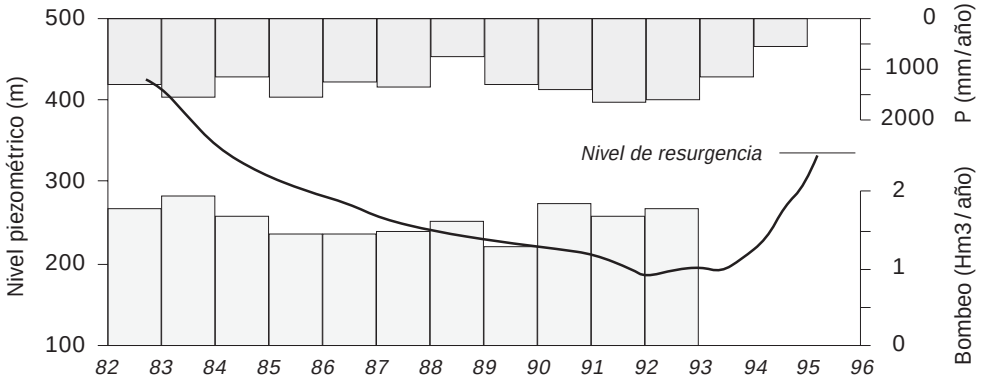



Figura 9. Evolución del nivel piezométrico en Troya.

Estos datos sufren ligeras variaciones si se analiza el ascenso producido en el acuífero una vez cesados los bombeos en la mina, durante el período comprendido entre Enero de 1994 y 8 de Marzo de 1995, día que empieza a resurgir el agua por la Rampa Norte. Teniendo en cuenta que la precipitación durante el período fue de 1.616 l/m$^2$, y considerando los mismos porcentajes de infiltración que los calculados durante el descenso del acuífero, con una recarga adicional evaluada en 13 l/s, se obtiene un coeficiente de almacenamiento entre la cota 190 y 335 de 0,5 x $10^{-3}$.

**Hidroquímica**

Se pueden distinguir tres fases en la evolución hidroquímica del acuífero: la primera fase se extiende desde que se empieza a disponer de datos hidroquímicos del acuífero hasta que se inician los bombeos para el drenaje de la mina, la segunda fase incluye todo el tiempo de explotación minera y la tercera fase se inicia con la recuperación de niveles, incluyendo toda la recuperación del acuífero y la resurgencia del agua por la Rampa Norte.

Por los análisis disponibles, en el año 1976, cuando todavía no se explotaba el yacimiento, se puede decir que se trataba de agua bicarbonatada cálcica, con una componente sulfatada elevada y una conductividad por encima de 500 µS/cm. El resto de los parámetros apenas sufren variaciones en los distintos análisis disponibles y están dentro de los límites normales, finalizando esta primera fase con unas condiciones de calidad buenas.

La segunda fase o de explotación se inicia en 1984 y presenta algunas variaciones en relación a la hidroquímica, que si bien no son muy alarmantes, sí son significativas. Así, el pH aumenta hasta un valor de 7,7 en 1987 para bajar posteriormente hasta 7,2 en 1993. La conductividad también asciende hasta 820 µS/cm en 1991, para descender hasta 725 µS/cm en 1993. Los sólidos disueltos, en estrecha relación con la conductividad, guardan una evolución similar a ella, de forma que de valores cercanos a 300 mg/l en 1983, sube a 650 mg/l en 1989 y a casi 1.000 mg/l en 1991, descendiendo a 700 mg/l en 1993. El oxígeno disuelto presenta una gran uniformidad con un valor medio comprendido entre 9 y 7,5 mg/l. La temperatura tampoco sufre variaciones, situándose alrededor de 21,5°C. La dureza incrementa su valor de 20°F en 1981 hasta 60°F en 1991, para bajar a 40°F al final del período, es decir en 1993.

El ion bicarbonato es el mayoritario del acuífero superando siempre los 100 mg/l y alcanzando el máximo al final de la explotación de la mina con un valor medio de 400 mg/l. El ion sulfato siempre ha tenido un valor importante variando entre 40-80 mg/l, aunque en el transcurso de la explotación de la mina fue aumentando su contenido hasta alcanzar valores de 230 mg/l. Es de reseñar, con respecto al sulfato, la gran influencia del punto de muestreo en su valor, aumentando significativamente al acercarse éste a la mina.

El resto de los parámetros no presentan valores ni evoluciones muy significativos, aunque es necesario resaltar los bajos valores del hierro y cinc, teniendo en cuenta la evolución posterior del acuífero una vez finalizados los bombeos e iniciada la recuperación de niveles.

También es preciso indicar que a lo largo de la explotación se observa un lento pero progresivo empeoramiento de la calidad del agua y que, si bien los valores analíticos indican una mejoría en las fases finales de la explotación, está más en relación con que los puntos de muestreo se encuentran más alejados del foco contaminante que con una mejoría real de la calidad. Según esto, también hay que resaltar que por los datos disponibles, la nube de contaminación no se extiende mucho por el acuífero, disminuyendo rápidamente con la distancia al foco contaminante.

La tercera y última fase de evolución hidroquímica comienza en Junio de 1993, cuando cesa la explotación de la mina, y se puede considerar que está aún sin finalizar. Durante este período, los niveles se van recuperando hasta que el 8 de Marzo de 1995 resurge el agua por la Rampa Norte. Las muestras disponibles desde Junio de 1993 hasta Junio de 1994 dan unos valores muy similares a los obtenidos en la fase anterior. En Junio de 1994 se analiza una muestra, estando el nivel a cota 250 m, en la que cabe destacar un valor alto de Fe (0,67 mg/l), sulfatos (200 mg/l) y Zn (0,5 mg/l), parámetros que van a marcar la evolución hidroquímica de esta fase y que indican un proceso de contaminación muy incipiente pero que se agrava posteriormente.

En Agosto de 1994 se produce otro salto cualitativo, encontrándose el nivel a unos 280 m de cota. Los sulfatos se sitúan en 400 mg/l, el Zn por encima de 3 mg/l, y el pH se mantiene entre 7,3 y 7,9 mg/l. El otro parámetro que

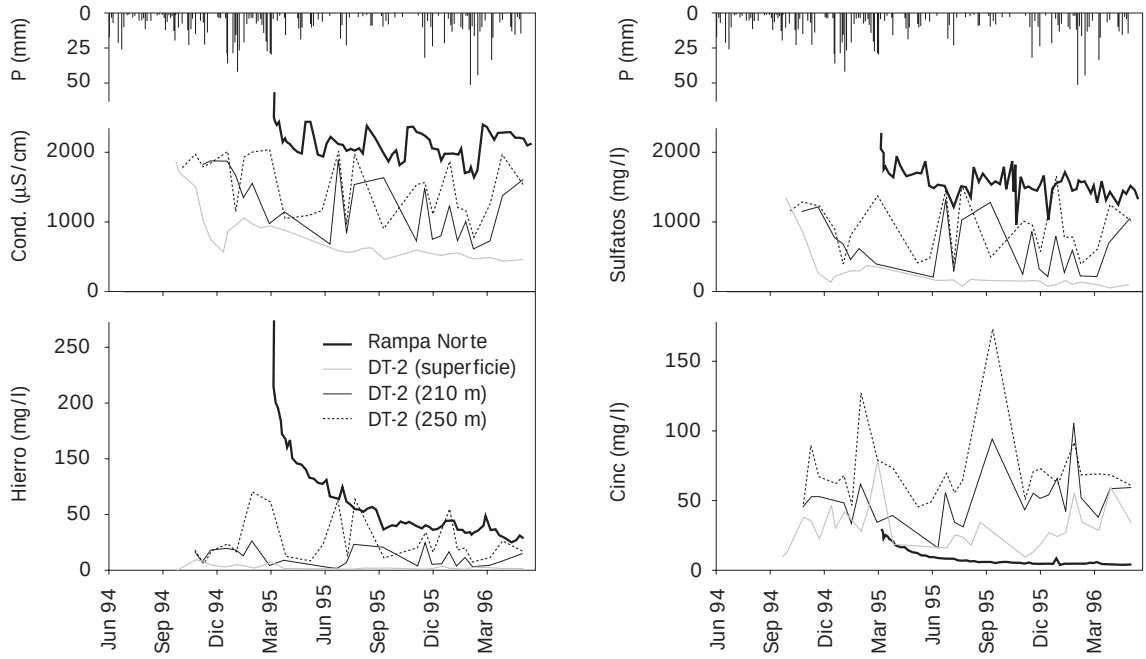



Figura 10. Evolución hidroquímica del acuífero Troya.

posteriormente va a ser muy significativo, el Fe, no sufre una subida importante.

A partir de Septiembre de 1994, se muestrea a distintas profundidades y se pone de manifiesto, en primer lugar, la estratificación del agua en el acuífero, encontrándose valores relativamente altos de Fe (<9 mg/l) en la parte superior del mismo y más altos a cotas similares al yacimiento (hasta 50 mg/l). Esta estratificación no es tan acusada para el Zn y $SO_4$, ya que se presentan valores muy altos a distintas profundidades.

El día 8 de Marzo de 1995 resurge el agua por la Rampa Norte con un caudal de 40 l/s. De los parámetros analizados cabe destacar la relativamente baja turbidez inicial del agua (150 U.N.F.), el elevadísimo contenido en Fe (269 mg/l) y Zn (26,8 mg/l), la elevada conductividad (2.510 µS/cm) y el contenido en sulfatos (2.040 mg/l). Sin embargo, el valor del pH es algo ácido pero con límites admisibles.

Estos valores han ido disminuyendo progresivamente, de forma que a finales de Noviembre de 1995 se encuentran en 47,8 mg/l de Fe, 2,3 mg/l de Zn, mientras la conductividad y los $SO_4$ han disminuido muy poco, encontrándose en 2.200 µS/cm y 1.480 mg/l respectivamente (figura 10).

Mientras tanto, en los piezómetros se aprecian mezclas de aguas con valores similares a la surgencia, a excepción del que se encuentra más alejado del yacimiento (T-185).

En principio, hay que asociar la contaminación producida a la presencia de pirita y marcasita y de sulfatos u óxidos producidos por la alteración de ambos minerales. Los depósitos acumulados en las galerías durante la fase de explotación son los que están siendo disueltos por el agua. Según esto, y teniendo en cuenta la información hidroquímica precedente, cabe pensar que el agua adquirirá progresivamente valores más acordes con su hidroquímica original, salvo en $SO_4$ que, al situarse actualmente cercano al producto de solubilidad, hace pensar que su normalidad requerirá más tiempo.

**Aprovechamiento actual. Regulación**

Hasta 1994, los municipios de Segura, Zerain y Mutiloa se abastecían de agua del acuífero que se extraía por medio de los pozos de drenaje de la mina. En la actualidad estos municipios se abastecen de otros puntos, por lo que actualmente el agua no se aprovecha.

La explotación futura está condicionada por la evolución hidroquímica del agua. Si el Fe y los $SO_4$ alcanzan valores comprendidos entre los

límites de potabilidad, existe un potencial de explotación muy importante, ya que los parámetros hidráulicos del acuífero así lo indican y, por otra parte, la situación geográfica del acuífero en la parte alta de la cuenca del río Oria favorece la futura explotación de sus recursos.

Tal como se ha indicado en el balance, los recursos medios anuales se evalúan en 1,56 $Hm^3$/año. Estos recursos podrían ser regulados prácticamente en su totalidad, ya que existe un importante volumen de reservas en el acuífero. Dicho volumen ha podido ser evaluado por la evolución piezométrica y los caudales bombeados durante la fase de explotación minera, y comprobado durante la recuperación de niveles. Este volumen es del orden de 1,5 $Hm^3$ entre las cotas 335 (Rampa Norte) y 192, lo que permite bombeos superiores a 100 l/s durante los 4 meses de verano, bien como caudal ecológico para la cuenca del río Oria o bien como caudal de apoyo a los sistemas de abastecimiento del Oria y Urola en épocas de sequía, siempre que los abatimientos del nivel piezométrico no impliquen un empeoramiento en la calidad del agua.

**Otros acuíferos asociados**

En el sector existen, asimismo, pequeños lentejones calizos individualizados por fallas que presentan las mismas características hidrogeológicas que el acuífero de Troya. Entre estos, cabe resaltar el de Lasurtegi, que aflora al Sur de Troya. La superficie de afloramiento es de 0,6 $km^2$. En sus cercanías se realizó en 1993 un sondeo que resultó surgente con un caudal de explotación de 10 l/s, que se utiliza actualmente para abastecimiento a Zerain y Mutiloa.

*RESTO DEL DOMINIO*

Se incluyen aquí los materiales aflorantes en el dominio pero fuera de las áreas ya comentadas (unidades y sectores). Estos materiales presentan, a escala regional, un bajo interés hidrogeológico, si bien ese interés es mayor cuando se considera una escala más local. En efecto, numerosos núcleos de población, normalmente de pequeño tamaño, diseminados a lo largo del dominio se abastecen de manantiales y arroyos relacionados con esas formaciones.

Los materiales referidos presentan una permeabilidad baja o muy baja; aunque localmente su permeabilidad sea mayor, su reducida extensión les resta la entidad necesaria para ser incluidos en unidades o sectores de interés.

Así, las formaciones predominantemente lutíticas (31, 56, 128, 134, principalmente), de permeabilidad muy baja, abundan en todo el dominio, desde el Valle de Karrantza hasta la Sierra de Aizkorri y desde Bilbao hasta la Sierra de Aralar. A medida que la componente arenosa o calcárea es mayor la permeabilidad aumenta. Es el caso de formaciones areniscoso-lutíticas (38, 57) o margosas (116) con amplia extensión de afloramiento.

**Hidrogeología**

La información de carácter hidrogeológico disponible corresponde a pequeños estudios llevados a cabo a escala de términos municipales con el objetivo habitual de recomendar ubicaciones posibles para la realización de obras de captación, normalmente sondeos.

Del diagnóstico de la situación del abastecimiento realizado en estos estudios se desprende que, en general, es complejo con abundantes puntos de captación, manantiales y arroyos, y una amplia red de depósitos y conducciones.

El caudal captado en los manantiales es prácticamente la totalidad de su aporte, casi siempre inferior a 1 l/s, y en muchas ocasiones bastante inferior. Son raras las ocasiones en las que los caudales captados llegan a los 3-5 l/s. Es habitual, por tanto, la captación de arroyos. En estos casos se captan caudales algo mayores (1-3 l/s) aprovechando los aportes difusos de flujos subterráneos y subsuperficiales al cauce. En algunos de los núcleos se dan problemas de abastecimiento en las épocas estivales como consecuencia de las disminución de los caudales.

Los manantiales se sitúan a favor de los materiales localmente más permeables, con una mayor componente detrítica o carbonatada, o a favor de pequeñas fracturas, o incluso en relación a galerías de antigua extracción de mineral; en cualquiera de los casos se favorece puntualmente la convergencia de flujos dando origen al manantial. A veces la descarga no es puntual sino difusa observándose entonces salida de agua a lo largo del cauce de los arroyos. Esto explica que con frecuencia se capten los arroyos. En ocasiones, los manantiales de más exiguo caudal están relacionados con la capa de suelo vegetal constituyendo la descarga de flujos de tipo hipodérmico más que estrictamente subterráneo.

La densidad de puntos de agua es elevada, tanto de manantiales como de sondeos. En efecto, se cuentan por cientos los pequeños sondeos, en muchos casos en forma de drenes horizontales, de uso particular o para abastecimiento de pequeños núcleos.

Obtienen mejores rendimientos aquellos que han sido emboquillados en materiales con cierta permeabilidad o en puntos en los que, por diversas circunstancias, se da alguna concentración de flujo subterráneo o hipodérmico. Entre estos se puede destacar el sondeo Makinetxe, realizado en las proximidades de Beasain, que explota el recurso asociado a una silicificación emplazada en materiales del supraurgoniano. Con un caudal de explotación de 20 l/s, contribuye al abastecimiento de Beasain.

Un caso particular se refiere a los sondeos o pozos realizados en los aluviales de los ríos. En general son obras de escasa profundidad, que explotan los recursos asociados a los depósitos aluviales o los inducidos desde la corriente superficial más próxima.

**Hidroquímica y calidad**

La práctica totalidad de las aguas asociadas a las formaciones ahora consideradas son de facies netamente bicarbonatada cálcica, con contenidos salinos comprendidos habitualmente entre 300 y 500 mg/l. En el caso de las aguas asociadas a los bancos carbonatados la mineralización suele ser algo inferior, consecuencia de flujos más rápidos en estos materiales.

| Parámetro | Base Cretácico | Tránsito Cretácico inferior-superior |
|---|---|---|
| Conductividad (µS/cm) | 220-450 | 200-300 |
| Bicarbonatos (mg/l) | 120-210 | 100-150 |
| Cloruros (mg/l) | 10-20 | 10-15 |
| Sulfatos (mg/l) | 24-70 | 25-50 |
| Calcio (mg/l) | 50-90 | 25-45 |
| Magnesio (mg/l) | 5-10 | 5-9 |

Cuadro 3. Parámetros hidroquímicos representativos.

En el cuadro 3 se observan los intervalos más frecuentes para los valores de algunos parámetros físico-químicos ordinarios correspondientes a aguas que drenan los materiales arenoso-lutíticos de la base del Cretácico (31, 33, 38), ampliamente representados a lo largo del dominio, y a aguas que drenan materiales de igual naturaleza del tránsito Cretácico inferior-superior (56, 57, 133, 134), también de extensión considerable.

Es a resaltar los contenidos relativamente altos de los sulfatos en las aguas asociadas a estos materiales. La causa hay que buscarla en la abundancia de sulfuros, pirita sobre todo, existentes en ellos, y que incluso localmente han sido objeto de explotación minera (zonas de Baranbio y Galdakao). La oxidación de estos sulfuros trae como consecuencia no sólo el paso a disolución de los sulfatos sino también un aumento en la agresividad de las aguas respecto a los carbonatos presentes, lo que hace que los aumentos de aquéllos vengan acompañados por aumentos de bicarbonatos y calcio, y, en general, de la mineralización total.

Un fenómeno que acompaña al anterior, y muy habitual a lo largo del dominio, es la liberación de compuestos complejos de hierro, prácticamente insolubles en condiciones normales, que son arrastrados por las aguas originando en los manantiales un precipitado característico de color rojizo, debido a las reacciones que se producen al contacto con el aire. Este tipo de aguas ferruginosas, conocidas como metalurak o incluso burdinurak, son muy abundantes en la práctica totalidad de los materiales ahora considerados.

En algunas áreas los contenidos en sulfatos de las aguas son suficientemente altos como para pensar en la existencia de yesos en contacto con ellas. Es el caso de un área próxima a Zeanuri en la que las aguas, subterráneas y superficiales, llegan a presentar contenidos en sulfatos que superan los 600 mg/l, con conductividades de hasta 1.400 µS/cm. En estos casos, la facies deja de ser bicarbonatada cálcica para pasar a sulfatada cálcica.

Algo similar ocurre en la cuenca alta del río Altube, en el que las aguas presentan esa misma facies como consecuencia de la influencia de los materiales yesíferos del diapiro de Murgia. A medida que estas aguas descienden por el río van recibiendo aportes laterales de aguas bicarbonatadas cálcicas de débil mineralización, disminuyendo así su carga mineralizadora y cambiando su facies. En la cuenca alta del río Nervión, fuera ya de este dominio hidrogeológico, ocurre un fenómeno de dilución parecido, pasando las aguas de tener una clara facies clorurada sódica, debido a la presencia del diapiro de Orduña, a una facies bicarbonatada cálcica a medida que el río va atravesando el dominio.

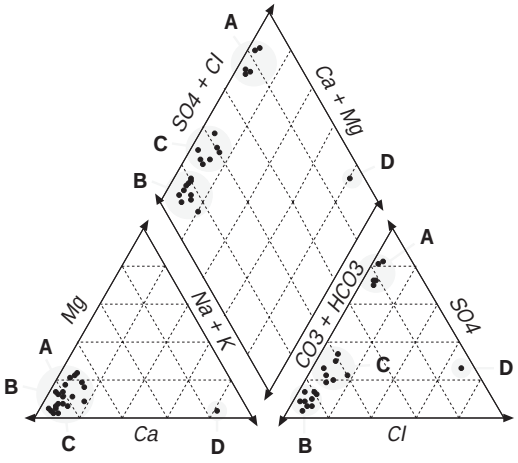



Figura 11. Diagrama de Piper.

En la figura 11 se puede observar la representación en diagrama de Piper de las aguas bicarbonatadas cálcicas típicas de las formaciones arenoso-lutíticas antes comentadas (B, C) y, comparativamente, la de las aguas sulfatado cálcicas de las áreas de Zeanuri y cabecera del río Altube (A) y la de las clorurado sódicas de Orduña (D).

En la figura 12, por su parte, se representa la variación espacial hidroquímica, mediante diagramas de Stiff (en meq/l), correspondiente a las aguas subterráneas de la cuenca de los ríos Nervión e Ibaizabal hasta el punto de su confluencia. Toda la parte central de esta cuenca corresponde al dominio hidrogeológico ahora considerado. Se observa el marcado carácter general bicarbonatado cálcico. También se han representado las aguas sulfatado cálcicas y clorurado sódicas.

Por último, y también en relación con las aguas sulfatado cálcicas, se encuentran en ocasiones manantiales de aguas con un fuerte olor a huevos podridos, conocidas como atsurak o uratsak. Este tipo de manantiales, siempre de muy escaso caudal, abundan en el valle de Arratia y en la cabecera del río Ibaizabal (área de Elorrio), y se relacionan con procesos de reducción de sulfuros, los cuales originan liberación de ácido sulfhídrico, causante de su olor característico. Estas aguas han venido siendo utilizadas por los lugareños como remedio para algunas enfermedades estomacales.

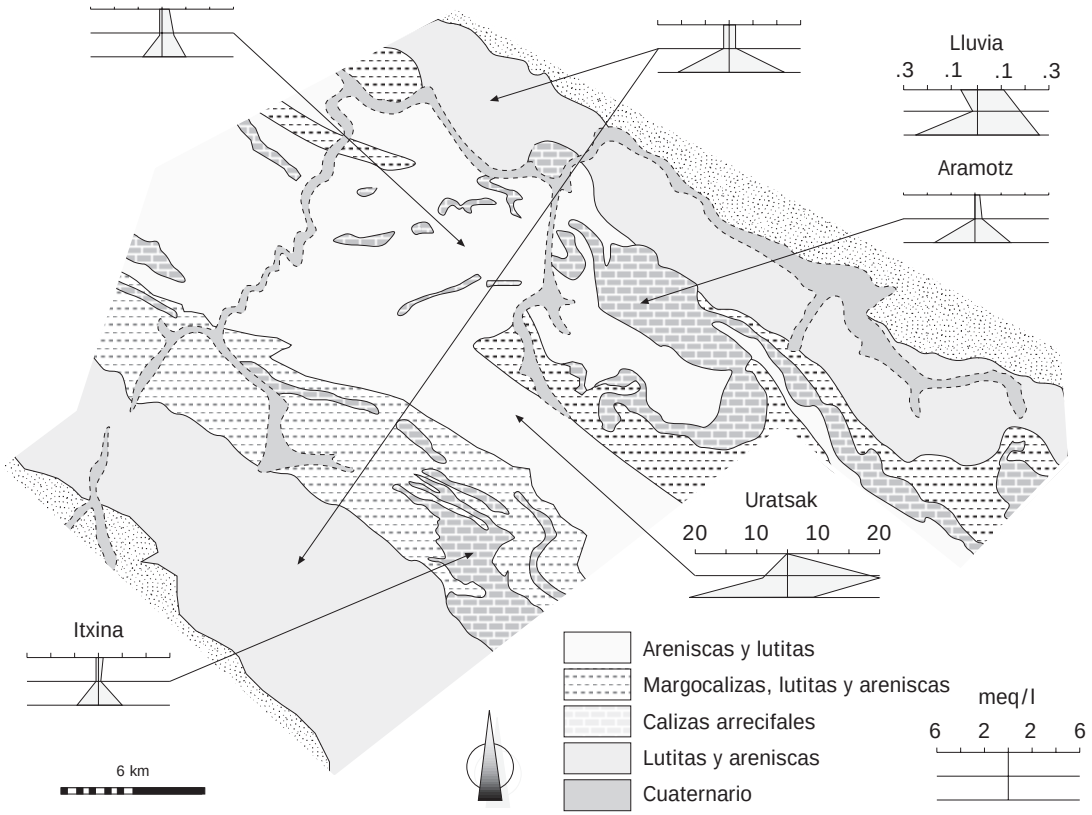



Figura 12. Distribución espacial de la hidroquímica en las cuencas de los ríos Nervión e Ibaizabal.

Respecto a la calidad de las aguas hay que decir que generalmente son aptas para el consumo en lo que a los elementos físico-químicos analizados se refiere, excepción hecha de los casos anómalos ahora comentados. Sin embargo, su calidad desde el punto de vista bacteriológico es de esperar que sea muy variable espacialmente. Los datos disponibles en este sentido son escasos y se limitan a las aguas objeto de captación.

**Recursos**

El área total implicada, excluida la correspondiente a las unidades hidrogeológicas y sectores descritos, es de 1.890 $km^2$.

Admitiendo un coeficiente de infiltración de la lluvia útil comprendido entre el 5% en los materiales de muy baja permeabilidad y el 90% en los afloramientos aislados de alta permeabilidad, resultan unos recursos renovables de 255 $Hm^3$/año.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**


GEV (1978). Observaciones sobre el karst de Carranza.

GEV (1980). Macizo kárstico de Jorrios (Vizcaya).

ALVAREZ, A. (1983). Inventario de fuentes del valle de Carranza.

GEV (1984). Notas para el conocimiento del karst de Gordon-Barranco de Peñalba-Castro Alen (Vizcaya).

CADEM (1984). Informe de los sondeos realizados en el Término Municipal de Karrantza. (INGEMISA).

CADEM (1984). Estudio de la Unidad Hidrogeológica Aitzgorri-Anboto. (IBERTHEKNIKA).

CADEM (1984). Estudio hidrogeológico del Valle de Karrantza. (INGEMISA).

FERNANDEZ, O. (1984). Hidrogeología de la Cuenca Alta del Rio Agüera. (Tesis de Licenciatura. UPV-EHU).

CADEM (1985). Estudio Hidrogeológico del Término Municipal del Término Municipal de Santurtzi. (UPV-EHU).

CADEM (1985). Estudio hidrogeológico para mejora del abastecimiento a Artziniega. (CGS).

IGME (1985). Estudio Hidrogeológico para abastecimiento a nucleos urbanos de Balmaseda, Zalla, Gueñes y Gordexola. (CGS).

DFG (1985). Informe del pozo Makinetxe.

CADEM (1985). Estudio hidrogeológico para mejora del abastecimiento de Respaldiza y Murga. (CGS).

GARCIA-LATORRE, F. (1986). Estudio hidrodinámico de los acuíferos kársticos del sector de Trucios (Bizkaia). (Tesis de Licenciatura. UPV-EHU).

IBARRA, V. (1986). Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Mercadillo. (Tesis de Licenciatura. UPV-EHU).

SANCHO, V. (1986). Estudio hidroquímico del sector occidental de Vizcaya. (Tesis de Licenciatura. UPV-EHU).

EVE (1986). Estudio de abastecimiento de agua del Valle de Arratia. (INGEMISA).

EVE (1987). Estudio de las Unidades Udala-Aitzgorri. (CGS).

ANTIGUEDAD, I., MORALES, T, IBARRA, V. (1988). Aplicación de los trazadores en la investigación hidrogeológica de los acuíferos kársticos. (UPV-EHU).

LUENGO, C. (1990). Estudio hidrogeológico de la Unidad de Gallarta. (UPV-EHU).

EVE (1990). Control hidrogeológico del manantial Lanestosa. (INGEMISA).

EVE (1992). Investigación Hidrogeológica del Area de Itxina. (INGEMISA).

BUENO, E., GARCIA, C., MARTINEZ, C., ORTEGA, F., SAN SEBASTIAN, J., SANCHEZ, J.A. (1994). Estudio de evaluación y recuperación ambiental de los montes mineros de Abanto-Zierbena y Ortuella. (UPV-EHU).

DFG (1994). Estudio Hidrogeológico del acuífero de La Troya. (Fano H.).

EVE-DFB-GV (1994). Evaluación y Regulación de los Recursos Hídricos Subterráneos de las Unidades Hidrogeológicas de Bizkaia.

DFG (1995). Evolución hidroquímica y piezométrica del acuífero de La Troya. (Fano H.).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| La Magdalena | 492300 | 4791575 | 550 | 50 | Galería. Abastecimiento a San Esteban de Galdames |
| Aguas Frías | 491725 | 4790200 | 125 | 50 | Abastecimiento a Santurtzi |
| Akendibar | 492875 | 4788875 | 250 | 5 | |
| Grazal | 495375 | 4785425 | 230 | 5 | Abastecimiento de Sodupe |
| Parkotxa | 497400 | 4793000 | 320 | <10 | Galería. Abastecimiento de Sestao |
| Mina Carmen | 495000 | 4793800 | 270 | <10 | Galería |
| Casablanco | 493025 | 4795875 | 80 | 30 | Antiguo abastecimiento de Santurtzi |
| Basinagre | 478800 | 4792650 | 200 | 90 | |
| La Mora | 479250 | 4793375 | 140 | 90 | |
| El Molino | 479300 | 4793400 | 120 | 90 | |
| Iturriotz | 479700 | 4791350 | 165 | 90 | Abastecimiento de Trucios |
| Las Barrietas | 483800 | 4789000 | 180 | 40 | Tres surgencias. Abastecimiento de Sopuerta |
| Baldebeci | 486425 | 4788500 | 200 | 40 | Abastecimiento de Sopuerta |
| Ledo | 487720 | 4788700 | 160 | 5 | Abastecimiento de Sopuerta |
| La Cadena | 468825 | 4788890 | 100 | 50 | |
| La Fuentona | 469350 | 4788725 | 120 | 50 | |
| Lanestosa | 469510 | 4788600 | 125 | 120 | Abastecimiento de Karrantza |
| Molinar | 470225 | 4788050 | 115 | <10 | Grupo de tres surgencias termales. T= 31-33 ºC |
| Manzaneda | 470925 | 4784900 | 205 | <10 | Aguas cloruradas sódicas, similares a las de Molinar |
| Rampa Norte | 557640 | 4764910 | 350 | 40 | Galería. Rebose actual del acuífero |
| Granada | 496000 | 4794600 | 60 | <10 | Galería de conducción |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| DT-1 | 556722 | 4765214 | 574 | - | Control piezométrico y de calidad |
| DT-2 | 557287 | 4765625 | 453 | - | Control piezométrico y de calidad |
| DT-3 | 556910 | 4765885 | 435 | - | Control piezométrico y de calidad |
| T-185 | 556935 | 4765926 | 441 | - | Prof. 476 m. Control piezométrico y de calidad |
| DTH-1 | 557365 | 4765525 | 445 | 80 | Regulación del acuífero |
| Makinetxe | 563430 | 4767210 | 175 | 20 | Abastecimiento de Beasain |
| Molinar | 470125 | 4788250 | 115 | 10 | Uso balneoterapéutico. 150 m |
| Lasurtegi | 557315 | 4762435 | 395 | 10 | Abastecimiento Zerain |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA ARAMOTZ

## GENERALIDADES

Esta unidad queda incluida íntegramente en el Dominio Hidrogeológico Anticlinorio Sur (figura 1). Geográficamente es una alineación NO-SE desde Lemoa (Bizkaia), en el extremo noroccidental, hasta Arrasate-Mondragon (Gipuzkoa), en el suroriental. Las principales cumbres son: Aramotz (907 m), Leungane (1.009 m), Mugarra (964 m) en el Macizo de Aramotz; Arrietabaso (1.018 m) en el Macizo de Eskubaratz; Untzillaitz (934 m), Alluitz (1.040 m), Anboto (1.331 m), Arangio (1.127 m) en el de Anboto; Udalaitz (1.117 m) en el de Udalaitz. En general, se trata de la alineación montañosa Aramotz-Anboto-Udalaitz, que es predominante, y de algunos macizos transversales, como Eskubaratz-Indusi y Arangio. Parte de la unidad se incluye dentro del Parque Natural de Urkiola.




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

La divisoria de aguas más importante dentro de la unidad es la que separa la vertiente cantábrica, la mayor parte del área considerada, y la mediterránea, un pequeño sector en la parte centro-meridional que vierte al río Urkiola, tributario del embalse Urrunaga (cuenca del Ebro). En lo que se refiere a la vertiente cantábrica la mayor parte del área es tributaria del río Ibaizabal, bien directamente a su cuenca alta bien a su afluente Arratia. La parte más oriental, sin embargo, pertenece a la cuenca del río Deba, también dentro de la vertiente cantábrica.

La orografía es abrupta en toda la región, con importantes desniveles. Las únicas zonas llanas se corresponden con las poco extensas llanuras aluviales asociadas a los ríos Arratia, Ibaizabal y Deba. La orografía de la vertiente mediterránea comparativamente es más suave. Las cotas más bajas del área considerada son algo menores de 100 m en Lemoa, extremo noroccidental, y de 200 m en Arrasate-Mondragon, extremo opuesto. En el sector mediterráneo la cota más baja es de unos 600 m.

La pluviosidad anual media es del orden de 1.600 mm en las zonas más altas (Aramotz, Anboto y Udalaitz) y en la cuenca del río Arratia, para descender hasta valores de 1.300-1.400 en la cuenca alta del Ibaizabal. Las lluvias están repartidas a lo largo del año, con valores más elevados en el período noviembre-abril. Al igual que ocurre en otras zonas montañosas la información pluviométrica y termométrica disponible se refiere sobre todo a estaciones ubicadas en fondo de valle o en media ladera. Las únicas estaciones de altura en toda la unidad son Aramotz (630 m) y Urkiola (680 m).

Respecto a la temperatura, con las mismas limitaciones que para la pluviometría, los valores medios anuales son del orden de 9,5°C en Dima (130 m de cota) y de 12,5°C en Arantzazu (98 m), ambas estaciones en la cuenca del río Arratia. En la de Durango (114 m), cuenca alta del Ibaizabal, la temperatura es de 11,8°C.

La unidad se reparte entre los términos vizcaínos de Lemoa, Amorebieta-Etxano, Durango, Abadiño, Elorrio, Igorre, Arantzazu, Artea, Areatza, Zeanuri, Dima, Izurza, Mañaria y Otxandio, entre los guipuzcoanos de Aretxabaleta y Arrasate-Mondragon, y en el alavés de Aramaio. Hay varios núcleos urbanos de importancia en la periferia de la unidad, destacando Durango al Este, Igorre al Oeste, y Arrasate al Sureste.

La actividad industrial es importante en las llanuras aluviales de los ríos Arratia, Ibaizabal y Deba. En el resto, la actividad es la ganadería y prácticas forestales, aunque hay que considerar también las actividades de senderismo y esparcimiento, en buena medida asociadas al Parque Natural de Urkiola. Mención especial merece la

actividad extractiva en las canteras de Lemoa y, sobre todo, en la zona de Mañaria.

**GEOLOGIA**

La mayor parte de los materiales de la unidad se ubican en el sector central de la estructura Anticlinorio de Bilbao. Los materiales del borde oriental, en la alineación Lemoa-Durango-Elorrio, por su parte, pertenecen al Dominio Estructural Arco Vasco. Geológicamente los materiales aflorantes pertenecen al Cretácico, sobre todo al inferior. Sólo localmente se encuentran depósitos cuaternarios. Entre los materiales cretácicos se pueden diferenciar dos complejos: Urgoniano y Supraurgoniano.

Los materiales basales del complejo Urgoniano (complejo Purbeck-Weald) están representados, sobre todo, por una alternancia de lutitas negras y areniscas (31).

Los materiales más característicos de este complejo son las calizas arrecifales con rudistas y corales (40), bien representadas en todos los macizos de la unidad (Aramotz-Anboto-Udalaitz, Eskubaratz...). Se presentan como grandes bancos, con bruscos tránsitos a facies terrígenas: caso de areniscas y limolitas calcáreas (38).

Los equivalentes terrígenos de las calizas están representados por un potente término de lutitas y areniscas (43). Engloba bancos de calcarenitas (45). Como equivalente lateral de este término aparece una serie de margas y calcarenitas (47). Localmente, se ha cartografiado algún cuerpo aislado de neto carácter calcarenítico (50). Por encima de la formación (43) se encuentra una potente serie de calcarenitas, margocalizas y brechas calcáreas (49). También como paso lateral aparecen episodios locales de brechas calcáreas (51).

En otros sectores, el paso lateral de las calizas arrecifales viene dado por términos mayoritarios en lutitas con niveles areniscosos (53). Esta formación ocupa una importante extensión dentro de la unidad, aflorando en buena parte del borde occidental. Este término evoluciona localmente hacia materiales más gruesos, lutitas y areniscas (55).

El complejo Supraurgoniano está representado por formaciones diferentes según se trate del dominio estructural Anticlinorio de Bilbao o Arco Vasco. En el primero, está representado por una potente formación terrígena, constituida por lutitas (56) y areniscas y lutitas (57).

En el Arco Vasco el término más representativo es una alternancia de lutitas y areniscas (134), con predominio zonal de la granulometría gruesa (133). Estos términos afloran ampliamente en todo el borde oriental de la unidad. Finalmente, hay una serie alternante de lutitas y areniscas (128) que aflora justamente en el extremo más suroriental del área considerada.

Las formaciones cuaternarias están representadas por aluviales (200), gravas, arenas, limos y arcillas asociadas a la red hidrográfica; y localmente coluviales (201), en algunas vertientes de los macizos carbonatados.

En cuanto a la tectónica se refiere, el Anticlinorio de Bilbao está constituido por grandes pliegues y muestra una fracturación acusada. Las fallas delimitan bloques que dislocan las estructuras de plegamiento complicando enormemente la cartografía. La más destacada es la de Villaro-Areatza, de dirección NO-SE, localizada en el borde occidental del área considerada. Otra de importancia es la falla de Bilbao, que aparece como una sucesión de varios cabalgamientos, uno de los cuales limita la alineación carbonatada Aramotz-Anboto por el Norte.

La potente serie carbonatada de Aramotz se continúa hacia el Sureste mediante un equivalente terrígeno que intercala dos masas de calizas individualizadas: la que se prolonga hacia el Anboto, y la que se cierra periclinalmente en Eskubaratz, configurando así, en su conjunto, el dispositivo hidrogeológicamente más importante de toda la unidad. Como estructuras menores se pueden citar el anticlinal de Dima, que termina en el cierre periclinal de Eskubaratz, el sinclinal de Indusi, que termina en el cierre de igual nombre, y el sinclinal de Otxandio.

**HIDROGEOLOGIA**

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

A la vista de las características litológicas de las distintas formaciones aflorantes en el área se consideran de permeabilidad alta las que presentan un mayor carácter carbonatado (40, 51), calcarenítico (45, 50), y de materiales sueltos (200, 201). De permeabilidad media los materiales carbonatados con presencia de terrígenos, (49). De permeabilidad baja los materiales con secuencias alternantes areniscas-

lutitas (38, 57, 133) y las margas-calcarenitas (47). El resto de formaciones (31, 43, 53, 55, 56, 128) presentan un carácter fundamentalmente lutítico, por lo cual se les considera como de muy baja permeabilidad.

*ZONAS DE RECARGA Y DE DESCARGA*

La principal recarga que reciben las formaciones de mayor interés como acuífero, las calizas, es la procedente de las precipitaciones, eventualmente en forma de nieve. Esto es debido a su situación predominante en el relieve. Localmente, hay que considerar también la recarga producida, en sumideros, por arroyos, como en Indusi y Udalaitz, aunque este tipo de recarga no es de importancia en el ámbito general de la unidad.

La descarga se produce mayoritariamente por surgencias, algunas de considerable caudal, y, en menor medida, directamente a los cursos de agua. Las zonas más importantes de descarga a cauces se localizan en Mañaria, al río de igual nombre que corta las calizas a una cota aproximada de 175 m, en Arrasate-Mondragon a los ríos Deba y Aramaiona (200 m) y en Indusi al río Indusi (280 m). En toda la alineación Aramotz-Anboto la descarga se realiza fundamentalmente hacia el Norte, hacia la cuenca alta del río Ibaizabal, en detrimento de los aportes hacia la cuenca del Arratia, en el Sur.

Las surgencias más importantes se asocian a las calizas arrecifales, ubicándose en sus contactos y, en ocasiones, en relación a fallas. Las que presentan un caudal medio estimado superior al centenar de l/s se localizan en la zona de Mañaria, próximas al río. Son: **Zallobenta** a cota 217 m, **Iturrieta** a 197 m, y **Harrobia** a 174 m. La primera drena el Macizo de Eskubaratz y las otras dos el de Aramotz. Otra surgencia que sobrepasa ese caudal medio es la de **Urtzilo**, a 290 m, que drena el Macizo de Anboto. En todos estos casos las aguas vierten a la cuenca del río Ibaizabal.

Ninguna de estas surgencias ha sido objeto de control sistemático de sus aportaciones, contándose solamente con datos puntuales. En cualquier caso, existe una estación de aforos (Izurza) en el río Mañaria, a la salida de la formación carbonatada, que es objeto de control continuo desde finales de 1982 y que recoge las aportaciones de las tres importantes surgencias del sector, además de otras aportaciones menores y de las propias superficiales. En base a estos datos se puede estimar en 450-550 l/s el caudal anual medio conjunto de esas tres surgencias de Mañaria. La descarga de Urtzilo, junto con la de otras surgencias próximas y la de aguas superficiales, fue controlada en la estación de Arrazola durante el periodo 1984-1985.

La variabilidad de los caudales es una característica común de las surgencias asociadas a calizas urgonianas, con valores en estiaje de unos pocos l/s y puntas de varios $m^3/s$. Iturrieta y Harrobia están captadas para el abastecimiento de Mañaria e Izurza, lo que unido a la actividad extractiva en las canteras allí existentes hace que la posición actual de la descarga no corresponda a su situación natural. Así, en el caso de Harrobia el agua sale por varios lugares, incluso por un trop-plein en momentos de aguas altas. Urtzilo está captada por Atxondo y todavía persisten allí restos de un antiguo molino de agua.

Otra surgencia de interés, con un caudal medio del orden de 90 l/s es **Orue**, situada a cota de 225 m en el borde más occidental del contacto Sur de Aramotz. Orue supone el drenaje más importante de este macizo hacia la cuenca del Arratia. Su caudal está siendo controlado de forma continua desde septiembre de 1982, conociéndose con precisión la evolución de caudales, que oscilan entre 12 l/s y 240 l/s evidenciando una variabilidad bastante menor que la típica en surgencias de tipo kárstico. Este fenómeno es apreciable en la figura 2, en la que se presenta, además, el contraste con el funcionamiento del río Mañaria tras la aportación de las surgencias allí presentes. Orue está captada para el abastecimiento de núcleos próximos (Igorre, Lemoa).

Se pueden destacar también, aunque con caudales medios inferiores a 100 l/s, una serie de surgencias asociadas a las calizas. En el Macizo de Udalaitz: **Kobate**, a cota 260 m y **Beneras**, a 320 m, que han sido captadas por Arrasate, y drenantes al río Deba; en el Macizo de Indusi: **Bernaola** y la resurgencia **Gentilzubi**, drenantes al Arratia. El drenaje de las calizas de este último macizo fue controlado en el periodo 1982-1987 en la estación de aforos de Dima, situada en el río Indusi a la salida del mismo.

El resto de surgencias consideradas son de caudal medio estimado entre 1 y 10 l/s y también en relación con los afloramientos carbonatados. Las más importantes son las que jalonan el borde Sur del Macizo de Aramotz: **Biteriño**, **Bikarregi**, **Ugarios** y otras que no han

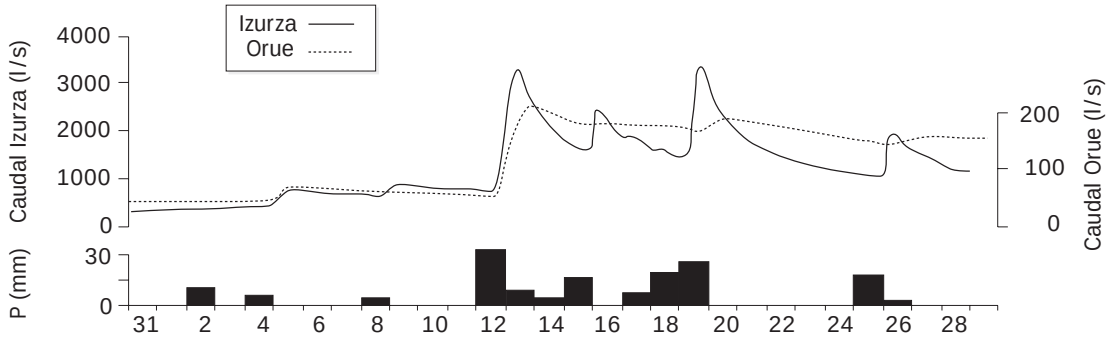



Figura 2. Hidrograma de las estaciones de Mañaria (Izurza) y Orue. Octubre de 1984.

sido señaladas, estando todas ellas captadas para el abastecimiento de barrios de Dima. En estiaje los caudales suelen ser inferiores a 2-3 l/s.

Surgencias de este tipo se encuentran también en otros macizos: **Udalaitz** y **Bostate** en Udalaitz, **Urmeta** en Eskubaratz, **Angilarri** en Indusi e **Igorre** en la terminación occidental de Aramotz. Además, son numerosos los manantiales de menor caudal que aparecen en relación a las calizas a lo largo de toda la unidad.

En el mapa se han representado dos galerías, **Kobagorria** y **Arrazola**, en la zona de Anboto, correspondientes a antiguas explotaciones de minerales de hierro y que actúan como puntos de descarga, con caudales puntuales en estiaje de unos 5 l/s. Kobagorria llega a afectar a las calizas, mientras que Arrazola se sitúa en una secuencia de areniscas y lutitas.

En el resto de formaciones si bien no aparecen surgencias de la importancia de las citadas, sí existen manantiales de escaso caudal, por debajo de 1 l/s, normalmente asociados a niveles de granulometría más gruesa o a capas de alteración superficial. Son más abundantes en los materiales de permeabilidad media.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS. SUBUNIDADES*

A partir de la información precedente, se han diferenciado varias subunidades de interés hidrogeológico asociadas en todos los casos a las calizas urgonianas y que en conjunto configuran, en sentido estricto, lo que se ha denominado Unidad Hidrogeológica Aramotz. Estas subunidades, con un comportamiento individualizado, son (figura 3):

**Subunidad Aramotz-Anboto**

La más importante en extensión (26 km$^2$). Corresponde a la alineación desde el monte Aramotz o Urtemondo (789 m), al Oeste, hasta el monte Anboto (1.331 m), al Este. Aunque la disección originada por el río Mañaria permite separar Aramotz de Anboto a la hora de establecer los balances, se han considerado conjuntamente como subunidad habida cuenta de que las pruebas de producción efectuadas en sondeos del área de Mañaria han evidenciado conexión hidráulica entre ambos sectores.

Respecto a las características geométricas, las calizas de Aramotz se disponen con bajos buzamientos, pareciendo dibujar un suave sinclinal acorde con la dirección de la alineación y que en su borde Norte pasan a tener un fuerte buzamiento, subvertical, que se mantiene (montes Mugarra, Untzilatx, Alluitz) a lo largo de toda la alineación hasta el Anboto. La verticalidad de las calizas presentes en Mañaria ha sido verificada en las perforaciones allí realizadas.

Los contactos Norte y Sur de la alineación son fundamentalmente mecánicos, de manera que las calizas no se prolongan directamente en profundidad por debajo de las formaciones adyacentes. En cualquier caso, el espesor de la formación carbonatada en Aramotz parece ser potente (1.200 m), sin que haya datos directos en este sector. En los bordes no mecanizados, como es el caso de la terminación occidental y de zonas centrales de la alineación, los cambios de facies, tanto lateral como verticalmente, son frecuentes.

Las formas endokársticas no son frecuentes en esta alineación, las exokársticas, sin embargo, sí, sobre todo en Aramotz, favorecidas por una morfología menos abrupta que en la zona

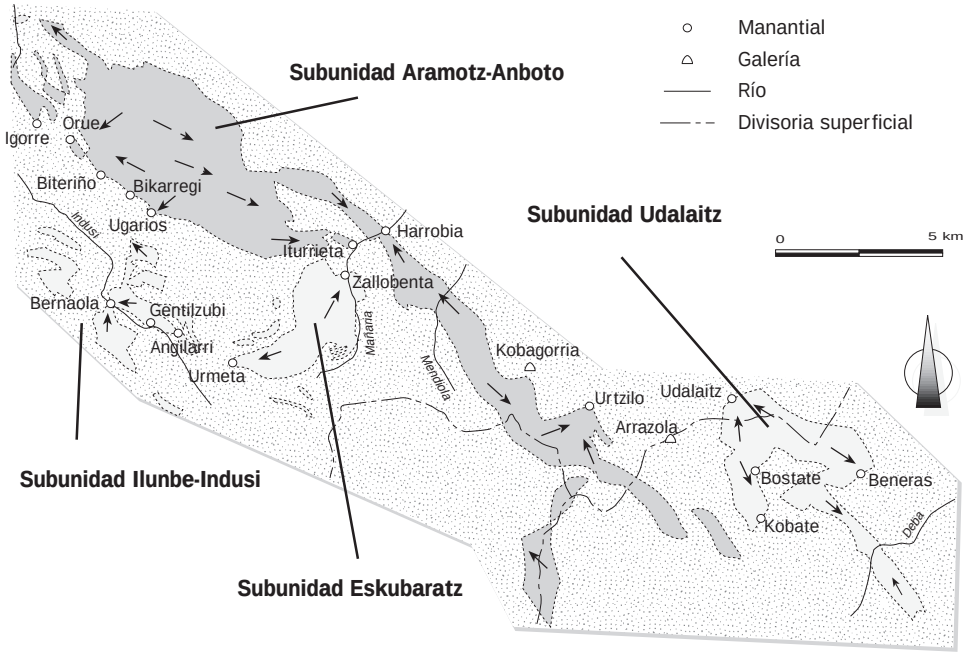



Figura 3. Esquema de subunidades.

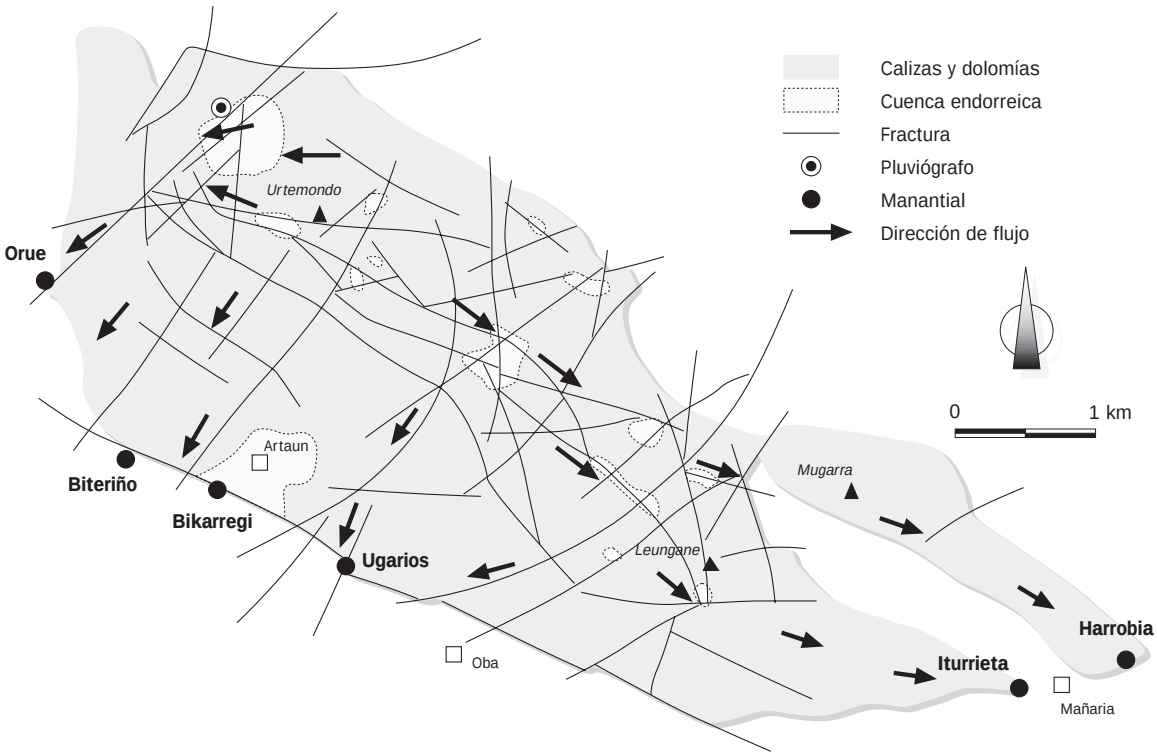



Figura 4. Relación entre fracturación y principales surgencias en el macizo de Aramotz.

de Anboto. De hecho, buena parte del Macizo de Aramotz corresponde a una cuenca endorreica, en la que ninguna corriente superficial, ni siquiera esporádica, es observable. La típica morfología kárstica superficial es bien apreciable en este sector.

En la figura 4 se muestra la relación entre la fracturación y la situación de las principales surgencias.

**Subunidad Eskubaratz**

Corresponde al cierre periclinal del anticlinal de Dima. La extensión es de 5 km$^2$. Respecto a la geometría, las calizas de Eskubaratz se introducen hacia el Este por debajo de los materiales lutíticos allí aflorantes. Los frecuentes cambios de facies a los que están sujetas las calizas urgonianas hace que no se conozca con precisión su geometría en profundidad, lo que dificulta la valoración de las reservas asociadas.

Las formas endokársticas y exokársticas son frecuentes en este macizo, sobre todo en su borde occidental en el que la aparición de pequeños lentejones carbonatados por debajo del paquete principal ha favorecido la existencia de abundantes dolinas, buena parte de las cuales actúan como sumideros, de escaso interés, de esporádicos cursos de agua generados en los materiales lutíticos intermedios. Algunas importantes cavidades situadas en el borde oriental, próximas a la actual salida del manantial Zallobenta, han desaparecido debido a la actividad extractiva de la cantera.

**Subunidad Ilunbe-Indusi**

Aunque en realidad se trata de dos sectores diferenciados, su pequeña extensión (4 km$^2$ en conjunto) y su proximidad geográfica hace que se puedan considerar como una única subunidad. Los afloramientos carbonatados se presentan aquí muy fracturados, lo que unido a los habituales cambios de facies dificulta el conocimiento en detalle de su estructura. El sector Indusi corresponde al cierre periclinal del sinclinal de igual nombre. Las formas endokársticas y exokársticas abundan, sobre todo en el área situada en la margen derecha del río.

**Subunidad Udalaitz**

Ocupa una extensión de 8 km$^2$ en el extremo más oriental de la unidad. Las calizas dibujan, esquemáticamente, un pliegue anticlinal cuyo eje se sitúa en la cresta del monte Udalaitz (1.117 m), cabalgante sobre los materiales situados al Norte y retocado por fallas NO-SE, junto con el sinclinal de Garagarza. El río Deba atraviesa la subunidad en su extremo oriental, a cota de unos 200 m, actuando como zona de descarga. Las descargas concentradas, en las importantes surgencias anteriormente descritas, se sitúan en las cotas más bajas del contacto oriental de las calizas.

Existe algún otro afloramiento calizo individualizado, como Arangio, al Oeste de Aramaio, que no se ha considerado como subunidad debido a la escasa extensión que ocupan las calizas. Es el caso también de los numerosos pequeños lentejones aislados que afloran en la prolongación occidental de Aramotz. Todos ellos presentan el habitual dispositivo de las calizas arrecifales, limitadas vertical y lateralmente por cambios hacia facies terrígenas.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. PARAMETROS*

El esquema hidráulico de estas subunidades corresponde a acuíferos carbonatados, permeables por fisuración y karstificación, y de funcionamiento libre. Según la tipología de acuíferos utilizada corresponde, por lo general, a acuíferos kársticos en sentido estricto, en los que la permeabilidad predominante se ha generado por disolución, organizándose redes preferenciales responsables de las notables variaciones de caudal que presentan las surgencias. En los casos en que las calizas se prolongan en profundidad por debajo de los materiales adyacentes, caso del borde Este de Eskubaratz o del núcleo del sinclinal de Indusi, es posible encontrar condiciones de funcionamiento confinado.

Como las calizas ocupan las partes más altas del relieve, su alimentación procede casi exclusivamente de la infiltración de las aguas de lluvia, ocasionalmente de nieve, caída sobre los afloramientos. La infiltración se ve favorecida, sobre todo en Aramotz, por la abundancia de formas exokársticas. Sólo en algunos sectores de Indusi y Udalaitz hay alimentación añadida por parte de pequeños arroyos que se sumen en el contacto de las calizas arrecifales.

En la **Subunidad Aramotz-Anboto** la cota más baja de las calizas se sitúa en la zona de Mañaria, en la intersección con el río, a 175 m. Es aquí donde se ubican los principales puntos de descarga descritos: Iturrieta y Harrobia,

además de la descarga directa al propio cauce. También el río Mendiola, al Este de Mañaria, corta las calizas, a cota 275 m, pero no hay aquí surgencias de interés ni parece que haya descarga importante al cauce, al menos en aguas bajas.

En el Macizo de Aramotz el borde Sur está a menor cota que el Norte, siendo la surgencia Orue la que señala la cota más baja de todo el borde (225 m). Orue merece ser destacada ya que la variabilidad que presentan sus aportaciones es muy baja en comparación con lo que suele ser habitual en surgencias asociadas a las calizas urgonianas.

Las investigaciones realizadas a partir de las crónicas de caudales han puesto de manifiesto una importante regulación natural de la parte de Aramotz drenada por esta surgencia, con un comportamiento que se aleja, en este sector al menos, del kárstico en sentido estricto y se acerca al del kárstico de tipo mixto.

Se ha identificado un cierto desarrollo del drenaje kárstico en la zona no saturada que favorece la componente rápida de la infiltración y provoca un empuje de aguas preexistentes hacia la surgencia; el desfase entre el comienzo de la lluvia y el comienzo del aumento de caudal suele ser de unas cuatro horas. Aún así, hay un claro predominio de la componente lenta de la infiltración que justifica la suavidad observada en las crecidas y la lenta evolución de las decrecidas.

El coeficiente de agotamiento ($\alpha$) de Orue es del orden de 0,002-0,006 días$^{-1}$. El volumen dinámico, susceptible de ser drenado por la surgencia a lo largo del periodo de agotamiento, ha sido cifrado entre 0,45 y 0,75 Hm$^3$. La homogeneización química de las aguas es acorde con esta interpretación, evidenciando el interés regulador de la zona saturada de este sector del macizo.

Otras surgencias de interés, con caudales medios inferiores a 10 l/s, abundan en el borde Sur de Aramotz, evidenciando la existencia de descargas puntuales hacia ese lado, Sin embargo, las descargas más importantes del macizo se realizan, sin duda, hacia el Este, hacia el sector de Mañaria, como se ha comentado.

En este sector se ubica la estación de aforos de Izurza. Los estiajes más bajos controlados dan valores del orden de 40-60 l/s, considerando las captaciones efectuadas aguas arriba. Estos valores corresponden al caudal conjunto, en esos periodos, de las surgencias Iturrieta y Harrobia en Aramotz, y Zallobenta en Eskubaratz.

En consecuencia, en lo que a Aramotz se refiere, existen dos direcciones de flujo fundamentales: una en sentido NE-SO hacia el manantial Orue, y otra, más importante, NO-SE hacia los manantiales Iturrieta y Harrobia. Otras líneas de flujo tienen interés local y justifican los manantiales del borde Sur (Bikarregi, Ugarios, entre otros). La divisoria topográfica de este Macizo no corresponde con la hidrológica, drenando la mayor parte de él hacia el río Mañaria.

En el sector Anboto es el borde Norte el que se sitúa a menor cota y hacia el que se da la descarga. Se diferencian varias direcciones de flujo: unas convergentes hacia la surgencia Urtzilo y asociadas y otra de dirección SE-NO hacia el arroyo Mendiola y, sobre todo, hacia el río Mañaria, situado a cota más baja. De hecho, en períodos de aguas bajas el arroyo Mendiola llega a infiltrarse para ser drenado por el río Mañaria. Algunas pequeñas surgencias se localizan dispersas por el borde Norte del sector.

En el área de Mañaria, y en relación a la Subunidad Aramotz-Anboto, se han llevado a cabo seis perforaciones, tres de investigación y control piezométrico (Mañaria-1, 2, 3) y tres de explotación (Mañaria-A, B, C), tanto a un lado (Sector Aramotz) como a otro (Sector Anboto) del río y hasta una profundidad de 150 m. Las columnas más repetidamente atravesadas, calizas urgonianas fundamentalmente, presentan, en cuanto a desarrollo kárstico se refiere, grandes contrastes entre tramos sin efectos de disolución y otros con importantes conductos. Con frecuencia éstos se encuentran rellenos de productos de meteorización de las calizas o de arrastres. En general, aunque con notables excepciones, los tramos más productivos son los más superficiales.

Las pruebas de producción efectuadas en esta zona han permitido evidenciar la conexión hidráulica existente entre los dos sectores, y entre éstos y el río, que pasa a recargar el acuífero al abatir el nivel piezométrico. Los parámetros hidráulicos manifiestan las heterogeneidades comentadas, con valores extremos entre 0,5 y 10 l/s/m para el caudal específico y entre 17 y 4.200 m$^2$/d para la transmisividad. En conjunto, para los tres sondeos de explotación de Mañaria relacionados con la Subunidad

Aramotz-Anboto se ha evaluado una capacidad de producción mínima en condiciones de estiaje de 155 l/s.

También en las proximidades de la surgencia Orue se han efectuado perforaciones con el fin de mejorar la disponibilidad de recurso en estiaje. A pesar de la complejidad geológica del sector, en general la columna atravesada corresponde a calizas arrecifales masivas en el techo y lutitas negras en la base. En las pruebas de producción realizadas en un sondeo de explotación, Orue-A, después incluso de un desarrollo por acidificación, el caudal ha sido muy bajo, 2 l/s, con una transmisividad excesivamente baja, 0,4-2,3 $m^2/d$. Habida cuenta de que el manantial daba en esos momentos un caudal superior a 60 l/s, y que no fue afectado, hay que concluir que el sondeo no presenta conexión con la surgencia. La circulación hacia ésta parece realizarse por un drenaje muy localizado, que no ha sido alcanzado por ninguna de las perforaciones realizadas.

En lo que se refiere a la **Subunidad Eskubaratz,** la única relación con la red de drenaje se da en el borde oriental, en donde el río Mañaria corta las calizas. Es hacia aquí, cota más baja (217 m), donde confluyen los principales flujos originando la más importante descarga de la subnidad, el manantial Zallobenta. Otras surgencias, asociadas a flujos más locales, se sitúan en el borde Sur: Urmeta. En el borde occidental se sumen algunos arroyos, de funcionamiento estacional, presumiblemente hacia Zallobenta, pero que, en cualquier caso, no suponen caudales importantes.

Como complemento al esquema de regulación construido en la Subunidad Aramotz, se han perforado un sondeo de investigación (Mañaria-4) y uno de explotación (Mañaria-D). El caudal específico del sondeo de explotación es 0,6 l/s/m y la transmisividad 500-700 $m^2/d$. Las pruebas de producción afectaron el manantial pero sin llegar a secarlo en un principio, aunque posteriormente a una acidificación sí que lo secaron, habiéndose aumentado el rendimiento del sondeo. El caudal mínimo de explotación se ha evaluado en 30 l/s.

**Subunidad Ilunbe-Indusi**. El río Indusi atraviesa el sector de igual nombre a cota 250 m actuando como zona de drenaje, donde se ubica el manantial Bernaola. Arroyos laterales terminan sumiéndose en los bordes de las calizas para resurgir a poca distancia, también en relación a contactos: Gentilzubi y Angilarri. El sector Ilunbe, por su parte, no está en conexión directa con la red de drenaje. Los puntos de surgencia están repartidos por el sector, con mayor presencia en el borde Sur, presentando caudales bajos, inferiores o próximos a 1 l/s.

Junto al río Indusi se han realizado dos perforaciones (Indusi-1 y 2) con variaciones importantes en las columnas atravesadas, evidenciando la elevada heterogeneidad del acuífero. El sondeo con mayor rendimiento, Indusi-1 (10 l/s), es el que ha logrado mayor conexión con el manantial Bernaola.

**Subunidad Udalaitz**. De acuerdo con la situación de los puntos de descarga, se divide en varios sectores de funcionamiento independiente: el drenado por el manantial Beneras, por el manantial Kobate, y una pequeña área de drenaje directo al cauce del río Deba. Hay que considerar también la existencia de una zona de materiales de baja permeabilidad que recarga, mediante sumideros, el acuífero carbonatado.

Existen varios sondeos perforados en el entorno del manantial Kobate, relativamente atípicos, e incluso uno, Mondragon-1, de tipo radial, utilizado para el abastecimiento de Arrasate-Mondragon. Los caudales específicos que resultan son muy bajos, 0,05-0,30 l/s/m, al igual que las transmisividades, 5-30 $m^2/d$. El caudal extraíble en ninguno de ellos supera los 12 l/s.

En el cuadro 1 se recogen los datos más significativos de los sondeos perforados en la unidad.

| Nombre | Cota (m) | Prof. (m) | Nivel (m) | Q (l/s) | Observ. | Subunidad |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mañaria-1 | 179 | 150 | 3,2 | | Investigación | Aramotz |
| Mañaria-2 | 181 | 120 | 6 | | Investigación | Aramotz |
| Mañaria-3 | 211 | 160 | 8 | | Investigación | Aramotz |
| Mañaria-4 | 221 | 48 | 3,8 | | Investigación | Eskubaratz |
| Mañaria-A | 180 | 140 | 0-4 | 80 | Explotación | Aramotz |
| Mañaria-B | 180 | 113 | 6 | 60 | Explotación | Aramotz |
| Mañaria-C | 211 | 151 | 7-10 | 15 | Explotación | Aramotz |
| Mañaria-D | 227 | 151 | 10 | 30 | Explotación | Eskubaratz |
| Indusi-1 | 252 | 202 | 7 | 10 | Explotación | Indusi |
| Indusi-2 | 270 | 233 | 2 | 5 | Explotación | Indusi |
| Orue-A | 251 | 88 | 23 | 2 | Exploración | Aramotz |
| Mondragon-1 | 220 | 300 | | 8-12 | Explotación | Udalaitz |

Cuadro 1. Resumen de sondeos perforados.

*BALANCE HIDRICO*

Se ha ajustado un balance hídrico para cada una de las subunidades diferenciadas a partir de la información disponible tanto de precipitaciones como de aforos. Los datos utilizados proceden de las siguientes estaciones:

| Estación | Tipo | Estación | Tipo |
|---|---|---|---|
| Elorrio | Pluviómetro | Izurza | Aforo río |
| Abadiano | Pluvio-Termo | Dima | Aforo río |
| Durango | Pluvio-Termo | Arrazola | Aforo río |
| Dima | Pluvio-Termo | Orue | Aforo manantial |
| Arantzazu | Pluvio-Termo | | |
| Aramotz | Pluviómetro | | |
| Urkiola | Pluviómetro | | |

Cuadro 2. Estaciones de control.

**Subunidad Aramotz-Anboto**. A pesar de tomar toda la alineación como una única subunidad, se ha preferido hacer los balances separadamente para cada uno de los dos sectores considerados. Se ha tomado un valor de 1.500 mm como representativo de la precipitación media anual sobre los afloramientos carbonatados.

La evapotranspiración real calculada mediante las fórmulas clásicas (Turc, Thornthwaite), con valores medios de pluviometría y termometría para un periodo de 10 años, da valores entre 38 y 42% de la precipitación, lo que supone una infiltración del 62-58% en la mayor parte de Aramotz, habida cuenta de que la escorrentía superficial es nula.

Sin embargo, el coeficiente de infiltración para este sector calculado mediante dosificación de cloruros en aguas de lluvia y de manantiales da valores sensiblemente inferiores, variables por zonas entre 41 y 60%. En función de estos últimos datos se ha tomado un valor medio del 53%, para todo el sector, en el cálculo del balance, lo que da una infiltración anual de 800 mm. En el sector Anboto, tomando en cuenta la morfología más abrupta allí presente, favorecedora de una cierta escorrentía superficial, se ha considerado una infiltración más baja, del orden del 47% de la precipitación, lo que supone 700 mm.

Con estos datos de recarga y considerando una superficie de afloramientos calizos de 19 $km^2$ para Aramotz y 7 $km^2$ para Anboto resultan unos recursos anuales medios de 15 $Hm^3$ y 5 $Hm^3$, respectivamente. Las descargas en Aramotz se producen por las surgencias de Mañaria y drenaje directo al río (11,5 $Hm^3$/año); por la surgencia Orue (2,8 $Hm^3$/año); y por el resto de surgencias del borde Sur (0,7 $Hm^3$/año). Los aportes de Aramotz a la cuenca del río Mañaria suponen un 45% de la aportación total media en esta cuenca.

En el sector Anboto la descarga fundamental se produce por el manantial Urtzilo que previsiblemente puede descargar del orden de 4 $Hm^3$/año. El resto sería drenado por otras surgencias y directamente al arroyo Mendiola y, sobre todo, al río Mañaria.

En resumen este es el balance anual medio para cada sector:

Sector de Aramotz

| | |
|---|---|
| Superficie = | 19 $km^2$ |
| Precipitación anual = | 1.500 mm |
| Infiltración (53%) = | 800 mm |
| Recursos anuales = | 15 $Hm^3$ |
| Descarga = | Zona de Mañaria (11,5 $Hm^3$) |
| | Orue (2,8 $Hm^3$) |
| | Resto borde Sur (0,7 $Hm^3$) |

Sector Anboto:

| | |
|---|---|
| Superficie = | 7 $km^2$ |
| Precipitación anual = | 1.500 mm |
| Infiltración (47%) = | 700 mm |
| Recursos anuales = | 5 $Hm^3$ |
| Descarga = | Urtzilo (4 $Hm^3$) |
| | Resto (1 $Hm^3$) |

**Subunidad Eskubaratz.** Para esta subunidad de 5 $km^2$ se ha tomado una precipitación anual media de 1.500 mm, igual a la de Aramotz-Anboto debido a sus similares características. Se ha estimado un coeficiente de infiltración del 47% de la precipitación, idéntico al del sector Anboto, lo que supone una recarga de 700 mm. Con estos valores los recursos medios anuales resultan ser de 3,5 $Hm^3$. En este balance no se considera la recarga procedente de la infiltración localizada de algunos arroyos de funcionamiento temporal en el borde occidental, ya que se estima despreciable.

En esta subunidad no hay ningún punto de agua con datos de caudal suficientes como para salir de las simples estimaciones. La descarga por Zallobenta, incluida la posible descarga difusa al río, se estima en 3,2 $Hm^3$. El resto correspondería a los aportes de las surgencias (Urmeta) situadas en el borde Sur del afloramiento calizo.

En resumen el balance es:

| | |
|---|---|
| Superficie = | 5 $km^2$ |
| Precipitación anual = | 1.500 mm |
| Infiltración (47%) = | 700 mm |
| Recursos anuales = | 3,5 $Hm^3$ |
| Descarga = | Zallobenta (3,2 $Hm^3$) |
| | Borde Sur (0,3 $Hm^3$) |

**Subunidad Indusi-Ilunbe**. Ambos sectores, sin relación hidráulica entre ellos pero muy próximos, tienen una extensión de 4 $km^2$. Se ha considerado una precipitación anual media de 1.400 mm. El coeficiente de infiltración estimado ha sido más bajo, 43%, lo que supone una recarga anual de unos 600 mm.

En el sector Indusi se produce recarga por infiltración puntual en sumideros de algunos arroyos procedentes de detríticos; esta recarga se estima que es inferior a 1 $Hm^3$/año. El total de los recursos anualmente renovables en el conjunto de la subunidad se fija en 2,5 $Hm^3$.

La descarga se produce repartida por los numerosos manantiales de contacto a lo largo de los dos sectores, y por aporte directo al río Indusi (Bernaola). En cualquier caso los datos de caudal existentes son sólo esporádicos, no pudiéndose hacer cuantificaciones más ajustadas.

En resumen el balance es:

| | |
|---|---|
| Superficie = | 4 $km^2$ |
| Precipitación anual = | 1.400 mm |
| Infiltración (43%) = | 600 mm |
| Recursos anuales = | 2,5 $Hm^3$ |
| Descarga = | Numerosas surgencias |

**Subunidad Udalaitz**. Tiene una superficie de 8 $km^2$ de afloramientos carbonatados. La precipitación anual media es de 1.600 mm, habiéndose estimado una infiltración del 47%, similar al cercano sector Anboto, equivalente a 750 mm. Con estos datos los recursos anuales serían 6 $Hm^3$.

A esta cantidad hay que añadirle la recarga al acuífero procedente de la escorrentía superficial de materiales de baja permeabilidad, que ha sido estimada en 1 $Hm^3$/año, lo que da un total de 7 $Hm^3$/año (3 $Hm^3$ drenados por Beneras, 2,5 por Kobate y 1,5 directo al río).

En resumen el balance es:

| | |
|---|---|
| Superficie = | 8 $km^2$ (calizas) + 2 $km^2$ (baja permeab.) |
| Precipitación anual = | 1.600 mm |
| Infiltración (47%) = | 750 mm |
| Recursos anuales = | 6 $Hm^3$ + 1 $Hm^3$ |
| Descarga = | Surgencias (5,5 $Hm^3$) |
| | Río Deba (1,5 $Hm^3$) |

El balance total de la unidad es, por tanto, de 33 $Hm^3$/año.

Por otra parte, la lluvia útil anual deducida a partir de los datos suministrados por las estaciones de aforo de Dima y de Izurza resulta ser del orden de 50-55% de la precipitación, dato que parece poder ser extrapolado a otras cuencas próximas de similares características.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Se cuenta con varios análisis químicos, relativos a los elementos mayoritarios, correspondientes a las surgencias más significativas de la unidad. También se cuenta con análisis de las aguas de lluvia recogidas en el pluviógrafo de Aramotz.

En lo que a estas últimas se refiere los contenidos medios son (mg/l): cloruros 4,68, sulfatos 11,7, bicarbonatos 15,3, nitratos 1,84, sodio 2,16, magnesio 0,28, calcio 5,4, potasio 0,28. La conductividad eléctrica es baja, inferior a 100 µS/cm. De todas formas, las variaciones estacionales son importantes. Los mayores contenidos se encuentran en las lluvias del periodo estival. El quimismo de las aguas de lluvia tiene un valor referencial a la hora de interpretar el quimismo de las aguas en los puntos de descarga.

Las aguas de los diferentes sectores carbonatados presentan una clara facies bicarbonatada cálcica y una mineralización inferior, en general, a 350 mg/l. Aun así, la mineralización es superior a la de las aguas de otras formaciones carbonatadas urgonianas (Itxina, por ejemplo). Este hecho es indicativo de un menor grado de karstificación funcional de las calizas de la unidad ahora considerada, de manera que los flujos son, comparativamente, más lentos y con mayores posibilidades de disolución.

Prácticamente la totalidad de las aguas ligadas directamente a los afloramientos carbonatados muestran buena calidad en lo que a los constituyentes químicos mayoritarios se refiere. Esto es lógico teniendo en cuenta la casi nula presencia de focos potencialmente contaminantes sobre estos afloramientos. Sólo puntualmente pueden darse problemas de calidad en aguas próximas a las actividades extractivas, desarrolladas precisamente en los materiales carbonatados.

Las aguas que drenan Aramotz muestran un carácter físico-químico diferenciado según las partes del macizo drenadas. Así, las surgencias más importantes (Orue, en el borde Sur; Harrobia,

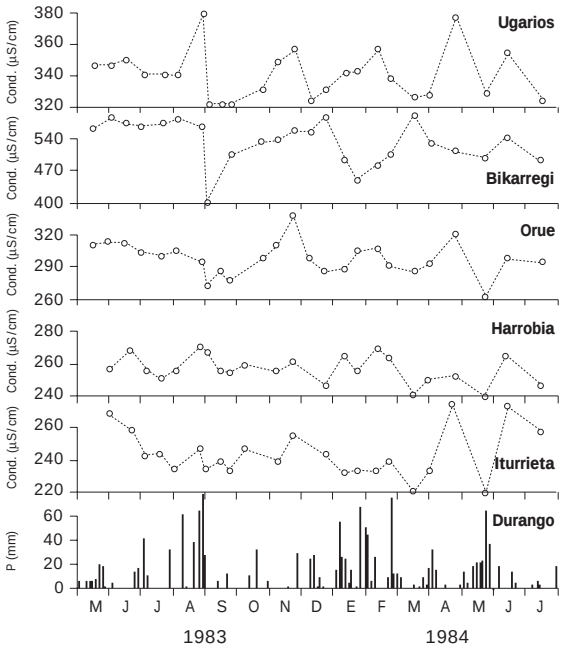



Figura 5. Evolución temporal de la conductividad.

Iturrieta, en el Este) drenan aguas de las partes más profundas del macizo, a las cuales han accedido de manera rápida a partir de las precipitaciones; en consecuencia, su mineralización es relativamente baja. Como contenidos medios se pueden dar los siguientes intervalos (mg/l): cloruros 8-11, sulfatos 10-25, bicarbonatos 145-190, nitratos 4-7, sodio 3,5-4,5, magnesio 1-2, calcio 55-70, potasio 0,4-0,7. La conductividad oscila entre 240-320 µS/cm, la temperatura entre 11 y 13,5°C, y el pH entre 7,6 y 7,9.

El resto de surgencias controladas químicamente (Ugarios, Bikarregi,..) muestran mayores mineralizaciones. Se asocian a flujos más superficiales, y con un carácter más agresivo por estar en relación con cobertera vegetal. Las variaciones físico-químicas son más acusadas. Los contenidos medios de estas aguas son (mg/l): cloruros 11-14, sulfatos 25-90, bicarbonatos 220-270, nitratos 5-15, sodio 4,5-5,5, magnesio 1,5-15, calcio 80-110, potasio 1-2. La conductividad oscila entre 370-550 µS/cm, la temperatura entre 12 y 15°C, y el pH entre 7,6 y 7,8. En la figura 5 se muestra la variación de la conductividad en algunas de las surgencias controladas en el periodo 1983-84, que incluyen las intensas lluvias de Agosto de 1983.

Los principales puntos de descarga del sector Aramotz han sido objeto de control isotópico (oxígeno-18 y deuterio), al igual que las aguas de lluvia. Del análisis de los datos resulta un tiempo de permanencia de las aguas en la parte de acuífero drenado por Orue comprendido entre 8 y 12 meses (figura 6).

En el sector Anboto hay varios análisis de su principal surgencia (Urtzilo). Estos análisis evidencian una mineralización muy baja, con contenidos totales entre 140 y 190 mg/l. Para el resto de las aguas del sector los valores de conductividad oscilan usualmente entre 180 y 280 µS/cm, y las temperaturas entre 11 y 12°C.

En el Macizo de Eskubaratz se tienen análisis completos de la surgencia principal, Zallobenta. Sus aguas presentan un carácter físico-químico similar al de las surgencias cercanas Harrobia e Iturrieta, antes comentado.

En la Subunidad Ilunbe-Indusi se cuenta con algunos análisis completos de las surgencias de mayor interés, y con bastantes datos de campo de conductividad y temperaturas. Según estos últimos, las aguas presentan valores habituales de conductividad entre 280 y 400 µS/cm. Localmente se encuentran aguas más mineralizadas (hasta 650 µS/cm), en relación con flujos lentos. Las temperaturas oscilan normalmente entre 12 y 13°C.

En la Subunidad Udalaitz se ha controlado el quimismo de las aguas de sus surgencias más importantes evidenciándose unos contenidos, en elementos mayoritarios, prácticamente idénticos a los expuestos para las princi-

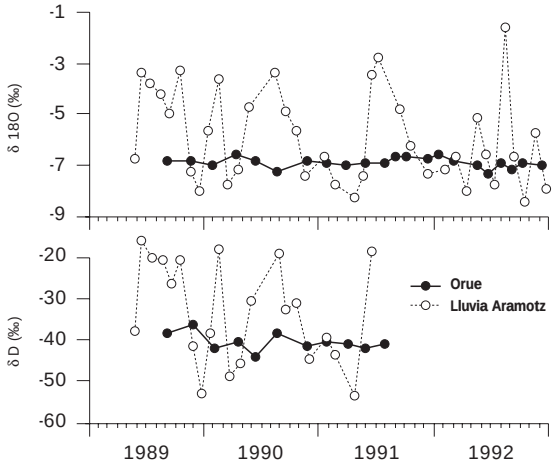



Figura 6. Control isotópico de la surgencia Orue.

pales surgencias de Aramotz. Existen también análisis bacteriológicos que indican una contaminación alta de origen fecal en Kobate y Beneras, con presencia de coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales, debida a vertidos de aguas residuales y a los lixiviados de un vertedero clausurado próximo a Beneras.

En la figura 7 se muestra la evolución temporal de los caudales y de los contenidos de algunos parámetros físico-químicos en los principales manantiales de la subunidad. En general, los contenidos más altos se dan en épocas de aguas bajas, descendiendo a medida que los caudales aumentan, lo que es significativo de la dilución originada por la infiltración rápida de aguas de lluvia en momentos de precipitaciones intensas.

Las aguas de la unidad no directamente relacionadas con las formaciones calcáreas, es decir, las que drenan materiales de los complejos Purbeck-Weald y Supraurgoniano, fundamentalmente, presentan, por lo general, mayores mineralizaciones, que se corresponden con contenidos más altos en prácticamente todos los elementos mayoritarios, manteniendo, eso sí, un claro carácter bicarbonatado cálcico generalizado. La mineralización suele oscilar entre 350 y 450 mg/l.

En estas últimas formaciones es frecuente encontrar aguas de marcado carácter ferruginoso, conocidas como *metalurak* o incluso *burdinurak*, que dejan un poso rojizo en la surgencia. Este carácter es consecuencia de la oxidación de ciertos sulfuros, pirita sobre todo, abundantes en estas formaciones. El Fe puede alcanzar contenidos de hasta 0,4 mg/l, estando acompañado a veces por contenidos similares de Mn. En cualquier caso, las aguas siguen manteniendo la facies bicarbonatada cálcica.

También es a resaltar la presencia de aguas, *atsurak* o *uratsak* , con cierto olor a huevos podridos. Este tipo de surgencias, de casi nulo caudal, abundan en las proximidades de Dima y de Elorrio, y se relacionan con procesos de reducción de sulfuros que liberan sulfhídrico. La facies pasa a ser sulfatada cálcica con mineralizaciones bastante elevadas y conductividades de 1.000-2.000 µS/cm. Los contenidos en Fe y otros elementos minoritarios, como B, son comparativamente altos (0,3-0,5 mg/l). Más puntualmente se encuentran (proximidad de la Subunidad Ilunbe-Indusi) aguas sulfatadas cálcicas relacionadas con yesos, presentes ocasionalmente en materiales del Purbeck-Weald. En este caso, las conductividades son menores (600-800 µS/cm).

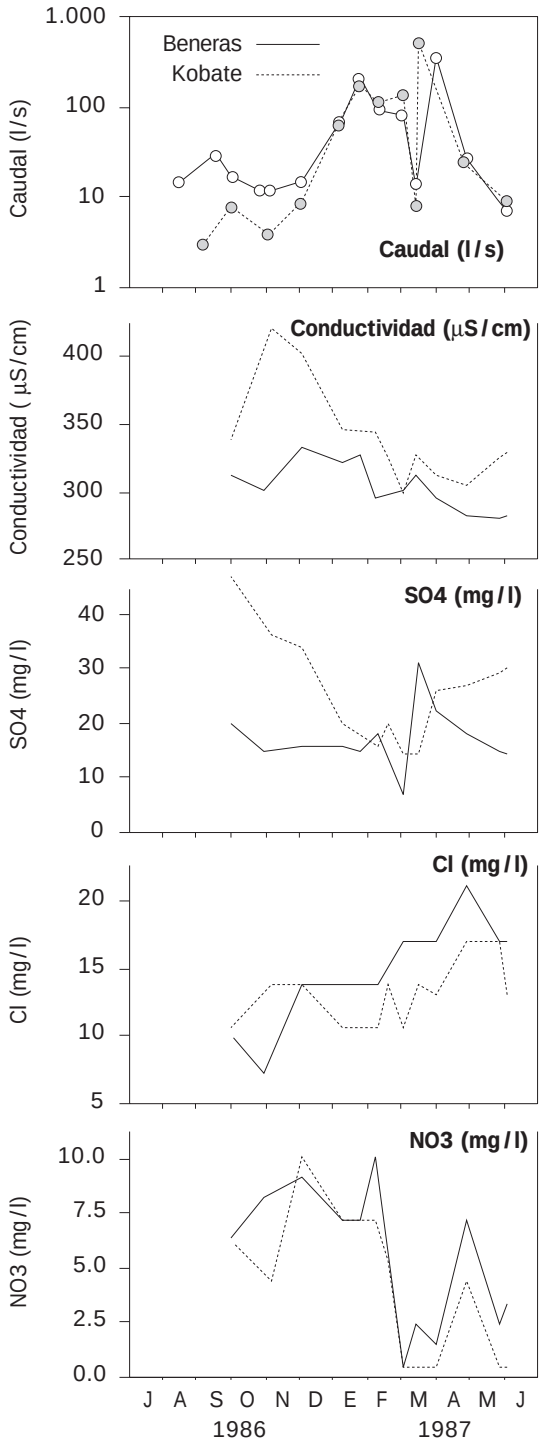



Figura 7. Control hidroquímico y de caudales en la Subunidad Udalaitz.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

Como investigación complementaria hay que señalar las pruebas de producción realizadas en sondeos de explotación, desarrollos destinados a aumentar su productividad, y los ensayos con trazadores para determinar direcciones de flujo y velocidades de circulación del agua subterránea.

Respecto a las primeras, los resultados evidencian la notable heterogeneidad de la permeabilidad del medio carbonatado, con variaciones importantes en los valores de los parámetros hidrogeológicos, incluso en sondeos próximos entre sí. Así, la transmisividad ($m^2/d$) varía entre valores de 5-30, en Udalaitz y en alguna zona de Mañaria, hasta más de 4.000, también en Mañaria, con valores habituales entre 300 y 600 en este último sector. El caudal específico (l/s/m), por su parte, es bajo (0,05-0,3) en Udalaitz, algo mayor en Orue (0,4-2,3) y mayor aún en Mañaria (hasta 11). En cualquier caso, estos datos son sólo representativos de la zona más próxima a los sondeos ensayados y no pueden ser extrapolados a sectores más amplios.

Se han llevado a cabo desarrollos en sondeos utilizando ácido clorhídrico, en unos casos, y aire comprimido (air lift) en otros, siendo el objetivo favorecer la conexión hidráulica entre el sondeo y las zonas próximas del acuífero. Los resultados han sido variables, desde incremento apreciable de los caudales de explotación hasta mantenimiento de los mismos.

Buena parte de los sondeos perforados han sido equipados adecuadamente, para explotación o para control piezométrico, con tuberías que incluyen tramos de filtro en los niveles productivos. Se han realizado inspecciones endoscópicas poniéndose de manifiesto problemas de colmatación en algunos de los sondeos, con disminución de su profundidad útil, y diagrafías de producción (temperatura, conductividad, flujo) para determinar los tramos más transmisivos.

Por último, sólo en la Subunidad Udalaitz se han efectuado ensayos con trazadores, habiendo utilizado la fluoresceína sódica. El trazador fue inyectado en el sumidero de Bostate (365 m), que temporalmente actúa como manantial, y apareció en la surgencia Kobate (260 m), situada a 1.100 m, al cabo de 31 horas, deduciéndose una velocidad de circulación de las aguas del orden de 35 m/h.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

Practicamente la totalidad de las surgencias de cierta entidad están directamente captadas por los municipios o aldeas de la zona, salvo las más alejadas. Incluso buena parte de los pequeños manantiales localizados en los materiales wealdenses o supraurgonianos han sido objeto de captación, al igual que numerosos arroyos en cabecera. El resultado es una diversificación importante de captaciones y la creación de complejas redes de abastecimiento.

El aumento de disponibilidad de recursos mediante obras de regulación de aguas subterráneas comenzó hace algunos años en el área de la Subunidad Udalaitz, con los resultados y utilización de las mismas ya comentados.

Más recientemente se han acometido obras de importancia con el fin de regular, mediante bombeos, las principales surgencias de la unidad. Estas obras, centradas sobre todo en el área de Mañaria, constan, en lo esencial, de cuatro sondeos de explotación, adecuadamente equipados, con una capacidad de producción conjunta mínima de 185 l/s. Actualmente, dos de los cuatro sondeos son ya operativos. Su gestión corresponde al Consorcio de Aguas de la Merindad de Durango.

En cualquier caso, el volumen total de recurso utilizado, contabilizando la captación directa y bombeos de los sondeos de explotación, no supera el 10% (3,3 $Hm^3$/año) de los recursos renovables en un año medio asociados a la unidad hidrogeológica.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

CADEM (1984). Estudio hidrogeológico de la Unidad Aitzgorri-Amboto. (IBERTHEKNIKA).

CADEM (1984). Seguimiento del sondeo de Kobate. (GEOTHEKNIKA).

CADEM (1984). Seguimiento del sondeo Mañaria. (GEOTHEKNIKA).

GEV (1985). Bizkaiko haitzuloen katalogoa-Catálogo de cuevas de Vizcaya.

ANTIGUEDAD, I. (1986). Estudio Hidrogeológico de la Cuenca del Nervión-Ibaizabal: Contribución a la investigación de los sistemas acuíferos kársticos. (Tesis de Doctorado. UPV-EHU).

EVE-DFG-IGME (1987). Estudio hidrogeológico de las Unidades Udala y Aitzgorri. (CGS).

EVE-DFB-GV (1994). Evaluación y Regulación de los Recursos Hídricos Subterráneos de las Unidades Hidrogeológicas de Bizkaia.

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Kobagorria | 532400 | 4773200 | 300 | 1-10 | Galería minera |
| Arrazola | 536000 | 4770900 | 300 | 1-10 | Galería minera |
| Kobate | 538440 | 4769040 | 260 | 10-100 | Abastecimiento de Arrasate |
| Beneras | 541115 | 4770260 | 320 | 10-100 | Abastecimiento de Arrasate |
| Bernaola | 521200 | 4774825 | 250 | 10-100 | |
| Orue | 520230 | 4779460 | 225 | 90 | Abastecimiento de Lemoa e Igorre |
| Zallobenta | 527315 | 4775540 | 218 | >100 | Abastecimiento de caseríos |
| Iturrieta | 527425 | 4776400 | 200 | >100 | Abastecimiento de Mañaria |
| Harrobia | 528325 | 4776625 | 200 | >100 | Abastecimiento de Izurza |
| Urtzilo | 533830 | 4772000 | 285 | >100 | Abastecimiento de Atxondo |
| Gentilzubi | 522225 | 4774575 | 300 | 10-100 | |
| Biteriño | 520650 | 4778300 | 250 | 1-10 | Abastecimiento de Dima |
| Ugarios | 522391 | 4777315 | 350 | 1-10 | Abastecimiento de Ugarios |
| Urmeta | 524425 | 4773050 | 600 | 1-10 | |
| Udalaitz | 537500 | 4772600 | 350 | 1-10 | Abastecimiento de Elorrio |
| Bostate | 537920 | 4770054 | 365 | 1-10 | Abastecimiento de Arrasate |
| Igorre | 519100 | 4779500 | 120 | 1-10 | Abastecimiento de caseríos |
| Angilarri | 522700 | 4774150 | 300 | 1-10 | Abastecimiento de caseríos |
| Bikarregi | 521450 | 4777790 | 240 | 1-10 | Abastecimiento de Dima |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Mañaria-1 | 528305 | 4776615 | 179 | | Sondeo de control piezométrico |
| Mañaria-2 | 528370 | 4776565 | 180 | | Sondeo de control piezométrico |
| Mañaria-3 | 527334 | 4776421 | 210 | | Sondeo de control piezométrico |
| Mañaria-4 | 527320 | 4775485 | 219 | | Sondeo de control piezométrico |
| Mañaria-A | 528215 | 4776570 | 179 | 80 | Abastec. Consorcio de Aguas de la Merindad de Durango |
| Mañaria-B | 528379 | 4776562 | 181 | 60 | Abastec. Consorcio de Aguas de la Merindad de Durango |
| Mañaria-C | 527353 | 4776434 | 211 | 15 | Abastec. Consorcio de Aguas de la Merindad de Durango |
| Mañaria-D | 527337 | 4775417 | 227 | 30 | Abastec. Consorcio de Aguas de la Merindad de Durango |
| Indusi-1 | 521315 | 4774715 | 252 | 10 | |
| Indusi-2 | 521390 | 4774660 | 270 | 5 | |
| Orue-A | 520275 | 4779360 | 251 | 2 | |
| Mondragón-1 | 541235 | 4768175 | 220 | 12 | Antiguo abastecimiento de Arrasate-Mondragon |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA ITXINA

## GENERALIDADES

Integrada en el Dominio Hidrogeológico Anticlinorio Sur (figura 1), se sitúa entre Bizkaia y Araba, con el monte Gorbea como límite entre ambos territorios. Se extiende desde el Macizo de Itxina, al Norte, hasta el pantano del Gorbea, al Sur. Las principales cumbres son Aizkorrigan (1.059 m), Lekanda (1.302 m), Gorbea (1.481 m) y Arralde (945 m). Toda la unidad forma parte en la actualidad del Parque Natural del Gorbea, destacando por la espectacularidad de sus formas exo y endokársticas el Macizo de Itxina.




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

La unidad incluye varias divisorias importantes de cuencas superficiales. Por un lado, está la linea divisoria entre la vertiente cantábrica y la mediterránea que atraviesa la unidad por su parte central. Al Sur de esta linea las aguas tributan a los ríos Undebe, Zubialde y Bayas, afluentes del río Ebro. Aquí se sitúa el pantano del Gorbea que regula las aguas de la cuenca alta del río Zubialde. Al Norte el Macizo de Itxina sirve de límite entre las aguas que vierten al río Arnauri, afluente del río Nervión, y las que vierten al río Arratia, afluente del Ibaizabal, ambos desembocando por la ría de Bilbao al Mar Cantábrico.

La orografía muestra características diferentes en ambas vertientes. Mientras que en la cantábrica es bastante abrupta y con notable desnivel, en la mediterránea es mucho más suave y con cotas que, por lo general, se mantienen por encima de los 700 m.

La pluviosidad anual media puede alcanzar los 2.000 mm en las partes más altas, Macizo de Itxina y del Gorbea; algo menos, 1.800-1.700 mm, en Aldamin y Arralde; y baja hasta 1.500 mm en las zonas septentrionales del área considerada y hasta 1.300 mm en las más meridionales. En general, las lluvias están bien repartidas a lo largo del año, con valores más elevados de Octubre a Abril.

Estos valores se basan en la información suministrada por estaciones meteorológicas ubicadas fuera de la unidad y a cotas sensiblemente inferiores. Sólo el pluviógrafo de Gorbea, situado a cota 980 m, proporcionó datos de altura durante algunos períodos. Respecto a la temperatura, con idénticas limitaciones, se dan valores anuales medios de unos 8°C en las cotas más altas, valores que aumentan progresivamente hasta alcanzar valores del orden de 10°C en la periferia del área considerada.

En general, se puede decir que el clima propio de este área es de tipo templado oceánico, con precipitaciones continuas y bien distribuidas a lo largo del año, con elevada humedad relativa y con temperaturas templadas. Existe, sin embargo, una evidente disimetría entre las vertientes cantábrica y mediterránea, generada por la influencia que los relieves existentes ejercen sobre los vientos dominantes procedentes del NO, de manera que en la vertiente Sur tanto las precipitaciones como las temperaturas son inferiores.

La unidad se reparte entre los términos vizcaínos de Orozko, Areatza, Zeanuri y Ubidea; y los valles alaveses de Zuia y Zigoitia. Los únicos núcleos habitados se sitúan en sus bordes (Urigoiti y Ubidea). Como asentamiento temporal se encuentran algunas txabolas de pastores y refugios de montaña.

La única actividad en las partes más altas del área es la ganadería, mientras que en las zonas más periféricas se da también actividad forestal.

**GEOLOGIA**

Los materiales de esta unidad se ubican al Sur del dominio estructural Anticlinorio de Bilbao, en su enlace con el dominio estructural Plataforma Alavesa. Son materiales del Cretácico inferior que, en conjunto, se disponen según una secuencia monoclinal buzante suavemente hacia el SO, que localmente se ve trastocada por fallas de poca entidad y por algunos pliegues muy suaves.

Geológicamente los materiales aflorantes se pueden diferenciar en dos grandes complejos: Urgoniano y Supraurgoniano.

El Urgoniano es un complejo arrecifal y paraarrecifal (calizas de rudistas y corales). Su elemento más característico son las calizas arrecifales (40), bien representadas en los Macizo de Itxina, y su prolongación hacia el Sur, y de Arralde. Se presentan en forma de grandes bancos, con una potencia que en Itxina alcanza los 400 m y con rápidos tránsitos laterales y verticales a facies terrígenas.

Frecuentemente, junto a estas calizas arrecifales se encuentran facies de calizas impuras (41), que incluyen margas o calizas arcillo-arenosas. También paquetes areniscosos y conglomeráticos (54) como tránsito de las calizas. En ocasiones, aparecen términos mixtos, constituidos por margas y brechas calcáreas (42).

A muro de esas formaciones carbonatadas, o en paso lateral, se sitúan facies terrígenas: las areniscas y/o limolitas calcáreas (38), que pueden alcanzar algunos cientos de metros de espesor. A modo de intercalación en estas facies terrígenas se encuentran paquetes discontinuos de areniscas de grano más grueso (39), que alternan con lutitas. Estos materiales ocupan todo el sector oriental del área considerada.

Los equivalentes terrígenos de las calizas urgonianas están representados por un extenso y potente término de lutitas y areniscas (43) que engloban bancos calcareníticos (45). Como equivalente lateral de este término aparecen series de areniscas silíceas y lutitas (46), o de margas y calcarenitas (47). Dentro de estas últimas se han cartografiado cuerpos calcareníticos (50). Sobre la formación (43) hay una potente serie de calcarenitas, margocalizas y brechas calcáreas (49) que suponen el paso lateral de las calizas de Itxina. También en este sector y como tránsito de las calizas arrecifales aparece algún episodio de brechas calcáreas (51).

El Supraurgoniano está representado por una potente formación terrígena con distintos términos aflorantes: basal, fundamentalmente lutítico (56), otro de areniscas y lutitas (57) y otro con predominio de las granulometrías gruesas, areniscas y conglomerados (58). Todos estos materiales aparecen abundantemente en los sectores occidental y Sur del área considerada.

Por último, las formaciones cuaternarias están representadas sólo por los materiales coluviales (201), ligados a la dinámica de las laderas y constituidos por bloques calizos con abundante matriz arcillosa.

En cuanto a la estructura tectónica se refiere, los materiales descritos se presentan, en conjunto, como una serie monoclinal buzante hacia el SO. En el Oeste son numerosas las fallas, de gran continuidad, de dirección N110°E delimitando un conjunto de “horst” y “graben”. Asociadas a ellas son frecuentes las zonas de brechificación. En el sector sureste la fracturación dominante es de dirección N40°E, con fallas antiguas que afectan al zócalo.

**HIDROGEOLOGIA**

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

A la vista del carácter litológico de las distintas formaciones aflorantes, se consideran de permeabilidad alta las que presentan mayor componente carbonatado (40, 51), calcarenítico, (45, 50), y los coluviales (201). De permeabilidad media los materiales carbonatados con presencia de terrígenos (41, 49), y los que tienen predominio de granulometrías gruesas (54, 58). De permeabilidad baja los materiales con secuencias alternantes areniscas-lutitas (38, 39, 46, 57), y margas-calcarenitas (42, 47). Al resto de formaciones, de carácter fundamentalmente lutítico (43, 56), se les asigna una permeabilidad muy baja.

*ZONAS DE RECARGA Y PUNTOS DE DESCARGA*

La única recarga recibida por las formaciones de interés acuífero es la precipitación sobre los propios afloramientos, eventualmente en forma de nieve. De esta generalización sólo se pueden excluir las pequeñas superficies (1,5 $km^2$ aproximadamente) de las campas de Arraba y Egiriñao, situadas al Sur del Lekanda y al Norte

del Gorbea respectivamente, en las que la aparición de materiales de baja permeabilidad favorece la formación de esporádicos cursos de agua que terminan sumiendose por pérdidas en los bordes de las calizas arrecifales.

La descarga de los materiales acuíferos se produce fundamentalmente por surgencias, algunas de ellas de considerable caudal, pero también, en menor medida, directamente a los cursos de agua que configuran la red de drenaje del área, sobre todo en la cabecera del río Bayas, al Noroeste del Gorbea, y en el río Undebe, al Oeste de Ubidea. Las surgencias se ubican normalmente en los contactos de las calizas y en ocasiones asociadas a fallas.

Las principales se asocian a las calizas arrecifales. La surgencia **Aldabide** se localiza en el extremo noroccidental del Macizo de Itxina, a cota 750; ha sido objeto de control durante el período 1981-84, registrándose importantes variaciones de caudal que oscila entre menos de 10 l/s en estiaje avanzado y más de 5 $m^3/s$ en aguas altas, con un caudal medio de 230 l/s.

Otras surgencias de interés asociadas al Macizo de Itxina son **Urrekuetxumun** con caudal medio estimado inferior a 10 l/s, y **Aitziturri** (940 m) con caudal medio superior a 10 l/s; ambas son surgencias de contacto del borde occidental. Son escasas las descargas de Itxina hacia el Este.

Tanto Aldabide como Urrekuetxumun y Aitziturri, así como otras surgencias, de caudal medio inferior a 1 l/s, que se ubican en los bordes Norte y Oeste de Itxina, drenan hacia los ríos Ursaltu y Arnauri, vertientes al río Altube. El escaso drenaje hacia el Este de Itxina es recogido por pequeños arroyos que vierten sus aguas al río Arratia.

Hacia el Sur, en la cabecera del río Bayas, son significativas las surgencias **Lapurzulo** (895 m) y **Ubegi** (980 m), situadas en relación a fallas, con amplia variabilidad en su descarga, y con caudales medios comprendidos entre 10 y 100 l/s. La surgencia Ubegi corresponde en realidad al conjunto de dos surgencias próximas. Ubegi y el río Bayas a la salida de las calizas fueron objeto de control foronómico (estación de Azoleta o Ubegi) en el mismo período que Aldabide. En este sector del río Bayas hay una descarga directa al cauce desde las calizas arrecifales.

En la prolongación suroriental de las calizas hacia el pantano del Gorbea éstas son drenadas por dos surgencias importantes, ambas en situación de contacto: **Artzegi** (795 m) y **Gorbea** (695 m), con caudal medio superior a la decena de l/s, cuyas aguas vierten al río Zubialde y son reguladas en el pantano del Gorbea, situado inmediatamente aguas abajo de la surgencia de igual nombre, para ser transvasadas hacia el embalse Urrunaga ubicado en la cuenca del río Zadorra.

En lo que concierne a las calizas de Arralde, éstas son drenadas sobre todo por dos surgencias de contacto: **Leixakorta** (740 m), la principal, con un caudal medio estimado de 30 l/s, y **Atxurdin** (670 m) con caudal próximo a 2 l/s. El propio río Undebe debe de comportarse como área de descarga de las calizas.

En el resto de formaciones del área, si bien no existen surgencias de la importancia de las descritas, sí existen manantiales de escaso caudal, siempre por debajo de 1 l/s, que no llegan a secarse en periodos de estiaje. Se asocian a niveles de granulometría más gruesa, o incluso a capas de alteración superficial, siendo responsables de que los arroyos aporten agua, aunque con escasos caudales, en los estiajes. Estos manantiales son más frecuentes en las formaciones de permeabilidad media.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS. SUBUNIDADES.*

A partir de la asignación de permeabilidades y del conocimiento de las zonas de descarga principales, se han diferenciado cuatro subunidades hidrogeológicas, que en conjunto configuran, en sentido estricto, lo que se denomina Unidad Hidrogeológica Itxina. Estas subunidades son: Itxina, Aldamin, Zubialde y Arralde. Están todas ellas constituídas predominantemente por las calizas arrecifales. La disposición queda reflejada en la figura 2.

Al margen de estas subunidades quedan pequeños bancos de calizas arrecifales o de calcarenitas que, a pesar de su permeabilidad, por su pequeño espesor y su reducida extensión de afloramiento no son susceptibles de albergar acuíferos de interés, como lo indica la inexistencia de descargas asociadas dignas de mención.

En cuanto a las características geométricas se refiere, las calizas arrecifales se disponen monoclinalmente con buzamientos muy suaves hacia el SO, pero originando distintos tipos de

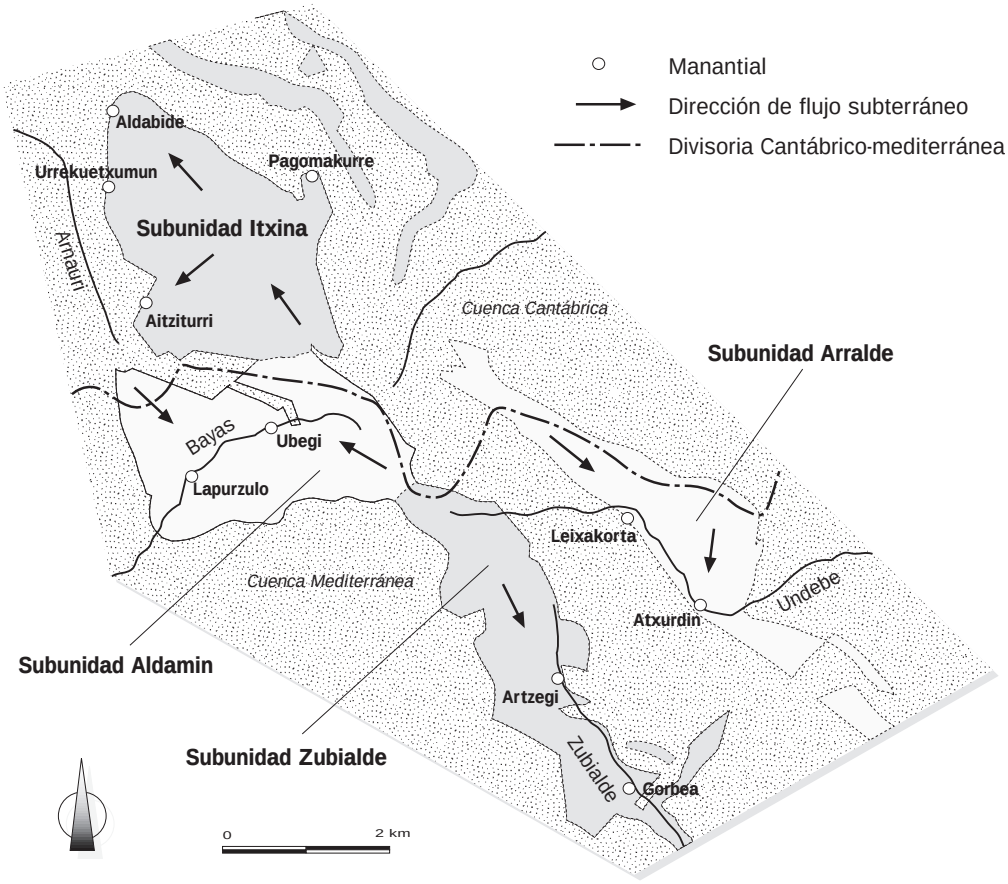



Figura 2. Esquema de subunidades.

dispositivos estructurales. Así, en el caso de Itxina (6 km$^2$) se ha formado una meseta elevada (cotas entre 900 y 1.300 m) y cerrada, endorreica, casi horizontal, bien delimitada topográfica y litológicamente, limitada a muro por diferentes formaciones de carácter poco permeable, de manera que las calizas no presentan continuidad en profundidad, limitando el interés hidrogeológico del sector.

El espesor máximo de estas calizas es de unos 400 m, disminuyendo progresivamente hacia el Sur. Los materiales poco permeables del sustrato imponen las condiciones de borde a cotas de unos 800 m en el límite occidental y de unos 1.000 m en el oriental. El límite Sur lo constituye, en parte, una pequeña fosa tectónica ocupada por areniscas y lutitas a cotas variables entre 1.000 y 1.200 m.

Esta disposición del Macizo de Itxina ha favorecido un desarrollo espectacular de las formas de absorción, no hay corriente superficial organizada alguna, y de los conductos kársticos, que se orientan principalmente hacia la surgencia Aldabide. Investigaciones espeleológicas han evidenciado la existencia de al menos tres pisos en lo que al desarrollo horizontal de cavidades se refiere; las galerias más altas (Elorrea, Atxular, etc.) se sitúan a altitudes de 1.100 m, mientras que las inferiores (Otxabide, con más de 6 kilómetros de desarrollo) lo hacen a unos 800 m. Es precisamente en estas últimas por donde circula el río subterráneo que alimenta la surgencia de Aldabide. La figura 3 muestra el esquema geomorfológico de la zona.

En el resto de subunidades definidas, Aldamin (5,8 km$^2$), Zubialde (3,2 km$^2$), Arralde (4 km$^2$), sin embargo, el buzamiento de las calizas arrecifales es tal que éstas penetran por debajo de las formaciones suprayacentes, garantizando una cierta continuidad en profundidad, si bien ésta es difícil de concretar habida cuenta de los frecuentes cambios de facies laterales y verticales existentes. Esta continuidad, en principio, aumentaría notablemente el interés de las posibles reservas.

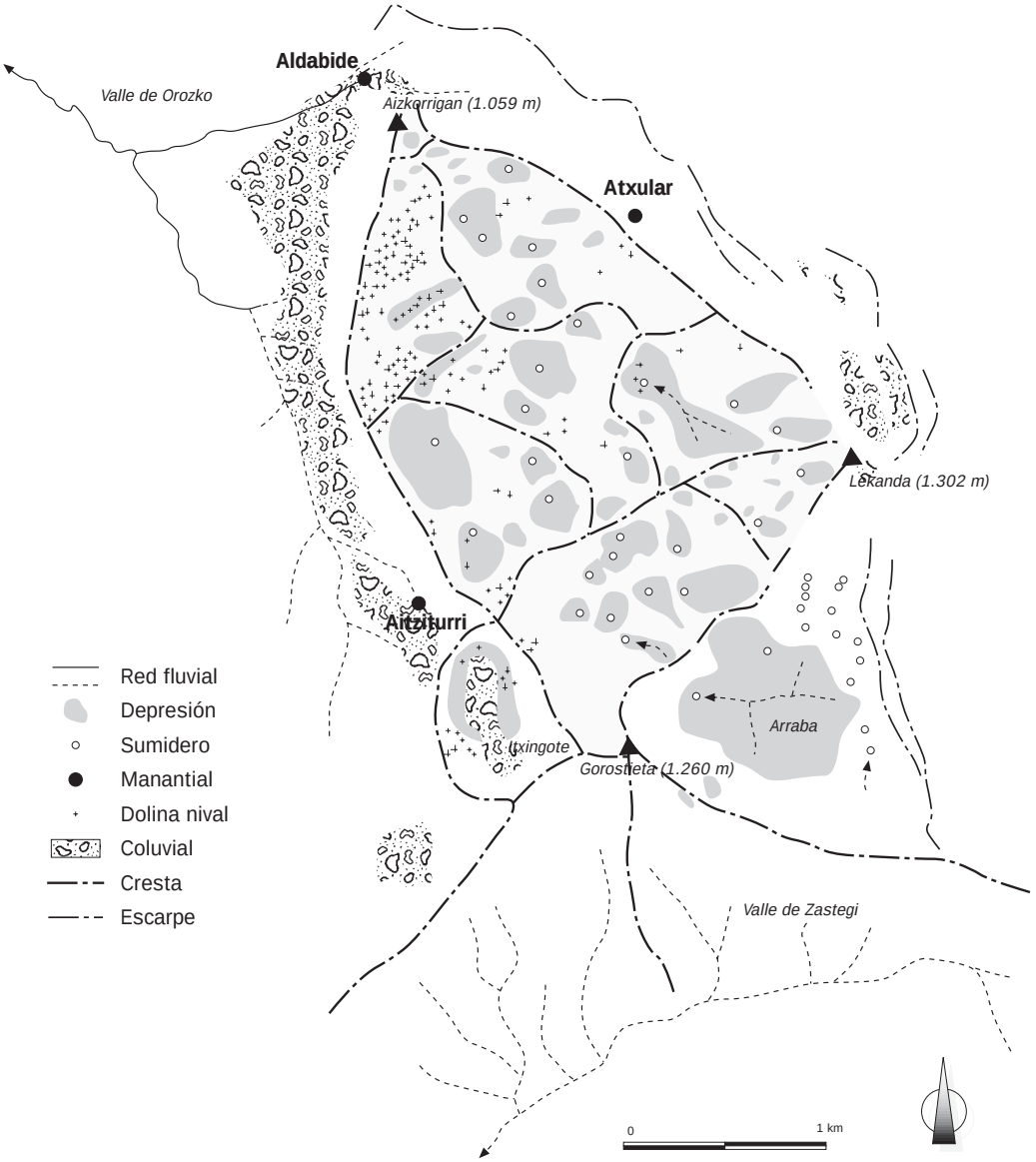



Figura 3. Esquema geomorfológico de Itxina.

Las calizas de estas subunidades dan relieves tipo cuesta (en Arralde cotas entre 900 y 700 m; en Aldamin entre 1.300 y 900 m; en Zubialde entre 1.300 y 700 m) con lo que el área de alimentación es más reducida que en el caso de Itxina y los procesos de karstificación, aunque existentes, no llegan al nivel de desarrollo generalizado de Itxina. Cabe aquí mencionar el sistema de Mairuelegorreta (Subunidad Zubialde) con más de 10 km de galerías.

El sustrato está constituido por diversas formaciones que en conjunto presentan baja permeabilidad. Esta misma naturaleza presentan las formaciones a techo en Arralde, mientras que en Aldamin y Zubialde el techo lo constituyen materiales que presentan una permeabilidad media. En Arralde y Aldamin son los bordes occidentales los que se sitúan a menor cota (700 m y 900 m, respectivamente), constituyendo el nivel de base predominante, en tanto que en Zubialde este nivel se sitúa en el borde suroriental (700 m).

Al haber una continuidad de afloramiento entre las Subunidades Itxina, Aldamin y Zubialde la limitación de la divisoria de sus aguas subterráneas es sólamente orientativa. En las proximidades de la cumbre del Gorbea se situaría la divisoria entre las Subunidades Aldamin y

Zubialde, y más al Norte la existente entre Aldamin e Itxina. Arralde, por su parte, está separada del resto, aunque no se puede descartar alguna conexión hidráulica con ellos a través del extenso coluvial que los separa.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. PARAMETROS.*

El funcionamiento de los acuíferos asociados a las cuatro subunidades hidrogeológicas descritas es básicamente libre. Se pueden considerar como acuíferos kársticos en sentido estricto, en los que la permeabilidad predominante ha sido generada por procesos de disolución, organizandose redes de conductos que en los Sectores Itxina y Zubialde son redes espeleológicas de desarrollo bien conocido.

En lo que se refiere a **Itxina**, este macizo presenta un notable desarrollo de formas kársticas que condicionan su funcionamiento hidrogeológico. Así, lo fundamental del flujo se organiza hacia su borde noroccidental, donde se sitúa la surgencia Aldabide, de gran variación de caudal, y que drena la gran mayoría del macizo además de la depresión de Arraba, tal como lo verificaron los trazadores inyectados en la pérdida de esta depresión.

También hay flujos de cierta importancia hacia el borde occidental, donde se sitúan surgencias como Urrekuetxumun, y Aitziturri, que parecen drenar depresiones próximas en el interior del macizo. El drenaje hacia el borde oriental es escaso y está representado por algunos manantiales, como Pagomakurre, cuyo caudal es normalmente inferior a 1 l/s.

El dispositivo geológico de las calizas de Itxina justifica plenamente la ubicación de sus principales surgencias en el borde occidental, de menor cota, y sobre todo la de Aldabide ubicada en el punto de cota más baja del contacto. En cualquier caso mención especial merece la surgencia Atxular (en la falda oriental del monte Aizkorrigan), que si bien actualmente es un manantial de exiguo caudal, presenta sin embargo una morfología (travertinos en el exterior y sedimentos detríticos en el interior) que permite reconocer en ella una importante antigua surgencia ubicada en el extremo de una red de conductos kársticos hoy prácticamente inactiva. Este hecho hace pensar en la existencia en épocas pasadas de flujos importantes organizados hacia el borde oriental del macizo, y que posteriormente serían reorganizados hacia el occidental, posiblemente debido a cambios en el nivel de base.

A partir del análisis de las crónicas de los caudales de Aldabide se ha evidenciado un muy bajo poder regulador para el acuífero de Itxina, con respuesta muy rápida (pocas horas) ante las lluvias, favorecida por el notable desarrollo del drenaje kárstico que hace que el caudal pase en unos días de varios $m^3/s$ a escasamente la decena de l/s, y menos aún en estiajes prolongados. El coeficiente de agotamiento ($\alpha$) de Aldabide es de 0,0396 $días^{-1}$. En resumen, este acuífero es un ejemplo claro de acuífero kárstico en su sentido más estricto.

En **Aldamin** el flujo subterráneo se organiza hacia la cabecera del río Bayas. Aquí se encuentran importantes surgencias como Ubegi y Lapurzulo. Esta última se sitúa al final de una galería de más de 300 m y una de las surgencias de Ubegi corresponde a una resurgencia relacionada con una pérdida kárstica temporal situada hacia el Este, en Egiriñao.

La circulación subterránea se realiza a favor de amplios conductos, en sentido NNO-SSE y SE-NO hacia las cotas más bajas impuestas por el cauce del río Bayas. En Ubegi los caudales medios diarios oscilaron entre 1 l/s y 1.800 l/s, con un valor medio de 120 l/s. En Azoleta, que recoge los caudales de Ubegi, Lapurzulo y la propia descarga directa al cauce, la variación fue entre 9 y 2.450 l/s, con un valor medio de 205 l/s. La surgencia Lapurzulo tiene un caudal estimado en 15 l/s.

En un estudio más reciente se realizaron aforos diferenciales en el río Bayas con el objeto de conocer con más detalle las descargas directas al propio cauce. Aforos realizados aguas abajo de la estación de Azoleta, fuera ya de los afloramientos carbonatados, mostraban notables incrementos de caudal en estiaje para el área no carbonatada. Este hecho evidencia la existencia de flujos subterráneos de las calizas hacia la formación detrítica suprayacente, lo que justifica la asignación de permeabilidades que se ha dado a estos materiales.

El análisis de las series de caudales muestra la rápida respuesta de este sector ante las lluvias, debido a la importante organización del drenaje kárstico. Se deduce una escasa capacidad autorreguladora del acuífero, por lo que se considera de tipo kárstico en sentido estricto. Hay que recordar aquí lo comentado respecto a la posible continuidad de las calizas en profundidad, lo que incidiría en el interés de sus reservas y en un cierto carácter de semiconfinamiento.

En **Zubialde** la dirección del flujo es única, hacia el SE donde se encuentran los principales puntos de descarga, en el borde de los afloramientos y asociados a fallas: las surgencias Gorbea. Además de estas surgencias, y algunas otras de exiguo caudal, hay que destacar el drenaje directo al cauce del río Zubialde, con un comportamiento similar al ya comentado para el Bayas. Hay que comentar también la posibilidad, sin datos que la concreten, de que exista relación hidráulica, de influencia o de efluencia, entre las calizas y el afloramiento coluvial situado en la parte Norte de este sector.

Algunos aforos realizados en el río Zubialde muestran valores de caudal específico en estiaje de 2 l/s/km$^2$, inferiores a los del Bayas (3 l/s/km$^2$) para el mismo momento.

A pesar de no contar con series de caudales se puede pensar que el funcionamiento de esta subunidad es del tipo kárstico en sentido estricto, similar a lo establecido antes para Itxina y Aldamin. A favor de esto estaría la variabilidad de caudales observada en las surgencias más importantes, así como el notable desarrollo de cavidades. Al igual que para el caso de Aldamin, también aquí podrían tener interés las reservas donde las calizas continuasen en profundidad.

**Arralde** es la más oriental de las subunidades individualizadas. El drenaje es convergente hacia el río Undebe. Asociadas a este río se sitúan las principales surgencias: Leixakorta y Atxurdin. Además, hay que considerar las descargas directas al cauce. En un estudio reciente se da un valor de 1 l/s/km$^2$ como representativo del caudal específico en estiaje de la cuenca del Undebe hasta su salida de las calizas. Este valor es el más bajo de los aportados para las cabeceras de las cuencas consideradas en la unidad.

A pesar de los escasos datos disponibles se puede considerar que el acuífero asociado a este sector es de tipo kárstico en sentido estricto. Al igual que en casos anteriores, habría que comentar el interés hidrogeológico que tendría la continuidad de las calizas en profundidad. Por otro lado, cabe la posibilidad de la existencia de flujos procedentes del coluvial situado al noreste del monte Gorbea y que podrían alimentar localmente a las calizas de Arralde, y con mayor seguridad al propio río Undebe.

En lo que se refiere a parámetros hidrogeológicos, ningún dato aparece en los estudios existentes, habida cuenta de la inexistencia de cualquier tipo de investigación complementaria (sondeos, ensayos de bombeo, geofísica, etc.) realizada en esta unidad.

*BALANCE HIDRICO*

Para cada una de las cuatro subunidades diferenciadas se ha ajustado el balance hídrico a partir de la información foronómica existente y de las precipitaciones aportadas tanto por la estación de Gorbea, ubicada en el interior de la unidad, como por otras limítrofes (Murua, Otxandio).

**Subunidad Itxina.** Se considera una precipitación anual media del orden de 1.900 mm. La evapotranspiración real calculada mediante fórmula (Turc) proporciona un valor del 32% de la precipitación, lo que supone un 68% de infiltración habida cuenta de que la escorrentía superficial se puede considerar nula en toda la extensión del macizo. Cálculos hechos a partir de los contenidos en cloruros de las aguas de lluvia y de los manantiales dieron un 70%.

La descarga de estos recursos se da fundamentalmente por Aldabide, que con un caudal medio de 230 l/s drena anualmente 7,25 Hm$^3$. El resto, 0,55 Hm$^3$ sería drenado por las surgencias de Urrekuetxumun y Aitziturri fundamentalmente. En resumen este es el balance anual medio:

| | |
|---|---|
| Superficie = | 6 km$^2$ |
| Precipitación = | 1.900 mm |
| Infiltración (68%) = | 1.300 mm |
| Recursos = | 7,8 Hm$^3$ |
| Descarga = | Aldabide (7,25 Hm$^3$) |
| | Resto (0,55 Hm$^3$) |

**Subunidad Aldamin.** Se ha tomado una precipitación media del orden de 2.000 mm. Las salidas controladas en la estación de Azoleta (río Bayas) suponen una descarga anual de 6,5 Hm$^3$, e incluyen la descarga de las principales surgencias: Ubegi, con 3,8 Hm$^3$, y Lapurzulo, con descarga estimada de 0,5 Hm$^3$. El resto, 2,2 Hm$^3$, correspondería a aportes directos al cauce, tanto superficiales como subterráneos.

Como se ha comentado, existe drenaje desde las calizas al propio río Bayas aguas abajo de las mismas, posiblemente a través de niveles areniscosos de la formación detrítica suprayacente. Aunque no hay datos al respecto se podría estimar en 1,5 Hm$^3$ anuales este aporte, lo cual

daría un total de 8 $Hm^3$ como valor probable de los recursos totales. Admitiendo esta estimación resultaría una lluvia útil del orden del 69% de la precipitación, equivalente a unos 1.370 mm. La infiltración se puede estimar en un 80-90% de ese valor, es decir unos 1.150 mm. El balance medio anual estimado es el siguiente:

| | |
|---|---|
| Superficie = | 5,8 $km^2$ |
| Precipitación = | 2.000 mm |
| Lluvia útil (68%) = | 1.370 mm |
| Infiltración = | 1.150 mm |
| Recursos = | 6,7 $Hm^3$ |
| Descarga = | Río Bayas en calizas (5,2 $Hm^3$) |
| | Río Bayas en detríticos (1,5 $Hm^3$) |

**Subunidad Zubialde**. Se considera una precipitación anual media de 1.700 mm, ya que se llega a cotas bajas de unos 700 m. La lluvia útil resultante alcanza el 60%, 1.020 mm, de los cuales se considera que se infiltra el 70%. Para un área de 3,2 $km^2$ resultan unos recursos subterráneos anuales de 2,3 $Hm^3$, que pueden corresponderse a los volúmenes drenados fundamentalmente por las surgencias Gorbea y Artzegi, además de lo aportado directamente al propio río Zubialde.

| | |
|---|---|
| Superficie = | 3,2 $km^2$ |
| Precipitación = | 1.700 mm |
| Infiltración (42%) = | 714 mm |
| Recursos = | 2,3 $Hm^3$ |
| Descarga = | Surgencias + río Zubialde |

**Subunidad Arralde.** Se consideran los mismos datos que para Itxina, es decir, precipitación de 1.900 mm y 1.300 mm de lluvia útil. Admitiendo un coeficiente de infiltración del 50% resultan unos recursos, para un área de 4 $km^2$, de 2,6 $Hm^3$. Las descargas se dan por las surgencias Leixakorta y Atxurdin, además de los aportes directos al río Undebe.

| | |
|---|---|
| Superficie = | 4 $km^2$ |
| Precipitación = | 1.900 mm |
| Infiltración (34%) = | 650 mm |
| Recursos = | 2,6 $Hm^3$ |
| Descarga = | Surgencias + río Undebe |

Como resumen global, las cuatro subunidades diferenciadas en la unidad ocupan una superficie de 19 $km^2$ y presentan unos recursos anuales medios estimados en 19,4 $Hm^3$.

Para el resto de áreas, los balances realizados a partir de los caudales registrados en estaciones de aforos en ríos periféricos (Gallartu, en la parte Norte de la unidad) dan valores para la lluvia útil del orden del 50% de la precipitación. El reparto entre escorrentía superficial y subterránea varía logicamente en función de las litologías presentes.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Se cuenta con varios análisis químicos, relativos a los elementos mayoritarios, correspondientes a las surgencias más significativas de la unidad, y a algunos de los tramos de cabecera de los ríos asociados. También se cuenta con una docena de análisis de las aguas de lluvia recogidas en el pluviógrafo de Gorbea.

En lo que a estas últimas se refiere se procedió a un análisis mensual durante el período 1984-85. Los valores medios resultantes, en mg/l, fueron: cloruros 3,75, sulfatos 5,8, bicarbonatos 16,2, nitratos 1,24, sodio 1,8, magnesio 0,26, calcio 4,8, potasio 0,43. La conductividad eléctrica es baja, inferior a 100 µS/cm. De todas formas, las variaciones estaciones de las concentraciones son importantes. Los mayores contenidos se encuentran en las lluvias estivales. El quimismo de las aguas de lluvia vale de referencia a la hora de interpretar el quimismo, y sus variaciones, de las aguas en los puntos de descarga.

Las aguas drenadas en los diferentes sectores carbonatados de la unidad presentan una clara facies bicarbonatada cálcica, baja mineralización, inferior por lo general a los 250 mg/l, y conductividades menores de 300 µS/cm. La escasa mineralización, unida a los bajos contenidos en los elementos de origen meteórico (cloruros, sobre todo), es indicativa de tránsitos rápidos entre las zonas de recarga y las de descarga, explicable por la intensa karstificación a la que han sido sometidas estas formaciones carbonatadas.

Por otra parte, hay poca variación espacial en el carácter físico-químico de las aguas que drenan las calizas. Tomando las de la Subunidad Itxina como representativas, los contenidos medios, expresados en intervalos de mg/l, son: cloruros 5-10, sulfatos 7-12, bicarbonatos 110-140, nitratos 0-5, sodio 2-5, magnesio 0,5-3, calcio 35-50, potasio 0-1. La conductividad oscila entre 120 y 200 µS/cm y la temperatura entre 7 y 10°C dependiendo de la altitud del área de alimentación y del punto de surgencia. Las aguas de Itxina, Aldamin y Zubialde presentan un quimismo similar, mientras que en las de Arralde

la mineralización suele ser algo mayor, debido a un menor desarrollo de la karstificación, aunque por lo general dentro de los intervalos citados.

En algunas de las principales zonas de descarga (Aldabide, Leixakorta, río Zubialde, río Bayas) se cuenta con varios análisis que permiten conocer la evolución temporal del quimismo y su relación con los caudales. Así, se pone de manifiesto un descenso de la mineralización con el aumento de caudal, que es comprensible por el tránsito rápido hacia los puntos de descarga, a través de redes kársticas bien desarrolladas, de las aguas de lluvia. En los periodos de estiaje se aprecia un incremento de los contenidos, pero siempre dentro de un bajo grado de mineralización global.

Respecto a las aguas de los sectores no carbonatados existen varios análisis y determinaciones in situ, sobre todo en las cabeceras de los arroyos que drenan la unidad. Se evidencia que las aguas que drenan las formaciones detríticas del complejo Urgoniano y del Purbeck-Weald hacia los arroyos de la vertiente oriental (cuenca del río Arratia) presentan mineralizaciones que alcanzan valores de 300-450 mg/l, con neta facies bicarbonatada cálcica. Similar caracter presentan las aguas drenadas hacia el Norte, fuera ya de los límites establecidos para la unidad, donde se sitúa el arroyo Zeberio, afluente del Nervión.

Las aguas drenadas por los materiales detríticos del complejo Supraurgoniano hacia la vertiente occidental (arroyo Arnauri, dentro de los límites de la unidad, y río Altube, más hacia el Oeste) presentan mineralizaciones menores, con valores que normalmente no pasan de 250 mg/l, también con neto carácter bicarbonatado cálcico. Similar comportamiento presentan las aguas drenadas por esos mismos materiales hacia la vertiente Sur (ríos Bayas, Zubialde y Undebe).

En la figura 4 se representan en diagrama de Piper los análisis correspondientes a las aguas de los arroyos que drenan la unidad. Se observa el carácter bicarbonatado cálcico generalizado, aunque con presencia puntual de aguas de diferente facies no directamente relacionadas con la unidad. Así, en la cabecera del río Altube, vertiente occidental, y en la de los arroyos Astuieta y Arzuaga, vertiente oriental, hay aguas con facies sulfatada cálcica. En ambos casos están en relación con yesos. Las conductividades pueden superar los 1.000 µS/cm, aunque aguas abajo se va produciendo disminución en la medida que se incorporan aguas de menor mineralización no relacionadas con los yesos. Análisis efectuados, en estiaje, en estas aguas dan los siguientes resultados, en intervalos de mg/l: cloruros 10-14, sulfatos 320-660, bicarbonatos 190-220, sodio 10-11, magnesio 18-33, calcio 170-290, potasio 1-2. La conductividad eléctrica oscila entre 850 y 1.350 µS/cm.

En los materiales detríticos es frecuente la aparición de manantiales de muy escaso caudal, inferior a 1 l/s, pero bastante constante, y de caracter ferruginoso. Son las llamadas *metalurak* (aguas de metal) o *iturrigorri* (fuente roja), asociadas por lo general a la oxidación de sulfuros en la capa edáfica. La mineralización es mayor, alcanzando los 350-450 mg/l, con contenidos más altos en sulfatos, pero manteniendo la facies bicarbonatada cálcica.

En estos mismos materiales son también dignos de mención algunos manantiales de muy escaso caudal, inferior a 0,25 l/s aunque constante, cuyas aguas son sulfurosas, conocidas como *uratsak* debido a su fuerte olor a podrido. Se localizan por todas las vertientes de la unidad, sobre todo en la cuenca del Arratia, y parecen estar relacionadas con accidentes tectónicos de importancia, aunque también suelen localizarse cerca de lutitas muy negras, carbonosas. Normalmente presentan temperaturas altas, entre 17 y 30°C, conductividades que alcanza los 2.200 µS/cm y una clara facies sulfatada cálcica.

En cuanto a los análisis de aguas de surgencias asociadas a las diferentes formaciones aflorantes en la unidad (figura 4), se aprecia el carácter bicarbonatado cálcico de las aguas ligadas a las calizas arrecifales. Igual carácter, aunque con mayores contenidos en sulfatos, presentan las aguas ligadas a los materiales detríticos. Se aprecia también la situación de las aguas sulfurosas (*uratsak*) comentadas, con neta facies sulfatada cálcica.

Respecto a la calidad de las aguas de la unidad, tanto superficiales como subterráneas, ésta es buena, cumpliendo generalmente los criterios de aptitud para el consumo, al menos en lo que se refiere a los constituyentes mayoritarios, los únicos usualmente determinados en los análisis. No hay datos sobre la calidad bacteriológica.

La buena calidad generalizada de estas aguas es lógica habida cuenta de la no existencia de focos contaminantes permanentes.

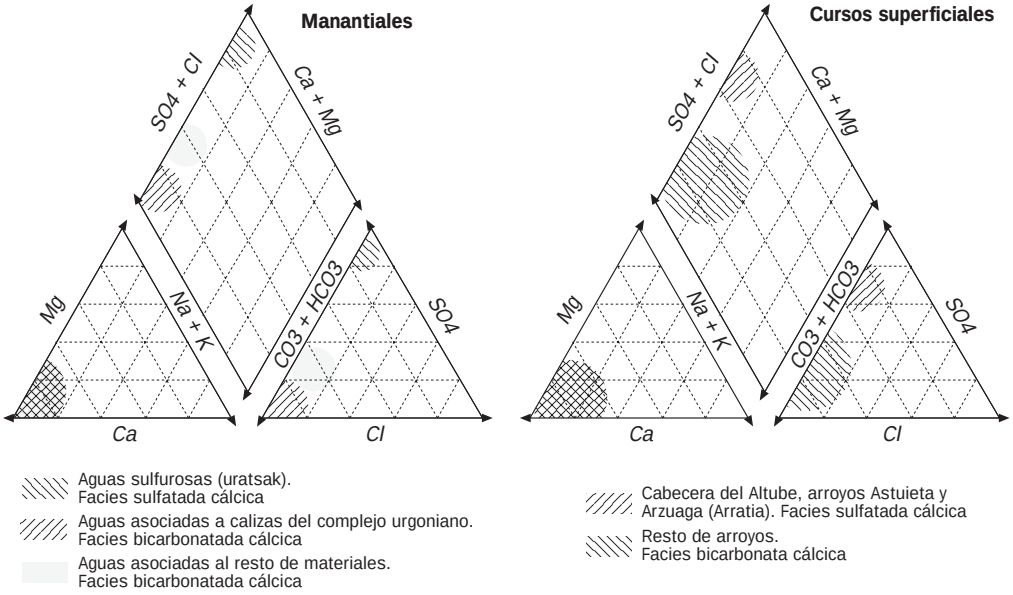



Figura 4. Diagramas de Piper de muestras representativas.

Los núcleos habitados (Urigoiti y Ubidea) están en los límites de la unidad y a cotas bajas. En el interior hay que considerar como focos puntuales los depósitos de residuos procedentes de refugios, que en ocasiones han venido utilizando dolinas a tal fín. Aunque esta práctica va desapareciendo, estos focos pueden localmente incidir en la calidad bacteriológica de las aguas. Igual incidencia tiene la actividad ganadera, en este caso de tipo disperso, no suponiendo, con los datos actuales, una alteración significativa de la calidad natural de las aguas.

El grado de vulnerabilidad a las aguas está en relación con la permeabilidad del medio, de manera que son las formaciones carbonatadas urgonianas las más vulnerables al impacto sobre la calidad de los recursos hídricos. Las condiciones orográficas y la ordenación del medio en estos terrenos calcáreos, regulada por la declaración del Parque Natural del Gorbea, son una salvaguarda de la calidad de esas aguas.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

Como se ha comentado, no se ha dado en esta unidad la investigación complementaria hidrogeológica usual en otras unidades: sondeos, ensayos de bombeo, geofísica, por lo cual no existen datos de los parámetros hidrogeológicos habituales. La única técnica a mencionar es el uso de trazadores por parte de grupos de espeleología. Hay un trazado referenciado que supuso la inyección en Abril de 1967 en el sumidero de la campa de Arraba (1.060 m) de 3 kilos de fluoresceina sódica que después de 60 horas coloreó las aguas de la surgencia de Aldabide (750 m y 100 l/s) situada a una distancia de 3.250 m. La velocidad deducida fué de 54 m/h.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

El único aprovechamiento que actualmente se hace de algunas de las surgencias de esta unidad es una captación directa de parte de las descargas, sin ningún tipo de regulación artificial de los recursos hídricos subterráneos. Dejando al margen las tomas de algunas surgencias de escaso interés por parte de los refugios del área, la única surgencia directamente captada en el sector de Itxina es Aldabide, de la cual el Ayuntamiento de Orozko deriva temporalmente un pequeño caudal, algunos pocos l/s, que no llega a secar el arroyo que la surgencia origina.

En la Subunidad Aldamin no hay tomas directas de las surgencias, aunque sus aguas sí son captadas aguas abajo en varios puntos del río Bayas. En Zubialde las surgencias importantes están parcialmente captadas para el abastecimiento, mientras que los aportes al río Zubialde están regulados por el pantano del Gorbea, que deriva parte de las aguas reguladas hacia el embalse Urrunaga perteneciente al Sistema Zadorra; otra parte sirve al abastecimiento de núcleos próximos. En Arralde, las principales surgencias están parcialmente

captadas para Ubidea; los aportes al río Undebe van a parar finalmente al embalse Urrunaga.

Mayor aprovechamiento tienen las aguas superficiales. En efecto, las tomas en arroyos, antes de su conexión con los ríos principales, son frecuentes por todas las vertientes, usualmente para el abastecimiento de pequeños núcleos rurales, grupos de caseríos, pero incluso también para el de núcleos urbanos, en estos casos como complemento, a veces temporal, de otras fuentes de abastecimiento. Así, Laudio y Orozko tienen tomas en la cuenca del Arnauri, al noroeste del área; Amurrio en arroyos de la vertiente occidental; Zeberio en la septentrional; Zeanuri en la oriental; Murgia, entre otros, en la meridional.

Por último, además del embalse del Gorbea existe una pequeña presa de regulación en Lanbreabe, justo al Este de la campa de Arraba, para cubrir las necesidades de una central hidroeléctrica situada aguas abajo. Es ésta la única central directamente relacionada con las aguas de la unidad, ya que la de Undurraga, situada más al Este que la anterior, fuera ya del área considerada, utiliza las aguas procedentes del embalse Urrunaga (cuenca del Ebro), que posteriormente son canalizadas para el abastecimiento del Gran Bilbao.

En épocas pasadas hubo más tomas de agua para producción eléctrica, hoy totalmente abandonadas. Cabe citar como más espectacular, la toma de la propia surgencia Aldabide y su canalización, de varios kilómetros, por toda la ladera de la cuenca del Arnauri.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

GEV (1971). Observaciones preliminares sobre el Macizo kárstico de Itxina (Macizo del Gorbea).

SAENZ DE ETXENIQUE, F. (1980). Estudio hidrogeológico de la cuenca alta del río Nervión. (Tesis de Licenciatura. UPV-EHU).

GEV (1983). Aportación de datos para el conocimiento del karst de Gorbea.

GEV (1984). Aportación de datos para el conocimiento del karst de Gorbea (continuación).

GEV (1985). Bizkaiko haitzuloen katalogoa-Catálogo de cuevas de Vizcaya.

ANTIGUEDAD, I. (1986).- Estudio Hidrogeológico de la Cuenca del Nervión-Ibaizabal: Contribución a la investigación de los sistemas acuíferos kársticos. (Tesis de Doctorado. UPV-EHU).

GV (1986). Estudio de ordenación del Macizo de Gorbea. (ARANZADI).

EVE (1992). Estudio hidrogeológico de Itxina. (INGEMISA).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Aitziturri | 514852 | 4767605 | 940 | 10-100 | |
| Lapurzulo | 515350 | 4765300 | 895 | 15 | |
| Ubegi | 516280 | 4766100 | 975 | 10-100 | |
| Leixakorta | 520905 | 4765100 | 740 | 30 | Abastecimiento de Ubidea |
| Artzegi | 520220 | 4762900 | 795 | 1-10 | Abastecimiento de Vitoria-Gasteiz y Zigoitia |
| Gorbea | 520830 | 4761830 | 695 | 1-10 | Abastecimiento de Vitoria-Gasteiz y Zigoitia |
| Aldabide | 514675 | 4770125 | 785 | 230 | Abastecimiento de Orozko |
| Urrekuetxumun | 514100 | 4768800 | 820 | 1-10 | |
| Pagomakurre | 517020 | 4769570 | 895 | 1-10 | |
| Atxurdin | 521600 | 4763800 | 670 | 2 | |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA AIZKORRI

## GENERALIDADES

Está situada en la sierra de Aizkorri. Se trata de un macizo kárstico situado entre los territorios históricos de Gipuzkoa y Alava. Forma parte de la divisoria de aguas entre el Cantábrico y el Mediterráneo y en la zona están las cabeceras de los ríos Deba, Urola y Oria (vertiente cantábrica), Zadorra, y Arakil o Amezaga (vertiente mediterránea).

Está integrada en el Dominio Hidrogeológico Anticlinorio Sur (figura 1).




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

## GEOLOGIA

La estructura de los materiales que forman la unidad sigue la dirección general de la Cuenca Vasco-Cantábrica (NO-SE). Se disponen formando el anticlinal de Aizkorri, que está cortado hacia el N por la falla de Bilbao (NO-SE) y por la falla de Urkulu (E-O). Debido a ello, hacia el Oeste de la zona sólo aparece el flanco Sur del anticlinal. En el extremo NO de la zona, la dirección general de la estructura está modificada por el sinclinal de Araotz y las capas giran hasta disponerse con dirección N-S. En la parte SE de la zona se encuentra el cierre del anticlinal de Aizkorri, que se encuentra muy fracturado.

Los materiales que se encuentran en la zona son de edad comprendida entre el Cretácico inferior y el Cenomaniense, con excepción de las arcillas y yesos del Keuper (10), que se encuentran en un afloramiento ligado a la falla de Bilbao situado en la cabecera del arroyo de Ubao, y los materiales cuaternarios. Los materiales Cretácicos que afloran en la zona se describen en orden de edad:

**Facies Purbeck.** Lutitas negras con pirita intercalados con bancos de areniscas y calizas (31), que afloran en el núcleo del anticlinal de Aizkorri y al Norte de la falla de Urkulu. Son materiales de muy baja permeabilidad.

**Urgoniano.** Areniscas de grano fino y limolitas calcáreas (38), se disponen sobre (31) y afloran en el núcleo del anticlinal de Aizkorri y al Sur de la falla de Urkulu. Son materiales de baja permeabilidad.

Calizas arrecifales (40), alternancia de calizas y margas (41) y brechas calcáreas con matriz carbonatada (51). Se disponen sobre (38). Son frecuentes los cambios de facies entre los mismos, y afloran en 3 conjuntos: el afloramiento continuo de gran extensión en el flanco Sur del anticlinal de Aizkorri, los pequeños afloramientos situados en el flanco Norte del cierre del anticlinal y el afloramiento de forma alargada situado al SE de la zona. Este último afloramiento es de edad superior a los anteriores y aparece intercalado entre materiales supraurgonianos. Los materiales (40, 51) son de permeabilidad alta y los (41) de media.

Margas y margocalizas (47). Se disponen en cambios de facies con los materiales (40, 41, 51). Al Oeste de la zona, en Kurutzeberri se encuentran además areniscas y limolitas (54) en cambio de facies con calizas (40). Las margas (47) son de permeabilidad baja, mientras que a las areniscas (54) se les ha asignado una permeabilidad media.

**Supraurgoniano.** Lutitas (56), areniscas y lutitas (57, 128), y areniscas, conglomerados y lutitas (58, 130). Afloran en el flanco Sur en las sierras de Urkilla y Elgea, y al Norte de la falla de Bilbao. Entre estos materiales se encuentran intercalaciones de calizas (40, 51) y margas (60). Los conglomerados y areniscas son de permeabi-

lidad media y las lutitas de muy baja. Sobre estos materiales se encuentran margas y lutitas (63, 131) de edad Cenomaniense superior, que son de baja y muy baja permeabilidad.

**Cuaternario.** Los materiales cuaternarios de la zona son relativamente importantes en extensión. Principalmente son coluviones (198, 199, 201) y rellenos de depresiones kársticas (200). Los coluviones son calcáreos en el borde Norte de la sierra de Aizkorri, al Oeste de Kurutzeberri y al SE de la zona, mientras que son areniscosos en el flanco Sur de las sierras de Urkilla y Elgea. Son materiales de alta permeabilidad.

## HIDROGEOLOGIA

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

La superficie total de los materiales carbonatados que forman la unidad es de 54,6 km$^2$, de ellos 43,9 km$^2$ son calizas y 10,7 km$^2$ alternancia de calizas y margas. El afloramiento está claramente dividido en 2 sectores importantes Aizkorri (51 km$^2$) y Egino situado al SE (3,6 km$^2$). Los materiales carbonatados están en contacto con materiales urgonianos, supraurgonianos o de facies Purbeck de permeabilidad baja o media. Las calizas reciben además las aportaciones laterales de cuencas de baja permeabilidad con una superficie total de 38,6 km$^2$. Es frecuente en la zona la presencia de dolinas y de cuencas kársticas cerradas, la mayor de ellas es la de Urbia-Oltza. El relieve es abrupto. La cota más alta es la cima de Aizkorri o Aitzgorri (1.528 m), y la más baja es el río Arantzazu aguas abajo de la presa de Jaturabe (280 m).

El espesor de las calizas es variable. Los mayores espesores se encuentran en la zona central (2.000 m), disminuyendo tanto hacia el NE como hacia el SO, en la zona de Araia el espesor es de unos 1.000 m. En Egino de unos 600 m. En los afloramientos dispersos del flanco Norte del anticlinal, el espesor de las calizas es menor de 100 m.

*ZONAS DE RECARGA. PUNTOS DE DESCARGA*

La zona de recarga de la unidad está formada por los afloramientos de calizas urgonianas y por las cuencas situadas sobre materiales de baja permeabilidad que vierten hacia ellas.

Los manantiales más importantes en la parte de Aizkorri son, con un caudal superior a 100 l/s: **Araia**, **Jaturabe**, **Iritegi**, **Saratxo** y **Ubao**. Con caudales algo inferiores están **Urbaltza**, **Anarri** y **Arantzazu**. Existe, además, otro número significativo de pequeños manantiales dispersos a lo largo de la unidad.

En la parte de Egino todos los manantiales están situados al Sur del acuífero. El más importante es **La Lece**, aunque hay otros manantiales menores.

Durante los años 1986-87 se hicieron varios aforos en los manantiales principales de la zona. Durante ese período y posteriormente en algunos manantiales el registro se llevó de forma continua en estaciones de aforo dotadas de limnígrafo. En el cuadro 1 se resumen los caudales medios registrados en éstos manantiales y en el río Arantzazu.

Datos de los aforos realizados entre Agosto-86 y Mayo-87.

| | La Lece | Araia | Anarri | Urbaltza | Ubao | Iritegi | Saratxo | Arantzazu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Media | 111 | 702 | 45 | 93 | 164 | 800 | 228 | 2130 |
| Mediana | 38 | 347 | 36 | 35 | 65 | 188 | 83 | 882 |
| Mínimo | 3 | 90 | 12 | 10 | 30 | 20 | 30 | 100 |
| Máximo | 800 | 2983 | 216 | 500 | 992 | 5000 | 1150 | 12760 |

Datos de limnigramas entre Noviembre-86 y Mayo-1987. En Araia, Junio-87 y Diciembre-91. En La Lece, Agosto-88 y Enero-90.

| | La Lece | Araia | Anarri | Ubao | Iritegi | Arantzazu |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Media | 52 | 502 | 89 | 317 | 516 | 2780 |
| Mediana | 10 | 190 | 69 | 174 | 492 | 1778 |
| Mínimo | 2 | 52 | 23 | 55 | 68 | 117 |
| Máximo | 1338 | 3495 | 559 | 3162 | 968 (*) | 24173 |

Cuadro 1. Resumen de los caudales aforados. Datos en l/s. (*) Capacidad máxima de la estación 1000 l/s.

En la figura 2 se muestra la variación de caudales de los manantiales Araia y La Lece.

*SUBUNIDADES*

Los puntos de descarga definen las subunidades de la unidad. Para la delimitación de las zonas de recarga de los manantiales se han utilizado criterios geológicos, datos de trazadores, datos de aportaciones y de aforos. Las subunidades de la parte de Aizkorri son ocho: Araia, Jaturabe, Iritegi, Saratxo, Ubao, Urbaltza, Anarri y Arantzazu. En la parte de Egino se considera que el conjunto del afloramiento forma una subunidad única. Cada subunidad está formada por calizas de permeabilidad media o alta y de cuencas de baja permeabilidad que drenan hacia las calizas.

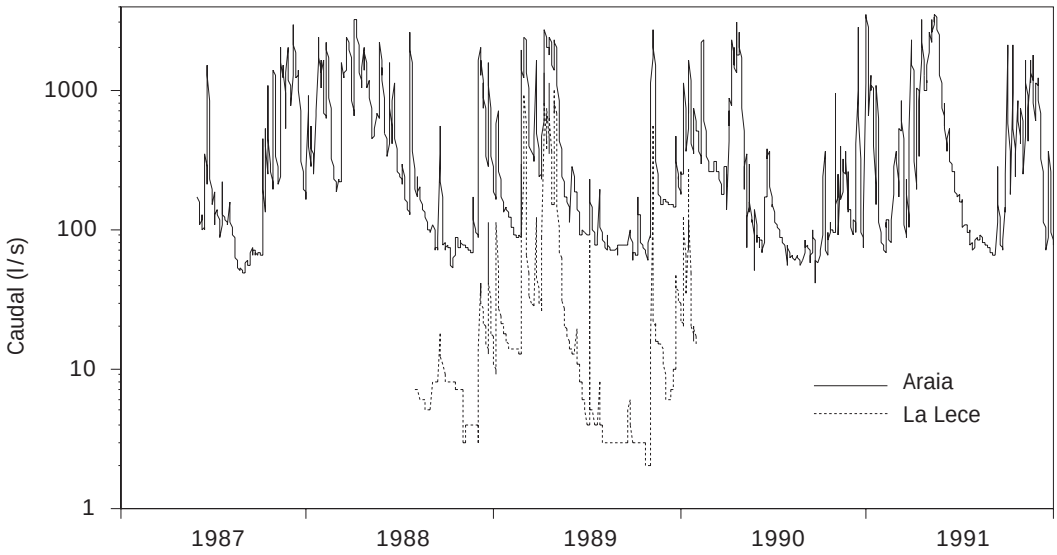



Figura 2. Hidrogramas de los manantiales Araia y La Lece.

La extensión de éstas en función del manantial hacia el que drenan es:

0,53 km$^2$ a las praderas de Urbia que descargan en el manantial Araia.
21,84 km$^2$ a la Subunidad Jaturabe, cuya descarga se produce por el manantial del mismo nombre.
1,24 km$^2$ a la cuenca N que alimenta el manantial Iritegi.
1,86 km$^2$ al sumidero de Alabita, que descarga en Saratxo.
3,20 km$^2$ de la Hoya de la Lece, que drenan al manantial del mismo nombre.
1,92 km$^2$ divididos en 2 cuencas, que drenan hacia la Subunidad Egino.

En la figura 3 se ha esquematizado la disposición de las subunidades, además de otros datos de interés.

Además de los acuíferos carbonatados de Aizkorri y de Egino hay otros materiales en la zona con permeabilidad media que tienen cierto interés hidrogeológico: las areniscas de Urkilla y los coluviones cuaternarios.

**Areniscas de Urkilla.** La mayoría afloran en la vertiente Sur de la Sierra de Urkilla. Su drenaje, que se realiza de forma difusa a lo largo de los arroyos, se dirige hacia las cuencas del Zadorra y del Arakil. Los afloramientos en la vertiente Norte drenan hacia las áreas de recarga de las Subunidades Saratxo, Jaturabe y Araia, a través de la depresión de Urbia.

**Coluviones cuaternarios.** Aunque ocupan una extensión importante y la permeabilidad de estos materiales es alta, el papel que juegan en el funcionamiento hidrogeológico de la unidad no es relevante, dada la disposición que ocupan y su escaso poder regulador.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. PARAMETROS*

Para establecer el modelo de funcionamiento de la unidad la información disponible ha sido:

- Relación precipitaciones (recarga)-caudales (descarga)
- Datos de ensayos de bombeo
- Evolución de datos hidroquímicos (figura 4)
- Estructura geológica del acuífero
- Ensayos con trazadores
- Exploración espeleológica
- Estudios geofísicos

La recarga proviene de la infiltración de la lluvia, eventualmente en forma de nieve, y de la escorrentía superficial originada en cuencas de baja permeabilidad que vierten a los materiales carbonatados, infiltrándose en sumideros. La descarga se realiza a favor de manantiales.

La importante karstificación superficial y la existencia de cuencas endorreicas facilita una elevada infiltración. Sin embargo, dado lo abrupto del relieve, el componente de escorrentía superficial puede ser significativo. El agua de recarga accede al interior del macizo a través de la zona

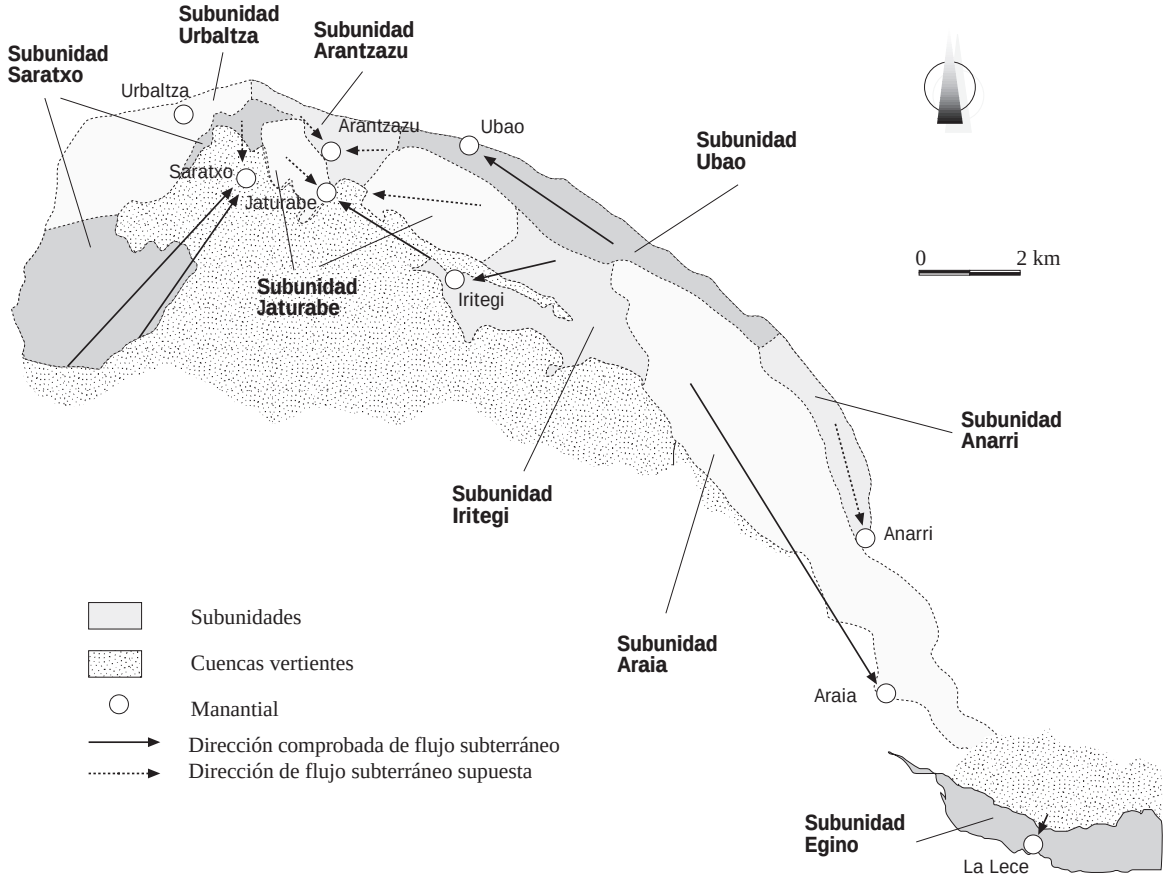



Figura 3. Esquema de subunidades.

no saturada con predominio de la permeabilidad vertical. Al acceder a la zona saturada, en la que previsiblemente se producen grandes oscilaciones de nivel, el agua circula hacia los manantiales, predominando la componente horizontal de la permeabilidad. El régimen de los manantiales tiene grandes oscilaciones de caudal, con respuestas rápidas a las precipitaciones y con agotamientos que se inician poco tiempo después de finalizada la recarga.

Los manantiales están en el contacto del macizo carbonatado con materiales de baja permeabilidad, en las cotas topográficas más bajas de éste contacto, salvo en los manantiales Saratxo y Anarri, en los que las surgencias están relacionadas con fallas. Los cambios de facies, sobre todo la alternancia de calizas y margas, y la tectónica establecen una irregularidad en la morfología y estructura interna del macizo, que es la causa de la existencia de varias zonas de descarga significativas, así como la existencia de pequeños manantiales a cotas más altas que los principales.

Los ensayos de bombeo realizados corresponden a los sondeos Urkilla y Araia. Los datos obtenidos, aún siendo los únicos disponibles, no pueden considerarse representativos del conjunto de la unidad por tratarse de sondeos que pueden calificarse de negativos.

El acuífero es de tipo kárstico en sentido estricto. Consiste en una masa rocosa de permeabilidad relativamente baja, tal como indican los ensayos de bombeo y el estudio geofísico, atravesada por una red de conductos originados por fracturación y karstificación, que posiblemente está jerarquizada, y por la que el agua circula a alta velocidad hacia los manantiales, tal como indican los ensayos de trazadores. La red de conductos se alimenta tanto de la masa rocosa (circulación lenta) como de agua de infiltración rápida.

En general los acuíferos son libres con la excepción de la Subunidad Saratxo que se encuentra confinada por materiales margosos (47) de baja permeabilidad.

Los datos hidroquímicos indican la influencia de las aportaciones de cuencas de baja permeabilidad en los manantiales Iritegi, Jaturabe y La Lece. También indican la conexión entre los manantiales Iritegi y Jaturabe. En cuanto al funcionamiento interno, se observa un vaciado de reservas por las primeras precipitaciones invernales (Noviembre-Febrero), teniendo las aguas de los manantiales después de este período características químicas distintas a las del estiaje.

*BALANCE HIDRICO*

Debido a la falta de un control temporal amplio de la mayoría de los manantiales, es difícil conocer con exactitud cuáles son los recursos de la unidad, sin embargo pueden estimarse teniendo en cuenta los datos de precipitación (1.600-2.000 mm/año), lluvia útil (750-1.300 mm/año), y las diversas áreas de recarga definidas para cada subunidad (cuadro 2). La única estación meteorológica existente sobre la zona es la de N. S. de Arantzazu, situada a 770 m de altitud.

| Subunidad | Calizas | Cal. i. | C.b.p | I. ac. | I. c.b.p. | Recur1 | Recur2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Araia | 13,5 | 2,1 | 0,5 | 16,3 | 0,5 | 16,8 | 532 |
| Iritegi | 6,0 | 1,2 | 9,3 | 7,2 | 4,6 | 11,8 | 374 |
| Saratxo | 7,6 | 0,0 | 1,9 | 7,9 | 2 | 9,9 | 316 |
| Urbaltza | 1,9 | 3,9 | 0,0 | 5,8 | 0 | 5,8 | 184 |
| Ubao | 4,7 | 0,8 | 0,0 | 6,0 | 0 | 6 | 192 |
| Jaturabe (1) | 3,7 | 1,2 | 21,9 | 4,9 | 10,9 | 15,8 | 501 |
| Anarri | 2,2 | 0,0 | 0,0 | 2,3 | 0 | 2,3 | 73 |
| Arantzazu | 0,7 | 1,3 | 0,0 | 1,9 | 0 | 1,9 | 61 |
| La Lece | 4,0 | 0 | 5,1 | 2,8 | 3,5 | 6,3 | 199 |
| TOTAL | 44,3 | 10,5 | 38,7 | 55,1 | 19,5 | 76,6 | 2428 |

Calizas. (40) ($km^2$)
Cal. i. = calizas impuras (41) ($km^2$)
C.b.p. = Cuencas de Baja Permeabilidad ($km^2$)
I. ac. = Infiltración en el acuífero ($Hm^3$/año)
I. c.b.p. = Infiltración desde cuencas baja permeabilidad ($Hm^3$/año)
(1) Recibe además los recursos de Iritegi, aquí excluidos.
Recur1 = Recurso ($Hm^3$/año)
Recur2 = Recurso (l/s)

Cuadro 2. Balance hídrico.

En resumen, el recurso total evaluado es de 77 $Hm^3$/año.

## HIDROQUIMICA. CALIDAD

La descripción hidroquímica se realiza en base a doce muestras de cada uno de los manantiales principales tomadas entre Agosto de 1986 y Mayo de 1987. En el cuadro 3 se muestran los valores de las medianas de éstos análisis químicos; además se incluyen dos análisis puntuales, uno en un manantial sulfuroso, Fuente Blanca, y otro en uno salino, Gesala. En la figura 4 se muestra la evolución temporal de algunos parámetros químicos en los manantiales principales.

Las aguas de la unidad son, salvo excepciones puntuales, bicarbonatadas cálcicas de escasa mineralización. Las pequeñas diferencias observadas pueden ser debidas a varias causas: diferencias litológicas, tiempos de permanencia, diferencias de altitud de las áreas de recarga, etc. Además de las citadas, tiene gran relevancia la influencia de las aportaciones de las cuencas vertientes de baja permeabilidad. Así, los manantiales Iritegi y Jaturabe son los menos mineralizados probablemente debido a las importantes aportaciones de sus cuencas superficiales. Un análisis del sumidero Bellotza en la cuenca del manantial de Iritegi indica una conductividad de 92 µS/cm. Por otra parte la semejanza en el quimismo entre los dos manantiales indica la conexión entre ambos (la mayor parte del caudal de Jaturabe viene del manantial Iritegi).

| Manantial | Cond. | $HCO_3^-$ | $SO_4^=$ | $Cl^-$ | $NO_3^-$ | $Na^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | C.Tot |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jaturabe | 186 | 104 | 11 | 7 | 0,5 | 3,0 | 36 | 2,0 | 240 |
| Iritegi | 193 | 103 | 9 | 7 | 2,0 | 3,0 | 34 | 2,0 | 460 |
| Araia | 216 | 123 | 7 | 5 | 4,0 | 2,0 | 46 | 1,0 | 14 |
| Anarri | 223 | 132 | 12 | 6 | 1,5 | 2,0 | 47 | 1,0 | 19 |
| Saratxo | 225 | 135 | 5 | 7 | 3,5 | 3,0 | 47 | 1,0 | 4 |
| La Lece | 227 | 117 | 23 | 7 | 2,0 | 3,0 | 46 | 2,0 | 82 |
| Arantzazu | 239 | 134 | 12 | 10 | 5,5 | 3,0 | 51 | 2,5 | 68 |
| Urbaltza | 262 | 144 | 19 | 7 | 7,0 | 2,5 | 56 | 2,0 | 28 |
| Ubao | 265 | 146 | 18 | 7 | 4,0 | 2,0 | 55 | 2,0 | 9 |
| Fte. Blanca | 1142 | 165 | 569 | 3 | 1,0 | 5,0 | 244 | 25 | |
| Gesala | 106974 | 165 | 3525 | 48998 | 0,0 | 32000 | 1300 | 150 | |

Cuadro 3. Análisis químicos de aguas de la Unidad Aizkorri. Valores en mg/l. Conductividad en µS/cm. C.Tot = Coliformes totales en 100 ml.

El quimismo del manantial La Lece es distinto al del resto. Aunque su conductividad sea similar a la de otros manantiales, su contenido en $HCO_3^-$ es inferior al normal, mientras que el contenido en $SO_4^=$ es superior. La mayor parte del caudal de este manantial procede de la infiltración de un río en el sumidero de La Lece (en su cuenca está el manantial sulfuroso Fuente Blanca). En La Lece se observan las variaciones químicas más acusadas a lo largo del tiempo. Deben estar ligadas a las variaciones químicas del río que se infiltra en la entrada de la cueva/sumidero de La Lece.

Con respecto a las variaciones temporales (figura 4), las conductividades mas altas se registran en el período Octubre-Enero. Ello puede

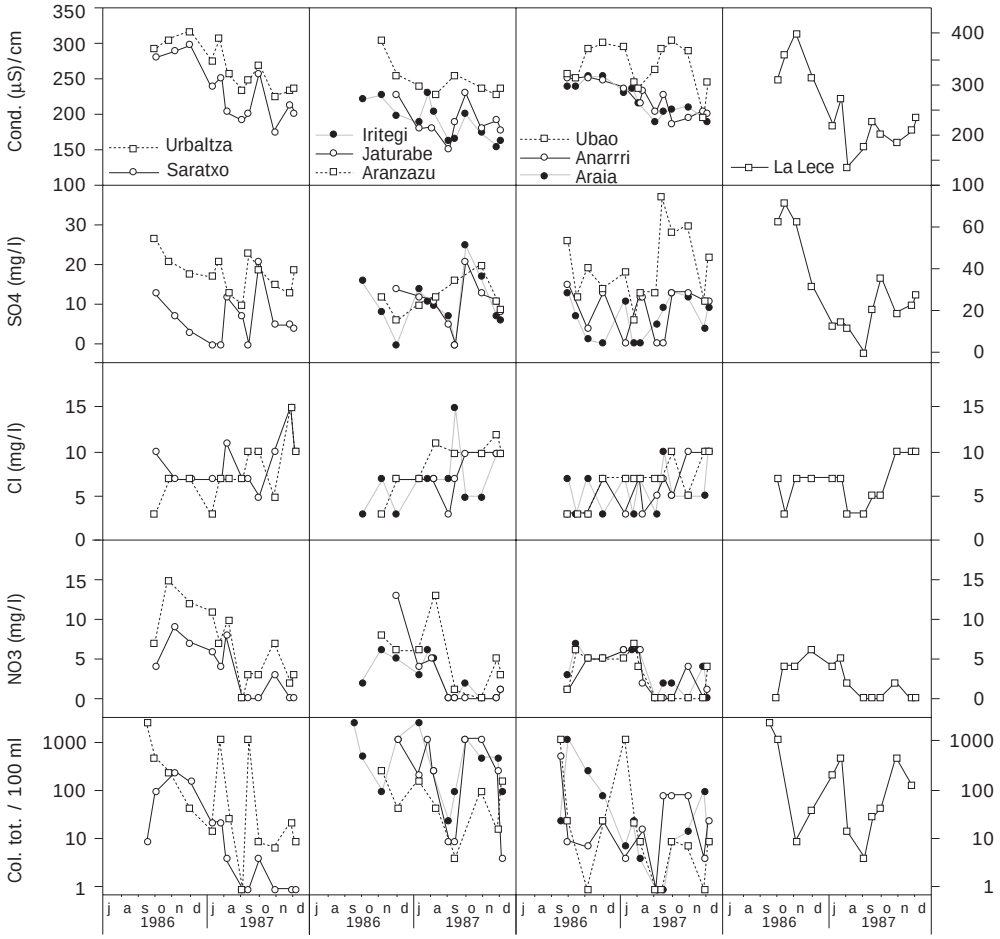



Figura 4. Evolución temporal de parámetros químicos y bacteriológicos. La escala de la derecha se refiere a los parámetros correspondientes a La Lece.

deberse a que las primeras lluvias importantes del invierno desalojan el agua más mineralizada del sistema, por efecto del aumento de carga hidráulica sobre la masa capacitiva de modo que en lluvias posteriores predomina el agua reciente poco mineralizada. Durante el periodo estival el agua retenida en la masa capacitiva se mineraliza progresivamente.

| Manantial | Media | Mediana | Mínima | Máxima |
|---|---|---|---|---|
| ARAIA | 8,1 | 8,0 | 7,0 | 9,2 |
| ANARRI | 8,4 | 8,1 | 7,0 | 10,0 |
| LA LECE | 8,9 | 8,5 | 4,0 | 13,1 |
| IRITEGI | 8,5 | 8,5 | 7,5 | 9,3 |
| UBAO | 8,9 | 9,0 | 8,5 | 9,1 |
| JATURABE | 9,2 | 9,5 | 7,0 | 11,0 |
| SARATXO | 9,6 | 9,8 | 8,8 | 10,0 |
| ARANTZAZU | 10,5 | 10,5 | 10,0 | 11,0 |
| URBALTZA | 10,6 | 10,6 | 10,0 | 11,2 |

Cuadro 4. Temperatura de los manantiales principales (°C).

Respecto a la potabilidad de las aguas hay que señalar que, desde el punto de vista físico-químico, todas las aguas muestreadas son potables, excepto el manantial salino Gesala y el sulfuroso Fuente Blanca. En los análisis efectuados las concentraciones de los metales pesados Fe, Cu, Zn, Mn, Cr y Pb han estado por debajo del límite de detección (0,01 ppm). El contenido de $NH_4^+$ es inferior a 0,05 ppm y el de $NO_2^-$ es inferior a 0,1 ppm excepto en el manantial Fuente Blanca (0,2 ppm). Sin embargo, la presencia de coliformes totales en todos los manantiales indica que hay contaminación bacteriológica, aunque su distribución no es uniforme.

Por lo que a la temperatura de las aguas se refiere, en el período 1986-87 se tomó un dato mensual de temperatura en los manantiales principales. Los datos observados son consistentes con la delimitación de las zonas de recarga y diferencias de altitud entre ellas. Las importantes

variaciones temporales que se dan en los manantiales La Lece y Jaturabe son debidas a que gran parte del agua de estos manantiales viene de la infiltración de cursos superficiales en sumideros.

## INVESTIGACION COMPLEMENTARIA

Además de los datos presentados, otras investigaciones que se han llevado a cabo en la unidad son:

### Ensayos con trazadores

Se han recopilado 10 ensayos realizados en la Unidad Aizkorri. Lo más destacable son las velocidades calculadas, variables entre 28 y 115 m/h. En el ensayo de La Lece la velocidad calculada entre el sumidero y la resurgencia fue de 1.666 m/h.

### Exploración espeleológica

En el macizo de Aizkorri hay numerosas cuevas que han sido objeto de exploración, en el transcurso de las cuales se han llevado a cabo ensayos con trazadores. La información hidrogeológica más interesante que aportan es la confirmación de conexiones entre sumideros y resurgencias. La primera conexión explorada fue la existente entre el sumidero y el manantial La Lece. También se ha comprobado la conexión entre la cueva de Gesaltza (donde se sume el río Arantzazu aguas abajo del manantial Iritegi) y la resurgencia de Jaturabe en la presa Iturralde.

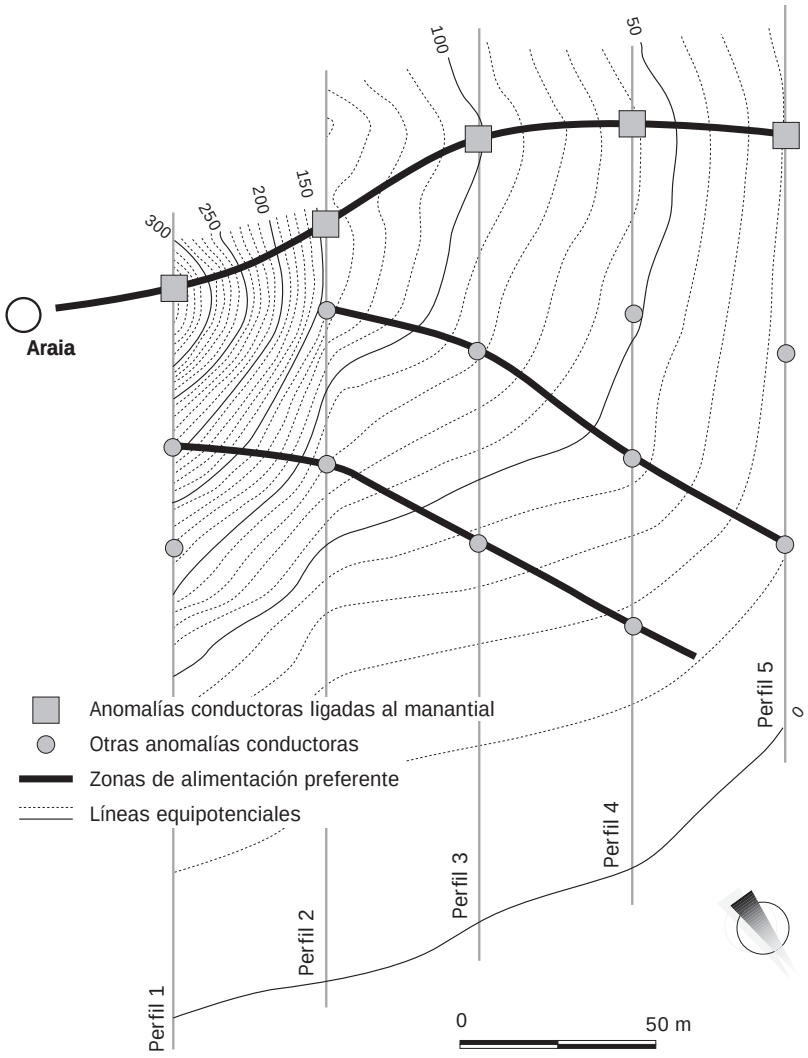



Figura 5. Puesta en masa en el manantial Araia.

**Estudios Geofísicos**

Los estudios geofísicos realizados en la zona han sido: sondeos eléctricos direccionales en el manantial Araia y en el sondeo Ukilla, puesta a masa de los manantiales Araia e Iritegi, sondeos electromagnéticos de dominio de tiempos (SEDT) en la zona del manantial Saratxo.

Lo más importante de éstos estudios ha sido comprobar la existencia de zonas de alimentación preferente de los manantiales, relacionadas con fracturas o zonas más karstificadas, que son detectadas por presentar anomalías conductoras en comparación al resto del terreno.

Es el caso del ensayo realizado en el manantial Araia (figura 5).

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

En esta unidad han sido pocos los intentos de regulación de recursos mediante sondeos. En los efectuados hasta el momento (sondeos Urkilla y Araia), no se han obtenido caudales importantes. En lo que se refiere al aprovechamiento de los manantiales más importantes, dos son los usos principales: abastecimiento urbano y producción hidroeléctrica.

*ABASTECIMIENTO URBANO*

**Urbaltza.** Captado de antiguo para abastecimiento de Arrasate-Mondragon. Actualmente su aportación es regulada por el embalse de Urkulu.

**Ubao.** Captado para abastecimiento de Oñate.

**Anarri.** Las aguas del manantial, que de forma natural van al río Altzania, son trasvasadas parcialmente a la cuenca del Oria, donde son utilizadas para abastecer a Zegama.

**Araia.** El manantial es aprovechado para abastecimiento de las poblaciones de Araia y Salvatierra. Puntualmente es trasvasado al Sistema Zadorra para abastecimiento de Vitoria-Gasteiz y Bilbao.

*APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO*

El aprovechamiento de manantiales para producción hidroeléctrica se viene realizando desde el siglo pasado. En un principio fueron utilizados como fuerza motriz y posteriormente para producción de energía hidroeléctrica. Las instalaciones originales han sido, en su mayoría, renovadas, así como reconstruida la obra civil correspondiente.

De las instalaciones actualmente en uso, destaca la central hidroeléctrica de Olate, de 4.712 kW de potencia instalada, explotada por Oñatiko Ur Jausiak, cuyo abastecimiento procede de la captación de los manantiales Saratxo, Iritegi y Jaturabe, además de la escorrentía superficial del río Araotz, conformando un complejo esquema cuyo resumen se representa en la figura 6.

La misma empresa explota la aportación del manantial Ubao, en la minicentral del mismo nombre, de potencia instalada 577 kW.

Otras instalaciones de importancia fueron las ligadas a los manantiales Araia, Anarri y La Lece, la primera de las cuales está en fase de recuperación.

*OTROS APROVECHAMIENTOS*

El manantial salino Gesala, también conocido como manantiales Alzi, fue aprovechado durante el siglo pasado (al menos desde 1812) para producción de sal. El manantial que tiene un caudal de 12 l/min produjo, en 1882, 132 Tm de sal.

En conjunto, el aprovechamiento en usos consuntivos se ha evaluado en 5 $Hm^3$/año, inferior al 7% de los recursos renovables en un año medio.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

CSIC (1951). Aizkirri. Génesis, morfología y paleobiología cuaternaria de la caverna. (Ruiz de Gaona M.).

ALOÑA MENDI (1974). Trabajos sobre el Karst del Sur-Oeste de Guipuzcoa.

IGME (1982). Informe hidrogeológico de Araia. (CGS).

DFG (1984). Estudio hidrogeológico de la zona de Urkulu. (INYPSA).

CADEM (1984). Estudio hidrogeológico de la Unidad Aitzgorri-Amboto. (IBERTHEKNIKA).

CADEM (1984). Seguimiento del sondeo Araya. (GEOTHEKNIKA).

EVE (1986). Control y seguimiento sondeo Aitzgorri (Urkilla). (GIGSA).

EVE (1986). Control y seguimiento sondeo Araia-2. (GIGSA).

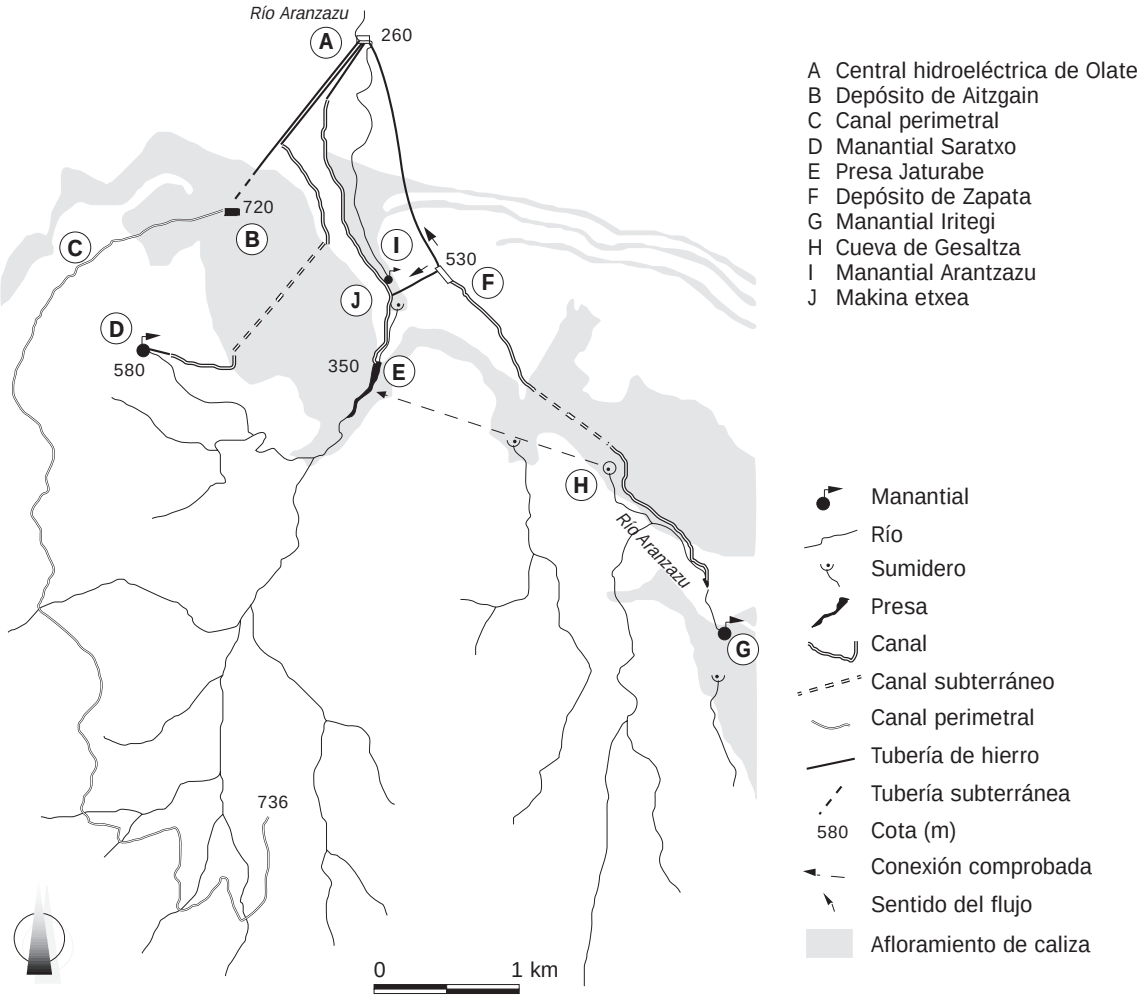



Figura 6. Aprovechamiento hidroeléctrico de Olate.

Las fuentes de agua son cuatro:

**1)** Un canal perimetral (C) recoge la escorrentía superficial de la zona alta de la cuenca del río Araotz y es conducida al depósito de Haitzgain (B).
**2)** El agua del manantial de Saratxo (D) (en carga) sube algunos metros por una tubería de hierro y es conducida a un canal depósito.
**3)** La presa Jaturabe (E) recoge la escorrentía superficial de la zona baja de la cuenca del río Araotz y los aportes subterráneos de la subunidad Jaturabe.
**4)** El manantial Iritegi (G) es captado en una pequeña presa y derivado por un canal hasta el depósito de Zapata (F) y de aquí por tubería forzada hasta la central de Olate (A). En épocas de caudales altos, el exceso de agua que no puede ser conducido por la tubería se conduce hasta la pequeña central eléctrica de Makina Etxea (J) y luego va a parar al canal que lleva el agua de la presa Jaturabe a la central de Olate. El excedente de agua del manantial Iritegi se infiltra en la cueva de Gesaltza (H) y llega después de un recorrido subterráneo a la resurgencia Jaturabe.

EVE-DFG-IGME (1987). Estudio hidrogeológico de las unidades Udala-Aitzgorri. (CGS).

EVE (1987). Control y seguimiento ensayo de bombeo sondeo Urkilla. (GIGSA).

EVE (1988). Control y seguimiento del bombeo Urkilla. (GIGSA).

EVE (1988). Sondeo de investigación hidrogeológica Saratxo.

GOIKOETXEA, I. (1988). Aizkorri, 1/25.000 Eskala.

EVE (1989). Control y seguimiento sondeo Araia-3. (GIGSA).

EVE (1990). Aforos diferenciales en La Lece. (GIGSA).

EVE (1991). Estimación de caudales diarios por simulación y elaboración de la curva de caudales clasificados en el manantial de Ubao, Oñati (Gipuzkoa). (YACU).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| La Lece | 559390 | 4748070 | 640 | 95 | Abastecimiento urbano |
| Araia | 556580 | 4751070 | 780 | 500 | Abastecimiento Araia y Salvatierra |
| Urbaltza | 543045 | 4762260 | 350 | 90 | Abastecimiento de Aretxabaleta y Arrasate |
| Arantzazu | 546000 | 4761500 | 325 | 75 | |
| Anarri | 556220 | 4753990 | 905 | 50 | Abastecimiento de Zegama |
| Saratxo | 544230 | 4761050 | 470 | 300 | Aprovechamiento hidroeléctrico |
| Jaturabe | 545850 | 4760750 | 360 | 500 | Aprovechamiento hidroeléctrico |
| Ubao | 548700 | 4761680 | 615 | 200 | Aprovechamiento hidroeléctrico |
| Iritegi | 548650 | 4759025 | 568 | 400 | Aprovechamiento hidroeléctrico |
| Gesala | 557150 | 4756000 | 590 | 0.2 | Salino |
| Fuente Blanca | 559460 | 4749600 | 855 | 1-10 | Sulfuroso |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Urkilla | 555550 | 4752590 | 943 | 13 | - |
| Araia | 556760 | 4750940 | 830 | - | - |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA ARALAR

## GENERALIDADES

Se sitúa en el área suroriental de Gipuzkoa y se extiende por territorio de Navarra coincidiendo con la sierra de igual denominación. Pertenece al Dominio Hidrogeológico Anticlinorio Sur, aunque incluye en su descripción materiales correspondientes a los dominios situados al Norte (figura 1).




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

Hidrográficamente, la parte guipuzcoana de la sierra pertenece íntegramente a la cuenca Norte, actuando como colectores principales diversos arroyos que se constituyen en afluentes del Oria, al que vierten sus aguas todas las surgencias de la unidad. Topográficamente es un área de fuertes relieves, alcanzándose la cota máxima en el Ganbo (1.402 m) aunque la cima más notable por sus características de relieve aislado es el Txindoki (1.346 m).

La vegetación varía de unos sectores a otros, pudiéndose distinguir, en este sentido, dos áreas bien diferenciadas: una con escasa vegetación casi exclusivamente herbácea (pastos) correspondiente al núcleo más elevado de la sierra y otra con abundancia arbustiva y forestal en los alrededores del citado núcleo.

Dentro de los límites establecidos para la unidad no existen asentamientos urbanos de entidad. La única actividad reseñable es la agropecuaria. Toda la unidad está incluida en el Parque Natural de Aralar.

## GEOLOGIA

La unidad comprende un conjunto de materiales, carbonatados y detríticos que, de acuerdo con las divisiones clásicas de la estratigrafía mesozoica de la cuenca Vasco-Cantábrica, pueden agruparse en:

**Jurásico Marino.** Lías inferior calizo-dolomítico (98), incluyendo típicamente una base de dolomías, carniolas y brechas, un tramo intermedio de dolomías y calizas y un techo de calizas oolíticas. El espesor total supera los 200 m.

Lías margoso (99), compuesto por unos 250 m de margas, margocalizas y calizas arcillosas. Dogger calizo (100), formado por calizas con delgadas intercalaciones de margas y margocalizas, con una potencia de unos 250 m. Malm calizo-detrítico (101), con unos 275 m de espesor máximo de calizas arenosas, calizas con sílex, areniscas, calizas microconglomeráticas y calizas.

**Complejo Purbeck-Weald.** Calizas de sérpulas y margas (107), que comienzan por un paquete conglomerático de 15 m y alcanzan una potencia máxima de unos 250 m.

**Complejo Urgoniano.** Facies de implantación (108), definidas por areniscas rojas, lutitas, margas y calizas impuras, totalizando un espesor máximo de 800 m.

Calizas arrecifales (109), estructuradas en dos episodios: uno inferior de 200 m (Ataun) y otro superior de hasta 1.000 m de potencia (Txindoki).

Brechas calcáreas y margas (115, 116), equivalentes laterales de las calizas arrecifales.

**Complejo Supraurgoniano.** Lutitas y areniscas (138, 139) alternando en proporciones diversas.

**Cretácico superior.** Flysch calcáreo (141), formado por una fina alternancia de margas, margocalizas y calizas impuras.

Estos materiales se estructuran en el anticlinal Aralar, de dirección aproximada Este-Oeste, que presenta diversas fallas inversas de igual directriz y vergencia Norte, así como dos pliegues perpendiculares que conforman el domo de Ataun.

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

De los materiales que componen la unidad, tienen permeabilidad alta los términos fundamentalmente carbonatados del Jurásico marino (98, 100), las calizas wealdenses (107) y las calizas del complejo Urgoniano (109). Otros términos cuya permeabilidad en el resto del dominio puede calificarse como baja, el Malm calizo-detrítico (101) y las margas urgonianas (116), en esta unidad muestran características propias que le confieren una permeabilidad más alta. La karstificación que afecta a las margas (116) en el entorno de la surgencia Urzuloa así lo evidencia.

En general, los acuíferos de la unidad responden a una tipología kárstica *sensu stricto* puesta de manifiesto, entre otros aspectos, por la morfología superficial de muchos sectores así como por la abundancia y notable desarrollo en profundidad de cuevas, simas, etc., que han sido objeto de numerosas exploraciones espeleológicas y que juegan un papel activo en la organización del flujo subterráneo.

*ZONAS DE RECARGA. PUNTOS DE DESCARGA*

La unidad se emplaza en un área de relieve accidentado cuyas cotas extremas son 200 y 1.400 m aproximadamente. Esta amplitud, junto con otros factores climáticos, provoca variaciones tanto en la temperatura como en la precipitación que reciben las diferentes zonas y, consiguientemente, diferencias en la recarga. De esta forma, la precipitación media anual, con un rango entre 1.600 y más de 2.400 mm, deriva en una lluvia útil comprendida entre 800 y más de 1.800 mm, correspondiendo este valor al núcleo más elevado de la sierra ocupado principalmente por materiales del Jurásico marino.

La recarga por infiltración de la precipitación directa sobre los afloramientos, así como la inducida por formas exokársticas (sumideros), constituye el origen del agua que circula subterráneamente. En algunas zonas, la infiltración producida por estos dos conceptos representa el 100% de la lluvia útil. Debido a la estructura geológica y fisiográfica, la circulación subterránea se realiza en profundidad. El límite administrativo impuesto a la unidad coincide a grosso modo con la divisoria de aguas subterráneas. Respecto a la infiltración de cursos superficiales, se trata en todos los casos de arroyos que nacen en la propia unidad.

A través de las principales surgencias se drena un caudal medio anual de unos 2.000 l/s, equivalentes a 63,4 $Hm^3$/año. El régimen de variación en la descarga es muy acusado, destacando en este sentido Osinberde, surgencia con un caudal medio de 550 l/s, que presenta mínimos inferiores a 10 l/s y máximos superiores a 2.500 l/s.

| Manantial | Q medio (l/s) | Geología |
|---|---|---|
| Zazpiturrieta | 475 | Calizas C. Urgoniano (109) |
| Osinberde | 510 | Dogger-Malm (100, 101) |
| Aiaiturrieta | 280 | Calizas C. Urgoniano (109) |
| Bonbatxulo | 100 | Dogger-Malm (100, 101) |
| Arkakatxiki | 70 | Purbeck-Weald (107) |
| Urzuloa | 75 | Margas C. Urgoniano (116) |
| Beatza | 65 | Calizas C. Urgoniano (109) |
| Osinbeltz | 25 | Calizas C. Urgoniano (109) |

Cuadro 1. Principales surgencias.

Las características principales de las tres surgencias más importantes son las siguientes:

**Zazpiturrieta.** Comprende varias salidas situadas a cotas progresivamente más elevadas (315, 325, 335, 340 m), de las que las dos más altas presentan funcionamiento temporal descargando únicamente en aguas altas. El caudal máximo de las tres inferiores es de unos 1.000 l/s (120, 500, 400 l/s) y la salida más elevada se activa al superarse esta cantidad. Existe, desde el año 1988, una estación de aforo que controla el aporte del conjunto de salidas a excepción de la detracción efectuada para el abastecimiento de Amezketa y usos industriales. En esta estación se han registrado puntualmente caudales mínimos de 10 l/s y máximos de 4.755 l/s (figura 2).

**Osinberde**. Se encuentra derivada mediante un canal de 4 km que finaliza en la cámara de carga de una central hidroeléctrica. El sobrante en aguas medias-altas sigue el curso del arroyo y es de nuevo captado, mediante otro canal, por la misma central. La salida presenta morfología de

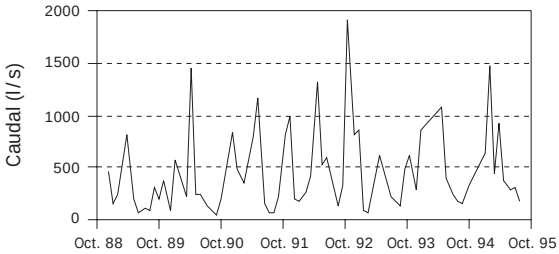



Figura 2. Hidrograma de caudales medios diarios de la estación de Zazpiturrieta.

sifón, con una galería que desciende en cota 23 m y asciende hasta una sala-galería aireada de amplias dimensiones. Bombeos realizados directamente en el sifón muestran que el drenaje hacia la salida aparece colgado ("río subterráneo") y que el bombeo no genera un aumento del caudal aportado por el acuífero.

**Aiaiturrieta.** Se encuentra captado para abastecimiento de la Mancomunidad de Aiaiturrieta no siendo perceptible el lugar exacto de surgencia debido a las obras realizadas para su aprovechamiento. En sus proximidades existen en épocas de aguas medias-altas otras salidas. La descarga natural de Aiaiturrieta se encuentra modificada por el sistema de regulación basado en la cercana presa de Lareo. Parte del agua embalsada en esta presa es conducida a un sumidero (Ubei) conectado naturalmente con Aiaiturrieta y resurge en esta salida para ser captada (figura 3).

*ACUIFEROS. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO*

En este apartado se describe el comportamiento como acuífero de las principales formaciones de permeabilidad alta presentes en la unidad.

**Lías inferior** (98)**.** Se trata de un conjunto de afloramientos pequeños y discontinuos que totalizan una superficie aproximada de unos 0,7 km$^2$. La principal surgencia asociada es Zotaletas (5 l/s). Estos materiales presentan diferente comportamiento según el tramo de la serie considerado; el superior, más calcáreo, presenta circulación principalmente por conductos, mientras que el inferior, más dolomítico, circulación más difusa. Localmente existe conexión vertical entre ambos tramos.

**Dogger y Malm** (100, 101). En su conjunto ocupan una superficie de afloramiento de unos 15,4 km$^2$. La descarga se efectúa principalmente por las surgencias Osinberde (510 l/s) y Bonbatxulo (100 l/s). Aunque en superficie los mayores síntomas de karstificación se producen en las calizas del Dogger (100), los sondeos muestran que los mayores aportes provienen de las calizas microconglomeráticas y areniscas del Malm (101). Se han puesto en evidencia fenómenos de disolución del componente carbonatado de las areniscas con génesis de rellenos de arenas.

Los acuíferos Dogger y Malm responden en su conjunto a un esquema de acuífero kárstico en sentido estricto. La circulación del agua se

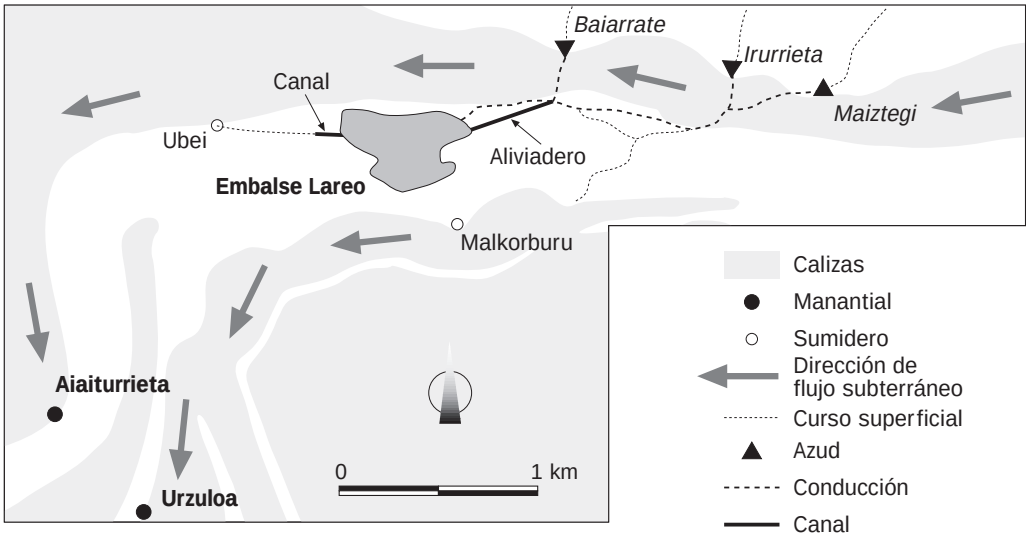



Figura 3. Esquema de funcionamiento en el entorno de Aiaiturrieta.

realiza mayoritariamente a través de una red de conductos bien desarrollados por encima de la cota de las surgencias.

Los únicos datos de velocidad del flujo subterráneo se refieren a un ensayo de coloración, que permitió deducir orientativamente una velocidad de unos 9 m/h entre el punto de inyección y Osinberde. La existencia de esta red de drenaje bien desarrollada parece asociada a gran parte del acuífero, no sólo a las proximidades de las surgencias.

En consecuencia, de un lado el agotamiento es rápido y, de otro, los caudales en estiaje prolongado son comparativamente reducidos para la superficie de exposición y el volumen de acuífero.

**Purbeck-Weald** (107). Estos materiales afloran en una superficie total de unos 5,2 km$^2$. La descarga se efectúa principalmente por la surgencia Arkakatxiki (70 l/s). En superficie este acuífero presenta diversas formas kársticas. No obstante, la morfología, en general, es más homogénea que en los acuíferos Dogger y Malm, debido a una estratificación menos potente y con intercalaciones margosas. El conocimiento de las características de este acuífero en profundidad se basa en datos puntuales de sondeos. En casi todos ellos se observaron síntomas de karstificación. El acuífero responde a un esquema kárstico en sentido estricto, en el que la red de drenaje se muestra comparativamente menos desarrollada. La importancia relativa a los sectores de pequeñas fisuras es mayor, con un descenso de la incidencia de grandes conductos en el funcionamiento hidráulico.

**Urgoniano** (109). Consta de dos tramos carbonatados separados por materiales de baja permeabilidad (116). El acuífero instalado en las calizas de la parte inferior del complejo Urgoniano, está formando una barra con una superficie de afloramiento total aproximada de unos 9 km$^2$. Los principales puntos de descarga son Aiaiturrieta (280 l/s), Osinbeltz (25 l/s) y Arrateta (10 l/s). La morfología, en muchos sectores, está definida por simas, sumideros, lapiaces, dolinas, etc. Numerosas exploraciones espeleológicas han penetrado en el interior de la barra caliza encontrando una red de conductos y cavidades muy desarrollada al menos en el sector Sur de sus afloramientos. En algunos lugares se ha observado la existencia de circulación subterránea en dichos conductos. La velocidad del flujo subterráneo estimada en un ensayo de coloración (Osinbeltz) fue de unos 7,5 m/h.

El acuífero instalado en las calizas del techo del complejo Urgoniano, está constituido por un afloramiento de unos 6,2 km$^2$, de los que 5,3 corresponden al sector Norte de Txindoki. El principal punto de descarga es Zazpiturrieta (475 l/s). En superficie este acuífero presenta una morfología kárstica, si bien menos acusada que en el caso anterior. No se tienen datos experimentales de sus características en profundidad. El funcionamiento del acuífero es de tipo kárstico *sensu stricto*, con una red de drenaje menos desarrollada que el acuífero Dogger y Malm, en el que existen sectores de baja permeabilidad responsables de los agotamientos observados.

**Urgoniano** (116). Estos materiales calizo-margosos presentan interés en la zona de Urzuloa. La superficie ocupada por estos materiales es, en todo el área descrita, muy grande. En la zona de Urzuloa es del orden de 2,2 km$^2$. La descarga principal se efectúa por Urzuloa (75 l/s). En superficie este acuífero presenta formas kársticas, algunas penetrables, asociadas a los paquetes de mayor componente carbonatado. En profundidad, diversas exploraciones espeleológicas han encontrado un gran desarrollo de conductos y cavidades. El acuífero, en el sector drenado por Urzuloa, responde a un esquema de funcionamiento kárstico *sensu stricto*.

*SUBUNIDADES. BALANCE HIDRICO*

Delimitadas por las principales surgencias a las que se encuentran asociadas y constituidas por las formaciones anteriormente descritas, las subunidades diferenciadas son (figura 4):

**Subunidad Osinberde**

Conformada por acuíferos del Dogger, Malm y Purbeck-Weald y definida por las cuencas subterráneas que drenan básicamente por Osinberde, Bonbatxulo y Arkakatxiki. Se puede considerar quizá un sistema único con una probable compartimentación en la zona de las surgencias. La superficie de exposición estimada de esta subunidad es de 16,5 km$^2$. Con una precipitación de 1.900 mm, una evapotranspiración real de 600 mm, una lluvia útil de 1.300 mm y una infiltración del 100% de la misma, los recursos medios anuales alcanzan 21,4 Hm$^3$, es decir, unos 680 l/s de caudal medio equivalente.

**Subunidad Aiaiturrieta**

Definida por la cuenca subterránea que drena por Aiaiturrieta. Su alimentación se produce

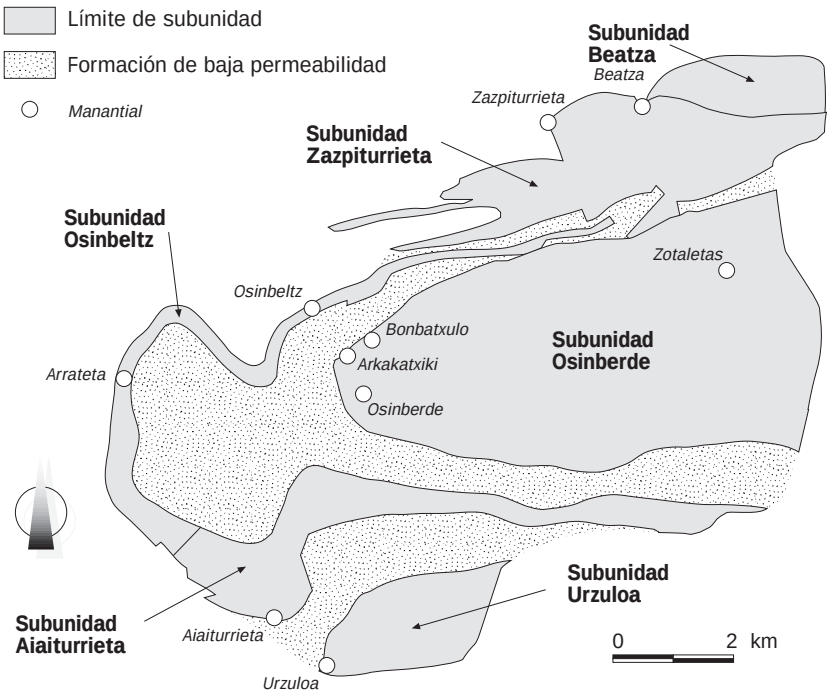



Figura 4. Esquema de subunidades.

por precipitación directa sobre afloramientos del acuífero urgoniano inferior y por infiltración de diversos cursos superficiales de la cabecera del Agauntza (figura 3). Presenta una superficie cercana a 5,4 km$^2$. La precipitación se evalúa en 1.600 mm. Con la misma evapotranspiración real que en el caso anterior, resulta una lluvia útil de 1.000 mm. La infiltración por precipitación directa representa anualmente una media de 5,4 Hm$^3$ (170 l/s). El volumen infiltrado a través de los diferentes sumideros es de difícil cuantificación ya que algunos, en aguas altas, no admiten todo el agua que llega hasta ellos. Orientativamente pueden ofrecerse las siguientes cifras:

- Superficie de las cuencas vertientes: 5 km$^2$
- Escorrentía: 5 Hm$^3$ (158 l/s)
- Infiltración de la escorrentía: 70% de 5 Hm$^3$: 3,5 Hm$^3$ (110 l/s)

Es decir, de acuerdo con estas estimaciones, los recursos medios anuales de la subunidad serían del orden de 8,9 Hm$^3$ (280 l/s de caudal medio equivalente).

**Subunidad Osinbeltz**

Definida por la cuenca subterránea drenada mayoritariamente por Osinbeltz y, en menor medida, por la surgencia Arrateta situada en las proximidades de Ataun. Los datos de pluviometría, evapotranspiración real y lluvia útil que se consideran son los mismos que los de Aiaturrieta.

Su alimentación se produce por precipitación directa sobre afloramientos carbonatados del acuífero urgoniano inferior y por infiltración de diversos cursos superficiales. Los aportes a la subunidad por parte de estos cursos superficiales pueden estimarse como sigue:

- Superficie de la cuenca vertiente: 0,5 km$^2$
- Escorrentía: 0,5 Hm$^3$ (15 l/s)
- Infiltración de la escorrentía: 90% de 0,5 Hm$^3$: 0,45 Hm$^3$ (14 l/s)

La infiltración por precipitación directa sobre la barra aparentemente conectada con ambos manantiales se estima en un 80% de la lluvia útil. Esta barra se prolonga hacia el Este hasta el límite con la Subunidad Aiaiturrieta, y ocupa una superficie de unos 2 km$^2$. El volumen así infiltrado sería de 1,6 Hm$^3$ anuales (50 l/s).

Es decir, los recursos medios anuales de la subunidad son 2,05 Hm$^3$ (unos 65 l/s de caudal medio equivalente), drenados por las surgencias citadas y por salidas directas a los arroyos que disectan la subunidad.

**Subunidad Urzuloa**

Definida por la cuenca subterránea que drena por Urzuloa, instalada en el acuífero urgoniano calizo-margoso (116). Su alimentación se produce por precipitación directa y mediante infiltración de algunos cursos superficiales. La descarga se produce por Urzuloa, con un caudal medio estimado de unos 75 l/s (2,4 $Hm^3$/año). De los 75 l/s de caudal medio estimado para Urzuloa, unos 20 l/s provienen orientativamente de los sumideros que recogen el agua de fuera de los afloramientos de la subunidad.

**Subunidad Zazpiturrieta**

Definida por la cuenca subterránea que drena por Zazpiturrieta, está asentada esencialmente en el acuífero urgoniano superior con posibles conexiones subterráneas con otros acuíferos. El caudal medio estimado para la descarga es de 475 l/s, representando unos recursos medios anuales de 15 $Hm^3$.

**Subunidad Beatza**

Definida por la cuenca subterránea que drena hacia Beatza. Está asociada a los deslizamientos en masa del sector y quizás local y/o temporalmente a parte de los afloramientos del urgoniano superior. El caudal medio de la descarga es de unos 65 l/s, representando unos recursos medios anuales de 2 $Hm^3$.

En consecuencia, el recurso total estimado para la unidad alcanza 51,75 $Hm^3$.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Las aguas de las principales surgencias de la unidad presentan globalmente un carácter bicarbonatado cálcico y baja mineralización, como lo atestigua el valor medio de conductividad de las principales surgencias (cuadro 2).

| SUBUNIDAD | ACUIFEROS | SURGENCIA | CONDUCTIVIDAD MEDIA (µS/cm) |
|---|---|---|---|
| Osinberde | Dogger/Malm | Osinberde | 152 |
| | Dogger/Malm | Bonbatxulo | 167 |
| | Purbeck-Weald | Arkakatxiki | 210 |
| Aiaiturrieta | Urgoniano inf. | Aiaiturrieta | 174 |
| Osinbeltz | Urgoniano inf. | Osinbeltz | 177 |
| Urzuloa | Urgoniano (116) | Urzuloa | 222 |
| Zazpiturrieta | Urgoniano sup. | Zazpiturrieta | 178 |

Cuadro 2. Conductividades medias de las surgencias de Aralar.

Este carácter global no impide reconocer ciertas diferencias entre ellas. Osinberde y Bonbatxulo presentan una gran similitud hidroquímica debido a que descargan los mismos acuíferos con sistemas de drenaje similares. Las leves variaciones que se aprecian en las dos surgencias son en el sentido de una mayor mineralización en las aguas de Bonbatxulo. Este hecho se relaciona con una cierta mezcla de aguas provenientes del Purbeck-Weald ya que el punto de salida de Bonbatxulo se sitúa en esta formación.

Parecido grado de similitud, aunque con mayor mineralización, muestran las aguas de las surgencias que drenan los acuíferos de calizas urgonianas, Aiaiturrieta, Osinbeltz y Zazpiturrieta. Los sistemas de drenaje respectivos son igualmente similares, conformando una red kárstica de, localmente, notable desarrollo.

Las aguas de Arkakatxiki, surgencia localizada en el Purbeck-Weald, presentan una mineralización superior a las de las surgencias anteriores. Además de la diferencia de litologías de los correspondientes acuíferos, la diferenciación hidroquímica responde también a una diferencia en el sistema de drenaje, con una red de conductos kársticos menos desarrollada.

Los análisis de la precipitación, en este caso en forma de nieve (cuadro 3), muestran típicamente mayores mineralizaciones en las muestras recogidas a cotas inferiores. Esta relación entre altitud y contenido iónico se manifiesta en todos los parámetros analizados y se sintetiza en los valores de conductividad encontrados.

| Cota (m) | Conductividad | $HCO_3^-$ | $Na^+$ |
|---|---|---|---|
| 425 | 29 | 21,40 | 1,68 |
| 620 | 15 | 13,90 | 0,88 |
| 1.185 | 6 | 7,40 | 0,30 |

Cuadro 3. Análisis químicos de nieve. Valores en mg/l, salvo conductividad (µS/cm).

A pesar del carácter bicarbonatado cálcico generalizado de las aguas de la unidad, algunos puntos (surgencias y sondeos) no responden al patrón hidroquímico general sino que presentan características anómalas. Tal es el caso de la surgencia y sondeos situados en la barra caliza urgoniana (109) del Este de Ataun.

En este lugar, distanciados escasos metros, se encuentran:

- la surgencia Arrateta, de 10 l/s de caudal medio, temperatura media de 16,6°C, facies clorurada sódica en aguas medias-bajas y mineralización por encima de 500 mg/l.

- el sondeo Ataun-1, levemente surgente (1-2 l/min), de similares características que la surgencia.

- el sondeo Ataun-2, con varios litros por segundo de surgencia, temperatura media de 13,6°C, mineralización notablemente inferior y facies clorurada sódica únicamente en estiaje.

Estas características hidroquímicas sugieren la coexistencia de dos flujos distintos en este lugar:

- Un flujo subterráneo relativamente superficial asociado a las calizas urgonianas, responsable del carácter bicarbonatado cálcico en condiciones de aguas medias-altas.

- Un flujo profundo que afecta a materiales salinos, responsable de la temperatura más elevada, así como del carácter clorurado sódico en estiaje.

El sondeo Ataun-2 se encuentra mejor conectado con el flujo subterráneo superficial, cuya importancia varía según la época hidrológica (aguas altas-estiaje). Esta conexión sería más deficiente en la surgencia y en el otro sondeo, donde el flujo más profundo, y probablemente más constante, presenta una mayor incidencia relativa.

La calidad de las aguas de la unidad puede calificarse de globalmente buena. Unicamente las actividades de pastoreo inciden local y temporalmente en determinados puntos, deteriorando la calidad de las aguas. El elevado grado de karstificación que, en su conjunto, posee la unidad facilita el transporte de los contaminantes de origen biológico.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

Ha consistido en ensayos con trazadores, ya comentados, investigación geofísica en el entorno del manantial Osinberde y, fundamentalmente, en la perforación de sondeos de investigación y regulación.

Se han inventariado un total de 15 sondeos, 8 de reconocimiento perforados a rotación con extracción de testigo y 7 de explotación, construidos mediante diversos métodos.

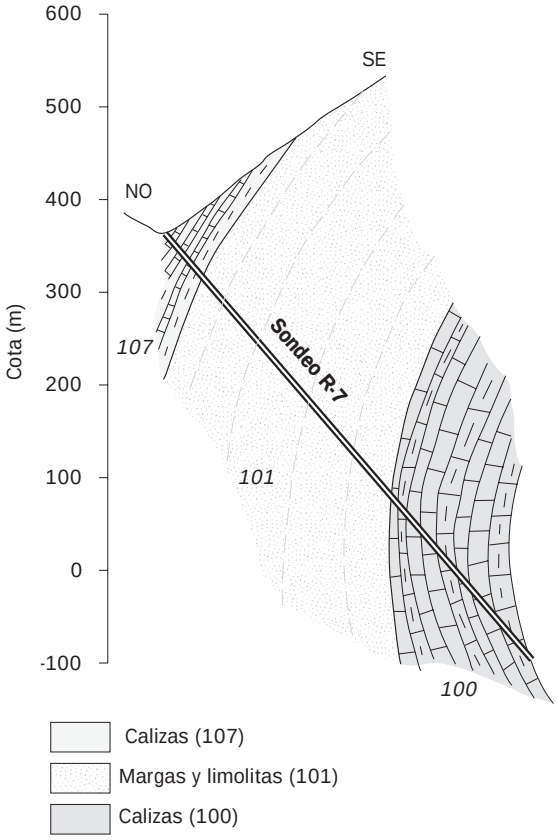



Figura 5. Corte geológico en el sondeo R-7.

La particularidad más notable es la longitud de algunos de los sondeos, R-7 y R-8 de 602 m, el grado de inclinación necesario para alcanzar los niveles de interés y el caudal máximo surgente aportado por el sondeo R-7, 23 l/s. Sin embargo, el sondeo de explotación construido en sus inmediaciones, P-4, no admite un caudal de explotación superior. La figura 5 ilustra el corte geológico correspondiente al sondeo R-7.

Valores similares de transmisividad, hasta 110 $m^2$/día, se han estimado en los sondeos Ataun-1 y 2 y Aia, con caudales de explotación entre 15 y 20 l/s en los dos últimos.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

El aprovechamiento actual se puede evaluar de la siguiente forma:

- Sistema Aiaiturrieta-Lareo; se regula y utiliza un volumen de agua de 7 $Hm^3$/año para abastecimiento de la mancomunidad de Aia-

Iturrieta y para caudal de dilución de la contaminación en el río Oria.

- El manantial Zazpiturrieta es captado por una papelera consumiendo un volumen anual de 2 $Hm^3$/año, y para abastecimiento de Amezketa.

- Al núcleo urbano de Zaldibia se abastece desde el manantial Osinbeltz, siendo el volumen anual captado de 0,5 $Hm^3$/año.

- Además de estas tomas existen pequeñas captaciones en regatas y manantiales de menor entidad, siendo el aprovechamiento estimado de 1 $Hm^3$/año.

En consecuencia el volumen total utilizado es de 10,5 $Hm^3$/año lo que supone el 20% de los recursos.

Además de este uso consuntivo, se realiza un importante aprovechamiento hidroeléctrico de los manantiales Osinberde, Bonbatxulo y Zazpiturrieta.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

EVE-DFG-IGME (1989). Estudio Hidrogeológico de la Unidad Aralar. (GIGSA).

DFG-EVE (1993). Seguimiento del sondeo Aralar P-4. (GIGSA).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Urzuloa | 570690 | 4756900 | 500 | 75 | |
| Beatza | 576030 | 4765580 | 430 | 65 | Abastecimiento de San Martín (Amezketa) |
| Osinbeltz | 570420 | 4762410 | 380 | 25 | Abastecimiento de Zaldibia |
| Arkakatxiki | 571420 | 4761850 | 355 | 70 | Aprovechamiento hidroeléctrico (CAF) |
| Zazpiturrieta | 574570 | 4765450 | 320 | 475 | Abastecimiento de Amezketa y de una papelera. Aprovechamiento hidroeléctrico |
| Osinberde | 571460 | 4761220 | 478 | 510 | Aprovechamiento hidroeléctrico (CAF) |
| Aiaiturrieta | 570260 | 4757450 | 438 | 280 | Abastecimiento de la Mancomunidad de Aiaiturrieta |
| Bonbatxulo | 571800 | 4762030 | 440 | 100 | Aprovechamiento hidroeléctrico (CAF) |
| Arrateta | 567630 | 4761470 | 240 | 10 | |
| Zotaletas | 577425 | 4762875 | 990 | 5 | |

| ***Sondeos*** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Ataun-1 | 567610 | 4761485 | 245 | - | Surgente |
| Ataun-2 | 567650 | 4761470 | 245 | 20 | |
| Aia | 569990 | 4757425 | 395 | 20 | Abastecimiento de la Mancomunidad de Aiaiturrieta |
| R-7 | 571320 | 4761615 | 365 | | Piezómetro. Caudal surgente 23 l/s. Long. 602 m |
| R-8 | 571580 | 4761885 | 390 | | Piezómetro. Caudal surgente 2 l/s. Long. 602 m |
| P-4 | 571320 | 4761615 | 365 | 20 | Sondeo inclinado de 400 m de longitud |

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO CRETACICO SUPERIOR

## GENERALIDADES

Comprende el conjunto de materiales, en general flyschoides o margosos, que aparecen (figura 1):

- en los flancos del Sinclinorio de Bizkaia

- bordeando la denominada Cadena Costera guipuzcoana




Figura 1. Situación del dominio.

En ambos casos se trata de formaciones cuya permeabilidad es globalmente baja y que actúan frecuentemente de confinantes. En el Sinclinorio de Bizkaia, el Cretácico superior incluye geológicamente el Complejo Volcánico, de permeabilidad superior, cuya descripción hidrogeológica figura en capítulo aparte.

Hidrográficamente, este dominio pertenece íntegramente a la cuenca Norte. Debido a su amplia distribución geográfica, son numerosos los ríos y arroyos que lo atraviesan o recorren en parte (Gobelas, Butron, Asua, Nervión-Ibaizabal, Oka, Lea, Artibai, Deba, Urola, Oria, Urumea, Oiartzun, Bidasoa). Topográficamente, se trata de una sucesión de valles de pendientes moderadas que bordean otros relieves más importantes emplazados en dominios vecinos (Oiz, Aralar, Jaizkibel, etc.). Estos valles son asiento tanto de núcleos urbanos (Mungia, Durango, Eibar, Ordizia, San Sebastián-Donostia, Renteria, etc.) como de numerosos caseríos y núcleos rurales.

## GEOLOGIA

Este dominio, sin incluir el Complejo Volcánico, comprende litoestratigráficamente:

**Flysch calcáreo** (141), compuesto por margas con intercalaciones de delgados niveles de calizas y margocalizas así como, localmente, facies resedimentadas.

**Flysch detrítico-calcáreo** (146, 147), definido por margas alternantes con calizas arenosas y, localmente, megaturbiditas.

**Margas negras** (148), que intercalan en ocasiones rocas piroclásticas y coladas volcánicas y que afloran localmente en el flanco sur del Sinclinorio de Bizkaia (Garai).

Estas series aparecen, como se ha indicado, en dos estructuras: en los flancos del Sinclinorio de Bizkaia y bordeando la denominada Cadena Costera guipuzcoana. La primera, constituida por materiales del Cretácico superior-Eoceno, se extiende desde el norte de Bilbao hasta Amezketa. Presenta en su conjunto una

fuerte asimetría, con el flanco sur verticalizado, laminado, cabalgado y corrido hacia el Norte. La Cadena Costera guipuzcoana forma parte de una compleja estructura conocida como Sinclinal de Donostia-San Sebastián. Se trata de un sinclinal tumbado de gran amplitud en el que quedan implicados materiales desde el Jurásico al Eoceno. En las proximidades de la costa adopta geometría monoclinal.

**HIDROGEOLOGIA**

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

Los materiales flyschoides y margosos del dominio presentan globalmente una permeabilidad baja (141, 146, 147) a muy baja (148). Sin perjuicio de esta asignación general, en algunos lugares la base estratigráfica presenta una permeabilidad algo más elevada (zona costera guipuzcoana principalmente). Se trata de lugares en los que aparecen paquetes relativamente masivos de margocalizas que llegan a exhibir pequeñas formas kársticas. Asociados a estos paquetes existen algunas surgencias cuyo caudal medio (1-4 l/s) supera el medio o habitual en el dominio.

*RECARGA Y DESCARGA*

Los afloramientos del Cretácico superior ocupan áreas con precipitación desigual y, por tanto, su recarga específica varía de un lugar a otro.

En los flancos del Sinclinorio de Bizkaia la precipitación media anual varía, de forma irregular, de un extremo a otro entre aproximadamente 1.000 mm junto al mar (Punta Galea en Getxo) y 1.700 mm en el área de Amezketa. En la zona costera guipuzcoana el rango de variación es menor, produciéndose anualmente precipitaciones medias comprendidas entre 1.300 y 1.700 mm. Estas precipitaciones derivan en una lluvia útil comprendida entre 400 y 1.100 mm, consecuencia de una evapotranspiración real media anual aproximada de 600 a 700 mm.

La lluvia útil indicada (escorrentía superficial y subterránea) equivale a un caudal específico de 13 a 35 l/s/km$^2$. Debido al carácter poco permeable de las formaciones (flysch y margas) la fracción de lluvia útil infiltrada, que constituirá los recursos subterráneos, es reducida aunque variable. Las pequeñas variaciones internas que presentan estas formaciones (alteración, fracturación, etc.) provocan diferencias en la tasa de infiltración. Esta se estima entre un 10% y un máximo de un 25% de la lluvia útil, equivalente a un caudal específico de 2 a 8 l/s/km$^2$, con un valor representativo para el conjunto del dominio de 4 l/s/km$^2$.

De forma general, las descargas naturales de agua subterránea, surgencias, presentan individualmente caudales reducidos (son escasas las que superan 1 l/s). Unicamente en algunos lugares, en los que se produce comunicación hídrica con materiales adyacentes o existen rasgos específicos (alteración-fracturación, etc.) estos caudales son algo superiores.

En determinadas áreas del dominio existe un gran número de sondeos destinados al abastecimiento humano y/o agropecuario de caseríos y pequeños núcleos rurales. Se trata por lo general de obras que se encuadran en una de las siguientes categorías: de pequeña profundidad (<10 m) y gran diámetro (>1 m) o sondeos de profundidad media (hasta 80-100 m) y pequeño diámetro (<200 mm). Los primeros, localmente denominados "patines", aprovechan pequeñas escorrentías hipodérmicas mientras que los segundos captan, además, el agua subterránea presente en algunas fracturas y/o zonas alteradas del macizo rocoso más sano. Al igual que las surgencias, se trata, en cualquier caso, de obras de captación con rendimientos en general inferiores a 1 l/s.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. RECURSOS*

El funcionamiento global del dominio, en términos hidrogeológicos, es el de confinante o sello relativo de las unidades hidrogeológicas con las que contacta. No incluye, por tanto, ninguna unidad o sector hidrogeológico remarcable. Internamente, el funcionamiento hidráulico subterráneo está definido por flujos de escasa entidad asociados a fracturas y/o zonas de alteración. En este sentido, es frecuente que la cresta alterada del macizo rocoso (por debajo de la capa de suelo) presente, aún reducida, una circulación superior al resto del macizo rocoso sano (flujo hipodérmico).

Los recursos específicos de agua subterránea, en coherencia con el carácter poco permeable de los materiales, son comparativamente reducidos (4 l/s/km$^2$ como valor representativo para el conjunto). La amplia extensión de los afloramientos del dominio (666 km$^2$ sin incluir el Complejo Volcánico) determina, no obstante que los recursos totales anuales medios sean elevados (84 Hm$^3$).

## HIDROQUIMICA. CALIDAD

Las aguas de las surgencias y sondeos del dominio presentan típicamente un carácter bicarbonatado cálcico y una mineralización relativamente elevada dentro del contexto regional. El componente margoso y el tipo y alcance de la circulación subterránea condiciona esta hidroquímica.

| Parámetro | mg/l | Parámetro | mg/l |
|---|---|---|---|
| Bicarbonatos | 240-350 | Calcio | 70-80 |
| Sulfatos | 13-20 | Magnesio | 10-20 |
| Cloruros | 20-50 | Sodio | 8-13 |
| Conductividad | 400-530 µS/cm | | |

Cuadro 1. Caracterización hidroquímica general.

La calidad de las aguas se presenta influenciada por actividades humanas, tanto agropecuarias como urbanas e industriales. Debido a que muchas áreas del dominio son asiento de caseríos y núcleos urbanos e industriales, algunas aguas presentan una calidad deficiente. En otros lugares, menos habitados, la calidad de las aguas suele ser superior, destacando únicamente episodios puntuales de contaminación bacteriológica achacables al ganado.

## APROVECHAMIENTO

El aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos del dominio presenta en diversas áreas un carácter intensivo. Se trata de áreas pobladas (caseríos, núcleos urbanos) en las que existe una gran densidad de captaciones de surgencias, sondeos y tomas en arroyos destinadas al abastecimiento humano y agropecuario. En cada caso se trata de aprovechamientos de escaso caudal pero que sumados pueden representar, particularmente en aguas medias-bajas, una importante fracción de los recursos subterráneos. En otros lugares, menos poblados, el aprovechamiento se basa en tomas en arroyos en uno o más puntos, obteniéndose de esta forma un caudal algo superior destinado al abastecimiento.

A modo de estimación, se fija el porcentaje de recurso subterráneo aprovechado próximo al 15% del renovable en un año medio, es decir, 12 $Hm^3$.

## ESTUDIOS CONSULTADOS

EVE (1992). Investigación hidrogeológica del área Amorebieta-Getxo (Bizkaia). (GEYSER).

EVE-DFG (1994). Estudio hidrogeológico de la Cadena Costera (Gipuzkoa). (GEYSER-INGEMISA).

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO COMPLEJO VOLCANICO

## GENERALIDADES

Los productos magmáticos generados durante el Cretácico superior se ubican en la base de los materiales margosos del Sinclinorio de Bizkaia, dibujando una banda discontinua que marca el trazado de dicha estructura a lo largo de las localidades de Arrieta, Errigoiti, Gernika, Ajangiz, Eibar, Soraluze, Zumarraga y Bergara. En estas dos últimas zonas se aprecia claramente el cierre perisinclinal y es donde se localizan los principales espesores de la serie (hasta 1.500 m). En el flanco SO los afloramientos son más discontinuos y de menor potencia (figura 1).




Figura 1. Situación del dominio.

En todos los casos se trata de productos esencialmente efusivos, que se disponen según coladas lávicas y/o volcanoclásticas interestratificadas con los sedimentos marinos flyschoides. De forma local afloran cuerpos intrusivos (diques, sills y pequeños stocks o lacolitos), que arman en los productos lávicos y/o en los sedimentarios, con un volumen muy restringido con respecto a los anteriores.

Morfológicamente originan relieves de cierta entidad, al menos allí donde la serie es más potente (Kalamua 768 m, Irukurutzeta 899 m).

## GEOLOGIA

La agrupación cartográfica en cuatro términos representa litologías mayoritarias o netamente dominantes pero no excluye la presencia de otras litologías y productos volcánicos, como corresponde a la naturaleza de este tipo de rocas.

**Sills básicos** (142). Las rocas intrusivas aparecen preferentemente hacia la base de la secuencia volcánica, sobre todo en la zona del cierre periclinal. Los sills básicos son los más numerosos correspondiendo composicionalmente a diabasas y gabros.

La mayoría son poco potentes (1 a 10 m) pero en algunas ocasiones pueden alcanzar varias decenas de metros.

**Coladas volcánicas masivas, semimasivas, "pillows"** (143). Su potencia es muy variable, desde algunos centímetros a varios centenares de metros, con una continuidad lateral que puede oscilar entre algunas decenas de metros y varios kilómetros.

Los afloramientos de coladas masivas pueden estimarse en un 25% del total del

Complejo Volcánico. Son concordantes con el resto de los materiales y presentan un aspecto masivo generalizado. Predominan en el entorno de Arrate, río Urola y Bergara. Composicionalmente corresponden a basaltos, andesitas basálticas y traquibasaltos, en parte alterados por manifestaciones de carácter espilítico.

Son muy frecuentes las coladas con estructuras en *pillow* a lo largo de la práctica totalidad de los afloramientos y de manera sistemática aparecen en estrecha relación espacial con materiales brechoides (*pillow-brechas*) procedentes de la propia fragmentación de las *pillow.* Son muy frecuentes en Soraluze, río Urola, Elgoibar, Errigoiti, etc. El tamaño de las *pillows* puede llegar a superar los 2 m de diámetro.

Muy ocasionalmente aparecen afloramientos de coladas con disyunción columnar (Fruiz).

**Rocas volcanoclásticas, brechas volcánicas** (144). Corresponden a aquellas rocas formadas por clastos de rocas volcánicas previamente consolidadas, o por fragmentación de material lávico durante su enfriamiento.

Su potencia es muy variable, encontrándose desde lechos centimétricos formados por fragmentos de pequeño tamaño (tobas y/o epiclastitas) hasta otros de decenas e incluso de centenas de metros. Otro tanto le ocurre a su desarrollo lateral.

Se pueden distinguir depósitos de *pillow*-brechas que resultan principalmente de la fragmentación de *pillows* en su mayor parte consolidadas, por fenómenos de deslizamiento gravitatorio. Otros depósitos son los piroclastos que por lo general presentan escasas potencias (algunos metros) intercalados con otras facies volcánicas y correspondiendo a productos tobáceos (*lapillistone* y tobas).

**Rocas volcánicas y volcanosedimentarias indiferenciadas** (145). Corresponden a una mezcla de las dos últimas litologías.

Tectónicamente se puede distinguir una zona con una disposición tranquila concordante con la estratificación en el borde SE y cierre perisinclinal, aunque en este último por la propia estructura existe cierta complejidad, en forma de fallas y fracturas. La otra zona corresponde al entorno del diapiro de Gernika con los afloramientos volcánicos que se extienden desde Arrieta a Ajangiz y que sufren una fracturación importante, en las dos componentes NO-SE y NE-SO que llegan a individualizar varios bloques sin conexión aparente entre ellos.

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

El comportamiento hidrogeológico de los materiales volcánicos se puede diferenciar en una permeabilidad media para todo el conjunto de rocas volcánicas y volcanosedimentarias (143, 144, 145) mientras que los sills básicos (142) presentan una permeabilidad baja.

Las coladas volcánicas masivas, semimasivas y *pillows* presentan permeabilidad por fracturación y por la propia estructura de la roca, así como presencia de niveles porosos. Las rocas volcanoclásticas y brechas volcánicas presentan una permeabilidad en general inferior a la del término anterior por la existencia de niveles más arcillosos, estando más ligada a fenómenos de fracturación.

Este tipo de permeabilidad ocasiona una gran heterogeneidad en el comportamiento del Complejo Volcánico.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS. SECTORES*

El techo y muro de los materiales permeables del Complejo Volcánico están constituidos por la serie donde se encuentra concordantemente intercalado el flysch calcáreo del Cretácico superior (141).

Ocasionalmente contactan con depósitos permeables, como son los aluviales de los ríos Oka y Golako en la ría de Gernika.

La propia sedimentología de los materiales así como las estructuras a las que están asociados, ocasiona que los afloramientos de rocas volcánicas se dividan en varios bloques claramente desconectados en superficie. Estos bloques constituyen los siguientes sectores hidrogeológicos, de Oeste a Este: Arrieta, Metxika, Burgoa (al Este de Gernika), Soraluze y Bergara (figura 2). A excepción de Soraluze (aproximadamente 56 $km^2$), todos ellos presentan una superficie inferior o del orden de 5 $km^2$. Otros pequeños afloramientos individualizados presentan una superficie muy inferior, correspondiendo además en su mayoría a los sills básicos de menor permeabilidad.

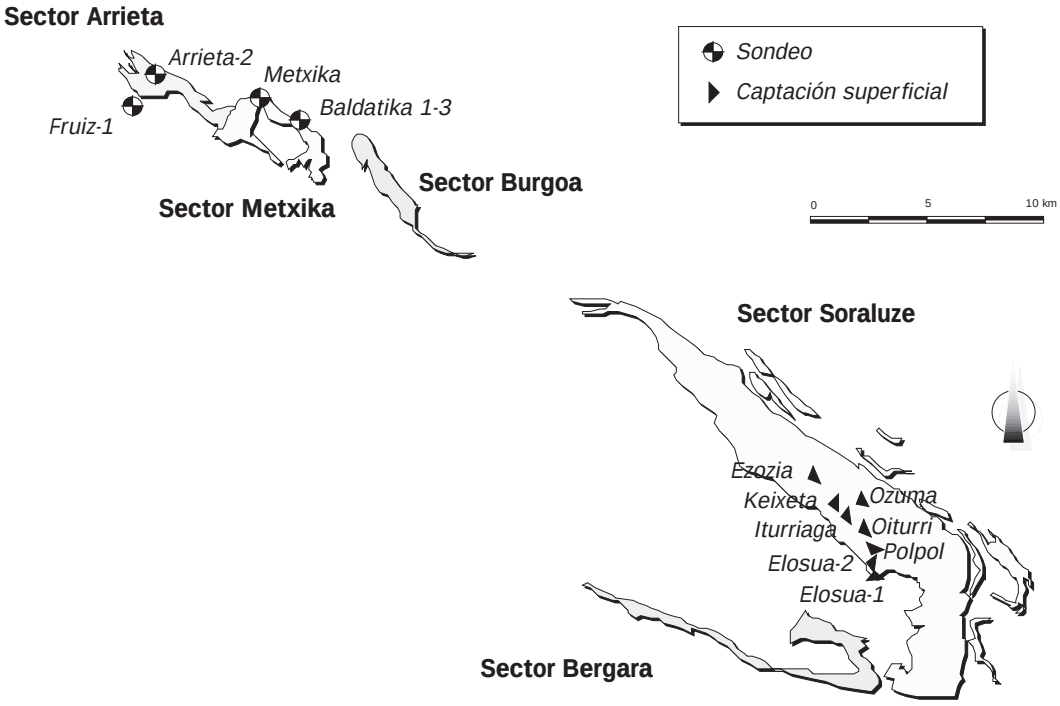



Figura 2. Sectores diferenciados.

Por sus características particulares y por el grado de conocimiento que de él se dispone, se presenta una descripción más detallada del Sector Metxika y, a continuación, del resto del dominio.

**Sector Metxika**

Se trata de un afloramiento de rocas volcánicas implicado en una estructura sinclinal cuyo núcleo está ocupado por el flysch detrítico-calcáreo (147) del Cretácico superior. Tanto estos últimos materiales como los situados a muro de las rocas volcánicas, pertenecientes al flysch calcáreo (141), tienen un comportamiento propio de materiales de baja permeabilidad. Otros materiales de interés a citar son las ofitas (11) y los depósitos aluviales (200) situados ambos en el entorno de Gernika (figura 3).

**Zonas de recarga y descarga**

La recarga se produce por precipitación directa sobre los propios afloramientos, así como por cierta infiltración procedente de los materiales de carácter detrítico y carbonatado que ocupan el núcleo del sinclinal y se disponen topográficamente por encima.

Las descargas se deben dirigir hacia los puntos de menor cota, destacando entre ellos el contacto, al Este, con los materiales cuaternarios de Gernika, a cota 10 m, así como con los términos ofíticos (entre 10 y 75 m). Hacia el Sur, en arroyos afluentes del Mikiene, el contacto basal se sitúa a una cota mínima de 50 m en Baldatika, al NE la cota del contacto basal es de 80 m. En Metxika (al Norte) de 290 y al Oeste (Arroyo Magdalena, en Errigoiti) de 140 m.

No se han reconocido manantiales de interés; las pequeñas surgencias inventariadas presentan caudales inferiores a 0,1 l/s y son, en su mayoría, captadas para abastecimiento de caseríos. Tampoco se aprecian incrementos considerables de caudal en los arroyos mencionados. Así, en el arroyo Baldatika para caudales medios-bajos se han estimado aportes del orden de 5 l/s. Todo ello parece apuntar a la existencia de una descarga mayoritaria hacia la Unidad Gernika, coherente con el esquema de funcionamiento allí propuesto.

**Piezometría**

Los niveles piezométricos medidos en estática en los sondeos de explotación y reconocimiento se sitúan entre 2 y 8 m de profundidad, mostrando una estrecha relación con los flujos más superficiales, a los que se encuentran asociados los manantiales.

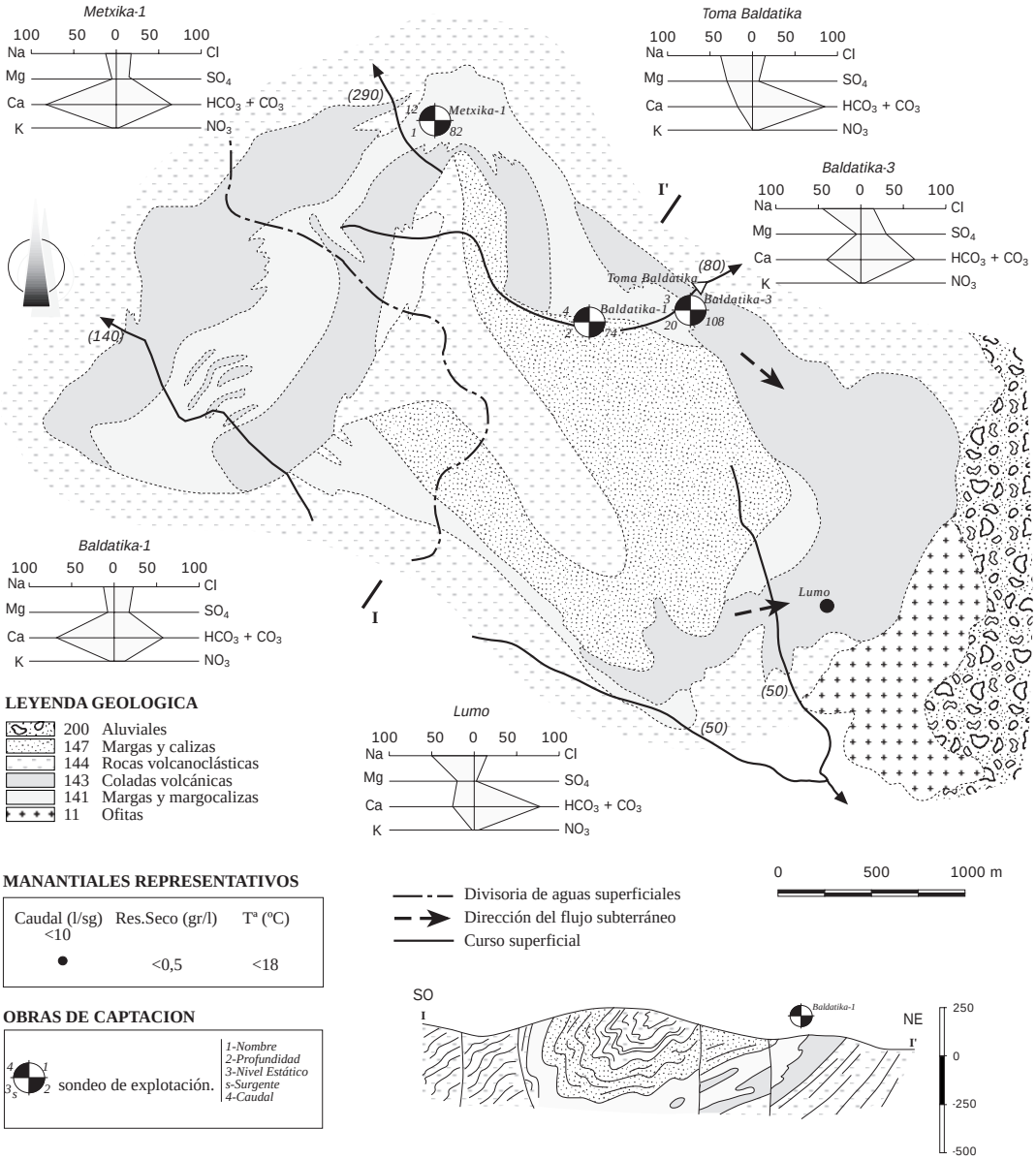



Figura 3. Estructura del Sector Metxika.

Durante los ensayos de bombeo realizados se aprecia la existencia, a distintas profundidades, de niveles desconectados entre sí que se han desarrollado a favor de una fracturación más intensa o de niveles más porosos.

**Funcionamiento hidráulico. Parámetros**

Las propias características del acuífero, con una permeabilidad muy heterogénea y niveles privilegiados por fracturación y/o porosidad, condicionan esquemas de flujo compartimentados, niveles piezométricos variables y distintos parámetros hidráulicos según la zona. Por otra parte, se constata la existencia de flujos superficiales y carácter libre, en contraposición de otros más profundos y confinados.

De todas formas, según la estructura geológica y los datos expuestos, la dirección fundamental de flujo debe ser Oeste-Este, alimentando este drenaje la Unidad Gernika.

Los parámetros hidráulicos estimados en base a los bombeos de ensayo realizados en los sondeos Baldatika-1, 3 y Metxika oscilan entre las siguientes cifras:

- Transmisividad: 8 a 75 $m^2$/día.

- Coeficiente de almacenamiento: 1,6-4,1 x $10^{-2}$ (niveles libres superficiales) a $10^{-4}$ (niveles confinados profundos).

- Caudales de explotación entre 3 y 15 l/s.

**Balance Hídrico**

Los recursos totales estimados resultan ser del orden de 2,5 $Hm^3$/año, equivalentes a los siguientes parámetros: isoyeta media 1.600 mm, isoterma 13,5°C, lluvia útil 900 mm (56% de la precipitación), infiltración en las rocas volcánicas (5,5 $km^2$) del 40% de la lluvia útil e infiltración a partir de las cuencas vertientes (3 $km^2$) del 20% de la lluvia útil. Los porcentajes de infiltración se han evaluado teniendo en cuenta las elevadas pendientes que existen en la zona.

**Resto del dominio**

**Zonas de recarga y descarga**

La recarga de estos materiales se produce por precipitación directa sobre los propios afloramientos. En algunos casos y muy localmente puede darse cierta infiltración procedente desde otros materiales dispuestos topográficamente por encima, pero por lo general no es habitual ya que por la propia dureza de las rocas volcánicas ellas son las que marcan el relieve, situándose más elevadas que los materiales circundantes.

Las descargas se deben dirigir hacia los puntos de menor cota, a los afluentes del Butrón en la zona de Arrieta, hacia el cuaternario de Gernika en la zona de Metxika y Burgoa y ya por último hacia los ríos Deba y Urola que cortan perpendicularmente la estructura.

No se han inventariado manantiales de caudal importante en todo el dominio. Las surgencias que aparecen presentan caudales en torno a 1 l/s.

Son, sin embargo, muy numerosas, al igual que las captaciones superficiales que recogen el drenaje de estos materiales.

Se dispone de datos puntuales de estiaje de 5 tomas de abastecimiento de Soraluze y datos más completos en 3 tomas en Bergara.

Las captaciones de Soraluze corresponden a cuencas de dimensiones muy semejantes (1 $km^2$) y que drenan en todos los casos materiales volcánicos. Bergara tiene dos tomas en similares litologías pero con diferentes dimensiones (Polpol y Elosua-2) y una toma muy próxima (Elosua-1) que, excepto en un pequeño tramo final de rocas volcánicas, drena términos de baja permeabilidad del Cretácico superior. En el cuadro 1 y en la figura 4 se resumen estos datos.

| T.M. | Captación | Superf. ($km^2$) | Qespec. (l/s/$km^2$) |
|---|---|---|---|
| Soraluze | Ezozia | 1,1 | 0,2 |
| | Keixeta | 1,0 | 2,0 |
| | Iturriaga | 1,3 | 5,4 |
| | Ozuma | 1,4 | 5,7 |
| | Oiturri | 0.5 | 8,0 |
| Bergara | Polpol | 4,02 | 5,5 |
| | Elosua-2 | 0,47 | 6,4 |
| | Elosua-1 | 3,85 | 1,0 |

Q específico medio anual (en base a 41 aforos realizados en el periodo dic93-dic94):

| | |
|---|---|
| Polpol | 23 |
| Elosua-2 | 25 |
| Elosua-1 | 12 |

Cuadro 1. Caudales específicos.

Los datos expuestos permiten realizar las siguientes observaciones:

- Los caudales específicos para los materiales volcánicos son del orden de 25 l/s/$km^2$ como valor medio anual y de 6 l/s/$km^2$ en estiaje.

- Estos valores son claramente superiores a los de los detríticos de baja permeabilidad del entorno (Elosua-1). Al considerar también los caudales específicos medios anuales se observa que el caudal drenado por los términos detríticos es en este caso la mitad y que las diferencias de caudal se mantienen bastante regulares a lo largo del año, como se aprecia en la figura 4.

- Los caudales de las dos primeras regatas Ezozia y Keixeta no concuerdan con el resto. Una posible explicación puede ser fenómenos de infiltración en su tramo final en un paquete de coladas volcánicas con estructura de pillows que favorezcan un drenaje más profundo hacia el Sur al río Deba.

**Funcionamiento hidráulico. Parámetros**

La presencia de niveles privilegiados con una permeabilidad alta originada por fracturación y/o porosidad primaria, alternando con términos de permeabilidad baja, condiciona un funciona-

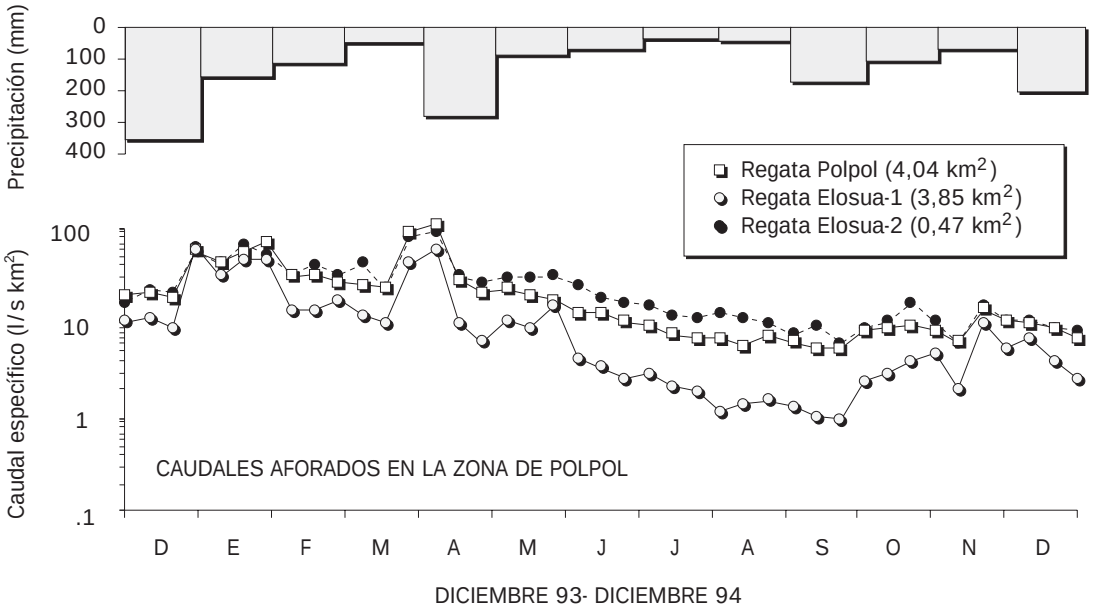



Figura 4. Caudales específicos.

miento irregular, con direcciones de flujo variables, diferentes piezometrías y distintos parámetros hidráulicos según la zona.

Como dato complementario a los citados en el sector Metxika, se pueden citar los parámetros obtenidos en el sondeo Arrieta-2.

- Transmisividad: 17 $m^2$/día
- Coeficiente de almacenamiento: 2,7 x $10^{-3}$
- Caudal de explotación: 8 l/s

**Balance hídrico**

El balance cuyo ajuste ha podido ser realizado con mayor fiabilidad corresponde al Sector Soraluze. Se han obtenido los siguientes valores:

| Período | Dic. 93-Nov. 94 |
|---|---|
| Precipitación en Aixola (mm) | 1.663 |
| Lluvia útil (53% de P) (mm) | 881,4 |
| Coeficiente de escorrentía (l/s/$km^2$) | 27,9 |
| Porcentaje (%) de infiltración de la lluvia útil | 25 |
| Módulo de infiltración (l/s/$km^2$) | 7 |

Asumiendo estos mismos porcentajes para el resto del dominio, exceptuando Metxika, resulta un balance global de:

| | |
|---|---|
| Superficie ($km^2$) | 264 |
| Lluvia útil (mm) | 800 |
| Infiltración de la lluvia útil (%) | 25 |
| Recursos ($Hm^3$) | 53 |

En definitiva, el recurso total asociado al dominio se eleva a 55 $Hm^3$ en un año medio.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Se dispone de un total de 45 análisis de diversos puntos del dominio, 13 manantiales, 24 regatas y 8 sondeos.

Las muestras analizadas corresponden mayoritariamente a aguas bicarbonatadas cálcicas de baja mineralización presentando la mayoría contenidos salinos inferiores a 200 mg/l.

Las muestras anómalas se localizan en el extremo NO del dominio en los sondeos realizados en los Sectores Arrieta y Metxika, donde presentan en general una mayor mineralización (conductividades del orden o superiores a 300 µS/cm) y un mayor contenido en sodio, siendo algunas muestras de composición bicarbonatada sódica (sondeos Baldatika-3 y Fruiz-1). Estos valores más elevados de sodio oscilan entre 10 y 48 mg/l y van acompañados también de un mayor contenido en cloruros (entre 17 y 42 mg/l).

En la figura 5 se recoge una distribución de frecuencias para la conductividad y algunos elementos mayoritarios.

En la analítica consultada se observan fenómenos de contaminación externa (bacterioló-

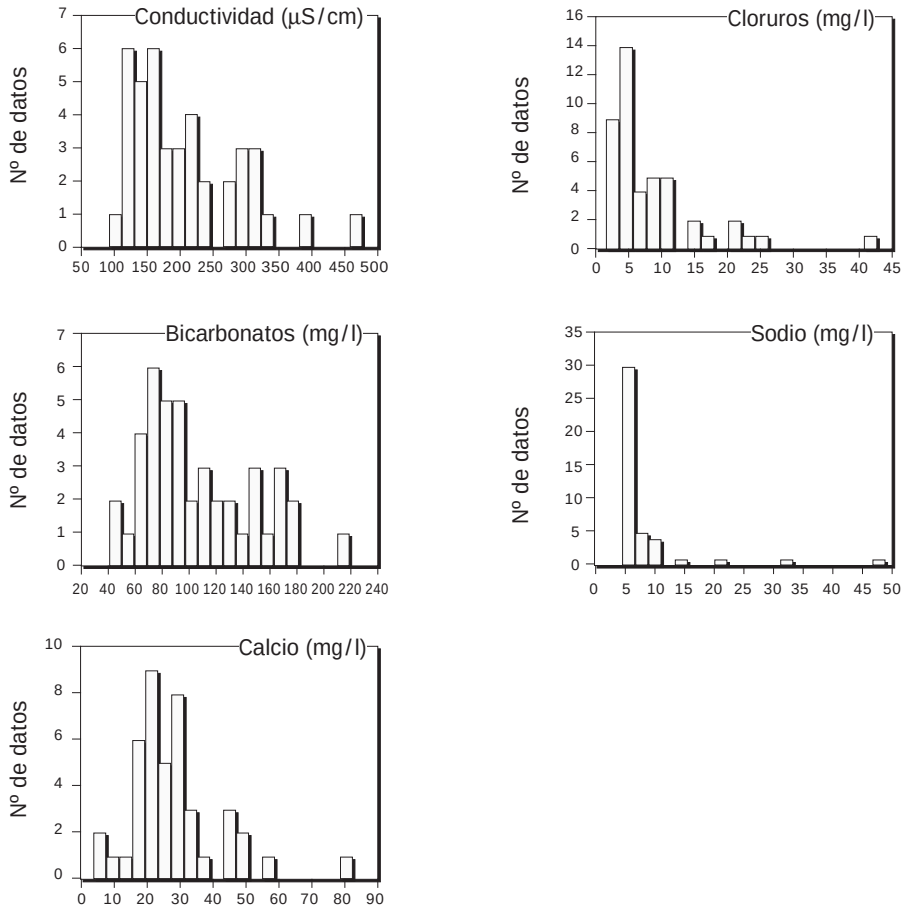



Figura 5. Caracterización hidroquímica.

gica y amoniaco) que afecta a la calidad de algunas aguas, tanto en regatas como en manantiales o sondeos. El resto de los parámetros se encuentra dentro de los límites de potabilidad.

En definitiva, sin considerar los fenómenos de contaminación microbiológica habituales, se puede considerar que las aguas del Complejo Volcánico presentan una baja mineralización y buena calidad.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

Todos los puntos inventariados, tanto manantiales como corrientes superficiales y sondeos, se encuentran captados para abastecimiento municipal o particular. La mayoría de los puntos captados son tomas en corrientes superficiales, por lo que la regulación de los recursos del dominio es mínima.

El control en algunas regatas pone de manifiesto la existencia de una regulación natural que supone unos caudales en estiaje netamente superiores a los materiales detríticos de baja permeabilidad del entorno. Favorecido por ello, el porcentaje de recurso renovable aprovechado es superior a la media, estableciéndose en torno al 20%, lo que supone un volumen anual de 11 $Hm^3$.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

GV (1982). Estudio sobre la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. País Vasco, 1982. (CUA).

DFB (1986). Estudio hidrogeológico de Vizcaya. (UPV/EHU).

DFG-SGOP (1985). Estudio de evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos del Territorio Histórico de Gipuzkoa. (EUROESTUDIOS-INGEMISA).

EVE (1985). Investigación hidrogeológica unidad terciaria de Oiz (1ª fase). (GEOTHEKNIKA).

EVE (1987). Estudio hidrogeológico del Término Municipal de Soraluze. (GIGSA).

EVE (1987). Mejora del abastecimiento en la localidad de Elgeta (Gipuzkoa). (GEOTHEK-NIKA).

EVE-DFB-GV (1991). Estudio hidrogeológico del Termino Municipal de Arrieta. (INGEMISA).

EVE-DFB-GV (1992). Construcción de los sondeos de explotación Arrieta-1, Arrieta-2 y Fruiz-1.

EVE-DFB-GV (1992). Estudio hidrogeológico del Término Municipal de Errigoiti. (INGEMISA).

EVE-DFB-GV (1992). Estudio hidrogeológico del Término Municipal de Fruiz. (INGEMISA).

EVE-DFB-GV (1993). Construcción de los sondeos de investigación y explotación Pagozarreta-1 y 2, Baldatika-1, 2 y 3, Metxika-1, Fika-1 y Arriaundi-1 y 2.

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Baldatika-1 | 524300 | 4797340 | 120 | 4 | - |
| Baldatika-3 | 524535 | 4797305 | 118 | 3 | - |
| Metxika | 523255 | 4798400 | 300 | 15 | Abastecimiento de Errigoiti |
| Arrieta-2 | 518775 | 4799445 | 205 | 8 | Abastecimiento de Arrieta |
| Fruiz-1 | 517040 | 4797810 | 45 | - | - |

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO SINCLINAL DE OIZ

**GENERALIDADES**

Se engloba dentro de este dominio la franja de materiales terciarios que, ocupando el núcleo del Sinclinorio de Bizkaia, se extiende desde las proximidades de Ermua y Zaldibar por el Este hasta la costa en Getxo en el Oeste (figura 1).

Como núcleos de población más importantes asentados sobre este dominio destacan Getxo, Sopelana, Urduliz, Zaldibar y Ermua. Flanqueando el dominio se encuentran otros núcleos importantes como Durango, Amorebieta y Mungia.




Figura 1. Situación del dominio.

La naturaleza competente de algunos materiales aflorantes originan relieves de entidad como el monte Oiz (1.028 m) y, en menor medida Bizkargi (564 m), los montes de Aretxabalaga o las peñas de Urduliz.

El dominio, con una alineación NO-SE, representa la divisoria entre las cuencas de los ríos Oka, Butron, Lea y Artibai, al Norte y Gobelas, Asua e Ibaizabal al Sur, ocupando en general sus cuencas altas.

**GEOLOGIA**

Desde el punto de vista geológico, el dominio está definido por los materiales terciarios que ocupan el núcleo del Sinclinorio de Bizkaia.

Sus contactos son en general mecánicos, salvo en el extremo SE donde aparecen las series en contacto normal o ligeramente discordante. La importante tectónica que afecta a la zona hace desaparecer la estructura sinclinal en buena parte de su extensión, configurando una secuencia monoclinal prácticamente subvertical.

La estratigrafía del área es compleja, con frecuentes cambios de facies característicos del medio deposicional.

Los materiales que conforman el dominio pertenecen al Terciario (Paleoceno y Eoceno) exceptuando algunos recubrimientos cuaternarios (aluviales y/o coluviales).

Se diferencian las siguientes litologías:

**Paleoceno** (149 a 155). Mayoritariamente se encuentra constituido por una alternancia de margas y margocalizas grises y rojas (149, 152) y brechas poligénicas calcáreas (153) que, allí donde afloran, permiten dibujar la estructura con claridad. En algunos lugares donde es posible su diferenciación, el término 152 se llega a desdo-

blar en función, fundamentalmente, de la coloración gris o rojiza (151 y 150 respectivamente).

Por encima aparece una serie alternante de lutitas y areniscas (155) que alcanza un predominio de los materiales detríticos, incluso microconglomeráticos, en algunos sectores (154).

**Eoceno inferior** (156 a 160). Se encuentra constituido por series flyschoides de afinidad turbidítica que a grandes rasgos se pueden agrupar en dos conjuntos, en función del mayor o menor predominio de material detrítico.

El denominado flysch margoso, constituido por una alternancia de lutitas, margas, margocalizas calizas arenosas y, en menor proporción, areniscas (156, 160) y el llamado flysch arenoso, constituido por una alternancia de areniscas, calizas arenosas y lutitas (157). Las relaciones entre ambas secuencias son en ocasiones graduales y complejas, tal y como se comentará más adelante al describir la Unidad Hidrogeológica Oiz, incluida en este dominio.

Localmente se produce un aumento significativo del componente areniscoso, llegando a predominar las areniscas estratificadas en bancos decimétricos-métricos (158).

Entre las series flyschoides aparecen niveles de conglomerados y areniscas gruesas (159) que originan los mayores resaltes topográficos del dominio.

**Eoceno medio** (161). Constituye el Terciario más alto y está constituido por calizas micríticas, margas y calcarenitas con Nummulites. Sus afloramientos se limitan a los núcleos de los sinclinales de Garai y Punta Galea. Ambos afloramientos tienen la misma edad pero sin embargo las características de las formaciones son notablemente diferentes. El carácter flyschoide del afloramiento de Punta Galea es difícil de apreciar en Garai.

**Cuaternario** (200, 201). Los materiales cuaternarios dignos de mención se limitan a depósitos aluviales (200) asociados a los cauces de los ríos que atraviesan el dominio (Gobelas, Butrón, etc.) así como a materiales de origen coluvial (201).

La estructura del dominio corresponde al núcleo del Sinclinorio de Bizkaia, afectado por importantes fallas longitudinales que provocan la desaparición de parte o la totalidad del flanco Sur.

Como consecuencia de la intensa deformación que afecta al núcleo sinclinal, se generan otras estructuras menores asociadas como los sinclinales de Garai y Magunas.

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

De los materiales que afloran en el área ocupada por el dominio, son las areniscas y microconglomerados (158, 159) los que presentan una permeabilidad alta. La porosidad primaria de los materiales detríticos es escasa, siendo los procesos de meteorización a través de discontinuidades los que dotan al medio de una porosidad secundaria importante por lavado del cemento calcáreo.

Constituyen acuíferos detríticos consolidados o mixtos instalados en niveles o barras areno-conglomeráticas. En la mitad Suroriental del dominio se produce una acumulación de materiales detríticos de permeabilidad alta configurando la Unidad Hidrogeológica Oiz.

Los términos 150, 152, 153, 154 y 161 presentan en general una permeabilidad media que puede aumentar muy localmente hasta alta.

Al resto de los materiales (149, 151, 155, 156, 157, 160), a excepción de los recubrimientos cuaternarios, se les atribuye una permeabilidad baja, pudiendo aumentar ligeramente en sectores fuertemente deformados y/o fracturados.

Los recubrimientos cuaternarios a pesar de presentar una permeabilidad alta no tienen interés hidrogeológico en el dominio debido a la reducida extensión que presentan.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

Exceptuando el entorno del monte Oiz, donde hay una mayor presencia de niveles permeables susceptibles de configurar y definir una unidad hidrogeológica, el resto de niveles o barras con potencialidad de albergar acuíferos presentan una continuidad lateral relativamente pequeña. La figura 2 muestra la ubicación de la Unidad Hidrogeológica Oiz y de los sectores diferenciados.

Constituyen pequeñas barras acuíferas selladas, en general, a techo y muro por materiales lutíticos de muy baja permeabilidad. En otras ocasiones, los materiales adyacentes




Figura 2. Esquema de unidades y sectores.

presentan una cierta permeabilidad pudiéndose producir transferencia de agua entre ellos.

Con frecuencia dentro de un mismo nivel detrítico existen pasadas lutíticas que llegan incluso a independizar niveles productivos.

Dada la estructura general del dominio, con fuerte buzamiento o subvertical, es frecuente el confinamiento de los pequeños acuíferos.

*PUNTOS DE DESCARGA*

Los puntos de descarga de los diversos acuíferos se localizan en los puntos topográficamente más bajos, en general donde se produce la terminación de las barras detríticas, bien en forma concentrada o difusa a los arroyos.

El inventario de puntos de agua de este dominio es indicativo en gran medida de su funcionamiento. Del total de manantiales inventariados en el área, exceptuando la integrada en la Unidad Hidrogeológica Oiz, únicamente el manantial **Pozozabale** aporta un caudal medio superior a 10 l/s. Son varios los que se aproximan a esta cifra (**Atxebale**, **Errotatxu**, **Orue**) y muy numerosos aquellos cuya aportación se estima en 1 ó 2 l/s.

Son igualmente numerosos los sondeos, entre los que cabe diferenciar los de gran diámetro y poca profundidad, y los convencionales de pequeño diámetro, de profundidad media en torno a 50 m. Los caudales explotados, similares a los captados en las surgencias, son destinados mayoritariamente a abastecimiento privado.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO*

La recarga a los pequeños niveles acuíferos se produce por precipitación directa sobre sus afloramientos. No se descarta una cierta recarga indirecta por infiltración de cursos superficiales al atravesar niveles permeables, aunque debe ser mínima.

La circulación subterránea se realiza, bien de modo libre o confinado, simultáneamente a favor de la porosidad intergranular (máxima en sectores escasamente cementados) y a través de discontinuidades (más evidentes en zonas bien cementadas donde el agua todavía no ha lixiviado el carbonato). A favor de estas discontinuidades se produce una circulación preferencial.

La existencia de variaciones granulométricas y de textura de unos niveles a otros, dentro incluso de un mismo paquete, provoca en detalle variaciones en el comportamiento hidrogeológico que pueden implicar diferenciaciones del flujo subterráneo. Este hecho es más evidente en el caso de que intercalen pasadas lutíticas, llegando a aparecer surgencias a diferentes alturas dentro de un mismo paquete.

La respuesta ante las precipitaciones es, en general, amortiguada por un sistema de drenaje subterráneo muy ramificado. Los puntos de descarga, en consecuencia, presentan una notable regulación de caudales, a pesar de que éstos sean en general bajos. La velocidad del flujo subterráneo, en estas circunstancias, debe ser baja.

La descarga puede calificarse, en términos generales, de difusa a lo largo de los cauces que atraviesan o nacen en los crestones que caracterizan el dominio. Aforos diferenciales, realizados mayoritariamente en la mitad noroccidental del dominio, muestran ganancia progresiva aún dentro de las formaciones areno-conglomeráticas de permeabilidad más alta. Este drenaje es cuantitativamente muy superior al realizado a través de las surgencias descritas.

*BALANCE HIDRICO*

La precipitación media anual dentro del dominio varía entre 1.100 mm de la zona costera hasta valores probablemente superiores a 1.600 mm en la zona del monte Oiz.

La isoterma media anual varía entre 12-14°C obteniéndose, en consecuencia, una lluvia útil algo inferior a 600 mm en la zona costera y superior a 900 mm en las zonas topográficamente más elevadas.

La distribución de los excedentes va a depender de gran número de factores, además

del litológico, como morfología, vegetación, desarrollo de suelos, etc., muchos de ellos con variaciones locales muy acentuadas. En general, se estima una infiltración en torno al 75% de la lluvia útil en los materiales areno-conglomeráticos, del 45% en materiales de permeabilidad media (flysch arenoso) y del 15% en el resto de los materiales.

Para el cálculo del balance hídrico se ha dividido el dominio en sectores de diferente interés hidrogeológico. Se incluyen (excepción hecha de la Unidad Oiz):

**Sector Unbe-Fadura**

Constituye el mayor afloramiento areniscoso del dominio, incluyendo adicionalmente niveles del flysch arenoso. La alimentación se produce básicamente por precipitación directa sobre sus afloramientos.

La descarga se realiza a través de numerosas surgencias, directamente a algunos cauces, transmitiendo posiblemente agua al aluvial de Fadura y, en los extremos más próximos a la costa, probablemente de forma directa al mar.

Con una área de recarga de 6,4 $km^2$ en materiales areno-conglomeráticos y de 1,5 $km^2$ en materiales arenosos de menor permeabilidad, presenta unos recursos subterráneos medios anuales de 2,8 $Hm^3$.

**Sectores Lauros, Urkulu, Gorozika y Santa Marina**

Se trata de una serie de crestones detríticos con una extensión conjunta de 4,6 $km^2$. Su alimentación proviene básicamente de la precipitación sobre los afloramientos pudiendo existir, a buen seguro, conexión lateral con formaciones de menor permeabilidad.

Se calculan unos recursos conjuntos de aproximadamente 3 $Hm^3$/año.

**Resto del dominio**

Además, existen otros pequeños niveles de menor entidad así como materiales que de modo muy local pueden aumentar ligeramente su permeabilidad y constituir pequeños acuíferos individualizados. Para un área total de 149 $km^2$ y una infiltración global media del 15% de la lluvia útil, resultan unos recursos de 16 $Hm^3$/año.

En consecuencia, se estiman unos recursos subterráneos para el conjunto del dominio, exceptuando la Unidad Hidrogeológica Oiz, de 21,8 $Hm^3$/año.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Se han realizado análisis fisico-químicos de gran número de las surgencias existentes en el dominio, a pesar de su escaso caudal. Además, en algunos puntos significativos se han efectuado controles periódicos a fin de conocer su variabilidad hidroquímica temporal.

Las aguas del dominio presentan facies bicarbonatada cálcica de baja mineralización. Las surgencias más directamente relacionadas con niveles detríticos son las de menor mineralización, con valores de conductividad incluso por debajo de 200 µS/cm. Este valor se incrementa ligeramente en los manantiales asociados a materiales de menor permeabilidad.

Se detectan mayores contenidos de $Cl^-$ y $Na^+$ en las surgencias más próximas a la costa.

El control periódico llevado a cabo en algunas surgencias (Atxebale, Errotatxu y Orue) pone de manifiesto una notable similitud con surgencias de la Unidad Hidrogeológica Oiz. Los manantiales presentan una uniformidad hidroquímica muy alta con coeficientes de variación para los elementos analizados en general bajos, siendo de destacar variaciones inferiores al 5% para elementos tan significativos como bicarbonatos y calcio.

La calidad química de las aguas de los manantiales es en general aceptable, calidad que se ve rápidamente deteriorada al llegar a los cursos superficiales, especialmente en los ríos Asua y Gobelas.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

El aprovechamiento actual de los recursos hídricos del dominio, excluyendo la Unidad Oiz, puede considerarse intensivo en lo que al número de captaciones se refiere. Sin embargo, la regulación practicada es mínima. Puede estimarse en el 15% (3,2 $Hm^3$) de los recursos renovables en un año medio.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

EVE (1985). Investigación hidrogeológica de la Unidad Terciaria de Oiz (1ªFase). (GEOTHEK-NIKA).

EVE (1992). Investigación hidrogeológica del área Amorebieta-Getxo. (GEYSER).

EVE-DFB (1995). Construcción de los sondeos de investigación Berriaga.

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Pozozabale | 504400 | 4799225 | 75 | >10 | Abastecimiento de Getxo |
| Atxebale | 502080 | 4801050 | 45 | 1-10 | Abastecimiento de Berango |
| Errotatxu | 505470 | 4801010 | 40 | 1-10 | Abastecimiento de caseríos |
| Orue | 517680 | 4794175 | 200 | 1-10 | Abastecimiento de Mungia |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA OIZ

## GENERALIDADES

Esta unidad comprende principalmente el entorno más próximo al monte Oiz, extendiéndose hacia el NO hasta Amorebieta. Incluye en su descripción materiales del Dominio Hidrogeológico Cretácico superior (figura 1).




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

Es una zona de topografía relativamente accidentada cuya máxima elevación es el monte Oiz (1.026 m). La linea de cumbres asociadas constituye la divisoria hidrológica entre las cuencas Ibaizabal (al Sur) y Oka, Lea y Artibai (al Norte).

En la periferia de la unidad se localizan importantes núcleos urbanos entre los que destacan Durango y Amorebieta, con poblaciones cercanas a los 23.000 y 16.000 habitantes respectivamente.

## GEOLOGIA

La unidad, desde el punto de vista geológico, se ubica en el núcleo del Sinclinorio de Bizkaia (Macizo de Oiz) y se extiende lateralmente hacia el NO. Es destacable la diferencia existente entre la zona Norte del macizo, en tránsito tectónicamente tranquilo con el Cretácico superior, y el área Sur, con una mayor deformación incluyendo un contacto Cretácico superior-Terciario extensamente mecanizado, que llega a configurar en el extremo NO de la unidad una secuencia monoclinal prácticamente subvertical.

La estratigrafía general del área presenta una complejidad importante originada por el propio medio deposicional, con frecuentes cambios de facies y potencias en las formaciones, así como por la abundancia de recubrimientos coluviales de escasa potencia pero de gran extensión.

Los materiales que conforman la unidad son básicamente eocenos, exceptuando los recubrimientos cuaternarios de escaso espesor. Se diferencian las siguientes litologías:

**Cretácico superior** (141 a 149). La gran mayoría de los materiales cretácicos aflorantes al Norte y, sobre todo, al Sur del macizo de Oiz están constituidos por secuencias de naturaleza flyschoide de margas y calizas más o menos arenosas (141, 147). En la zona oeste la unidad afloran coladas volcánicas masivas (143). El Cretácico más alto se compone en el flanco Sur del sinclinorio de margas negras (148), mientras en el Norte aflora una delgada serie de margocalizas y margas grises (149).

**Eoceno inferior** (157 a 160). Se encuentra constituido mayoritariamente por series flyschoides con frecuentes tránsitos tanto laterales como verticales. Se trata de lutitas que intercalan esporádicamente algún nivel de areniscas (157) y un flysch carbonatado que ocasionalmente incluye alguna pasada areniscosa (160). Localmente aumenta el contenido detrítico llegando a predominar las areniscas estratificadas en bancos decimétricos-métricos (158).

Dentro de estas series flysch, aparecen niveles de granulometría más gruesa constituidos por conglomerados y areniscas gruesas (159) que originan los resaltes morfológicos principales en el área de Oiz. Frecuentemente intercalan pasadas de lutitas. La estratificación es de forma irregular con paquetes limitados por superficies canaliformes, onduladas, etc. La potencia de esta serie varía notablemente de unos puntos a otros. El máximo espesor aflorante se sitúa sobre los 500 m.

Los materiales eocenos descritos, que componen mayoritariamente el área de Oiz, responden a un complejo de abanicos submarinos con presencia de todas sus facies, desde llanura submarina representada por series flyschoides con abundante componente lutítico hasta lóbulos y canales representados por materiales con componente detrítico más o menos grosero. Los diversos subambientes turbidíticos varían espacialmente debido, entre otros aspectos, a la propia dinámica del sistema.

Los sondeos de investigación realizados ponen de manifiesto importantes cambios de facies y acuñaciones laterales propias del sistema turbidítico, hasta el punto de presentar problemas de correlación aún en sondeos distantes tan sólo 200 m (figura 2).

**Eoceno medio** (161). Constituye el Terciario más alto del área, limitándose sus afloramientos al núcleo del sinclinal de Garai y su prolongación hacia el Este. Presenta una litología variada constituida por calizas de grano fino, brechas calcáreas, calcarenitas y margas.

**Cuaternario** (200, 201). Los rellenos cuaternarios aparecen ligados principalmente a materiales aluviales (200) asociados al cauce del río Ibaizabal. Los materiales coluviales (201), aunque ampliamente desarrollados en todo el área, no presentan habitualmente excesiva potencia. Son formaciones poco o nada consolidadas constituidas por bloques y fragmentos de arenisca.

Desde el punto de vista tectónico, los materiales eocenos se encuentran afectados por una serie de pliegues menores de directrices NO-SE, en general concordantes con la estructura sinclinorial principal.

Las principales estructuras de la zona son los sinclinales de Oiz, Ibarruri y Garai. Como se verá más adelante, éstas pequeñas estructuras asociadas a la principal llegan a individualizar numerosos sectores de funcionamiento hidráulico independiente.

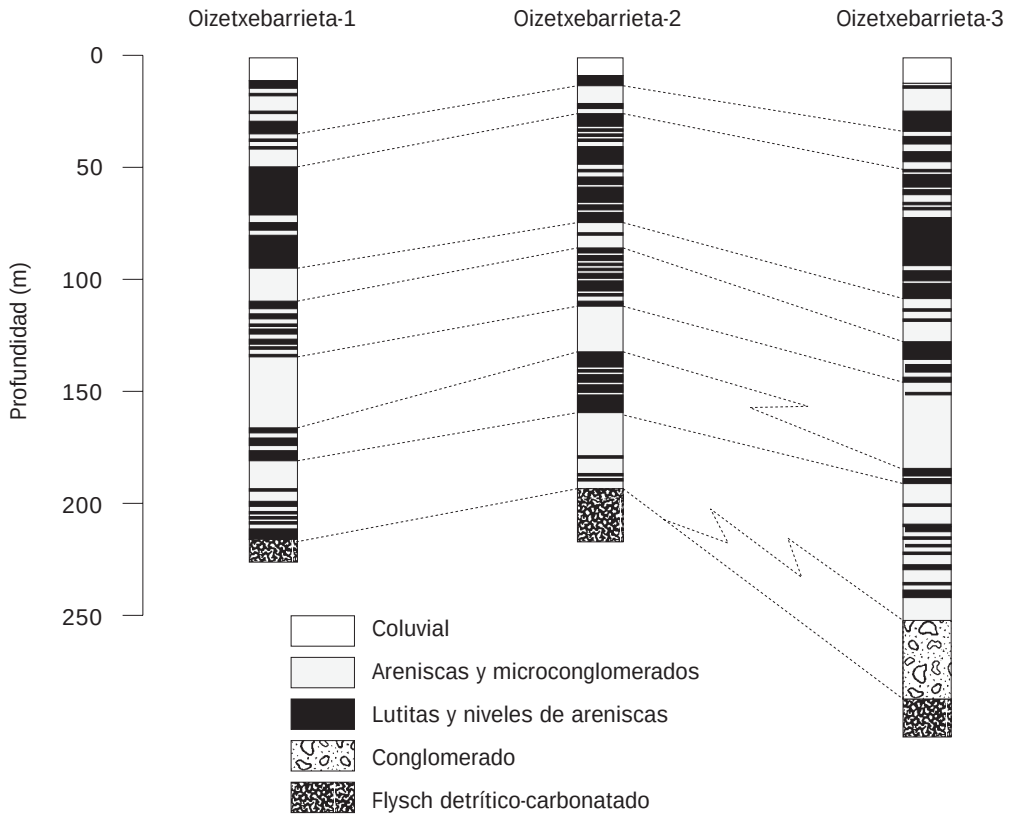



Figura 2. Sondeos de investigación Oizetxebarrieta.

**HIDROGEOLOGIA**

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

De los materiales aflorantes en el área de la unidad, son las areniscas y microconglomerados (158, 159) los que presentan permeabilidad alta y constituyen los acuíferos principales. Los materiales carbonatados (161), situados en el núcleo del sinclinal de Garai, alcanzan también permeabilidad localmente alta aunque su implicación en el funcionamiento de la unidad es menos relevante. Esto último es también de aplicación a los depósitos cuaternarios (200, 201), de permeabilidad alta.

El resto de los materiales descritos tienen permeabilidades variables entre media (143, 144), baja (141, 147, 149, 157, 160) y muy baja (148).

La porosidad primaria de las areniscas y microconglomerados es prácticamente nula. Son los procesos de meteorización a través de fracturas y discontinuidades los que provocan un lixiviado del cemento calcáreo y originan una porosidad secundaria importante. En muchas ocasiones la trama detrítica permanece en el medio, mientras en otras ha sido evacuada a través de auténticos conductos kársticos. Así, se configura una tipología de acuífero que ha recibido la denominación de detrítico mixto donde confluyen un comportamiento de medio detrítico poroso típico y otro de tipología kárstica con circulación asociada a conductos.

En el caso de los materiales carbonatados que componen el sinclinal de Garai la porosidad es también mayoritariamente secundaria, desarrollada por fracturación y karstificación.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

Las areniscas y microconglomerados (158, 159), que constituyen los acuíferos principales de Oiz, tienen una potencia muy variable de unos puntos a otros, en función de sus frecuentes cambios de facies. La potencia máxima estimada se sitúa sobre los 500 m.

El sustrato impermeable está constituido por materiales flyschoides que, en ocasiones, presentan un elevado contenido en detríticos, por lo que no siempre puede hablarse de un borde impermeable neto.

La estructura de la unidad es una estrecha sucesión de pliegues, de dirección NO-SE, que condiciona la existencia de numerosos sectores independizados hidráulicamente.

Las características litológicas y estructurales de los materiales de mayor permeabilidad dan origen a lo que, en términos generales, puede denominarse acuífero multicapa. En áreas en las que la investigación mediante sondeo ha sido más intensa, se ha podido comprobar la existencia de diferentes niveles productores, dentro de la misma serie, con diferente piezometría.

*PUNTOS DE DESCARGA*

Del total de puntos de agua inventariados en la unidad, sólo los manantiales Urzulu e Ibarruri presentan un caudal medio superior a 100 l/s.

**Urzulu.** Constituido por varias surgencias a lo largo del arroyo del mismo nombre, surge a cota aproximada 470 m. Sus aguas, después de ser conducidas mediante un canal para aprovechamiento hidroeléctrico, son utilizadas para el abastecimiento a Durango. Las surgencias topográficamente más altas son captadas para abastecimiento a Garai. El caudal mínimo de este manantial se sitúa sobre los 50-60 l/s y presenta puntas de varios cientos de l/s. Su caudal, junto con las aportaciones de otros manantiales y arroyos vienen siendo controlados desde 1990 mediante las estaciones de aforo de Arria y Patala. El conjunto de las dos estaciones ha contabilizado un caudal medio durante los 4 años hidrológicos de control (1990-94) de 385 l/s.

**Ibarruri.** Está constituido igualmente por un grupo de surgencias directas al cauce del río Orobios, localizadas en torno a la cota 225 m. Su caudal conjunto de estiaje es de algunas decenas de l/s y sus puntas son de difícil estimación al surgir directamente en el cauce. El corto periodo de datos de la estación de aforos de Orobios, controló caudales de estiaje ligeramente superiores a 50 l/s de los cuales la gran mayoría corresponden a las surgencias de Ibarruri.

Del resto de manantiales menos caudalosos destacan:

**Gallandas** y **Zengotita**, con un caudal medio anual ligeramente por encima de 10 l/s, captados en su práctica totalidad para abastecimiento a Durango y Berriz respectivamente.

**Garai**, con un caudal medio en torno a 6 l/s y puntas de más de 30 l/s. Esta surgencia, localizada en el extremo SE del sinclinal de Garai,

fue controlada mediante estación de aforos durante el periodo 1983-85.

**Mendiko**, **Arria**, **Berroetas** y **Urgoso**, con caudales medios próximos a 10 l/s y captados para abastecimiento a Durango, Abadiño y Amorebieta.

Además de los citados, existe una gran cantidad de puntos de agua de escaso caudal asociados a las litologías de permeabilidad media-baja.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. PARAMETROS*

El drenaje de la unidad se dirige, mayoritariamente, hacia la cuenca del Ibaizabal a favor de los arroyos Arria y Orobios.

En detalle el funcionamiento es complejo, fruto de las características sedimentológicas y de la estructura geológica de la zona. La complejidad estructural condiciona la formación de diferentes subunidades, todas ellas en general de tipología detrítico mixto, algunas de las cuales podría incluso subdividirse en sectores con funcionamiento y piezometría diferente. Se distinguen las siguientes subunidades (figura 3):

- Subunidad Oizetxebarrieta.
- Subunidad Ibarruri.
- Subunidad Arria.
- Subunidad Etxano.

**Subunidad Oizetxebarrieta**

Presenta un área de recarga de materiales de permeabilidad alta (159) de aproximadamente de 6,5 km$^2$ y se localiza en la zona más alta del monte Oiz. La circulación del agua se realiza mayoritariamente a través de conductos más o menos colmatados de arena, logrando una regulación de caudales relativamente importante. La recarga al sistema se produce por infiltración directa sobre los materiales detríticos.

Dada la estructura sinclinal en la que se asienta el acuífero, cabría esperar un funcionamiento libre con dirección del flujo subterráneo hacia el Sur, en dirección a las surgencias Urzulu. No obstante, el acuífero no está formado, en el detalle, exclusivamente por areniscas y microconglomerados sino que incorpora algunos niveles lutíticos de tipo flyschoide llegando a producir el confinamiento de algunos niveles permeables. En el detalle, el acuífero podría considerarse multicapa, al menos en algunas zonas.

Los sondeos perforados en la subunidad reflejan la existencia de un nivel piezométrico en torno a la cota 490 m. Se observa una acusada anisotropía en los parámetros hidrogeológicos. En

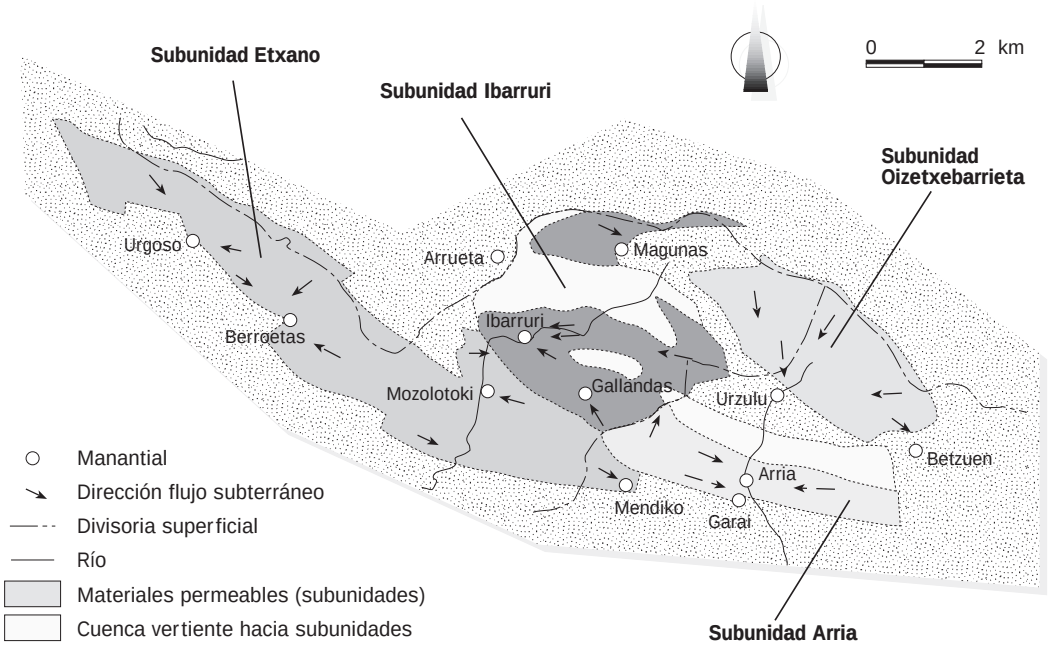



Figura 3. Esquema de subunidades.

conjunto, puede hablarse de una transmisividad media de 200-300 $m^2$/día que pasa localmente a baja, 40 $m^2$/día. El coeficiente de almacenamiento se sitúa sobre $6x10^{-3}$, propio de acuíferos confinados. Estas variaciones en los parámetros tienen su reflejo en las diferentes productividades obtenidas en los sondeos, 1-3 l/s/m.

La estructura sinclinal de Oizetxebarrieta, con suave buzamiento en su flanco Norte, y la topografía condicionan la existencia de un volumen de reservas evaluado en 4 $Hm^3$.

**Subunidad Ibarruri**

Presenta un área de recarga aproximada de 9,5 $km^2$, distribuida de la siguiente forma:

- 6,5 $km^2$ corresponden a afloramientos de materiales permeables donde la recarga se produce directamente por infiltración de la lluvia útil.

- 3 $km^2$ corresponden a materiales de baja permeabilidad. La precipitación sobre estos materiales tras discurrir por los arroyos existentes acaba infiltrándose en mayor o menor grado al atravesar niveles detríticos permeables.

En detalle, se pueden distinguir dos sectores independientes. Uno localizado al Norte, Magunas, y constituido por un pequeño afloramiento permeable que ocupa el extremo occidental de la continuación del sinclinal de Oizetxebarrieta. El drenaje se realiza mayoritariamente a través de los manantiales Magunas y Arrueta, de caudales medios comprendidos en el intervalo 1-10 l/s. La transmisividad obtenida en el único sondeo que perfora este sector es de 36 $m^2$/día.

El otro, Ibarruri-Gallandas, de dimensiones mucho mayores, está constituido en detalle por dos niveles acuíferos principales instalados en barras de areniscas y conglomerados y desconectados hidráulicamente por una intercalación lutítico-margosa de 20 m de potencia o con conexión bastante deficiente. Ambos niveles presentan una diferencia de piezometría en torno a 10 m. En algunos puntos, Gallandas, todavía se detecta otro nivel superior también desconectado hidráulicamente de los inferiores y cuyo drenaje se produce por el manantial del mismo nombre (figura 4).

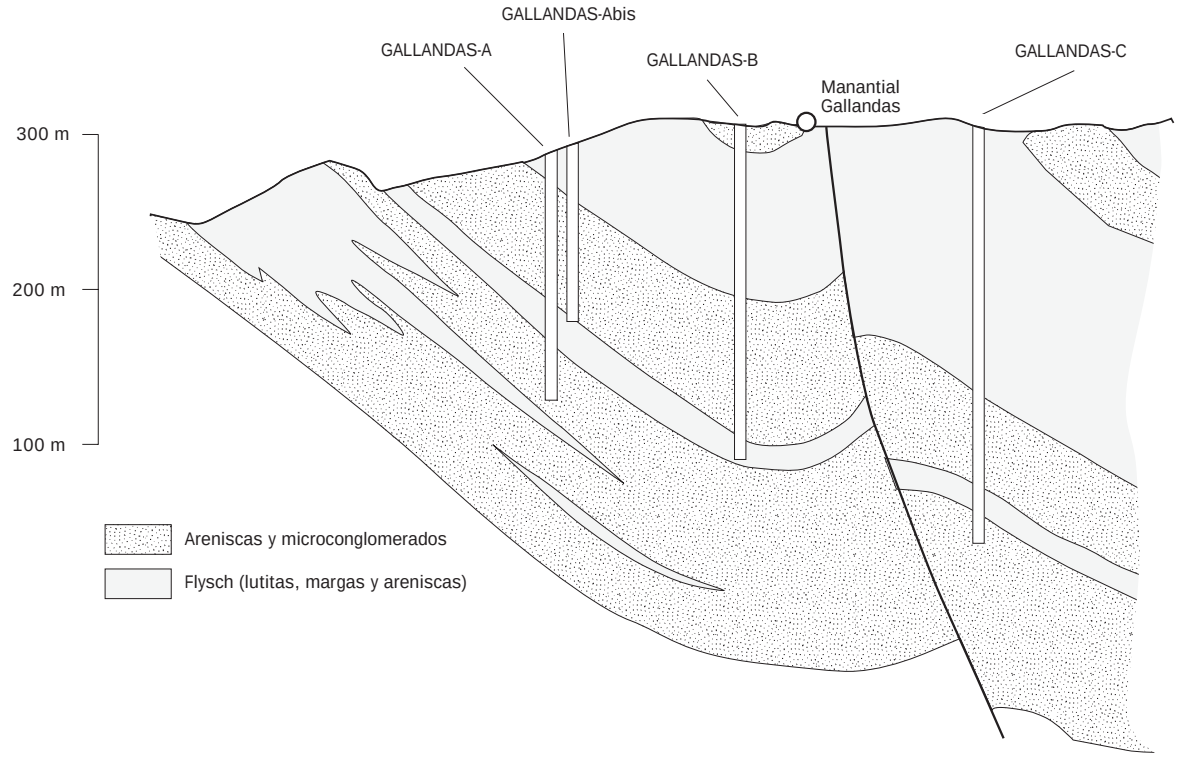



Figura 4. Esquema del Sector Gallandas.

El drenaje principal de la subunidad se realiza a través de los manantiales Ibarruri estableciéndose un flujo subterráneo SE-NO. El funcionamiento de la subunidad es fundamentalmente confinado.

Las perforaciones realizadas reflejan la existencia de un nivel piezométrico en torno a la cota de los manantiales Ibarruri (200-210 m) con gradientes bastante elevados, del orden del 4%.

En general, los valores de transmisividad obtenidos se sitúan entre 100-130 $m^2$/día, si bien se detecta una cierta compartimentación del medio que trae consigo la aparición de sectores menos transmisivos (25 $m^2$/día). El coeficiente de almacenamiento oscila entre $2,2x10^{-3}$ y $2,8x10^{-4}$ siendo normalmente más bajo en el acuífero más profundo.

Tal como se ha comentado, la porosidad es mayoritariamente secundaria, debida a procesos de meteorización. La presencia de materiales meteorizados y por lo tanto porosos es muy abundante en la proximidad de las zonas de surgencia y disminuye tanto lateralmente como en profundidad, lo que condiciona enormemente el volumen de reservas.

**Subunidad Arria**

Presenta un área de recarga de 4,7 $km^2$ repartida, al igual que la subunidad anterior, en 2,7 $km^2$ de infiltración directa sobre afloramiento permeable y 2 $km^2$ de infiltración indirecta.

El acuífero principal de esta subunidad se encuentra constituido por el nivel detrítico en posición subvertical que conforma el flanco Sur del anticlinal de Zengotita. Un poco más al Sur, y probablemente desconectado de éste, se encuentra el acuífero carbonatado de Garai, que ocupa el núcleo de la estructura sinclinal del mismo nombre. El manantial Garai representa el drenaje de aproximadamente 0,31 $km^2$ de este acuífero calcáreo de funcionamiento libre y tipología kárstico mixto.

El acuífero principal, de tipología detrítico mixto y funcionamiento libre, descarga fundamentalmente por el manantial Arria así como probablemente por aportes directos a los cauces de los arroyos de la zona.

Los sondeos perforados muestran un acuífero de transmisividad media (90-100 $m^2$/día) y coeficiente de almacenamiento de $7x10^{-2}$. La piezometría se sitúa sobre la cota 272 m originando gradientes hidráulicos elevados, de 3-4%.

La meteorización del nivel detrítico, por lo tanto su porosidad, disminuye notablemente por debajo de los 100 primeros metros de zona saturada.

**Subunidad Etxano**

Se engloba dentro de esta subunidad una superficie de 11 $km^2$ con una permeabilidad global notablemente inferior al resto de las subunidades hasta aquí descritas. Se trata de una superficie constituida principalmente por materiales flyschoides que engloban en ocasiones niveles detríticos groseros, generalmente subverticales, susceptibles de albergar acuíferos en su interior.

Destacan por su extensión los sectores Mendiko, Mozolotoki y Etxano cuyo drenaje se realiza en su mayoría por los manantiales de igual nombre en los dos primeros y Berroetas y Urgoso en el tercero. En el resto del área de la subunidad se pueden formar pequeños acuíferos que descargan principalmente a los cauces de los arroyos, principalmente al Orobios.

Los sondeos realizados en algunos sectores de esta subunidad ponen de manifiesto funcionamientos libres y confinados en función de las diversas estructuras. Se obtienen valores de transmisividad medios a bajos (10-80 $m^2$/día). El coeficiente de almacenamiento varía desde $2,5x10^{-2}$ en aquellos sectores de funcionamiento libre hasta $10^{-4}$ en los sectores confinados.

*BALANCE HIDRICO*

El balance se realiza por contraste entre los métodos empíricos y la información hidrometeorológica disponible en la zona, fundamentalmente los datos aportados por las estaciones de Garai, Arria y Patala. A falta de datos pluviométricos en altura, se considera una precipitación media anual en las zonas topográficamente más elevadas de 1.600 mm que bajaría hasta 1.500 mm en el resto del área de la unidad. La isoterma media anual se estima en 12°C.

La lluvia útil se sitúa en torno al 60% de la precipitación, 960 mm en las zonas más elevadas que bajaría hasta 900 mm en la zona de Amorebieta.

Los recursos totales de la unidad quedan de esta forma ligeramente por encima de 16 $Hm^3$/año, distribuidos de la siguiente forma :

**Subunidad Oizetxebarrieta,** con un porcentaje de infiltración estimado del 75% de la lluvia útil, presenta unos recursos medios de 4,7 $Hm^3$/año drenados casi en su totalidad por las surgencias de Urzulu. Las reservas podrían situarse ligeramente por debajo de los recursos.

**Subunidad Ibarruri,** con un porcentaje de infiltración estimado del 75% de la lluvia útil sobre materiales permeables y una infiltración indirecta del 40% procedente de materiales de baja permeabilidad, presenta unos recursos medios de 5,8 $Hm^3$/año, drenados mayoritariamente por las surgencias Ibarruri y, en menor proporción, por Magunas y Gallandas. Dada la estructura de esta subunidad las reservas podrían situarse por encima de los recursos.

**Subunidad Arria.** Presenta unos recursos renovables de 2,6 $Hm^3$/año, de los cuales 0,2 $Hm^3$ serían drenados por los manantiales Garai y sobre todo Arria y el resto por los arroyos de la zona. La infiltración directa e indirecta se admite similar a la subunidad anterior. La infiltración en los materiales carbonatados de Garai se estima en torno al 45% de la precipitación.

**Subunidad Etxano.** Dada su naturaleza litológica, presenta en conjunto una infiltración mucho menor. Se estima para todo el conjunto una infiltración media en torno al 30% de la lluvia útil, obteniéndose unos recursos renovables de 3 $Hm^3$/año drenados en su mayor parte por aportes directos al cauce del Orobios y por los manantiales del área de Etxano.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

La información hidroquímica se basa en análisis químicos correspondientes a más de 100 puntos de agua muestreados, incluyendo surgencias asociadas a la prolongación de los materiales terciarios hacia el Noroeste.

La hidroquímica de caracterización incluye puntos de agua surgentes en la práctica totalidad de las formaciones litológicas aflorantes, en su mayoría surgencias de poco caudal.

El cuadro 1 recoge los valores medios de los componentes mayoritarios en muestras analizadas.

La totalidad de las aguas analizadas presentan facies bicarbonatada cálcica exceptuando dos manantiales ligados a la falla de Durango, de naturaleza sulfatada cálcica, y el agua procedente del sondeo Arlaban, de facies bicarbonatada sódica.

Son aguas con diferencias en el grado de mineralización de acuerdo con el sector de la unidad drenado y su esquema de funcionamiento. En general, puede hablarse de un grado de mineralización bajo (200 mg/l) asociado al escaso cemento carbonatado de los materiales detríticos. En ocasiones, y debido a un mayor tiempo de tránsito del agua en el interior de las areniscas y microconglomerados, el grado de mineralización puede aumentar notablemente (300-400 mg/l).

El análisis del seguimiento hidroquímico temporal, realizado en diversas surgencias en diferentes momentos hidrológicos, pone de manifiesto una importante homogeneidad química en los elementos mayoritarios, lo que se relaciona con una significativa autorregulación de caudales.

Con respecto a la calidad del agua, es en todos casos apta para el consumo de acuerdo con los parámetros analizados. Por otra parte, las posibilidades de una modificación notable de este carácter son reducidas, dada la escasa actividad desarrollada en la zona de recarga y la ausencia de asentamientos importantes.

| Punto | $Na^+$ | $K^+$ | $Ca^{++}$ | $Mg^{++}$ | $Cl^-$ | $SO_4^=$ | $HCO_3^-$ | $NO_3^-$ | pH | Cond. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Urgoso | 8,0 | 0,7 | 47,7 | 7,5 | 15,6 | 3,0 | 189,2 | 2,1 | 7,2 | 312 |
| Berroetas | 10,7 | 0,6 | 45,3 | 5,1 | 12,8 | 2,2 | 164,8 | 2,1 | 6,8 | 299 |
| Gallandas | 8,0 | 0,9 | 50,9 | 11,4 | 13,5 | 1,5 | 208,7 | 3,5 | 6,85 | 368 |
| Urzulu | 5,1 | 0,6 | 13,2 | 10,2 | 7,1 | 0,4 | 85,4 | 2,1 | 5,9 | 142 |
| Garai | 6,7 | 0,4 | 55,7 | 14,8 | 8,5 | 11,8 | 246,5 | 6,4 | 7,1 | 444 |
| Zengotita | 5,6 | 0,6 | 42,5 | 7,8 | 8,5 | 0,5 | 172,1 | 4,9 | 7,4 | 226 |

Cuadro 1. Valores medios (mg/l) de los componentes mayoritarios. Conductividad en µS/cm.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

En el contexto de la infraestructura de abastecimiento recientemente creada para el Consorcio de Aguas de la Merindad de Durango, han sido numerosas las obras de investigación y explotación mediante sondeos realizadas en las distintas subunidades. Con anterioridad, se realizaron otros trabajos de investigación como cartografías de detalle, geofísica, etc.

**Geofísica**

La investigación geofísica, realizada en el año 1985, se centró en tres sectores topográfica y estructuralmente adecuados al método utilizado. Se seleccionaron las áreas de Oizetxebarrieta, Betzuen y Garai.

La campaña consistió en la realización de un total de 55 sondeos eléctricos verticales (SEV) distribuidos en 13 perfiles. Las hipótesis establecidas han podido ser contrastadas posteriormente en dos de los tres sectores investigados, mediante sondeos mecánicos.

**Sondeos de Investigación y Explotación**

Dentro de la unidad se han perforado un total de 26 sondeos de investigación y 19 de explotación distribuidos en las cuatro subunidades definidas.

Su construcción es compleja debido a la alternancia de areniscas no meteorizadas, altamente abrasivas, y zonas de arenas poco o nada consolidadas. Los sondeos de investigación se han perforado a rotación con extracción de testigo y los de explotación, en su mayoría, a percusión con cable, además de rotopercusión directa (Arlaban y Magunas) y rotopercusión inversa (Gallandas-B y C). Todos los sondeos de investigación han sido equipados como puntos de observación piezométrica.

El acabado de sondeos de explotación con mejores resultados ha sido mediante filtros de ranura continua, tipo Johnson, con pasos de 0,5 a 2 mm y empaque de grava silícea calibrada 3-5 mm. El resultado obtenido mediante desarrollo por pistoneo, en algunos casos con adición de polifosfatos, ha sido espectacular, con desalojo de cantidades importantes de arena acompañado de incrementos equivalentes en el caudal específico.

Las pruebas de producción consiguientes, en forma de bombeos conjuntos en determinadas zonas, han permitido la obtención de los parámetros de los acuíferos que constituyen la unidad. El cuadro 2 recoge los resultados obtenidos en los principales sondeos de explotación. En la figura 5 se muestra el resultado de los bombeos escalonados realizados en los sondeos de la Subunidad Oizetxebarrieta.

| Sondeo | Prof. (m) | ø int. (mm) | Ne (m) | Qc (l/s) | T ($m^2$/día) | S | Qs (l/s/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OIZETXEBARRIETA-A | 122 | 350 | 83 | 35 | 47-410 | - | 2 |
| OIZETXEBARRIETA-Abis | 212 | 400 | 87 | 90 | 168-474 | $4.2\text{-}5.4 \times 10^{-2}$ | 2 |
| OIZETXEBARRIETA-B | 171 | 350 | 80 | 80 | 269-432 | - | 3 |
| OIZETXEBARRIETA-C | 171 | 350-400 | 87 | 35 | 38-50 | $1.6\text{-}3.2 \times 10^{-4}$ | 1 |
| ARLABAN | 309 | 250 | 56 | 10 | - | - | - |
| BETZUEN | 125 | PVC-110 | 24 | 6 | - | - | - |
| GALLANDAS-A | 159 | 400 | 24 | 30 | 100 | $2.8\text{-}3.2 \times 10^{-4}$ | 0,5 |
| GALLANDAS-Abis | 110 | 400 | 35 | 50-60 | 130 | $2.2 \times 10^{-3}$ | 2 |
| GALLANDAS-B | 220 | 300 | 57 | 15-20 | 25 | $2.2 \times 10^{-3}$ | 0.4 |
| GALLANDAS-C | 236 | No entubado | 55 | 8 | - | - | - |
| IBARRURI-A | 150 | 350 | 20 | 50 | 100 | $3.2 \times 10^{-4}$ | 1 |
| IBARRURI-B | 98 | 300 | 17 | 8 | - | - | 0,1 |
| MAGUNAS | 196 | 300 | 5 | 10 | 36 | - | 1 |
| ARRIA-A | 65 | 250 | 2 | 40 | 100 | $7.56 \times 10^{-2}$ | 1 |
| ARRIA-B | 94 | 400 | 2.5 | 30-40 | 90-100 | $12 \times 10^{-2}$ | 1 |
| MENDIKO-A | 70 | 400 | 18 | 8 | 10 | $1.2 \times 10^{-3}$ | <0,2 |
| MENDIKO-B | 90 | 350 | 25 | 7 | 10 | $10\text{-}3 - 10^{-4}$ | 0,2 |
| MOZOLOTOKI-A | 65 | 300 | 2 | 20-25 | 80 | $3.4 \times 10^{-2}$ | 0,5 |
| ETXANO-A | 152 | 350 | 2 | >20 | 15-30 | $2.5 \times 10^{-2}$ | 0,5 |

Cuadro 2. Principales sondeos de explotación. Ne=Nivel estático. Qc=Caudal crítico. T=Transmisividad. S=Coeficiente de almacenamiento. Qs=Caudal específico.

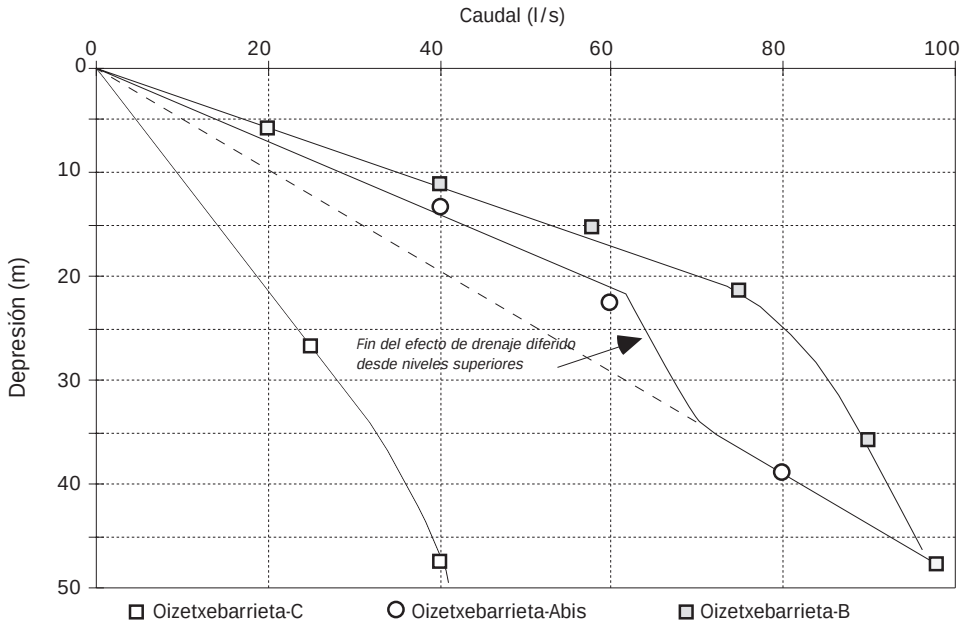



Figura 5. Bombeos escalonados en los sondeos Oizetxebarrieta.

A pesar de las variaciones en los parámetros obtenidos en los ensayos, el conjunto posee la homogeneidad suficiente para el ajuste de modelos de simulación de descensos y evaluación de interferencias.

En definitiva, se trata de una unidad formada por niveles de transmisividad media-baja (en torno a 100 $m^2$/día) que aumenta en determinadas zonas (Oizetxebarrieta, 200-300 $m^2$/día) descendiendo en otros puntos a valores inferiores a 10 $m^2$/día. Los coeficientes de almacenamiento siguen una pauta similar, acentuada según se trate de zonas de funcionamiento libre (Arria) o confinado (Ibarruri).

Las áreas próximas a las surgencias se presentan como zonas favorables para la perforación de sondeos productivos. En la zona de Ibarruri se detecta una meteorización muy intensa en los alrededores de las surgencias, llegándose a constatar potencias superiores a los 100 m de arena suelta, aunque con importante contenido arcilloso.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

El aprovechamiento actual de la unidad es bastante importante, pudiéndose cifrar en torno al 40% de los recursos (7 $Hm^3$/año), sin contabilizar su uso en producción de energía hidroeléctrica. Este último se centra en la surgencia Urzulu y a lo largo del río Orobios.

El principal aprovechamiento es el abastecimiento de los municipios incluidos en el Consorcio de Aguas de la Merindad de Durango y de Amorebieta.

De la infraestructura creada recientemente en la unidad, únicamente los sondeos Magunas y Oizetxebarrieta-A se encuentran operativos, abasteciendo a Mendata y Berriz-Zaldibar respectivamente.

La capacidad de producción conjunta de los sondeos realizados en algunas subunidades es superior a los recursos renovables de éstas, aspecto éste importante a considerar en la programación de los ritmos de explotación. En otras, la explotación de los sondeos podría llevar asociada un incremento del volumen de recursos, inducido por una mayor tasa de infiltración indirecta.

Las obras de captación desarrolladas en la unidad pueden contribuir a duplicar el aprovechamiento actual de los recursos, obteniéndose la regulación de un caudal superior a 400 l/s.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

EVE (1985). Investigación hidrogeológica de la Unidad Terciaria de Oiz (1ª Fase). (GEOTHEKNIKA).

EVE (1986). Control y seguimiento sondeo Magunas. (GIGSA).

IGME (1986). Sondeo de investigación hidrogeológica en la sierra de Oiz (Vizcaya).

EVE (1986). Seguimiento sondeo mecánico en Betzuen. (GEOTHEKNIKA).

EVE (1986). Control del bombeo de ensayo en el sondeo Magunas. (INGEMISA).

EVE-GV (1987). Síntesis Hidrogeológica de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

EVE (1988). Control y seguimiento sondeo Arlaban.

EVE (1992). Investigación hidrogeológica del área Amorebieta-Getxo. (GEYSER).

EVE-DFB-GV (1994). Evaluación y Regulación de los Recursos Hídricos Subterráneos en las Unidades Hidrogeológicas de Bizkaia.

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Gallandas | 529300 | 4784600 | 290 | 10-100 | Dos surgencias. Abastecimiento Durango e Iurreta |
| Urzulu | 532270 | 4784425 | 477 | >100 | Abastecimiento de Durango |
| Ibarruri | 528300 | 4785500 | 210 | >100 | Varias surgencias en el cauce del río Orobios |
| Arria | 531850 | 4783225 | 275 | <10 | Abastecimiento de Abadiño |
| Garai | 531720 | 4782805 | 280 | 6 | |
| Mendiko | 529865 | 4783016 | 220 | 1-10 | Abastecimiento de Durango |
| Berroetas | 524280 | 4785650 | 140 | 1-10 | Abastecimiento de Zornotza |
| Urgoso | 523100 | 4787130 | 140 | 1-10 | Abastecimiento de Zornotza |
| Arrueta | 527870 | 4786980 | 370 | 1-10 | Abastecimiento de Muxika |
| Mozolotoki | 527530 | 4784550 | 150 | 1-10 | Abastecimiento de caseríos próximos |
| Magunas | 530175 | 4786925 | 520 | 1-10 | Abastecimiento del barrio de Magunas |
| Zengotita | 534780 | 4783810 | 640 | 10-100 | Abastecimiento de Berriz |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Oizetxebarrieta-A | 532578 | 4784643 | 574 | 40 | Abastecimiento de Berriz y Zaldibar |
| Oizetxebarr.-Abis | 532590 | 4784648 | 573 | 90 | Abastec. Consorcio de Aguas Durango |
| Oizetxebarrieta-B | 532436 | 4784500 | 554 | 80 | Abastec. Consorcio de Aguas Durango |
| Oizetxebarrieta-C | 532380 | 4784704 | 588 | 35 | Abastec. Consorcio de Aguas Durango |
| Arlaban | 533150 | 4784260 | 580 | 10 | - |
| Betzuen | 534825 | 4784875 | 660 | 6 | - |
| Gallandas-A | 529201 | 4784579 | 280 | 30 | Abastec. Consorcio de Aguas Durango |
| Gallandas-Abis | 529216 | 4784570 | 280 | 30 | Abastec. Consorcio de Aguas Durango |
| Gallandas-B | 529302 | 4784675 | 302 | 20 | Abastec. Consorcio de Aguas Durango |
| Gallandas-C | 529407 | 4784799 | 305 | 8 | - |
| Ibarruri-A | 532820 | 4784453 | 230 | 50 | Abastec. Consorcio de Aguas Durango |
| Ibarruri-B | 528387 | 4784639 | 217 | 8 | - |
| Magunas | 529530 | 4784740 | 408 | 10 | Abastecimiento de Mendata |
| Arria-A | 532290 | 4784237 | 275 | 40 | Abastec. Consorcio de Aguas Durango |
| Arria-B | 532336 | 4784152 | 273 | 35 | Abastec. Consorcio de Aguas Durango |
| Mendiko-A | 529868 | 4784112 | 240 | 8 | - |
| Mendiko-B | 529891 | 4784233 | 260 | 7 | - |
| Mozolotoki-A | 527540 | 4784526 | 145 | 20 | - |
| Etxano-A | 528387 | 4785639 | 217 | >20 | - |

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO CADENA COSTERA

## GENERALIDADES

Este dominio constituye el extremo Norte del Territorio Histórico de Gipuzkoa. Se trata de la franja costera, conformada básicamente por materiales terciarios, que se extiende entre las desembocaduras de los ríos Urola y Bidasoa con una longitud de unos 40 km y una anchura media de 2 km. El límite Norte del dominio está constituido por el mar Cantábrico y se consideran los afloramientos del Cretácico superior como límite Sur. La extensión total del mismo es algo inferior a 80 km$^2$ (figura 1).

El área considerada presenta cotas variables entre el nivel del mar y los 546 m del monte Jaizkibel, máxima elevación, aunque en su mayor parte la divisoria de aguas se localiza a cotas sensiblemente inferiores, entre los 200 y los 400 m.




Figura 1. Situación del dominio.

La información termo-pluviométrica disponible permite constatar un importante aumento de la precipitación de Oeste a Este. Así, la precipitación media anual va de 1.350 mm en Zarautz a 1.750 mm en las cotas superiores de Jaizkibel. La temperatura media es bastante uniforme en toda la zona y se sitúa en torno a los 13°C.

Hidrográficamente, cerca del 70% del área definida drena directamente al mar o a la zona de desembocadura de los distintos ríos. El 30% restante se distribuye entre las cuencas de los ríos Bidasoa, Oiartzun, Urumea, Oria, Makazeta y Urola. Estos ríos, en cuya desembocadura se emplazan los núcleos urbanos de Hondarribia, Pasaia, Donostia, Orio, Zarautz y Zumaia, disectan la Cadena Costera definiendo 4 sectores de dimensiones diversas (figura 2). El extremo oriental, situado entre las desembocaduras del Oiartzun y el Bidasoa constituye la Unidad Hidrogeológica Jaizkibel. En este capítulo se procederá a la descripción del área restante.

## GEOLOGIA

La Cadena Costera está formada por materiales básicamente terciarios, dispuestos en una estructura monoclinal sensiblemente paralela a la costa y buzante hacia el Norte, con buzamientos más suaves en el sector oriental, del orden de 20-25° y más importantes en el occidental, 45-50°, llegando a invertirse entre Zarautz y Zumaia. La estratigrafía de la zona es sencilla, diferenciándose seis litologías. El término basal es la formación calcárea del Danés (152), excepto en el sector central, en el que afloran brechas calcáreas y poligénicas (153) y areniscas silíceas y microconglomerados (154) de edad Paleoceno. Sobre ellos se dispone en todos los

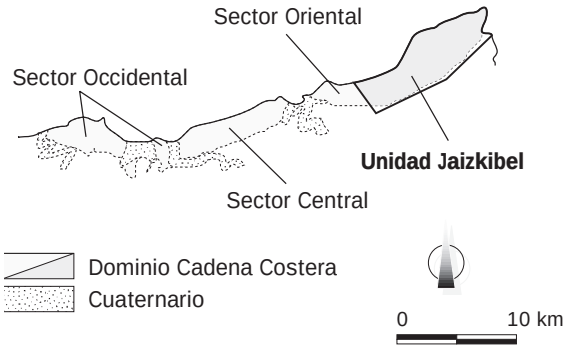



Figura 2. Esquema de unidades y sectores.

casos la serie margosa eocena (156), que da paso a la formación Jaizkibel (157, 158), potente serie terrígena que constituye los mayores relieves de la Cadena Costera y cerca del 70% de su superficie.

**HIDROGEOLOGIA**

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

La atribución de permeabilidades realizada otorga una permeabilidad media a los materiales basales paleocenos; la alternancia de margocalizas y margas (152) tiene en sus términos margosos una baja permeabilidad, pero algunos niveles de calizas, particularmente en el alto de Orio, se presentan karstificados. Las brechas (153) y las areniscas y microconglomerados (154) tienen una permeabilidad global media, relacionada con procesos de disolución-karstificación, en el primer caso, y con permeabilidad intergranular en el segundo. No obstante, y al igual que en el caso anterior, la disposición de los afloramientos en forma de delgadas franjas, la frecuente intercalación de términos margosos y la reducida extensión que ocupan les resta interés hidrogeológico.

Las margas suprayacentes (156) poseen una permeabilidad global baja constituyendo con frecuencia el sustrato impermeable de los niveles acuíferos que se puedan situar en la formación Jaizkibel. En esta serie turbidítica se diferencian dos términos en función de la granulometría de los materiales, lo que condiciona la permeabilidad de los mismos. Así, se caracteriza la alternancia de areniscas y lutitas (157) como de permeabilidad media y las areniscas estratificadas (158) como de permeabilidad alta. Ambos términos pueden constituir acuíferos de tipología detrítica mixta, dependiendo su interés hidrogeológico de la extensión de los afloramientos y del grado de alteración, presencia de intercalaciones arcillosas, y presencia de finos en la matriz de los materiales areniscosos. Estas características experimentan una neta mejoría hacia el Este aumentando paralelamente el interés hidrogeológico de la formación.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

Como ya se ha indicado, la intersección de los distintos cauces con los materiales de la Cadena Costera ocasiona la individualización de un total de cuatro sectores, de los que la Unidad Jaizkibel constituye uno de ellos. Estos presentan características comunes, aumentando la superficie de afloramiento de los materiales permeables en función de la mayor potencia y menor buzamiento de Este a Oeste. Los tres sectores que se describen aquí, Oriental, Central y Occidental, se sitúan entre los ríos Oiartzun y Urola. De acuerdo con la permeabilidad atribuida, los materiales areniscosos de la formación Jaizkibel constituyen niveles acuíferos de interés pero de extensión muy limitada. El sustrato impermeable es común a los sectores y está constituido por las margas eocenas que suponen, asimismo, el borde impermeable Sur. La superficie total de afloramientos de materiales permeables del Eoceno es de 28 km$^2$, siendo el mayor de los sectores el Central, con más de 15 km$^2$.

*ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA*

La recarga en los distintos sectores procede de la infiltración de la precipitación caída sobre los afloramientos, así como de la infiltración de la escorrentía superficial procedente de zonas menos permeables de la formación.

La descarga se produce a través de un gran número de puntos de agua y de forma difusa al cauce de las regatas. También debe producirse una descarga directa al mar, tal y como se observa en las cercanías de Getaria donde el drenaje de la dolina de San Prudencio ocasiona, en caso de aguacero, un punto de elevada turbidez en plena mar. Se han inventariado un total de setenta y cuatro manantiales y siete sondeos, de los cuales cincuenta y ocho tienen caudales medios estimados inferiores a 1 l/s. El resto de los puntos tienen caudales medios entre 1 y 10 l/s, no habiéndose localizado puntos con caudales superiores. El Sector Central reúne la gran mayoría de los puntos inventariados, un total de sesenta manantiales, quince de los cuales tienen un caudal medio de 1 a 10 l/s, y dos sondeos. Pueden destacarse, como más significativos, **Itxais**, **San Juan**, **Polipaso Azpi** y **Artikula Txiki**.

En el Sector Occidental se han localizado trece manantiales, uno de los cuales, **Iruerreketa**, tiene un caudal comprendido entre 1-10 l/s, y 5 sondeos. Finalmente en el Sector Oriental se ha inventariado un solo manantial.

Respecto a las litologías, todos los manantiales del intervalo 1-10 l/s se emplazan en los materiales eocenos, generalmente en los bancos de areniscas estratificadas, con la excepción de los manantiales de **Altxerri**, conjunto de cuatro surgencias con un caudal medio global de unos 12 l/s que se localiza en las brechas calcáreas y areniscas paleocenas y que debe estar, al menos parcialmente, alimentado por los arroyos Altxerri e Ibarrola.

Respecto a los sondeos inventariados, únicamente dos de ellos, perforados ambos en las areniscas eocenas, tienen caudales del orden de 1 a 10 l/s. Se trata del sondeo Mendizorrotz, perforado para abastecimiento a Orio, y el sondeo Biorreta que abastece a un caserío próximo.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO*

La dirección principal de la circulación subterránea es de Sur a Norte, observándose una cierta transferencia de recursos de las vertientes interiores a la costera.

La circulación del agua se realiza en niveles acuíferos de reducida extensión, generalmente emplazados en las barras de areniscas estratificadas generando un acuífero multicapa. La ausencia de niveles potentes con cierta permeabilidad hace que los recorridos sean cortos, disponiéndose los manantiales normalmente a muro de las barras de arenisca. Así, se observa una gran dispersión en lo que se refiere a cotas de drenaje. Esta característica viene también a explicar la inexistencia de manantiales con caudales importantes.

*BALANCE HIDRICO*

El balance hídrico de los sectores eocenos considerados se resume en el cuadro 1.

Se ha considerado una infiltración del 30% de la lluvia útil en los materiales permeables y del 15% de la escorrentía procedente de los materiales menos permeables.

El recurso total resulta de 9,2 $Hm^3$ en un año medio, de los cuales 3 $Hm^3$ se justificarían por la descarga de los manantiales y el restante por salida directa al mar. El módulo de infiltración equivalente resulta de 6,9 l/s/$km^2$.

| Sector | Occidental | Central | Oriental |
|---|---|---|---|
| S total ($km^2$) | 12,6 | 23 | 6 |
| S aflora. perm. ($km^2$) | 9,25 | 15,25 | 3,5 |
| P (mm) | 1350 | 1500 | 1700 |
| Coef infilt. perm. (%) | 30 | 30 | 30 |
| P útil (mm) | 750 | 850 | 970 |
| Coef. inf. baja perm. (%) | 15 | 15 | 15 |
| $Hm^3$ | 2,6 | 5,2 | 1,4 |

Cuadro 1. Balance hídrico.

**HIDROQUIMICA**

La información hidroquímica concerniente al dominio es escasa reduciéndose, prácticamente, a medidas de la conductividad de las aguas de los manantiales aforados. Los manantiales emplazados en los materiales paleocenos presentan una facies bicarbonatada cálcica con conductividades comprendidas entre 250 y 350 µS/cm, comparativamente superiores a las registradas en manantiales asociados al Eoceno que varían entre 200 y 300 µS/cm.

Las determinaciones disponibles de seis puntos de agua muestran contenidos en $Cl^-$ comprendidos entre 15 y 30 mg/l, elevados y que están sin duda relacionados con la proximidad del mar; $SO_4^=$ entre 6 y 22 mg/l y $NO_3^-$ entre 0,8 y 2,7 mg/l.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL**

La mayoría de los puntos de agua inventariados con caudales comprendidos entre 1 y 10 l/s se encuentran captados para abastecimiento municipal. Así, en el Sector Central, Zarautz capta un total de nueve manantiales con un caudal medio detraído estimado en 20 l/s, Orio capta los manantiales Itxais y San Juan con lo que el caudal medio aprovechado es del orden de 5 l/s. Por su parte, el municipio de Usurbil posee captaciones en los manantiales Polipaso Azpi y Artikula Txiki, estimándose en otros 5 l/s el caudal medio detraído.

Al conjunto de pequeñas captaciones de manantiales y sondeos destinados al abastecimiento de caseríos se les atribuye un caudal medio captado de unos 10 l/s, con lo que el volumen global de recurso aprovechado se cifra en 1,2 $Hm^3$/año, el 23% de los recursos subterráneos estimados para el sector. En el caso de los

Sectores Occidental y Oriental, se carece de los datos mínimos para efectuar una estimación de este tipo. No obstante, en el primero de ellos las cifras podrían ser similares y en el segundo sensiblemente inferiores, con lo que el aprovechamiento para todos los sectores considerados ascendería a algo más de 2 $Hm^3$/año, es decir, al 22% de los recursos renovables en un año medio.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

EVE-DFG (1993). Estudio hidrogeológico de la Cadena Costera (Gipuzkoa). (GEYSER-INGEMISA).

DFG-EVE (1994). Sondeos de control piezométrico Jaizkibel-1, 2, 3, 4.

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Altxerri | 570475 | 4791405 | 10 | 1-10 | Varios puntos. Se salinizan durante la pleamar |
| Artikula Txiki | 575640 | 4791260 | 250 | 1-10 | Abastecimiento de Usurbil |
| Itxais | 573025 | 4793205 | 255 | 1-10 | Abastecimiento de Orio |
| Polipaso Azpi | 576480 | 4794690 | 245 | 1-10 | Abastecimiento de Usurbil |
| San Juan | 571195 | 4793110 | 20 | 1-10 | Abastecimiento de Orio. Uso temporal |
| Iruerreketa | 566145 | 4792955 | 90 | 1-10 | Abastecimiento de Zarautz |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Mendizorrotz | 573925 | 4794065 | 331 | 1-10 | Abastecimiento de Orio |
| Biorreta | 576785 | 4795010 | 277 | 1-10 | Abastecimiento de caserío |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA JAIZKIBEL

## GENERALIDADES

Se localiza en el extremo nororiental del Territorio Histórico de Gipuzkoa constituyendo el tramo de la Cadena Costera que se extiende entre los núcleos de Pasaia y Hondarribia, entre las desembocaduras de los ríos Oiartzun y Bidasoa (figura 1). El mar Cantábrico supone el límite Norte de la unidad. En función de consideraciones hidrogeológicas se ha considerado el flysch del Cretácico superior como el límite Sur. Estos límites definen una franja, con forma de huso, de 12 km de longitud y 4 km de anchura máxima, orientada según NE-SO.

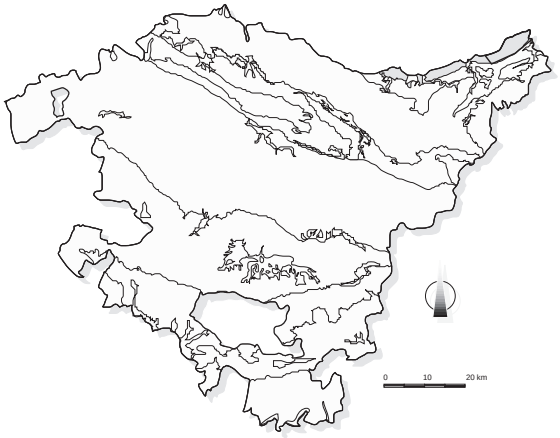



Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

La topografía de la zona viene definida por cotas que van desde el nivel del mar hasta los 546 m del monte Jaizkibel, situado en la divisoria de aguas superficiales que define dos vertientes. La vertiente Norte se caracteriza por un relieve comparativamente más suave, con pendientes medias del 20-25%, y un notable desarrollo de suelo. La vegetación existente está compuesta, básicamente, por monte bajo-arbustivo (brezal-argomal) y coníferas de repoblación (*Pinus radiata*) tratándose en su mayoría de plantaciones jóvenes debido a los periódicos incendios padecidos por la zona. La red fluvial no se encuentra bien desarrollada debido a la escasa distancia existente hasta el mar, donde vierten las regatas directamente, y a la elevada permeabilidad del sustrato. Esta permeabilidad provoca, en muchas zonas, el funcionamiento temporal de los cauces.

La vertiente Sur se caracteriza por unas pendientes superiores, del orden del 40-50%, un buen desarrollo de suelos, y una vegetación caracterizada por una mayor abundancia de las frondosas y el pino adulto. El drenaje de esta vertiente se realiza mediante una tupida red de pequeños arroyos que discurren de Norte a Sur alimentando a los ríos Oiartzun y Jaizubia.

Administrativamente, la unidad se distribuye entre los municipios de Pasaia, Hondarribia y Lezo.

## GEOLOGIA

La unidad está constituida íntegramente por materiales del Terciario, dispuestos concordantemente sobre los materiales del flysch detrítico-calcáreo del Cretácico superior (147). Estratigráficamente se distinguen tres niveles:

**Danés.** Término basal formado por margas, margocalizas y calizas de tonalidades rojas del Maastrichtiense superior-Daniense con una potencia máxima del conjunto que puede alcanzar los 200 metros (152).

**Tramo hemipelágico del Eoceno.** Término intermedio con una potencia media de 250-300 m. Está constituido principalmente por margas aunque intercala algunos niveles de margocalizas y calizas arenosas, frecuentemente descalcificadas (156).

**Formación Jaizkibel (Eoceno).** A techo se sitúa una serie, fundamentalmente terrígena, con una potencia superior a 1.300 m (flysch detrítico terciario). Estos materiales son depósitos turbidíticos en los que se diferencian todos los subambientes de depósito, desde abanico medio hasta llanura submarina. A escala cartográfica está compuesta, en síntesis, por la alternancia de dos términos. El primero, relativamente más abundante, está formado por una alternancia de areniscas calcáreas, calizas arenosas y lutitas (157). El segundo está constituido por areniscas, en ocasiones microconglomeráticas, estratifi-

cadas en bancos potentes (158); generalmente son areniscas silíceas con cemento calcáreo y con frecuencia se encuentran muy alteradas presentando un característico color amarillo.

La tectónica de la zona es simple, al menos en superficie. Los materiales se disponen en una estructura monoclinal, localmente con suaves repliegues, de orientación N40°E a N60°E con buzamientos (10-40°) al NO.

**HIDROGEOLOGIA**

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

Los materiales del Danés (152), situados en la base de la unidad, presentan una permeabilidad global media asociada a sus facies más carbonatadas. Se presentan niveles de calizas fisuradas y karstificadas pero su disposición aislada y su reducida extensión les resta todo interés.

El tramo hemipelágico eoceno (156) se caracteriza por una permeabilidad baja, lo cual no impide que en él se localicen puntos de agua de entidad, indudablemente alimentados por la formación suprayacente a favor de fracturas o niveles menores de calizas.

El único acuífero de importancia de la unidad está constituido por los materiales de la formación Jaizkibel. Caracterizada por una doble permeabilidad, intergranular por disolución del cemento carbonatado y por fracturación que propicia el desarrollo de fenómenos de tipo kárstico de menor entidad (nunca visitables), se clasifica tipológicamente como detrítico mixto. Los dos términos descritos presentan diferencias respecto a la permeabilidad. Así, la alternancia de areniscas y lutitas (157) se califica globalmente como de permeabilidad media. La importancia de los términos más finos de la fracción arena y las frecuentes intercalaciones lutíticas dificultan, por una parte, el desarrollo de los procesos de disolución y alteración, y por otra, la conexión entre los distintos horizontes para la formación de niveles permeables de cierta entidad. Las areniscas que componen el término 158 presentan una permeabilidad globalmente alta, aunque en detalle se observen grandes variaciones.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

El límite Norte de la unidad está constituido por el mar Cantábrico; las bahías de Hondarribia y Pasaia disectan la unidad al Este y Oeste, respectivamente, imponiendo las condiciones de borde en estos sectores. Se ha considerado a la potente serie del flysch detrítico calcáreo del Cretácico superior el límite Sur de la unidad constituyendo a su vez el sustrato impermeable de la misma. No obstante, la escasa extensión de los niveles calizos en el tramo hemipelágico, así como la falta de importante fracturación, genera que en la práctica los materiales eocenos se comporten como sustrato impermeable de la formación suprayacente. Así, se observan surgencias de entidad diversa en el contacto entre ambas, a cotas por lo general superiores a 100 m. En consecuencia, se puede asimilar la unidad con la formación geológica del mismo nombre. Con una superficie total de 26 km$^2$, se disponen 20 km$^2$ en la vertiente Norte y los 6 km$^2$ restantes en la Sur, entre la divisoria de aguas y el impermeable relativo que constituye el Eoceno.

Esta formación presenta una permeabilidad muy variable controlada, principalmente, por la granulometría de los depósitos, el grado de alteración, y la existencia de juntas de estratificación o fractura. Por otra parte, la estructura monoclinal buzante hacia el NO condiciona el flujo subterráneo, de una manera notable, determinando la dirección de drenaje principal, que es hacia el Norte.

Dentro de la formación Jaizkibel se observa un incremento de la granulometría de los depósitos hacia el techo de la serie y hacia el Este. Este hecho, unido a lo anterior, confiere a la zona nororiental de la unidad el mayor interés hidrogeológico.

*ZONAS DE RECARGA. PUNTOS DE DESCARGA*

Dadas las características geométricas de la unidad, se puede asegurar que la alimentación se produce principalmente por infiltración de la precipitación caída sobre los afloramientos de la misma y, en menor grado, por infiltración de la escorrentía procedente de niveles de permeabilidad relativa inferior.

La descarga se produce a través de varios manantiales de importancia localizados en la vertiente Sur y, principalmente, en la Norte, así como por descarga directa al mar. Por otra parte, existen multitud de pequeñas surgencias, a cotas muy variables, relacionadas con niveles acuíferos colgados. A continuación se describen los principales puntos de agua.

En la zona occidental, en los materiales eocenos, se localizan:

**Galería Monatxo.** Se trata de una galería, de 800 m de longitud, construida para la conducción de las aguas de los manantiales Monatxo desde la vertiente Norte, a cota 245 m, a la Sur, a cota 220 m, para el abastecimiento de Lezo. La galería atraviesa distintos niveles productivos y se le estima, junto a los manantiales ya citados, un caudal de estiaje de 8 l/s. El caudal medio se estima en 40 l/s, de los que un 40% se atribuyen a la aportación de la galería y el resto a los manantiales.

**Lete.** Manantial captado para el abastecimiento de Pasaia. Con un caudal medio del orden de 10 l/s se sitúa en la vertiente Norte a cota 115 m.

**Galería Pasaia.** Galería de 1.600 m de longitud, a cota 108 m, construida para el trasvase del caudal captado en el manantial Lete y en varias regatas de la vertiente Norte, para el abastecimiento de Pasaia. La galería experimenta una ganancia gradual al ir cortando los distintos niveles areniscosos de la formación Jaizkibel. El caudal medio captado se estima en 50 l/s.

**Bustinzulo.** Conjunto de manantiales emplazados en los materiales eocenos de la vertiente Sur, a cotas variables entre 50 y 80 m, aportan un caudal medio de 10 l/s. Captados para abastecimiento de Lezo.

En la zona oriental, en los mismos materiales eocenos, los principales puntos de agua inventariados son:

**Artzu.** Situado a cota 15 m, este manantial se ha visto mejorado durante las obras de construcción de la estación de bombeo que se emplaza sobre el mismo. En efecto, las excavaciones realizadas permiten acceder a parte del recurso que con anterioridad era drenado directamente al mar. El caudal captado, mediante bombeo, es de unos 15 l/s durante el estiaje, siendo su caudal medio superior a 50 l/s.

**Errota**, **Justiz**, situados a cotas 20 y 17 m respectivamente, aportan caudales medios del orden de 10 y 25 l/s.

En la vertiente Sur, merecen ser destacados los manantiales **Esteutz**, situado a cota 95 m en el contacto y con una aportación media de 15 l/s, y **Goikoerrota**. Este último corresponde a dos surgencias en los materiales hemipelágicos eocenos, a cota 30 m, cuyo caudal medio, 25 l/s, debe ser fruto del drenaje de los materiales eocenos suprayacentes.

Este conjunto de puntos de agua de la zona oriental de la unidad es captado por la Mancomunidad de Aguas de Txingudi.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. SUBUNIDADES*

Las peculiares características geométricas de la unidad impiden la definición de subunidades *sensu stricto*. No obstante, se observa una compartimentación en diversos sectores con funcionamiento hidraúlico relativamente independiente (figura 2).

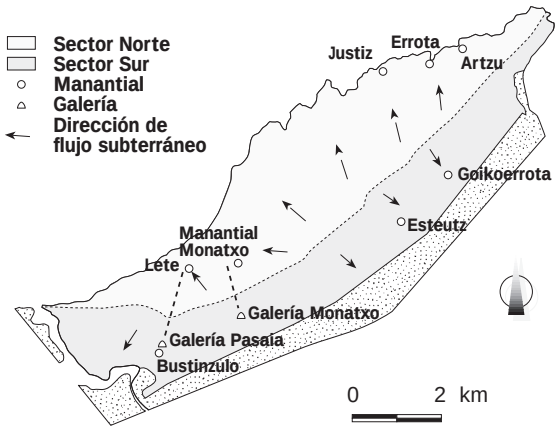



Figura 2. Esquema de subunidades.

Así, se delimitan dos sectores de flujo de dirección opuesta, Norte y Sur, cuyos límites deben coincidir a grandes rasgos con la divisoria de aguas superficiales. El sector Sur es drenado por los manantiales Goikoerrota, Esteutz y Bustinzulo, el aporte correspodiente a las galerías, así como por otras surgencias de mucha menor entidad que jalonan el contacto entre la formación Jaizkibel y el sustrato margoso.

El sector Norte, al que pertenece más del 75% de la superficie de afloramiento y que es drenado por el resto de los manantiales citados, aparece a su vez subdividido en varios acuíferos individualizados por cambios laterales a materiales de granulometría más fina o zonas de

baja alteración-fracturación. A su vez, en un mismo acuífero no es descartable la existencia de distintos niveles piezométricamente separados por impermeables relativos lo que resulta patente por la dispersión que se observa en las cotas de las distintas surgencias que drenan este sector.

El funcionamiento de estos acuíferos es libre por lo general, existiendo un claro control del flujo por planos de estratificación y líneas de fractura que funcionan a modo de colectores. No obstante, se han reconocido áreas de funcionamiento confinado debido a la naturaleza lenticular de los cuerpos alterados y a su sellado por materiales de baja permeabilidad. El drenaje de estos cuerpos debe producirse por manantiales de rebose emplazados en el contacto, o por rezume a través de fracturas que afectan a los impermeables relativos favoreciendo la conexión con otros niveles permeables situados a techo.

La información relativa a los parámetros hidráulicos es escasa y se limita a los caudales específicos de las galerías mencionadas, que son de $10^{-2}$ l/s/m para Monatxo y $1{,}25x10^{-2}$ l/s/m para la de Pasaia. La transmisividad obtenida en estos mismos materiales, en la zona de Zarautz (con un interés hidrogeológico claramente inferior) es de 1,5 a 6 $m^2$/día.

*BALANCE HIDRICO*

Los estudios realizados atribuyen una isoyeta útil media en la zona de 970 mm/año calculada a partir de una isoterma media de 13°C y una precipitación media de 1.700 mm. Por lo tanto, la precipitación total sobre los afloramientos de la unidad es de 45 $Hm^3$/año, lo que supone una escorrentía total de 25 $Hm^3$/año equivalente a un módulo de 30 l/s/$km^2$.

En función del fuerte relieve, de la naturaleza heterogénea de la formación y de estudios realizados en otras áreas, se ha estimado un coeficiente de infiltración del 55% de la lluvia útil. Por lo tanto, el recurso medio subterráneo es de 13,8 $Hm^3$/año lo que supone un módulo de infiltración de 17 l/s/$km^2$.

Las salidas de la unidad por los puntos de agua citados se cifran en 7,7 $Hm^3$/año, distribuidos de la siguiente manera:

Sector Norte: 5,8 $Hm^3$/año.
Sector Sur: 1,9 $Hm^3$/año.

En consecuencia se estiman en 6,1 $Hm^3$/año los recursos drenados directamente al mar o de forma difusa a las regatas.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

La información hidroquímica disponible consiste en seis análisis químicos de elementos mayoritarios; dos de ellos corresponden al manantial Goikoerrota y los otros cuatro a los manantiales Bustinzulo, Artzu, Justiz y Esteutz. Además, se dispone de medidas de conductividad de los distintos puntos inventariados. Se observa en todos los casos unas aguas de mineralización moderada, inferior a 450 mg/l, con conductividades inferiores a los 500 µS/cm. El grado de mineralización en las surgencias de la zona occidental, siempre por debajo de 300 µS/cm, es inferior al mostrado por las surgencias de la zona oriental donde las conductividades se sitúan, con frecuencia, entre 300 y 500 µS/cm. Este hecho puede relacionarse con un flujo más lento del agua en la zona oriental.

Los manantiales muestreados presentan facies bicarbonatada cálcica con contenidos máximos en $HCO_3^-$ y $Ca^{++}$ de 4,5 meq/l. El resto de los iones mayoritarios aparecen en concentraciones siempre inferiores a 0,5 meq/l, con excepción de los $Cl^-$ que aparecen en concentraciones entre 0,5 y 0,9 meq/l, comparativamente importantes dado su origen meteórico hecho que debe relacionarse con la proximidad de los afloramientos al mar.

Asimismo, se dispone de análisis microbiológicos de 5 manantiales que revelan una calidad mediocre del agua. Así, hay presencia de coliformes totales en todas las muestras (concentración máxima 324 col/100 ml); coliformes fecales, también en todas (C.M. 310 col/100 ml); estreptococos fecales en 4 (C.M. 92 col/100 ml); y clostridios sulfito-reductores en 2 (C.M. 18 col/100 ml). De acuerdo con la relación coliformes totales/coliformes fecales parece observarse dos procedencias distintas de la contaminación. En las muestras de los manantiales Artzu y Justiz esta relación se aproxima a 1, lo que se considera indicativo de un origen animal de la contaminación, acorde con la cabaña ganadera no estabulada que se observa en la zona. Por su parte, en las muestras de Bustinzulo, Goikoerrota y Esteutz la relación se sitúa entre 7,6 y 19,2 lo que permite asociar la contaminación a aguas residuales procedentes de algún asentamiento próximo.

Las concentraciones de los distintos indicadores comentados sitúan la calificación de las muestras analizadas en A2. No obstante, se puede esperar que muestras procedentes de niveles acuíferos más profundos presenten una calidad superior dada la importante capacidad depuradora del medio poroso y sobre todo de la zona no saturada.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

Las actuaciones realizadas hasta la fecha en la unidad se limitan a la perforación de cuatro sondeos de investigación hidrogeológica de hasta 150 m (Jaizkibel-1 a 4), perforados por el método de rotación con extracción continua de testigo. Las areniscas presentan un grado de alteración alto, ocasionalmente con señales de karstificación, en todos los casos hasta la cota del nivel freático. Por debajo del mismo, únicamente los sondeos 2 y 4 presentan una zona alterada de cierta extensión (31 m en el sondeo 2 y 41 en el sondeo 4).

El nivel freático se localiza a cotas variables entre 51 y 93 m. El elevado gradiente observado entre los puntos de drenaje localizados en el área y los sondeos perforados parece ser indicativo de la existencia de una deficiente conexión entre ellos, o que los sondeos perforados han atravesado niveles colgados que guardan escasa relación con dichos manantiales.

Por otra parte, el elevado valor de los gradientes existentes entre los distintos sondeos evidencia una compartimentación del acuífero en varios sectores con flujos relativamente individualizados.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

La mayoría de los puntos de agua de cierta entidad, se encuentran captados para el abastecimiento público. Así, no sólo las surgencias situadas en la vertiente Sur son aprovechadas, sino que buena parte del recurso existente en la vertiente Norte es transvasado a la Sur mediante las galerías existentes en la zona occidental o mediante bombeos con alturas manométricas superiores a 150 m en la oriental.

La infraestructura de captación existente en el entorno de Pasaia y Hondarribia supone un aprovechamiento de 1,5 $Hm^3$/año. En el extremo oriental del sector Norte se estima que el volumen medio bombeado durante el estiaje es del orden de 0,2 $Hm^3$/año. En consecuencia, y suponiendo un volumen aprovechado por pequeños asentamientos de 0,3 $Hm^3$/año, el aprovechamiento medio se acerca al 15% (2 $Hm^3$/año) del recurso subterráneo de la unidad.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

GV (1982). Estudio sobre la calidad de las aguas destinadas al consumo humano en el País Vasco. (CUA).

DFG-SGOP (1985). Estudio de evaluación de los recursos hidraúlicos subterráneos del T.H. de Gipuzkoa. (EUROESTUDIOS-INGEMISA).

DFG-EVE (1993). Estudio hidrogeológico de la cadena costera (Gipuzkoa). (GEYSER-INGEMISA).

DFG-EVE (1994). Sondeos de control piezométrico Jaizkibel 1, 2, 3 y 4.

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Galería Pasaia | 589750 | 4798180 | 108 | 50 | Abastecimiento de Pasaia |
| Galería Monatxo | 591510 | 4798820 | 220 | 24 | Abastecimiento Lezo. Deriva el caudal del manantial Monatxo |
| Artzu | 596150 | 4804520 | 15 | 50 | Abastecimiento. Mancomunidad de Aguas de Txingudi |
| Errota | 595400 | 4804040 | 20 | 10 | 2 manantiales. Abastecimiento Mancomunidad de Aguas de Txingudi |
| Justiz | 594600 | 4804000 | 17 | 25 | Abastecimiento Mancomunidad de Aguas de Txingudi |
| Goikoerrota | 595980 | 4801750 | 30 | 25 | 2 manantiales. Abastecimento Mancomunidad de Aguas de Txingudi |

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Esteutz | 594890 | 4800800 | 95 | 15 | Abastecimiento Mancomunidad de Aguas de Txingudi |
| Monatxo | 591190 | 4799720 | 250 | 16 | Abastecimento de Lezo |
| Bustinzulo | 589750 | 4798000 | 50 | 10 | 2 manantiales. Abastecimiento de Pasaia |
| Lete | 591220 | 4800315 | 115 | 10 | Abastecimiento de Pasaia |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Jaizkibel-1 | 596245 | 4804250 | 85 | - | Control piezométrico y de calidad |
| Jaizkibel-2 | 595285 | 4803235 | 123 | - | Control piezométrico y de calidad |
| Jaizkibel-3 | 596385 | 4803085 | 140 | - | Control piezométrico y de calidad |
| Jaizkibel-4 | 594360 | 4803750 | 77 | - | Control piezométrico y de calidad |

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO SIERRA DE CANTABRIA

**GENERALIDADES**

Se encuentra situado al Sur del Territorio Histórico de Alava, entre la comarca de la Rioja Alavesa o Dominio Hidrogeológico Cuenca del Ebro y el Dominio Hidrogeológico Urbasa-Treviño (figura 1).

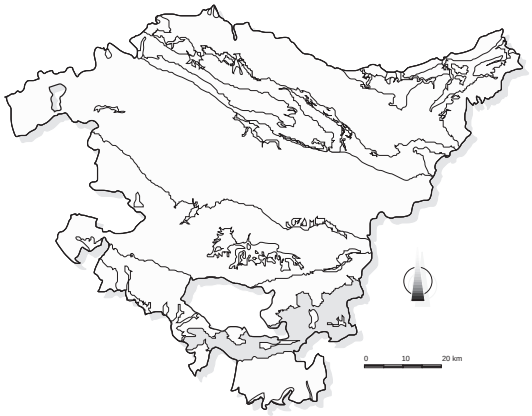



Figura 1. Situación del dominio.

Este dominio, en ocasiones difícil de delimitar en base a criterios litoestratigráficos, especialmente en el sector ocupado por los Montes de Portilla, entre la localidad de Peñacerrada y el río Ebro, presenta sin embargo una entidad geográfica y estructural propias que le confieren una notable singularidad a escala regional. En efecto, se trata de la prolongación occidental de las Sierras navarras Santiago de Lóquiz y Codes y en última instancia de la terminación meridional de la Cadena Pirenaica. Estas peculiaridades evidenciadas de antaño son la causa de que haya sido denominado bajo el nombre de Franja Móvil de la Sierra de Cantabria.

En la Comunidad Autónoma del País Vasco ocupa gran parte de la banda constituida por las alineaciones de la Sierra de Cantabria y Monte Yoar y las estructuras de las áreas de Lagrán y Hornillos, situadas inmediatamente al Norte de las depresiones tectónicas de Bernedo y de Santa Cruz de Campezo respectivamente. Todo este conjunto caracterizado por la continua concatenación de montes y valles soporta internamente una red de drenaje moderadamente desarrollada, estructurada en diferentes subcuencas hidrográficas, todas ellas tributarias del río Ebro, siendo las correspondientes a los ríos Ega e Inglares las que muestran una mayor representación.

Desde el punto de vista geológico, el límite septentrional coincide con el tránsito del Campaniense al Maastrichtiense. Dado el carácter discordante de este último y las deformaciones que estructuran este dominio, su límite presenta un trazado tortuoso.

Su límite meridional, mucho más fácil de seguir, viene marcado por el borde sur de los escarpes de la Sierra de Cantabria, siendo sencillo de reconocer dado el fuerte y a la vez neto contraste litológico existente entre los materiales fundamentalmente carbonatados fuertemente estructurados del dominio y los depósitos subhorizontales de carácter terrígeno y colores rojo amarillentos que componen la comarca de la Rioja Alavesa. Su trazado rectilíneo, de dirección aproximada Este-Oeste, se encuentra seccionado por diferentes límites administrativos.

Como sucede generalmente en casi todas las zonas caracterizadas por la existencia de abruptos relieves, el dominio se encuentra relativamente poco poblado asentándose las principales localidades en los valles que bordean las mayores elevaciones. Como más significativos pueden señalarse entre otros los núcleos de Santa Cruz de Campezo, Maeztu, Bernedo, Lagrán, Pipaon y Peñacerrada. Pese a ello, desde el punto de vista hidrogeológico el dominio presenta un gran interés estratégico dada su particular ubicación próxima a zonas actualmente en período de expansión, como la Rioja Alavesa. De hecho esta comarca durante los últimos años ha visto en gran medida satisfechas sus crecientes demandas beneficiando parte de sus recursos subterráneos.

**GEOLOGIA**

La estructura geológica del Sur de Alava es el resultado de una tectónica de cobertera alpina que se caracteriza por mostrar anticlinales y sinclinales suaves y por estar atravesada por varios diapiros salinos. Toda la región se halla despegada y desplazada hacia el Sur, cabalgando a los materiales de la depresión terciaria del Ebro. El sector correspondiente al Dominio Hidrogeológico Sierra de Cantabria presenta una seriación completa desde el Keuper al Terciario.

Afloran rocas sedimentarias mesozoicas terrígenas y carbonatadas de varios centenares de metros de espesor, depositadas en ambientes sedimentarios de transición en el borde meridional de la cuenca vasco-cantábrica. Asimismo están presentes potentes series postorogénicas dispuestas según una amplia discordancia progresiva e igualmente se pueden reconocer dos diapiros salinos: el de Salinillas de Buradón y el de Peñacerrada, cuyo desarrollo tuvo su momento álgido durante el Cretácico medio.

Los materiales más antiguos que se observan son los correspondientes al Trías diapírico, en el que se han diferenciado algunos reducidos afloramientos de calizas laminadas del Muschelkalk (9) y las habituales arcillas y yesos (10) donde se engloban masas de ofitas (11).

Alrededor de los diapiros de Salinillas de Buradón y Peñacerrada aflora el Jurásico. Aunque sus cortes son muy incompletos al haber sido erosionados en parte antes de la sedimentación cretácica, sus características son similares a las del Jurásico de toda la cuenca vasco-cantábrica. Incluye pequeñas masas de carniolas (12) calizas del Dogger (14) y las limolitas y arcillas (15) que definen el tránsito hacia el Cretácico inferior.

Por encima de estos materiales se sitúa toda la serie del Cretácico y la parte más baja del Terciario. Sus afloramientos, caracterizados por la alternancia de episodios detríticos y carbonatados, son mucho más extensos, constituyendo la práctica totalidad del dominio. Además, dadas sus posiciones próximas al borde de la cuenca en que se realizó el depósito, los cambios litológicos, tanto vertical como lateralmente, son muy importantes y frecuentes, de modo que en detalle el establecimiento de series y correlaciones en diferentes puntos del dominio presenta una gran complejidad.

Los primeros sedimentos del Cretácico corresponden a una serie de términos en rápida transición desde calizas arenosas muy fosilíferas que constituyen un horizonte fácilmente reconocible (nivel de ostreidos) a arcillas y areniscas en el techo (16). Estos últimos materiales dan paso a una serie terrígena en la que predominan arenas ricas en fragmentos de feldespatos (arcosas) con niveles microconglomeráticos y lechos arcillosos (17), materiales englobados todos ellos bajo la denominación de facies Utrillas.

Sobre este conjunto detrítico se dispone una sucesión predominantemente carbonatada, con algunos episodios detríticos, que abarca todo el Cretácico superior y que es la causante de los principales resaltes morfológicos de la alineación montañosa de la Sierra de Cantabria. En lineas generales, se inicia con un tramo de calcarenitas y limolitas de colores rojizos (18) que pasan paulatinamente a calizas y margas (19), de edad Cenomaniense, sobre el que se dispone un reducido paquete de margas y margocalizas (20), correspondiente al Turoniense, fácilmente reconocible a escala cartográfica dada su mayor erosionabilidad que da lugar a la aparición de estrechas depresiones en el relieve. Por encima se sitúa un nuevo tramo carbonatado de espesor variable, perteneciente al Coniaciense-Santoniense, constituido por calcarenitas de grano fino (21), parcialmente transformadas a dolomías (22) y calizas (23) que culmina con unos niveles de calcarenitas con Lacazinas (24) y calizas arenosas (25).

El resto del Cretácico superior está representado por la sucesión campaniense que incluye dos horizontes litológicos perfectamente diferenciados: el inferior, de naturaleza margocalcárea (26) y el superior, eminentemente detrítico (27, 28).

El Terciario posee una más escasa representación y sus afloramientos básicamente se localizan en el sector nororiental, así como en el interior del dominio rellenando antiguas cubetas de origen tectónico. En cuanto a los materiales de borde, sus afloramientos son de escasa extensión lateral y están constituidos por areniscas de grano grueso y conglomerados calcáreos (188, 190, 191), de edad Mioceno, generalmente de aspecto masivo, en los que en ocasiones se hace dificultoso el reconocimiento de la estratificación. Características análogas muestran los niveles aflorantes en las depresiones internas de Lagrán-Bernedo y de Santa Cruz de Campezo, si bien predominando litologías más finas, limos y arenas (189), y con un grado de compactación comparativamente menor.

Finalmente, se ha de reseñar la existencia de depósitos cuaternarios. Se trata de los materiales de acarreo asociados a la dinámica fluvial actual (197, 200) y como tal aparecen ocupando los fondos de valle correspondientes a los cursos medio y bajo de la red hidrográfica principal. En este sentido cabe mencionar los afloramientos asociados al río Inglares, especialmente hacia su desembocadura, y los depósitos correspondientes al río Ega originados a su paso por las depresiones ya mencionadas.

Desde el punto de vista tectónico el dominio se caracteriza por presentar una intensa aunque variable deformación que da lugar a la existencia de numerosos pliegues así como un denso sistema de fracturas, todo ello integrado en una gran megaestructura anticlinal vergente al Sur. Sin embargo, este esquema a primera vista simplista muestra diferente complejidad por sectores, pudiendo definirse dos áreas morfoestructurales con características específicas separadas longitudinalmente por una zona deprimida de origen tectónico que da lugar a los diferentes valles que intersectan de Este a Oeste el dominio.

En general, el sector septentrional no presenta una complejidad excesiva, excepción hecha del área correspondiente al anticlinal de Ocio, estando básicamente caracterizado por la existencia de estructuras monoclinales bien desarrolladas, que en el área de Santa Cruz de Campezo evolucionan a suaves estructuras de plegamiento. En este punto en concreto los materiales se articulan en una amplia estructura perianticlinal, prolongación occidental del anticlinal de Gastiain en Navarra, probablemente condicionada por acumulaciones halocinéticas profundas, relacionadas con el diapirismo regional, y la consecuente elevación de la cobertera mesozoica.

El sector meridional muestra una mayor complejidad definiendo un modelo estructural ya clásico, representado como un cinturón estrecho constituido por rocas de la cobertera mesozoica con una estructura general anticlinal cabalgante y con un núcleo principal ocupado por grandes volúmenes de evaporitas del Trías Keuper. La zona adyacente al cabalgamiento frontal aparece claramente definida por una alineación montañosa de dirección aproximada Este Oeste y puede ser considerada como la continuación de las unidades alóctonas sur-pirenaicas.

## HIDROGEOLOGIA

### *ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

Los materiales de permeabilidad alta y, por tanto, constituyentes de los principales acuíferos son las formaciones calizo-dolomíticas de edad Coniaciense-Santoniense (21, 22, 23, 24) dada su amplia representación. Se trata de materiales con una elevada permeabilidad por fisuración y karstificación y, en determinados casos, debido a procesos de dolomitización secundarios. Los fenómenos de karstificación son bien patentes lo que en muchos puntos se pone de manifiesto por la existencia de pérdidas en los cursos de agua superficiales al atravesar estas formaciones.

Bajo esta misma categoría se incluyen los materiales mucho menos representados, aunque igualmente carbonatados, del Trías (9), Jurásico (12, 14), Cretácico inferior (16) y Cenomaniense (18, 19). Mayor representación y repercusión hidrogeológica se atribuye a las arenas y microconglomerados de la facies Utrillas (17); originan un acuífero cuya tipología se ha dado en catalogar como detrítico mixto.

Los conglomerados y pies de monte (190) y los depósitos cuaternarios (197, 200) participan también del grupo de permeabilidad alta, constituyendo una serie de acuíferos de interés dada su escasa consolidación y su especial ubicación, ya que en diferentes puntos del dominio muestran claras relaciones hidráulicas con las unidades hidrogeológicas existentes.

Como de permeabilidad media se ha considerado una serie de materiales de variada litología y edad con permeabilidades que van desde la de tipo intergranular a la fisurada, inclu-

yendo toda una gama de tipologías intermedias. En este sentido se incluye la sucesión terrígena (27, 28) y margocarbonatada (25) del Campaniense, las ofitas (11) y los conglomerados y arcillas rojas (188, 191) terciarios. Es de destacar la importancia que tienen algunos de estos materiales ya que al encontrarse en muchos casos espacialmente asociados a los acuíferos principales permiten un intercambio de flujos contribuyendo a la regulación de los recursos. Este hecho se hace bastante patente, entre otros, en el sector de Montoria y en la zona central del cabalgamiento principal, en la transversal de la localidad de Lagrán, cuyas disposiciones estructurales permiten el tránsito entre las subunidades adyacentes.

Bajo la categoría de permeabilidad baja se engloba un grupo de litologías de grano fino representado por las sucesiones detríticas del Terciario continental y los niveles margosos de Cretácico superior. En concreto, se incluyen las margas del Turoniense (20), los afloramientos margocalcáreos del Campaniense inferior (26), especialmente presentes en la mitad septentrional del dominio y los sedimentos limoarenosos miocenos (189) que colmatan las depresiones de Lagrán-Bernedo y Santa Cruz de Campezo. En general, son materiales de escasa importancia hidrogeológica y su único interés es el de actuar de niveles de base de los principales acuíferos, representando barreras hidráulicas, soslayables en casos muy concretos por accidentes tectónicos, que dan lugar a la aparición de numerosos manantiales. Hay que indicar que en algunos puntos parte de estos materiales pueden presentar valores de permeabilidad más altos (media) debido a cambios laterales de facies en la sucesión o a la presencia de una mayor deformación.

Finalmente cabe considerar los materiales de permeabilidad muy baja. Entre estos, se incluyen las arcillas abigarradas y yesos del Trías Keuper (10) asociadas a las estructuras diapíricas y las limolitas y arcillas (15) jurásicas. Su interés desde el punto de vista hidrogeológico es mínimo, salvo el de constituir barreras hidráulicas infranqueables, como ya se ha mencionado.

*UNIDADES HIDROGEOLOGICAS*

De acuerdo con los límites administrativos impuestos al dominio, se diferencian dos Unidades Hidrogeológicas: Sierra de Cantabria y Campezo, separadas por el corredor natural existente entre la depresión de Izkiz y las localidades navarras de Genevilla y Marañón que sirve de unión, más allá de los límites de la Comunidad Autónoma del País Vasco, entre las depresiones situadas longitudinalmente en el interior del dominio. En cada una de ellas se ha considerado un determinado número de subunidades en función de las características de los niveles acuíferos existentes, teniendo en cuenta el tipo de permeabilidad y la diferente situación estructural y grado de deformación que presentan los materiales aflorantes.

Tal como se aprecia en la figura 2, el área del dominio no incluida en las dos unidades diferenciadas se limita al corredor descrito y al sector del Valle de Arana que limita con la Unidad Hidrogeológica Campezo. Consta, fundamentalmente, de la serie arenosa (27) campaniense de permeabilidad global media cuyo papel hidrogeológico está más ligado al funcionamiento de la Unidad Hidrogeológica Urbasa que al de las incluidas en el Dominio Sierra de Cantabria y, en menor proporción, de las calizas arenosas (25), margas (26) y conglomerados calcáreos (188).

*BALANCE HIDRICO*

Por las razones descritas, el área implicada en el dominio queda incluida casi en su totalidad bien en una de las unidades hidrogeológicas diferenciadas o bien en la Unidad Urbasa, restando un área de 75 $km^2$ cuyo recurso asociado se ha estimado en 5 $Hm^3$/año. Para este cálculo se ha admitido una lluvia útil de 450 mm de los cuales se convierte en recurso subterráneo el 15%, valor promedio del porcentaje de infiltración en los materiales de permeabilidad media (25, 188) y baja (26).

**HIDROQUIMICA**

La disposición estratigráfica y estructural que manifiesta el dominio dificulta en cierto modo la caracterización hidroquímica. Esta situación se complica aún más si cabe por el hecho de que parte de los flujos subterráneos importantes atraviesan hasta su salida en las surgencias un determinado número de sucesiones litoestratigráficas correspondientes incluso a más de una subunidad hidrogeológica.

En general, las aguas son de carácter bicarbonatado cálcico y/o magnésico debido a la mayor presencia de materiales calizo-dolomíticos, si bien existen otros tipos faciales espacialmente asociados a litologías detríticas y arcillosas en los que porcentualmente se advierte un incremento en

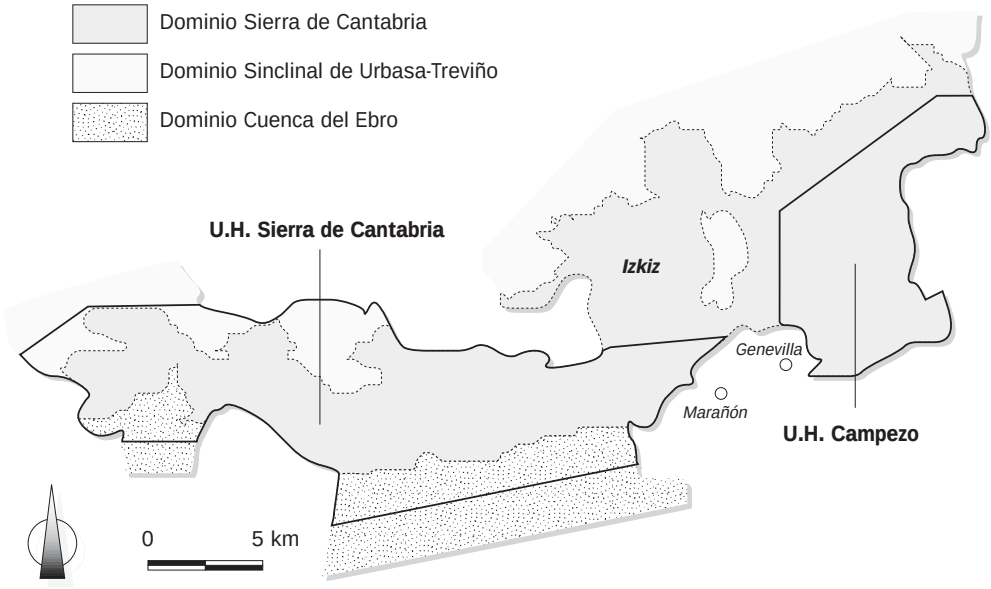



Figura 2. Esquema de unidades hidrogeológicas.

cloruros y sulfatos. Este es el caso de las aguas asociadas a los materiales terciarios y cuaternarios y a las zonas de descarga emplazadas en las inmediaciones de las estructuras diapíricas.

Asimismo, se hace patente el contenido en sodio y en cloruros de algunos manantiales localizados hacia los bordes de la depresión de Bernedo asociados a flujos ascendentes procedentes de las subunidades confinadas en profundidad. Por lo que se refiere al contenido en nitratos, que de algún modo es un indicador de la presencia de contaminación en las aguas, cabe indicar una moderada presencia de manantiales con valores próximos al límite tolerable de potabilidad (50 mg/l). En este sentido, los emplazamientos de los puntos con mayores concentraciones corresponden a sectores caracterizados por un creciente desarrollo de actividades agropecuarias que implican la utilización de fertilizantes nitrogenados. A pesar de ello, las aguas del dominio son en su conjunto totalmente aptas para el consumo humano presentando además una dureza y salinidad medias.

## INVESTIGACION COMPLEMENTARIA

En el área del dominio se han venido desarrollando diversas técnicas específicas al objeto de apoyar y comprobar determinadas hipótesis de trabajo derivadas de los resultados obtenidos en los estudios hidrogeológicos regionales. La aplicación de este tipo de técnicas se ha revelado de gran utilidad y en conjunto han permitido tener un conocimiento más ajustado de la estructuración y del funcionamiento hidrogeológico de este sector de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Esta investigación complementaria incluye diferentes aspectos tales como el análisis estructural, la investigación geofísica, sondeos de investigación y de explotación y la modelización hidrogeológica.

La primera de ellas ha tenido como punto de partida la restauración palinpástica de la megaestructura cabalgante y ha permitido entre otras cuestiones establecer desde un punto de vista geométrico la evolución de las estructuras tectónicas en profundidad. La investigación geofísica se ha llevado a cabo en sucesivas campañas en el tiempo y con arreglo a diferentes modalidades de prospección (eléctrica y electromagnética), si bien han sido enfocadas con un análogo objetivo como es el de evidenciar el carácter tectónico de las depresiones de Bernedo y de Santa Cruz de Campezo y poner de manifiesto de un modo indirecto pero con rigurosidad la existencia, antaño invocada, de formaciones acuíferas mesozoicas confinadas entre las subunidades correspondientes al frente de cabalgamiento y a la franja septentrional del dominio por debajo de los materiales miocenos de las respectivas depresiones, que permitiera relacionar tectónica e hidráulicamente estos sectores.

Por su parte, los sondeos constituyen un método directo de investigación y en este sentido se han llevado a cabo para desvelar ciertas incógnitas planteadas con la naturaleza y disposición de materiales subyacentes, cuya presencia no siempre es deducible a partir de la información cartográfica superficial, así como para conocer las características intrínsecas de las formaciones acuíferas. La mayor parte de ellos consisten en perforaciones de pequeño diámetro efectuadas a testigo continuo cuya ejecución en el tiempo corresponde por lo general a una fase en la investigación previa a un plan de aprovechamiento de los recursos. Llegado a este punto los sondeos de explotación tienen finalmente la misión de suministrar los parámetros hidráulicos de los acuíferos que son los que condicionan a la postre el grado y el ritmo de las extracciones de las aguas subterráneas.

Por último, la modelización hidrogeológica ha tenido como objetivo la elaboración de un modelo de flujo, si bien circunscrito a un pequeño sector localizado en la zona central del frente del cabalgamiento, desde el que se transvasa mediante bombeos parte de los recursos subterráneos de la Sierra de Cantabria a las vecinas localidades de la Rioja Alavesa. La calibración de este modelo ha sido posible gracias al control periódico que se ha venido realizando de los niveles piezométricos y de los volúmenes extraídos en los sondeos de explotación, por lo que el modelo en sí mismo constituye un elemento de trabajo de gran interés que permite efectuar predicciones en el tiempo acerca de la disponibilidad del agua subterránea, especialmente durante la época estival.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

Al margen de los sondeos ya comentados, emboquillados en el área de Peñaparda, principal punto de aprovechamiento de los recursos subterráneos con destino a la comarca de la Rioja Alavesa, en el interior del dominio son relativamente escasas las obras de captación y por lo general están orientadas a satisfacer las demandas de abastecimiento de algunos núcleos poblacionales si bien durante los últimos años parte de los recursos extraídos se vienen destinando con cierta intensidad a labores agrícolas, especialmente en el área de la depresión de Bernedo. A modo de estimación, se fija en el 10% (0,5 $Hm^3$) el porcentaje de recurso aprovechado en un año medio.

Del mismo modo es de destacar el uso que se realiza con fines hidroeléctricos de buena parte de los caudales aportados por el río Inglares en la central que la empresa Iberdrola S.A. posee en la localidad de Berganzo, y la captación directa llevada a cabo en este mismo punto con destino a incrementar el abastecimiento de Labastida (Rioja Alavesa).

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

DFA (1977). Estudio de los Recursos Hídricos Subterráneos del Flanco Norte de la Sierra de Cantabria.

DFN (1983). Las Aguas Subterráneas en Navarra. (CGS).

CADEM-DFA-IGME (1985). Investigación Hidrogeológica de la Unidad de Sierra de Cantabria 1ª Fase. (CGS).

EVE-DFA-IGME (1986). Investigación Hidrogeológica de la Unidad de Sierra de Cantabria. 2ª Fase. (CGS).

EVE (1986). Investigación Hidrogeológica del Area de Santa Cruz de Campezo. (GIGSA).

EVE (1986). Investigación Hidrogeológica del Area Ocio-Berganzo. (GIGSA).

EVE (1990). Investigación Geofísica en Santa Cruz de Campezo. (GIGSA).

EVE (1992). Investigación Hidrogeológica del Area de Lagrán. (GIGSA).

LLANOS, H.J. (1992). Estudio Hidrogeológico de la Unidad de Urbasa, Montes de Vitoria, Treviño y Sectores Adyacentes. (Tesis de Doctorado, UPV-EHU).

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA SIERRA DE CANTABRIA

## GENERALIDADES

Se sitúa en la mitad meridional de Alava. Constituye la alineación montañosa más meridional de la Comunidad Autónoma del País Vasco, asentada geográficamente entre la depresión de Treviño y la comarca de la Rioja Alavesa, que se prolonga de Este a Oeste desde Bernedo hasta su confluencia con el río Ebro en las inmediaciones de Salinillas de Buradón.




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

Su borde septentrional aparece definido, en un primer tramo, por los denominados Montes de Portilla y, posteriormente, siguiendo los relieves configurados entre las localidades de Peñacerrada y Navarrete. El borde Sur coincide con el inicio de las fuertes pendientes que descienden hacia la Rioja Alavesa. El sector meridional de la unidad presenta casi de manera continua un carácter sumamente agreste y se caracteriza por la presencia de una zona somital de espectacular aspecto cuyas cumbres sobrepasan ampliamente los 1.200 m (San Tirso, 1.329; Cervera, 1.384; San León, 1.228; Toloño, 1.263). Ello da lugar en este sector a la aparición de dos vertientes, Norte y Sur, prácticamente contiguas y especialmente abruptas, con desplomes verticales o subverticales generalizados.

Internamente la unidad incluye un cierto número de depresiones y valles estructurales, por cuyo fondo discurren los principales cursos de agua, que muestran un acusado hábito longitudinal coincidente a grandes rasgos con la directriz general, Este-Oeste, de la Sierra de Cantabria. El drenaje se organiza básicamente entre las cuencas hidrográficas de los ríos Ega e Inglares cuyas cabeceras, localizadas en las proximidades de Lagrán y Pipaon respectivamente, se encuentran separadas por un cordal transversal a la estructura principal asociado a un pequeño abombamiento en el relieve (domo de Pipaon) y, en menor proporción, hacia la cuenca del río Ayuda, localizada inmediatamente al Norte de las anteriores, y a través del río Ebro bien de forma directa a su paso por las denominadas Conchas de Haro, próximas a esta localidad riojana, o integrándose en la abarrancada red hidrográfica que caracteriza a las tierras de la Rioja Alavesa.

En el interior de estos valles que componen la Montaña Alavesa existe un reducido número de localidades cuya principal actividad es el cultivo de la patata de siembra y la ganadería. Entre las más representativas se puede mencionar Angostina y Bernedo en el sector oriental, Lagrán, Pipaon y Peñacerrada en la zona central y Berganzo, Ocio y Salinillas de Buradón en el extremo occidental. Pese a que este poblamiento es, en cierto modo, bajo y disperso, la Sierra de Cantabria presenta, no obstante, un gran interés estratégico desde el punto de vista hidrogeológico dada su particular ubicación próxima a importantes núcleos poblacionales de la Rioja Alavesa.

## GEOLOGIA

Esta unidad se integra en su totalidad en el sector meridional de la Cuenca Vasco-Cantábrica (Pirineos Occidentales), formando parte de un dominio paleogeográfico individualizado entre el Sinclinal de Urbasa-Treviño y la Depresión Terciaria de la cuenca del Ebro. Sin embargo, a efectos de descripción del funcionamiento hidrogeológico, el área delimitada incluye parte de los Dominios Hidrogeológicos situados al Norte y Sur, con los que se encuentra estrechamente relacionada (figura 1).

Geológicamente está constituida por materiales mesozoicos eminentemente carbonatados, cabalgantes sobre los materiales terciarios

de la depresión del Ebro, mostrando una intensa deformación, que se manifiesta en el desarrollo de una apretada tectónica caracterizada por la formación de pliegues sucesivos a lo largo de planos y rampas de cabalgamiento que lateralmente pueden asociarse con pliegues más suaves o dar paso a estructuras dómicas más o menos complejas. Además, internamente la unidad se encuentra seccionada transversalmente por la estructura diapírica de Peñacerrada que, como se verá, da lugar a la existencia de dos conjuntos o sectores hidrogeológicos independientes.

Desde el punto de vista estrictamente litoestratigráfico, conviene reseñar como rasgo más sobresaliente el desigual espesor que presentan las series sedimentarias mesozoicas, con potencias de más de 2.500 m en la vertical del límite septentrional de la unidad, que se adelgazan rápidamente hacia el Sur hasta aproximadamente los 650 m de potencia de las series de la misma edad que afloran en la zona frontal del cabalgamiento.

En la Sierra de Cantabria afloran materiales con edades desde el Triásico hasta el Cuaternario incluyendo niveles del Jurásico y del Cretácico inferior presentes únicamente en el núcleo de algunas estructuras antiformes (Montoria y Ocio).

El **Trías**, constituido por las habituales arcillas y yesos (10) y ofitas (11), aparece asociado a las estructuras diapíricas de Ocio y Peñacerrada y en un reducido afloramiento en la zona de Pipaon. Asociados a las mismas estructuras, afloran el **Jurásico** y Cretácico inferior. El primero incluye carniolas (12), margas del Lías (13), calizas con sílex del Dogger (14) y un conjunto de materiales margoarenosos (15) del Malm.

El **Cretácico inferior** está representado por un nivel de calizas con orbitolinas (16) sobre las que se dispone discordantemente un conjunto arenoso, a veces microconglomerático (17) con inclusión de niveles de calizas arenosas (18), correlacionable con la formación Utrillas.

Con una representación arealmente mucho más significativa, se dispone la serie fundamentalmente carbonatada del **Cretácico superio**r. El término basal corresponde a las calizas y calcarenitas (19) del Cenomaniense; por encima, y separadas por las margas turonienses (20), se sitúa el conjunto calizo-dolomítico (21, 23) del Coniaciense, constituyente junto con el término 19 de los principales acuíferos de la unidad y responsable de la formación de los relieves más significativos de la sierra.

Bordeando el término anterior aflora una estrecha banda de calizas del Santoniense característica por su abundancia en Lacazinas (24). A techo se sitúa un conjunto de materiales heterogéneos de edad Campaniense al que pertenecen las calizas arenosas (25) y las arenas y margas (28) que definen el límite Norte de la unidad en su mitad oriental o contactan con los materiales pertenecientes al Dominio Hidrogeológico Urbasa-Treviño en la mitad occidental. A este último dominio pertenecen los materiales aún cretácicos constituidos por calizas y dolomías (162) del Maastrichtiense.

El **Terciario** está representado por las dolomías y calcarenitas (166) y el conjunto margoso (169, 171, 172) del Thanetiense, la alternancia de calizas lacustres (173) y limos y arcillas (174) del Eoceno, los conglomerados (181) y limolitas (182) oligomiocenos y las areniscas (183) con intercalaciones de calizas lacustres (184) del Mioceno.

Pertenecen, asimismo, al Terciario los depósitos conglomeráticos (188) y los limos y arenas (189) del Mioceno y los conglomerados y arcillas (191) del Pleistoceno procedentes de la erosión de la sierra y que ocupan los fondos de las depresiones internas. De la misma edad, aunque ligados al frente de cabalgamiento y pertenecientes al Dominio Hidrogeológico Cuenca del Ebro, afloran areniscas (194), conglomerados (195) y la alternancia de areniscas y limolitas (192) que constituyen el grueso de los depósitos de la cuenca.

Finalmente, se han diferenciado varios tipos de **depósitos cuaternarios,** terrazas (197), aluviales (200) y coluviales (201), el segundo de los cuales incluye acúmulos relativamente significativos de tobas y travertinos asociados a los principales manantiales que drenan el sector occidental de la unidad. Respecto a los coluviales, aunque son en general poco potentes, alcanzan gran desarrollo en zonas favorables, como es el caso de ambas vertientes de la sierra entre Pipaon y Bernedo.

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

Por orden de importancia, destacan como materiales de permeabilidad alta los que presentan porosidad primaria aumentada notable-

mente por fracturación y karstificación; entre ellos, los que originan los acuíferos más relevantes son las calizas y dolomías del Coniaciense (21, 23) y las calcarenitas del Cenomaniense (19). Estas últimas originan acuíferos kársticos asimilables a los de flujo difuso, caracterizados por el comportamiento altamente inercial que imprimen a sus puntos de descarga. La tipología de acuíferos a que dan lugar las calizas y dolomías coniacienses puede considerarse intermedia entre los descritos y los kársticos *sensu stricto*, es decir, kársticos mixtos.

A la misma categoría de permeabilidad pertenecen las arenas y microconglomerados albienses (17), asimilables a la formación Utrillas, con una significativa representación en la unidad y responsables de la inusual regulación que muestran algunos de sus manantiales. El grado de consolidación y las heterogeneidades en el medio deposicional han llevado a considerar el tipo de acuífero originado por este término como detrítico mixto.

Con respecto a los depósitos cuaternarios (197, 200, 201), son también considerados de permeabilidad alta, teniendo un papel significativo en el funcionamiento hidrogeológico de la unidad.

Otros materiales de permeabilidad alta pero de menor implicación en el contexto de la unidad son las carniolas y calizas jurásicas (12, 14), las calizas con orbitolinas (16, 18), las calizas con lacazina (24), las calizas y dolomías (162, 166) y los conglomerados (195) pertenecientes a los dominios contiguos, situados al Norte y Sur respectivamente.

Como de permeabilidad media se ha considerado una serie de materiales de variada litología y edad con porosidades que van desde la de tipo intergranular a la fisurada, incluyendo toda una gama de tipologías intermedias. En este sentido, se incluyen las ofitas del Trías (11), la serie margo-detrítica del Campaniense (25, 28) y los depósitos fundamentalmente conglomeráticos del Terciario (181, 188, 191, 194).

Entre los materiales de permeabilidad baja juegan un papel destacado aquellas formaciones cuya continuidad lateral y disposición estratigráfica condiciona el funcionamiento hidrogeológico global de la unidad, llegando a determinar la existencia de subunidades independientes. Así, cabe citar las margas turonienses (20), areniscas y calizas lacustres (183, 184) y los limos y arenas (189) del Mioceno. Otros materiales pertenecientes al mismo conjunto son las alternancias margosas del Lías (13) y Paleoceno (171, 173) y la alternancia de limolitas y argilitas de la Cuenca del Ebro (192).

Con menores implicaciones hidrogeológicas, se define otro conjunto de materiales de permeabilidad muy baja constituida por las arcillas y yesos del Trías (10) y el conjunto de depósitos fundamentalmente arcillosos del Malm (15) y del Terciario (169, 172, 174, 182).

*PUNTOS DE AGUA*

En la unidad existe un elevado número de manantiales, la mayor parte de ellos con caudales medios cercanos a 1 l/s. Una parte importante aparecen ligados a paquetes de margocalizas, areniscas y a recubrimientos cuaternarios de variable espesor, en su mayoría relacionados con horizontes privilegiados de carácter semipermeable, distribuidos a diferentes niveles en el interior de las series sedimentarias.

Existe, asimismo, una serie de manantiales con caudales medios que superan ampliamente la decena de litros por segundo. Su situación cartográfica se corresponde con los principales puntos de drenaje y por tanto han contribuido a definir los límites de las subunidades hidrogeológicas y a establecer su funcionamiento.

Entre los manantiales más importantes cabe destacar Pilagar, Tejera y Laguna en la mitad occidental de la unidad y Peñacerrada, Pipaon, San Bartolomé y el Soto en la otra mitad.

El manantial **Pilagar**, con una cierta componente de salida en carga hidráulica, tiene un caudal medio estimado en 40 l/s. Surge en el contacto de las formaciones carbonatadas del Cretácico superior, a las que está asociado, con los materiales de permeabilidad muy baja de la estructura diapírica.

Condicionado probablemente por la existencia del accidente tectónico que discurre entre las localidades de Ocio y Peñacerrada, surge el manantial **Tejera,** con un caudal medio estimado en 35 l/s y estiajes cercanos a 20 l/s.

El manantial **Laguna** surge a una cota comparativamente más alta, 690 m frente a 522 y 574 m de los dos anteriores, dando lugar a un arroyo con numerosas formaciones travertínicas. Con un caudal medio de 25 l/s, presenta una notable irregularidad en sus aportaciones.

El manantial **Peñacerrada** constituye sin duda el principal punto de drenaje de la unidad con una aportación media de 7,2 $Hm^3$/año (230 l/s) con caudales medios diarios mínimo y máximo de 50 y 1.400 l/s respectivamente, medidos en el período 1988-93. En realidad se trata de una zona de surgencias permanentes con salidas en 5 puntos principales relativamente próximos (40 m de separación) uno de los cuales se encuentra acondicionado como cámara de carga de un antiguo molino harinero. Las surgencias se encuentran estructuralmente asociadas al contacto mecánico entre el diapiro de Peñacerrada y los niveles dolomíticos del Paleoceno asociados a la estructura sinclinal de Loza. El comportamiento global de estas surgencias, a la luz del análisis de los hidrogramas disponibles, resulta en el detalle bastante heterogéneo dependiendo del ciclo anual considerado. La surgencia muestra un notable poder autorregulador con caudales de base en general no inferiores a 100 l/s.

Los manantiales **Pipaon** y **San Bartolomé**, situados en las cabeceras de los ríos Inglares y Ega respectivamente, representan las descargas septentrionales de las formaciones carbonatadas que originan la franja frontal de la sierra. Con una aportación media de 50 l/s cada uno, son las surgencias con mayor variabilidad de caudal, entre las destacadas en el conjunto de la unidad, aunque dentro de unos márgenes mucho más próximos que los habituales en otros manantiales asociados a formaciones kársticas. De hecho, los caudales máximos aforados son de 150 l/s en Pipaon y 300 l/s en San Bartolomé.

El manantial **Soto** surge en los limos del Mioceno (189) de baja permeabilidad, aunque está asociado a los materiales cretácicos, superior e inferior, del frente de la sierra. Su característica más reseñable es la inusual regulación de caudales que muestra; con una aportación media algo superior a 3 $Hm^3$/año, los caudales instantáneos máximo y mínimo medidos en el período 1990-93 han sido 200 y 23 l/s respectivamente, este último fruto del bienio de bajas precipitaciones 1989-90. El estudio de los hidrogramas lleva a definir al acuífero drenado por este manantial como un sistema notablemente inercial de gran poder autorregulador. En este sentido, únicamente las variaciones climáticas a largo plazo se manifiestan en el hidrograma, no así las de corto y medio plazo que resultan filtradas por el sistema.

Finalmente, los datos piezométricos deducidos a partir de la cota de los manantiales y de los niveles de agua en algunos sondeos han permitido definir las principales direcciones de flujo en la unidad. Así, se observa en general un drenaje desde las subunidades situadas en el frente de cabalgamiento hacia las subunidades que componen la depresión intermedia; posteriormente el flujo se desarrolla de forma divergente hacia los ríos Ega e Inglares.

*BALANCE HIDRICO*

Los datos de aforos han servido para estudiar las relaciones existentes entre las aguas superficiales y las correspondientes componentes subterráneas y establecer una primera caracterización del régimen hidrológico de la unidad (figura 2). Además, mediante la combinación de datos climáticos y las correspondientes aportaciones contabilizadas, se han podido cifrar los volúmenes de los distintos tipos de escorrentías como paso previo para determinar el diferente grado de contribución de las subunidades hidrogeológicas a la escorrentía subterránea.

Esta unidad básicamente se integra entre las cuencas de los ríos Inglares y Ega. Se trata de unos ríos con unos regímenes hídricos moderadamente influenciados por las precipitaciones, lo que en general da lugar a una notable regulación natural de sus caudales. Ello condiciona períodos interanuales con caudales de base muy constantes y comparativamente más altos en primavera que dan paso a estiajes poco pronunciados que temporalmente se ven agravados por captaciones directas para abastecimientos y por la utilización de sus aguas para regadíos.

Para el cálculo de los balances se ha contado con información aportada por las estaciones de aforo dotadas de limnígrafo insta-

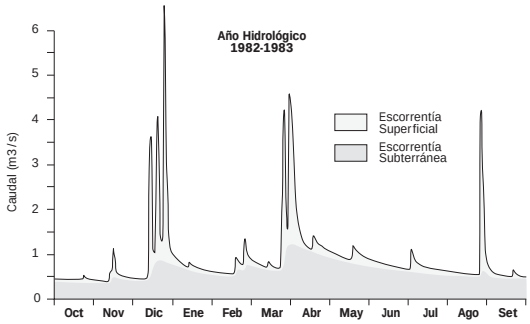



Figura 2. Hidrograma del río Inglares.

ladas en Ocio para el control del río Inglares, en Marañón para el río Ega y en los manantiales Peñacerrada y el Soto, además de diversas regletas y numerosos aforos puntuales.

De su análisis, se han establecido los principales elementos que intervienen en el balance, a nivel de cuenca, de los ríos Ega e Inglares para el período 1982-87. Los resultados se recogen en el cuadro 1.

| Cuenca | | Inglares | Ega | Totales |
|---|---|---|---|---|
| Superficie | ($km^2$) | 92,1 | 83,7 | 175,8 |
| Precipitación | (mm) | 700 | 825 | 760 |
| | ($Hm^3$) | 64,5 | 69,1 | 133,6 |
| Aportaciones | ($Hm^3$) | 23,8 | 21,3 | 45,1 |
| | (%) | 36,9 | 30,8 | 33,8 |
| Escorrentía | ($Hm^3$) | 5,0 | 10,1 | 15,1 |
| superficial | (%) | 7,7 | 14,6 | 11,3 |
| Escorrentía | ($Hm^3$) | 18,8 | 11,2 | 30,0 |
| subterránea | (%) | 29,2 | 16,3 | 22,5 |
| Déficit | ($Hm^3$) | 40,7 | 47,8 | 88,5 |
| escorrentía | (%) | 63,1 | 69,2 | 66,2 |
| Lluvia útil | (mm) | 258 | 254 | 257 |

Cuadro 1. Balance hídrico de cuencas.

Los porcentajes de escorrentía así obtenidos han sido posteriormente aplicados al ámbito de las diferentes subunidades hidrogeológicas delimitadas. Esto último se ha realizado considerando diferentes valores de infiltración en función de la permeabilidad asignada a cada material, de su superficie y de las características estructurales de los acuíferos. Finalmente, los resultados obtenidos se han contrastado con la información hidrogeológica disponible: evolución de los caudales en las principales surgencias, aforos directos y, especialmente, aportaciones subterráneas observadas a la salida de las cuencas.

Todo ello ha permitido definir las principales direcciones de flujo en las subunidades hidrogeológicas, cuantificar los mecanismos de transferencia entre cuencas adyacentes y, en definitiva, establecer con precisión los recursos subterráneos. Los resultados de todo el proceso de cálculo se consignan en el cuadro 2, con una escorrentía subterránea total para el conjunto de la unidad de 34,5 $Hm^3$/año. En el mismo cuadro se muestra la distribución de los recursos subterráneos por cuencas hidrográficas. De ellos, y a excepción de las aportaciones de las subunidades hacia los ríos Inglares (17,86 $Hm^3$) y Ega (12,49 $Hm^3$), un volumen significativo (4,21 $Hm^3$) corresponde a pérdidas no contabilizadas en la estación de aforos de Ocio y de Marañón, las cuales se drenan directamente hacia los ríos Ebro (3,15 $Hm^3$) y Ayuda (1,06 $Hm^3$).

*SUBUNIDADES. GEOMETRIA Y FUNCIONAMIENTO*

La unidad, tal como ha sido definida, incluye la estructura anticlinal cabalgante sobre los materiales de la Cuenca del Ebro, constituida mayoritariamente por las formaciones carbonatadas del Cretácico, y la prolongación hacia el SO de la Unidad Urbasa con la que contacta en el área Ocio-Baroja.

| Subunidades | Ocio | Salinillas | Berganzo | Toloño | Inglares | Montoria | Lagrán | Castillo | Angostina | Ega | Navarrete | Totales |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Superficie ($km^2$) | 5,5 | 10,3 | 22,0 | 12,0 | 5,0 | 16,5 | 32,0 | 35,0 | 5,3 | 8,8 | 1,0 | 153,4 |
| Isoyeta media (mm) | 625 | 650 | 700 | 725 | 650 | 750 | 825 | 850 | 850 | 850 | 850 | |
| Precip. anual ($Hm^3$) | 3,4 | 6,7 | 15,4 | 8,7 | 3,3 | 12,4 | 26,4 | 29,8 | 4,5 | 7,5 | 0,9 | 119,0 |
| Aport. Teórica ($Hm^3$) | 1,10 | 2,15 | 4,95 | 2,80 | 1,04 | 4,12 | 9,77 | 9,92 | 1,67 | 2,49 | 0,31 | 40,3 |
| MPA Superficie ($km^2$) | 2,0 | 5,0 | 6,0 | 7,3 | 5,0 | 3,0 | 25,2 | 13,2 | 4,2 | 8,8 | 1,0 | |
| MPA Infiltración ($Hm^3$) | 0,50 | 1,30 | 1,68 | 2,12 | 0,98 | 0,90 | 8,32 | 4,49 | 1,43 | 2,24 | 0,30 | |
| MPM Superficie ($km^2$) | 3,5 | 4,8 | 14,5 | 4,0 | | 12,0 | 6,3 | 20,0 | 0,8 | | | |
| MPM Infiltración ($Hm^3$) | 0,44 | 0,62 | 2,03 | 0,58 | | 1,80 | 1,04 | 3,40 | 0,14 | | | |
| MPB Superficie ($km^2$) | | 0,5 | 1,5 | 0,7 | | 1,5 | 0,5 | 1,8 | 0,3 | | | |
| MPB Infiltración ($Hm^3$) | | 0,02 | 0,05 | 0,03 | | 0,06 | 0,02 | 0,08 | 0,01 | | | |
| Recurso anual ($Hm^3$) | 0,94 | 1,94 | 3,76 | 2,72 | 0,98 | 2,76 | 9,38 | 7,96 | 1,58 | 2,24 | 0,30 | 34,56 |
| Infiltración (mm) | 170 | 188 | 171 | 227 | 195 | 167 | 293 | 228 | 298 | 255 | 298 | |
| Infiltración (%) | 27,3 | 29,0 | 24,4 | 31,3 | 30,0 | 22,3 | 35,5 | 26,8 | 35,0 | 30,0 | 35,0 | |
| Río Inglares ($Hm^3$) | 0,50 | 0,70 | 3,20 | 2,52 | 0,98 | 2,76 | 7,20 | | | | | 17,86 |
| Río Ebro ($Hm^3$) | 0,44 | 1,24 | | 0,20 | | | | 1,27 | | | | 3,15 |
| Río Ayuda ($Hm^3$) | | | 0,56 | | | | 0,50 | | | | | 1,06 |
| Río Ega ($Hm^3$) | | | | | | | 1,68 | 6,69 | 1,58 | 2,24 | 0,30 | 12,49 |

Cuadro 2. Balance hídrico de las subunidades. MPA: Materiales de permeabilidad alta. MPM: Materiales de permeabilidad media. MPB: Materiales de permeabilidad baja.

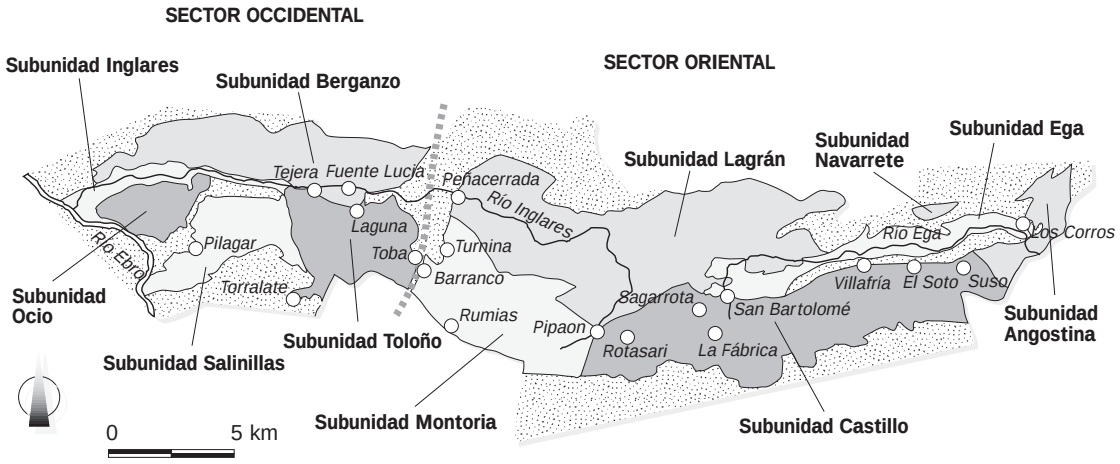



Figura 3. Esquema de subunidades.

Agrupa dos sectores hidrogeológicos, separados por los afloramientos de muy baja permeabilidad del núcleo de la estructura diapírica de Peñacerrada. Ambos incluyen una serie de subunidades menores relacionadas entre sí (figura 3), si bien la intensa deformación en algunos puntos ha condicionado la aparición de subunidades independientes que generalmente corresponden a núcleos de pliegues o a bloques cizallados que por efecto de la denudación han quedado aislados. Tal es el caso de la pequeña subunidad localizada al Este de Navarrete, la cuña tectónica frontal de la Subunidad Castillo o la propia Subunidad Toloño que constituye un bello ejemplo de acuífero colgado asociado a una estructura de tipo sinclinal.

**Sector Occidental**

Constituye la zona de la unidad comprendida entre la estructura diapírica de Peñacerrada y el río Ebro, este último considerado como nivel de base natural en su prolongación hacia el Oeste. Ocupa una superficie aproximada de 60 km$^2$ perteneciente casi en su totalidad a la cuenca del río Inglares, si bien una pequeña parte se integra en las cuencas de los ríos Ayuda y Ebro. Presenta unos recursos totales de 10,34 Hm$^3$/año e incluye las siguientes subunidades hidrogeológicas: Ocio, Salinillas de Buradón, Toloño, Berganzo e Inglares.

**Subunidad Ocio**

Se sitúa en el extremo occidental de la unidad, ocupando una superficie de 5,5 km$^2$. Geológicamente está definida por un monoclinal de moderado buzamiento que hacia el Norte se articula con la Subunidad Berganzo definiendo en profundidad una estructura sinclinal. El núcleo de esta estructura aparece ocupado por niveles terrígenos del Terciario continental, sobre los que se disponen los depósitos cuaternarios de la Subunidad Inglares. Lateralmente, se encuentra delimitada y sellada por los afloramientos de la estructura diapírica de Salinillas de Buradón, lo que motiva su individualización de la Subunidad Salinillas de Buradón.

Los principales niveles acuíferos están representados por los materiales detríticos del Albiense y las calizas del Coniaciense-Santoniense. La recarga se efectúa a partir de la infiltración del agua de lluvia, lo que supone unos recursos anuales estimados en 0,94 Hm$^3$. Los drenajes se realizan de manera difusa a través de los depósitos travertínicos asociados al río Inglares (0,5 Hm$^3$) y hacia el río Ebro (0,44 Hm$^3$).

**Subunidad Salinillas de Buradón**

De parecidas características litológicas a las de la subunidad anterior, ocupa una superficie de 10,30 km$^2$, con una precipitación anual media de 650 m. Se dispone entre las Subunidades Ocio y Toloño formando parte de la banda frontal de cabalgamiento. Este hecho ha condicionado que la subunidad se encuentre fuertemente tectonizada mostrando pliegues apretados de dirección Este-Oeste congruentes con las directrices generales de la estructura principal, favoreciendo el desarrollo de la fracturación en los niveles competentes, lo que necesariamente debe de traducirse en un incremento adicional de la permeabilidad.

La recarga se produce por precipitación directa sobre sus afloramientos, aunque no se debe descartar la posibilidad de alguna conexión en profundidad con la vecina Subunidad Toloño.

El drenaje principal se establece hacia el arroyo Salinillas, fundamentalmente por el manantial Pilagar, y hacia el río Ebro a su paso por las Conchas de Haro.

Los recursos subterráneos totales, establecidos en 1,94 $Hm^3$/año se distribuyen en 0,84 hacia el manantial Pilagar, 0,4 hacia el río Ebro y los 0,7 restantes hacia el río Inglares.

**Subunidad Toloño**

Posee una superficie de 12 $km^2$ y una precipitación media de 725 mm. Lateralmente aparece encajada entre la subunidad anterior y la estructura de Peñacerrada. Se individualiza de la Subunidad Berganzo, situada al Norte, mediante los materiales arcillosos del Paleoceno y el accidente que corre entre la estructura de Ocio y el diapiro de Peñacerrada y que condiciona sus principales puntos de descarga.

La estructura consiste, básicamente, en un sinclinal de suaves buzamientos ocupado en su núcleo por los materiales calizos del Cretácico superior, constituyentes, a su vez, del acuífero principal. Los recursos subterráneos derivan, en exclusiva, de la infiltración directa del agua de lluvia y se han establecido en 2,72 $Hm^3$, de acuerdo con el grado de deformación y de karstificación de los niveles aflorantes. De ellos casi el 80% (2,12 $Hm^3$) proceden de los materiales calizo-dolomíticos del Cretácico superior.

Una pequeña parte de los recursos (0,2 $Hm^3$) se drena por el conjunto de manantiales ubicados en el borde meridional (Torralate) o en el contacto diapírico (manantial Toba). El resto mayoritariamente hacia el Norte, bien a través de la zona de surgencias estructuralmente asociada al manantial Laguna (1,22 $Hm^3$) y de forma difusa hacia el río Inglares (1,3 $Hm^3$).

**Subunidad Berganzo**

Situada a caballo entre las cuencas de los ríos Inglares y Ayuda, tiene una superficie de 22 $km^2$ y una pluviometría anual media de 700 mm. Está constituida, en buena medida, por sedimentos del Terciario pertenecientes al dominio hidrogeológico situado al Norte y litológicamente análogos a los constituyentes de la Unidad Urbasa. Sin embargo, dada su posición geográfica y la clara conexión hidráulica que mantienen con la Unidad Sierra de Cantabria, han sido incluidos en esta última para su descripción. Incluye asimismo, aunque de forma restringida, la práctica totalidad de la serie sedimentaria mesozoica.

En conjunto, define una estructura antiforme interrumpida por el diapiro de Peñacerrada.

Sus recursos subterráneos, procedentes exclusivamente de la precipitación, se han cifrado en 3,76 $Hm^3$/año de los cuales 0,56 se incorporan a la cuenca del río Ayuda a través de los numerosos manantiales que jalonan su contacto septentrional. El flujo principal se realiza, por lo tanto, hacia la cuenca del río Inglares a favor del manantial Tejera (1,4 $Hm^3$) y Fuente Lucía (0,25 $Hm^3$), y de manera difusa a lo largo de los sedimentos cuaternarios instalados aguas abajo de la localidad de Berganzo, los restantes 1,55 $Hm^3$.

**Subunidad Inglares**

Está constituida por diversos afloramientos de irregular superficie dispuestos en terrazas ligadas al régimen fluvial del río Inglares. En conjunto ocupan una superficie de 5 $km^2$, con una precipitación media de 650 mm. Básicamente están representados por materiales detríticos de origen fluvial que alternan con sedimentos tobáceos, esto es, depósitos continentales de precipitación química, generalmente de elevada porosidad y presumiblemente asociados al funcionamiento hidrogeológico de la unidad durante episodios cálidos o interestadios templados del Pleistoceno y Holoceno.

Los travertinos generalmente se inician con un nivel de gravas y mayoritariamente responden a dos diferentes tipos de facies bioconstruidas: la facies en cascada y la facies con estructuras de vegetales. Por su parte, los materiales detríticos de acarreo están constituidos por gravas de cantos, moderadamente redondeados, y arenas en el interior de una fracción de naturaleza limoarcillosa, todo ello parcialmente cementado por carbonato cálcico.

Hacia la parte baja de la cuenca, entre Berganzo y su desembocadura, junto a sedimentos arenosos aparecen limos calcáreos con niveles lenticulares intercalados de travertinos destruidos y transportados, de importancia volumétrica variable, entre los que destaca por

su gran desarrollo el afloramiento situado inmediatamente al Oeste de la localidad de Ocio. En general, están constituidos por fragmentos de variable tamaño envueltos por carbonato cálcico dando lugar a estructuras de tipo oncolítico y a concreciones cilíndricas, lo que les confiere un característico aspecto esponjoso y de elevada porosidad.

El interés hidrogeológico de estos materiales radica en que facilitan el tránsito de las aportaciones subterráneas provenientes de las subunidades descritas en su drenaje hacia el río Inglares contribuyendo en cierta medida a la regulación de sus recursos. Sus recursos teóricos, procedentes en exclusiva de la precipitación directa, sin contar la recarga de las subunidades a las que en parte recubre, se han estimado en 0,98 $Hm^3$/año de los cuales 0,68 corresponden a la terraza inferior situada entre Ocio y el río Ebro y 0,3 proceden de los afloramientos localizados aguas arriba de Ocio.

**Sector Oriental**

Comprende la zona situada al Este de Peñacerrada entre la estructura diapírica del mismo nombre y el límite administrativo impuesto a la unidad. En conjunto, el sector ocupa una superficie aproximada de 150 $km^2$ y sus afloramientos se integran básicamente en las cuencas de los ríos Ega e Inglares. Presenta unos recursos de 24,22 $Hm^3$/año repartidos entre un determinado número de subunidades menores: Montoria, Lagrán, Castillo, Ega, Angostina y Navarrete, definidas en base a los datos litológicos, estructurales e hidrogeológicos que de ellas se dispone.

**Subunidad Montoria**

Se sitúa en el extremo occidental del sector, al sur de la Subunidad Lagrán, quedando limitada lateralmente por los niveles de muy baja permeabilidad del Trías diapírico. Ocupa una superficie de 16,5 $km^2$, con una precipitación media de 750 mm. Básicamente se integra en una estructura anticlinal afectada por una red de fracturas de diferente desarrollo y desplazamiento que condicionan su compartimentación. En su núcleo afloran materiales jurásicos sobre los que se disponen sedimentos del Cretácico inferior y términos basales del superior. Los acuíferos están representados por los niveles carbonatados del Jurásico, por las arenas y microconglomerados en facies Utrillas y por las calizas y calcarenitas del Cenomaniense, definiendo un conjunto de naturaleza y permeabilidad variables, aislado de la Subunidad Lagrán por los niveles de muy baja permeabilidad del Turoniense que en buena parte bordean la estructura de Montoria.

El drenaje principal de los 2,76 $Hm^3$/año evaluados como recurso subterráneo de la subunidad, se dirige hacia el manantial Pipaon, cuya aportación justifica 1,6 $Hm^3$, y hacia los manantiales Barranco y Turnina situados en el contacto con el diapiro. La aportación de estos últimos, 0,3 $Hm^3$, junto con el drenaje hacia el Sur por surgencias como la de Rumias y otras similares justifica los 0,86 $Hm^3$ restantes.

**Subunidad Ega**

Posee una superficie de 8,8 $km^2$ y una pluviometría anual de 850 mm. Geológicamente está representada por los depósitos aluviales con porosidad intersticial asociados al río Ega, que se disponen a lo largo de la depresión configurada entre Lagrán y Angostina sobre los depósitos miocenos que la rellenan o sobre los niveles acuíferos de las subunidades circundantes con las que localmente guarda estrechas relaciones.

Dado su escaso desarrollo, el interés de esta subunidad radica, al igual que la mayoría de los sedimentos cuaternarios reconocidos en la unidad, en que constituye un horizonte de tránsito a través del cual se pueden desarrollar flujos procedentes de las subunidades a las que desigualmente recubre, principalmente la de Lagrán en su extremo occidental, contribuyendo así a la regulación de unos recursos adicionales. Sus recursos teóricos, considerando una recarga en exclusiva a cargo de la precipitación sobre su superficie aflorante, se han estimado en 2,24 $Hm^3$/año, que junto a los recursos subterráneos provenientes de otras subunidades se drenan en su totalidad a la salida del sistema fluvial en el borde oriental de la cubeta de Bernedo.

**Subunidad Angostina**

Se encuentra en el extremo oriental de la Sierra de Cantabria y, pese a estar limitada hacia el Oeste por la Subunidad Castillo, posee una entidad propia dadas las características estructurales de los materiales que la conforman. Presenta una superficie en la Comunidad Autónoma del País Vasco de 5,3 $km^2$ y una pluviometría media de 850 mm.

Geológicamente está constituida por una serie de estructuras de plegamiento y fracturas

asociadas al cabalgamiento cuyo juego y distribución ha condicionado la geometría y la sedimentación de los depósitos de la cubeta de Bernedo y su prolongación en Santa Cruz de Campezo.

Los materiales más ampliamente representados y responsables de la formación de los acuíferos asociados a la subunidad son las calizas y dolomías del Cretácico superior. La recarga se produce exclusivamente por la infiltración del agua de lluvia, lo que supone un recurso subterráneo de 1,58 $Hm^3$/año. La descarga se dirige directamente hacia el río Ega aunque hay algunas pequeñas surgencias como el manantial los Corros, situado en Angostina, cuya aportación tan solo justifica 0,2 $Hm^3$.

**Subunidad Lagrán**

Situada en el sector septentrional de la unidad y ubicada entre las cuencas de los ríos Ega e Inglares, ocupa una superficie de 32 $km^2$ y presenta una pluviometría media de 825 mm. Se encuentra constituida mayoritariamente por materiales carbonatados de elevada permeabilidad que incluye en la zona Norte términos del Terciario pertenecientes al Dominio Hidrogeológico Urbasa-Treviño.

Geológicamente configura una estructura monoclinal de bajo buzamiento hacia el Norte seccionada por diversas fallas subverticales, algunas de ellas de notable desarrollo. Mayoritariamente está constituida por sedimentos carbonatados que muestran un significativo incremento de sus potencias. Este hecho ya fue advertido durante la ejecución del sondeo petrolífero Lagrán-I, en el que se atravesaron 435 m de calizas y dolomías correspondientes al Cretácico superior, encontrándose todos los términos de la serie mesozoica (2.104 m) sin interrupciones y de manera continua hasta el Triásico.

En consecuencia, los niveles acuíferos están constituidos por los sedimentos calizo-dolomíticos karstificados del Coniaciense-Santoniense, por las dolomías presentes en el flanco meridional del sinclinal de Loza y por el tramo intermedio de margocalizas y calcarenitas del Campaniense que de este modo sirve de vínculo transmisor de los recursos del Terciario en su recorrido hasta el manantial Peñacerrada, principal surgencia de la Subunidad Lagrán.

El recurso subterráneo total asociado a la subunidad se ha evaluado en 9,38 $Hm^3$/año, de los cuales 7,2 se justifican con la aportación al río Inglares del conjunto de surgencias de Peñacerrada, 0,5 al río Ayuda y los restantes 1,78 son drenados a través del acuífero cuaternario desarrollado por el río Ega.

**Subunidad Castillo**

Limitada por el Norte y por el Sur por los sedimentos de baja permeabilidad de la cubeta de Bernedo y de la depresión del Ebro respectivamente, se encaja entre las Subunidades Montoria y Lagrán en su borde occidental y por Angostina en el oriental. Ocupa una superficie de 35 $km^2$ y tiene una pluviometría media de 850 mm. Estructuralmente se enmarca a lo largo del cabalgamiento frontal de la Sierra de Cantabria. Se trata de una sucesión de pliegues apretados, de vergencia Sur, cuyo núcleo está ocupado por las arenas y microconglomerados, relativamente plásticos, del Albiense. Su prolongación hacia el Norte está parcialmente limitada por las fracturas que han condicionado la formación de la cubeta de Bernedo.

Las formaciones permeables más significativas son, además de las arenas y microconglomerados, las calizas y calcarenitas del Cenomaniense y, con menor representación, las calizas y dolomías del Coniaciense-Santoniense.

Los recursos de la subunidad se han cifrado en 7,96 $Hm^3$/año. El principal drenaje corresponde a la aportación del manantial el Soto, 3,47, en cuya regulación, ya comentada, interviene la naturaleza del acuífero al que está asociado sin que sea descartable cierta componente profunda vehiculizada a través de las fracturas distensivas originadoras de la cubeta. Otro conjunto de surgencias volumétricamente significativas son San Bartolomé, Sagarrota y la Fábrica con una aportación de 2,6 $Hm^3$. Los manantiales Suso, Rotasari y Villafría justifican 0,62 $Hm^3$, quedando 1,27 $Hm^3$ que supondrían fundamentalmente el drenaje de las numerosas surgencias situadas en el borde meridional.

**Subunidad Navarrete**

Constituye una pequeña subunidad situada al NE de Navarrete, prácticamente aislada. Posee una superficie de 1 $km^2$ y una pluviometría anual media de 850 mm, correspondientes a 0,9 $Hm^3$. Estructuralmente está definida por un monoclinal, de suave buzamiento al NO, segmentada tectónicamente de la vecina Subunidad Angostina e individualizada hidrogeológicamente, al menos en superficie, por los materiales de baja permeabi-

lidad del Campaniense inferior y del Mioceno, encontrándose en su borde meridional muy próxima a los sedimentos aluviales del río Ega. El nivel acuífero está representado por los materiales carbonatados del Coniaciense-Santoniense. La recarga se produce por precipitación directa sobre los afloramientos. Los recursos se han estimado en 0,3 $Hm^3$/año. El drenaje, hacia la cuenca del río Ega, se efectúa a favor de los escasos manantiales existentes en su extremo occidental.

*PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS*

**Análisis de agotamientos**

A partir de los hidrogramas obtenidos en el período 1983-87 en las dos surgencias más importantes de la unidad, manantiales Peñacerrada y el Soto, se han analizado diversas decrecidas (figura 4) obteniendo los resultados que se recogen en el cuadro 3. Para ello se ha tenido en cuenta la posición de las surgencias en relación con las dimensiones de los acuíferos considerados, a los que se les ha supuesto un coeficiente de almacenamiento del 1%.

**Ensayos de bombeo**

Los valores de transmisividad obtenidos a partir de los ensayos de bombeo han sido, como cabría esperar, inferiores a los resultados del análisis de agotamientos al tratarse, estos últimos, de un valor referido a un sector del acuífero, el situado por encima de la cota de drenaje, cuyo comportamiento es en general más transmisivo. Así, se han obtenido transmisividades desde próximas a 10 $m^2$/día en las arenas y microconglomerados del Albiense, perforados en el sondeo Angostina, a superiores a 350 $m^2$/día en las formaciones carbonatadas y más intensamente karstificadas, valores que pueden ser considerados elevados aunque siempre inferiores a los característicos de los acuíferos kársticos sensu estricto. En la figura 5 se muestra como ejemplo dos ensayos de bombeo realizados en el sondeo Villafría.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Para la caracterización química de las aguas subterráneas se han tenido en cuenta los resul-

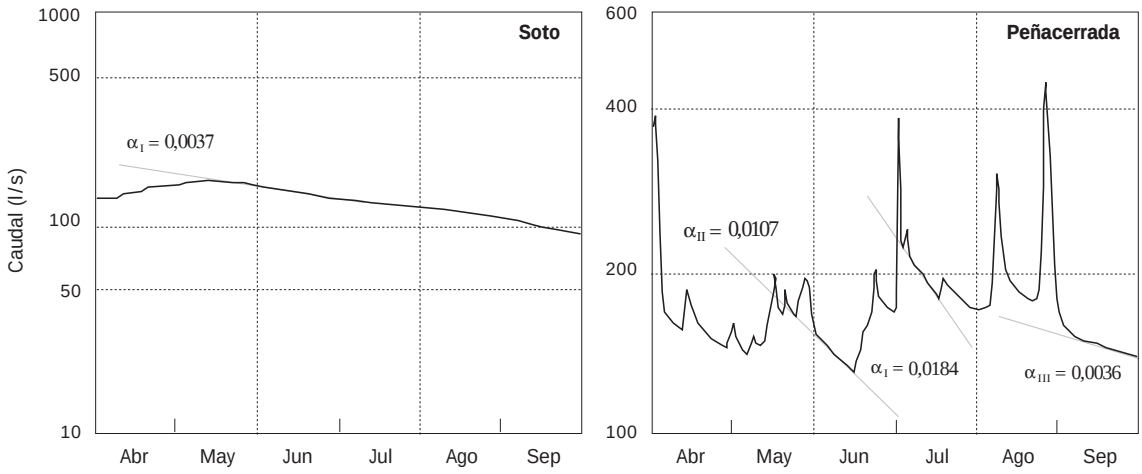



Figura 4. Análisis de agotamientos de los manantiales Peñacerrada y Soto (año 1993).

| Manantial | Año | Tramo | Pendiente | $\alpha$ ($días^{-1}$) | Transmisividad ($m^2$/día) |
|---|---|---|---|---|---|
| El Soto | 1983 | I | 1/630 | 0,0037 | 237 |
| | 1984 | I | 1/702 | 0,0033 | 213 |
| | 1985 | I | 1/342 | 0,0067 | 437 |
| | 1987 | I | 1/401 | 0,0057 | 372 |
| Peñacerrada | 1983 | I | 1/125 | 0,0184 | 1.866 |
| | 1983 | II | 1/216 | 0,0107 | 1.080 |
| | 1983 | III | 1/645 | 0,0036 | 362 |
| | 1985 | I | 1/221 | 0,0104 | 1.056 |
| | 1987 | II | 1/329 | 0,0070 | 7.096 |

Cuadro 3. Agotamientos y parámetros hidráulicos obtenidos.

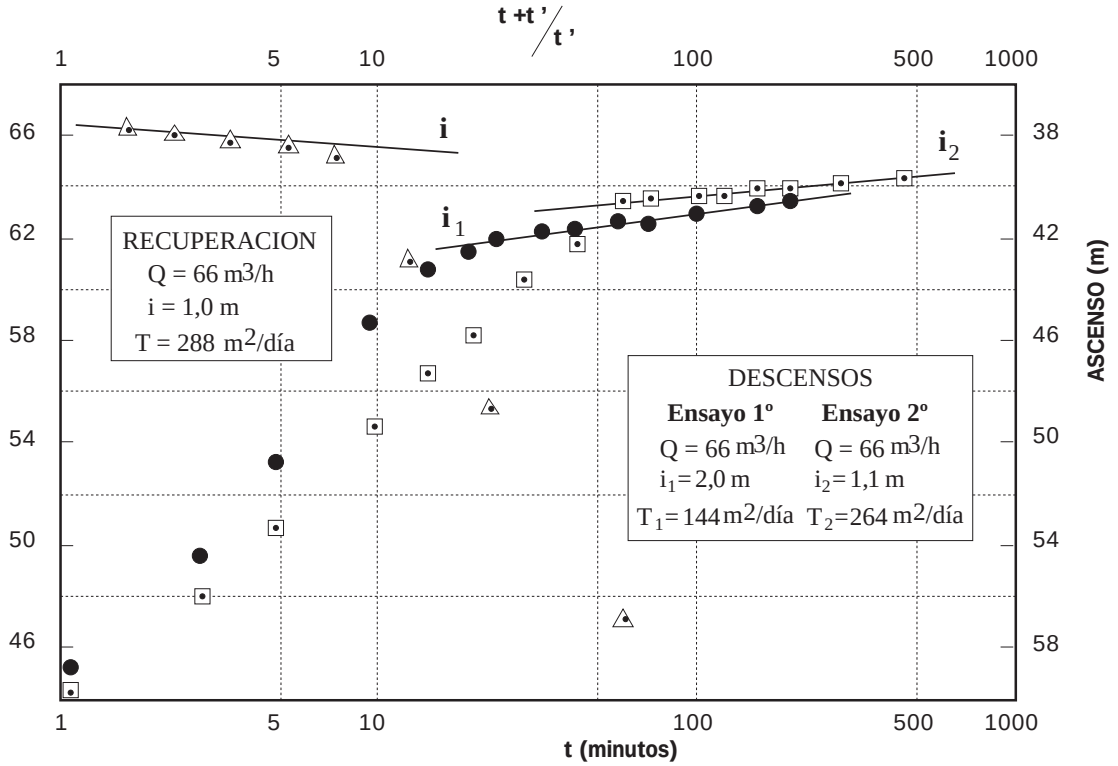



Figura 5. Ensayos de bombeo en el sondeo Villafría.

tados de análisis correspondientes a diversos estudios realizados en la unidad. Las características químicas correspondientes a los elementos mayoritarios se han representado en los diagramas de Langelier y de Stiff que acompañan a la figura 6.

En estas representaciones se advierte una notable homogeneidad de las características químicas de las aguas analizadas, existiendo un reducido número de muestras que se separan de esta norma y que corresponden a aguas con mayor mineralización. En cualquier caso las aguas en su conjunto muestran un grado de mineralización que oscila entre ligero y medio, encontrándose los valores más bajos hacia la parte alta de la unidad que se incrementan paulatinamente hacia las zonas internas siguiendo el sentido de las directrices principales del flujo subterráneo. Este esquema general de comportamiento coincide a grosso modo con la distribución espacial de los parámetros analizados, tal y como se observa en la figura 6 en la que a título de ejemplo se representan mediante mapas de isovalores la conductividad eléctrica y la dureza en grados franceses.

La mayor parte de las aguas analizadas son de tipo bicarbonatado cálcico, fiel reflejo del predominio de las formaciones calcáreas. No obstante, la abundancia relativa de niveles dolomíticos en algunos puntos se manifiesta en ocasiones en porcentajes de magnesio considerables que dan lugar a la aparición de facies mixtas bicarbonatadas magnésico-cálcicas. Hay que indicar que puntualmente el carácter magnésico puede estar asociado estacionalmente a algunas de las surgencias evidenciando así una evolución temporal del quimismo relacionada con desiguales funcionamientos hidrogeológicos del acuífero a lo largo del año.

En general, las aguas se encuentran saturadas respecto a los carbonatos más frecuentes (calcita y dolomita), pudiendo mostrar ligeras diferencias en cuanto a los valores de la presión parcial de $CO_2$ que unas y otras presentan. Este parámetro es particularmente útil ya que permite orientar acerca de los tiempos de residencia de las aguas en las formaciones acuíferas. En este sentido, y en relación a las dos principales surgencias de la unidad, manantiales Peñacerrada y el Soto, el primero muestra un porcentaje de la presión parcial de $CO_2$ relativamente elevado indicando una influencia de flujos cortos importantes, a diferencia del segundo caracterizado por valores bajos de este mismo parámetro que ponen de manifiesto flujos lentos y prolongados en el tiempo.

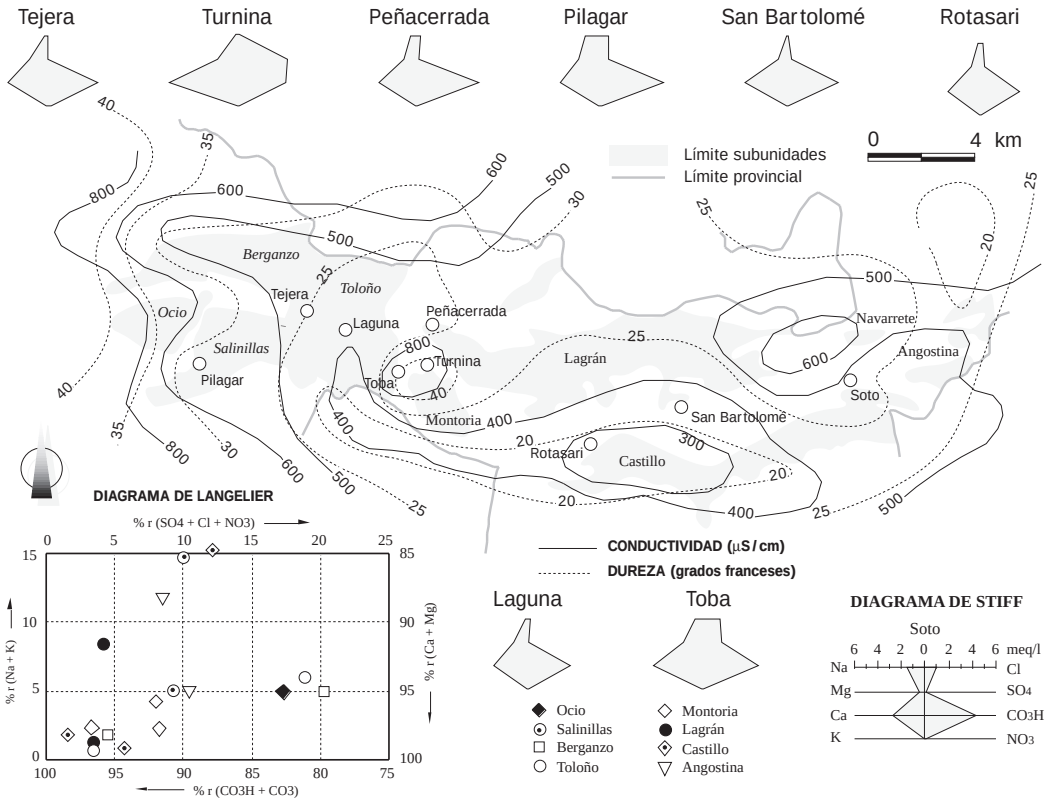



Figura 6. Mapas y diagramas hidroquímicos.

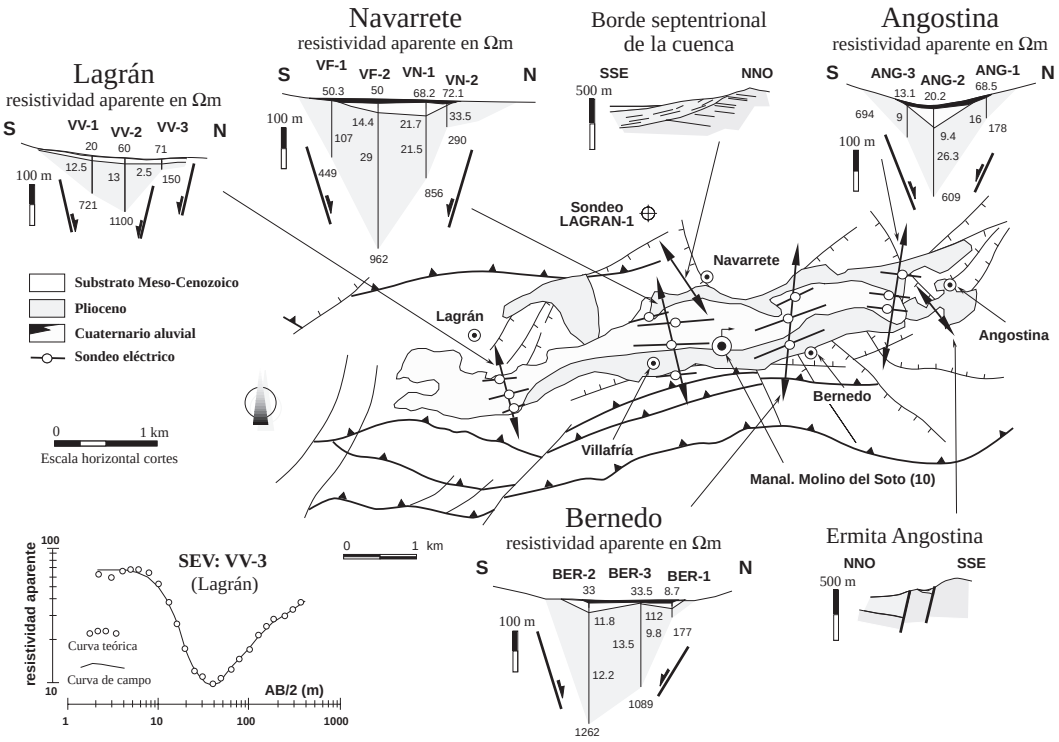



Figura 7. Investigación geofísica en la cubeta de Bernedo.

Con respecto a la existencia de procesos de alteración de la calidad de las aguas, cabe destacar la presencia de nitratos en concentraciones en general bajas pero que, puntualmente, han alcanzado 99 mg/l, sondeo Navarrete, fruto de la actividad agropecuaria de la zona.

## INVESTIGACION COMPLEMENTARIA

Los trabajos más significativos pueden resumirse en los siguientes epígrafes:

### Geofísica

Se ha centrado en el estudio de la cubeta de Bernedo, con el fin de determinar la progresión en profundidad de los accidentes que limitan su geometría, el espesor de los materiales de relleno y, en consecuencia, el grado de conexión del frente de cabalgamiento con su prolongación hacia el Norte.

La figura 7 recoge el resultado de la realización de 13 sondeos eléctricos verticales, con aperturas de alas (AB) comprendidas entre 1.500 y 2.000 m, realizados en 1991.

### Sondeos

Además de algunos sondeos de investigación petrolífera, perforados en la zona principalmente en la década de los 60 y cuya información ha sido de gran utilidad para la comprensión de la estructura general de la sierra, se han perforado sondeos de carácter hidrogeológico, tanto de investigación como de explotación, en un número que puede considerarse escaso dada la entidad de la unidad.

Con dos objetivos diferentes, abastecimiento urbano en el borde meridional y uso agropecuario en la zona central, son 15 los sondeos construidos, 9 de explotación y 6 de investigación y control piezométrico. No entran dentro de este conjunto pequeñas perforaciones de escasa entidad y uso particular.

Los resultados obtenidos son reflejo de las características ya señaladas de los acuíferos que constituyen la unidad, kársticos y detríticos predominantemente mixtos, lo cual se traduce en rendimientos aceptables aunque con caudales específicos bajos, en general inferiores a 1 l/s/m.

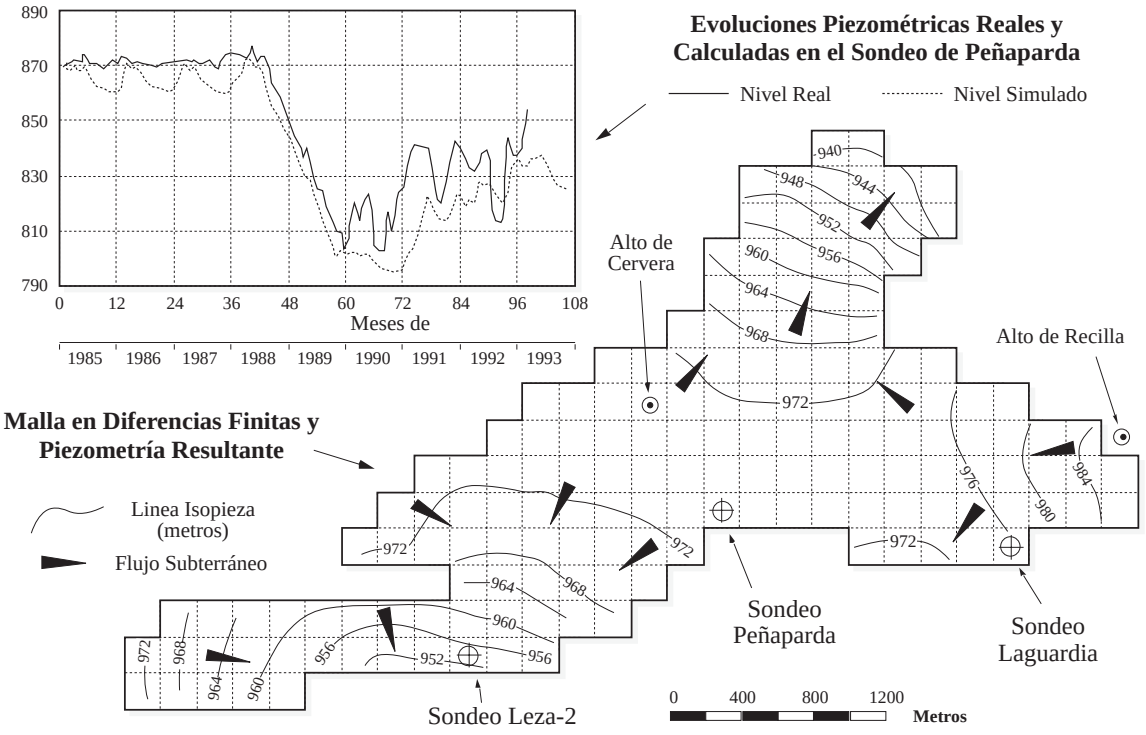



Figura 8. Modelo matemático de la zona de Peñaparda.

**Modelización Hidrogeológica**

Sobre el entorno de los sondeos construidos en el borde meridional y cuyo destino es el abastecimiento de la Rioja Alavesa, se ha definido un modelo matemático que considera la evolución de los niveles habidos desde su puesta en producción en 1985.

El sector analizado, de 6,5 $km^2$, incluye la posición de los sondeos y la prolongación del acuífero hasta su vertiente Norte. Las isopiezas resultantes, tras la calibración del modelo para los primeros cuatro años de datos de precipitación y descargas inducidas, expresadas como valor promedio de las distintas situaciones estacionales (figura 8) muestran, como cabía esperar, la existencia de una divisoria hidrológica coincidente a grosso modo con el eje central de la sierra y sendos gradientes en direcciones opuestas.

Una segunda modelización, limitada a la porción de acuífero más intensamente afectada por la explotación del sondeo Peñaparda, permite la simulación de los descensos inducidos con el grado de ajuste que se observa en la misma figura. Es apreciable, entre otras cosas, el efecto causado por la sequía del bienio 1989-90.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

Tal como se ha comentado, dos son los usos destacables del agua asociada a la unidad. El agropecuario, practicado en la zona central sobre un área de regadío de aproximadamente 1.200 Ha, cuya demanda se estima en 1,5 $Hm^3$/año, de los cuales casi el 80% procede de los caudales de base de las descargas y el resto de bombeo de los sondeos, así como de otras obras de regulación (balsas de riego).

El consumo para abastecimiento procede de la captación de manantiales y, mayoritariamente, del caudal extraído desde los sondeos de la vertiente Sur, lo que supone una explotación cercana a 2,5 $Hm^3$/año.

En definitiva, el grado de utilización de los recursos se limita a 4 $Hm^3$/año, equivalentes a menos del 12% de los evaluados como renovables en un año medio.

Otros aprovechamientos dignos de mención son el de producción de energía hidroeléctrica, central de Berganzo, alimentada mayoritariamente con la aportación del manantial Peñacerrada, y aquellos que en su día sirvieron como molinos de cereal aprovechando las aportaciones de manantiales como el Soto en Bernedo o Rotasari en Pipaon.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

DFA (1977). Estudio de los Recursos Hídricos Subterráneos del Flanco Norte de la Sierra de Cantabria.

IGME (1980). Informe sobre el bombeo de ensayo realizado en el sondeo Bernedo (Navarrete, Alava).

DFA (1981). Informe del bombeo de ensayo realizado en el sondeo de Villafría (Alava). (Llanos H.J., Ulibarri M.).

DFA (1981). Informe hidrogeológico del sondeo de Loza (Alava). (Llanos H.J., Ulibarri M.).

DFA-SGOP (1982). Las Aguas Subterráneas en Navarra.

DFA (1982). Informe hidrogeológico del sondeo Laguardia R-1. (CGS).

IGME (1984). Informe técnico sobre el control y supervisión del sondeo y bombeo de ensayo para abastecimiento de Peñacerrada (Alava).

IGME (1985). Informe sobre los bombeos de ensayo realizados en el sondeo de Peña Parda (Laguardia-Alava).

CADEM-DFA-IGME (1985). Proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Unidad de Sierra de Cantabria (Alava), 1ª Fase. (CGS).

EVE-DFA-IGME (1986). Proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Unidad de Sierra de Cantabria (Alava), 2ª Fase. (CGS).

EVE (1986). Control y seguimiento del sondeo Leza-2. (GIGSA).

EVE (1989). Investigación hidrogeológica del área de Ocio-Berganzo (Alava). (GIGSA).

EVE (1992). Investigación hidrogeológica del área de Lagrán (Alava). (GIGSA)

EVE (1992). Control y seguimiento del sondeo Angostina-A. (GIGSA).

LLANOS, H.J. (1992). Estudio Hidrogeológico de la Unidad de Urbasa, Montes de Vitoria, Treviño y Sectores Adyacentes. (Tesis de Doctorado. UPV-EHU).

DFA (1994). Modelo matemático en el sector oriental de la Unidad Hidrogeológica de la Sierra de Cantabria. (CGS).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Villafría | 537970 | 4719350 | 715 | 4 | Abastecimiento de Villafría |
| La Fábrica | 532970 | 4717730 | 900 | 22 | Abastecimiento Lagrán |
| Rotasari | 529305 | 4717640 | 870 | 8 | Abastecimiento Pipaon |
| Rumias | 523560 | 4717730 | 950 | 8 | Abastecimiento Labastida y Montoria |
| Turnina | 523130 | 4720190 | 795 | 6 | Abastecimiento Peñacerrada |
| Corros | 542670 | 4719610 | 770 | 6 | Abastecimiento Bernedo y Angostina |
| Suso | 541980 | 4719370 | 780 | 8 | Antiguo abastecimiento Bernedo |
| La Toba | 522340 | 4719745 | 770 | 2 | Abastecimiento de Payueta |
| Barranco | 522375 | 4719400 | 790 | 3 | |
| Laguna | 519885 | 472630 | 690 | 25 | |
| Pilagar | 514225 | 4720410 | 522 | 40 | Abastecimiento de Salinillas de Buradón y Briñas |
| Torralate | 518080 | 4717925 | 740 | 1-10 | |
| Tejera | 518400 | 4722400 | 574 | 35 | Fuente pública de Berganzo |
| Sagarrota | 532550 | 4718300 | 820 | 10 | Uso en regadío |
| Fuente Lucía | 519470 | 4722280 | 600 | 8 | |
| San Bartolomé | 533360 | 4718955 | 760 | 50 | Nacimiento del Ega |
| Pipaon | 528540 | 4717145 | 875 | 50 | Regulado mediante balsa de riego |
| El Soto | 539680 | 4719500 | 700 | 110 | Antiguo molino |
| Peñacerrada | 523670 | 4721710 | 715 | 230 | Varias salidas. Molino-panadería |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Villafría | 538065 | 4719180 | 725 | 44 | Abastecimiento Villafría. Riego |
| Lagrán-1 | 535120 | 4721540 | 815 | | Prospección de hidrocarburos |
| Angostina | 543655 | 4720390 | 655 | 15 | |
| Navarrete | 539845 | 4720625 | 685 | 60 | Abastecimiento Navarrete. Uso agrícola |
| Peñaparda | 530880 | 4716585 | 900 | 35 | Abastecimiento de la Mancomunidad de la Rioja Alavesa |
| Leza | 529515 | 4715695 | 895 | 50 | |
| Laguardia | 532255 | 4716460 | 960 | 15 | Abastecimiento de la Mancomunidad de la Rioja Alavesa |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA CAMPEZO

## GENERALIDADES

Se encuentra en el extremo oriental del territorio alavés, dentro de la comarca denominada La Montaña, e incluye gran parte de los Términos Municipales de Campezo y Valle de Arana (Santa Cruz de Campezo, Orbiso, Bujanda, Antoñana, Oteo). Queda incluida íntegramente en el Dominio Hidrogeológico Sierra de Cantabria (figura 1).

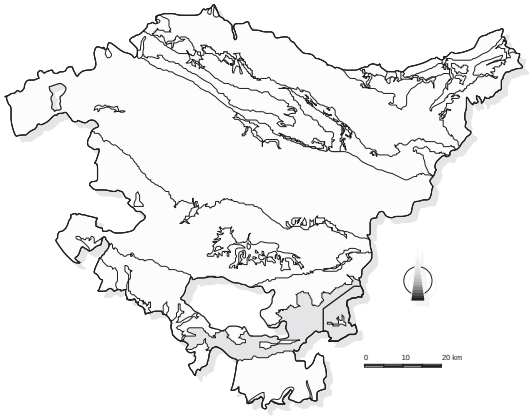



Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

Morfológicamente, presenta dos tipos de relieve: depresiones y montaña, en ambos casos con una disposición cercana a la E-O.

Las depresiones son el asiento de la población en forma de pequeños núcleos concentrados así como de la agricultura, principal ocupación en el área. La montaña separa las dos principales depresiones, valle de Arana y valle de Campezo, así como esta última del valle del Ebro, y delimita diferentes subcuencas hidrográficas, siendo la del Ega la más importante.

Las cumbres más importantes son el monte Hornillo (996 m) situado al Norte, y el monte Yoar, situado al Sur con una altitud de 1.416 m.

## GEOLOGIA

La unidad se localiza en el sector meridional de la cuenca vasco-cantábrica, próxima al cabalgamiento de la Sierra de Cantabria sobre los materiales terciarios de la depresión del Ebro. Se sitúa en un sector de borde de cuenca donde, regionalmente, se producen adelgazamientos y cambios de facies de las series mesozoicas y cenozoicas, generalmente hacia tipos continentales o de transición.

Los materiales que afloran en la zona pertenecen al Cretácico superior, Terciario y Cuaternario. El Cretácico superior se compone de materiales carbonatados que representan facies marinas de plataforma y su transición hacia facies costeras. El Terciario y el Cuaternario incluyen depósitos detríticos de origen continental que reposan discordantemente sobre los materiales cretácicos y que, en gran medida, provienen del desmantelamiento de paleorrelieves.

A continuación se comentan las características más sobresalientes de los materiales aflorantes en el área:

**Turoniense** (20). Está constituido por un conjunto monótono de margas hojosas de color gris azulado, que intercalan niveles más compactos de margocalizas y calizas arcillosas, más frecuentes a techo.

**Coniaciense-Santoniense inferior.** Mayoritariamente se encuentra formado por calizas en general muy fracturadas y localmente (Yoar) dolomitizadas (21) y calcarenitas marinas (24). Son frecuentes los cambios laterales de facies hacia términos más complejos que incluyen brechas y areniscas (22).

**Santoniense superior-Campaniense**. Está constituido por calizas y calcarenitas, masivas en la zona del monte Hornillo, que cambian hacia términos margosos y arenosos (25) y por una serie de margas grises con intercalaciones de margocalizas nodulosas (26).

**Terciario.** Mayoritariamente son depósitos continentales de cantos calcáreos y arcillas y areniscas en capas delgadas (189). En la zona Norte, asociados a los escarpes calcáreos del Cretácico aparecen conglomerados de cantos angulosos en una matriz arcillo-arenosa bien cementada (188, 190). En las proximidades del límite Sur de la depresión de Santa Cruz de

Campezo, se sitúan series de abanicos aluviales (191), constituidos por conglomerados, areniscas y lutitas en niveles por lo general bien estratificados y con frecuentes interdigitaciones. No presenta esta litología una gran compacidad debido a la escasez de cemento. La disposición geométrica de los diversos afloramientos es de tipo radial, con su vértice en la ruptura de pendiente entre la sierra y la depresión.

**Cuaternario.** Se diferencian tres tipos de depósitos: coluviales (201) provenientes del desmantelamiento de las formaciones calcáreas que llegan a exhibir cierta organización interna, terrazas aluviales (197) de potencias máximas de 3 a 4 m y aluvial (200) asociado al río Ega.

Desde el punto de vista tectónico-estructural, la unidad presenta dos dominios, al Norte y al Sur, separados por la depresión de Santa Cruz de Campezo.

El dominio septentrional se caracteriza por presentar directrices conformes con las regionales de plegamiento de la cuenca vasco-cantábrica (NO-SE). Destacan en él la sencillez y el relativamente amplio radio que presentan los pliegues, todos ellos afectando a las potentes series mesozoicas. Las principales estructuras de este área son una sucesión de tres pliegues: anticlinal de Hornillos, sinclinal de Oteo y anticlinal de Gastiain (Navarra), todos ellos con ejes hundiéndose hacia el NO y con reducidos buzamientos (<30°). Las fallas son en general de poco salto y de carácter distensivo amortiguándose frecuentemente en la potente serie margosa superior.

El dominio meridional se caracteriza por presentar directrices anómalas con respecto a las regionales. Se observa una tendencia E-O, congruente y asimilable con la dirección de cabalgamiento de la Sierra de Cantabria, de la que forma parte. Existe una tectónica de ruptura mucho más importante que en el dominio septentrional y con una actuación en algunos casos más temprana, como lo demuestra la existencia de materiales terciarios postorogénicos (conglomerados intramontañosos).

Separando los dos dominios estructurales está la depresión de Santa Cruz de Campezo, de origen netamente tectónico, rellenada por materiales continentales terciarios. Algunas investigaciones petroleras gravimétricas realizadas en la zona, parecen reflejar por debajo del Terciario un diapiro (Trías Keuper) que ocuparía la mitad oriental de la depresión, situándose en la alineación de diapiros aflorantes Maeztu-Estella. Los límites de esta depresión son fracturas, generalmente fosilizadas por materiales cenozoicos y cuaternarios, creando una fosa "alterada" por la estructura diapírica.

**HIDROGEOLOGIA**

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

Los términos que constituyen los acuíferos principales de la unidad son las calizas, calcarenitas y dolomías (21, 22, 24), todas ellas de permeabilidad alta, y las calizas y calcarenitas (25) cuya permeabilidad global es media, variando desde alta en el entorno del monte Hornillos a baja en su prolongación tanto hacia el Noreste como Sur.

Originan acuíferos de tipología kárstica mixta, de permeabilidad alta por porosidad primaria intergranular y porosidad secundaria originada por fracturación, karstificación y localmente dolomitización.

De los materiales terciarios, los conglomerados y abanicos aluviales (188, 191) tienen permeabilidad media, mientras que los depósitos limosos (189) tienen permeabilidad baja.

Aunque los depósitos cuaternarios (197, 200, 201) son de permeabilidad alta, su repercusión en el funcionamiento hidrogeológico de la unidad es poco significativa.

Por último, como materiales de permeabilidad baja, que llegan a actuar como límites impermeables, figuran los términos margosos turonienses (20) y campanienses (26).

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

La estructura del acuífero carbonatado en el entorno del valle de Arana, es una sucesión de pliegues suaves según directrices NO-SE.

Por el contrario, la tectónica de la Sierra de Cantabria en el entorno del monte Yoar es muy compleja, asemejándose al estilo de deformación del frente del cabalgamiento, caracterizado por una sucesión de pliegues apretados vergentes al Sur. En cualquier caso, ambos sectores se encuentran conectados por debajo de la depresión terciaria.

El sustrato impermeable está definido mayoritariamente por la margas y margocalizas del Turoniense. La superficie total del acuífero,

considerando los afloramientos carbonatados de permeabilidad alta incluidos en el mapa descrito, es de 32 km².

Las características geométricas de los materiales conglomeráticos terciarios y cuaternarios, ubicación respecto al acuífero carbonatado y superficie de afloramiento, permiten integrarlos en un esquema de funcionamiento general. Supone una superficie aproximada de recarga adicional de 6 km². Localmente algunos de estos materiales permeables pueden llegar a configurar acuíferos individualizados.

*PUNTOS DE DESCARGA*

Del total de manantiales inventariados en el área de la unidad, únicamente las fuentes públicas de **Santa Cruz de Campezo** y de **Orbiso** y el manantial **Castañal** superan el caudal medio de 5 l/s. Además, se encuentran en su mayor parte asociados a los materiales conglomeráticos terciarios y a algún sector aislado del acuífero carbonatado.

Otros puntos de drenaje visibles son los arroyos Islora y Rosario que, en condiciones hidrológicas adecuadas, tienen carácter efluente. Este funcionamiento se invierte, pasando a influente, en condiciones de aguas normalmente medias y bajas.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO*

El aspecto más destacable en el funcionamiento hidraúlico de la unidad es la ausencia de puntos de drenaje significativos dentro de los límites impuestos.

Los principales puntos de descarga se sitúan en las zonas topográficamente más bajas de los afloramientos carbonatados en ambas sierras, en su continuación en Navarra (manantiales Alborón y Ancín con caudales medios de 500 y 750 l/s respectivamente) (figura 2).

La recarga se produce por infiltración de la lluvia útil sobre los afloramientos permeables y, en menor medida, por la recarga inducida desde los arroyos Islora y Rosario.

Las direcciones de flujo subterráneo se establecen convergentes hacia el río Ega, aunque hacia cotas más bajas que las presentes en la Comunidad Autónoma. Son, por otra parte, en dirección SE en la Sierra de Arana y en dirección NE en la Sierra de Cantabria.

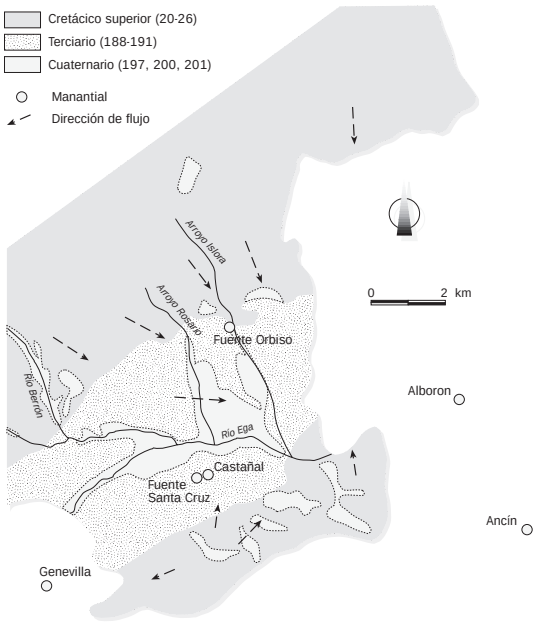



Figura 2. Esquema de la unidad.

En el extremo suroccidental de la Sierra de Cantabria cabe pensar también en una variación de la dirección del drenaje hacia el manantial Genevilla, cuyo punto de descarga se sitúa en dicha localidad navarra, con un caudal medio de aproximadamente 150 l/s.

Los rellenos terciarios, fundamentalmente arcillosos y por lo tanto de baja permeabilidad, de la depresión de Santa Cruz de Campezo confinan parcialmente el acuífero carbonatado, de funcionamiento libre en el resto del área.

*BALANCE HIDRICO*

El balance de la unidad se realiza de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Isoyeta media = 750 mm.
- Isoterma media = 10°C.
- Lluvia útil = 350 mm (47% de la precipitación).

Los recursos renovables se han calculado como suma de la infiltración de la lluvia útil sobre los afloramientos permeables, en porcentaje del 80% en los de permeabilidad más alta y del 50% en el resto, y de una estimación de la infiltración desde los ríos Islora y Rosario.

Resulta un total de 10 Hm³/año, de los cuales un porcentaje mínimo es drenado dentro de los límites de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

La información hidroquímica se basa en un total de diecisiete análisis químicos correspondientes a otros tantos puntos de agua, quince de ellos manantiales y dos sondeos.

En el cuadro 1 se muestra la tabla de valores medios de los componentes mayoritarios. Los menores coeficientes de variación se dan en el $Ca^{++}$, $CO_3H^-$ y conductividad.

En la figura 3 se muestra la situación de los puntos investigados en la última campaña (46 SEV y 40 SEDT) así como el mapa de isobatas del techo resistivo referidas al nivel del mar. El paquete resistivo intermedio, atribuible a las calizas y calcarenitas del Coniaciense-Santoniense (21), presentó un alto grado de detectabilidad en ambos métodos geofísicos con valores de resistividad muy variables entre 50 y varios miles de Ωm, en función del sistema usado (la resistividad en los SEDT es sistemáticamente menor que en los SEV).

| Parámetro | $Na^+$ | $K^+$ | $Ca^{++}$ | $Mg^{++}$ | $Cl^-$ | $SO_4^=$ | $CO_3^{H-}$ | $NO_3^-$ | $SiO_2$ | Cond. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Media (mg/l) | 6,0 | 0,9 | 80,3 | 3,4 | 12,1 | 31,2 | 207,9 | 17,3 | 4,1 | 380 |
| Coeficiente de variación (%) | 78,5 | 108,1 | 24,4 | 72,7 | 79,9 | 64,5 | 26,0 | 85,6 | 32,6 | 26,3 |

Cuadro 1. Valores medios de componentes mayoritarios. Valores en mg/l. Conductividad en µS/cm.

Todas las muestras analizadas corresponden a una facies hidroquímica bicarbonatada cálcica con un grado de mineralización inferior a 450 mg/l, ligeramente menor en aquellos puntos asociados a materiales conglomeráticos terciarios (abanicos aluviales).

De acuerdo con los parámetros físico-químicos, la calidad del agua para consumo es buena.

Respecto a su calidad para el regadío, el peligro de alcalinización es prácticamente nulo, con índices S.A.R. entre 0,089 y 0,53.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

La investigación complementaria llevada a cabo en la unidad puede dividirse en dos apartados:

- Investigación geofísica.
- Sondeos de investigación y explotación.

**Investigación Geofísica**

Se ha desarrollado en dos campañas: una en el año 1986 y la segunda y más importante en el año 1990, que llego a cubrir la práctica totalidad de la depresión terciaria de Santa Cruz de Campezo.

La primera campaña consistió en la realización de veinticinco sondeos eléctricos verticales (SEV) a lo largo de cuatro perfiles. En la segunda campaña se cubre ya la casi totalidad del área introduciéndose la modalidad de sondeos electromagnéticos en el dominio de tiempos (SEDT) en zonas con dificultades topográficas.

Por encima, como tramo superficial, se detecta un nivel de baja resistividad (5-35 Ωm como valores más frecuentes) constituido por los materiales terciarios de naturaleza fundamentalmente arcillosa. Los sectores con resistividad ligeramente más alta deben corresponder a zonas con un mayor predominio de materiales conglomeráticos.

Por debajo del paquete resistivo se detecta en algunos puntos un nivel de baja resistividad (15-30 Ωm como valores más frecuentes) atribuible a las margas del Turoniense.

La investigación geofísica llevada a cabo permite definir la geometría del acuífero en buena parte del área, mostrando un progresivo hundimiento de los materiales carbonatados tanto hacia el Sur como inmediatamente al Norte de Santa Cruz de Campezo. En el extremo Sur y Suroeste del área se detectan anomalías en los registros eléctricos o electromagnéticos que no permiten verificar la existencia en profundidad del nivel resistivo.

Si bien la investigación llevada a cabo no permite constatar la existencia de materiales triásicos de origen diapírico en las proximidades de Santa Cruz de Campezo, tampoco la descarta totalmente en la zona Sur.

**Sondeos de Investigación y Explotación**

Los sondeos realizados en la zona han permitido constatar la validez del método geofísico empleado así como obtener datos sobre los parámetros hidraúlicos del acuífero carbonatado.

Las perforaciones realizadas ponen de

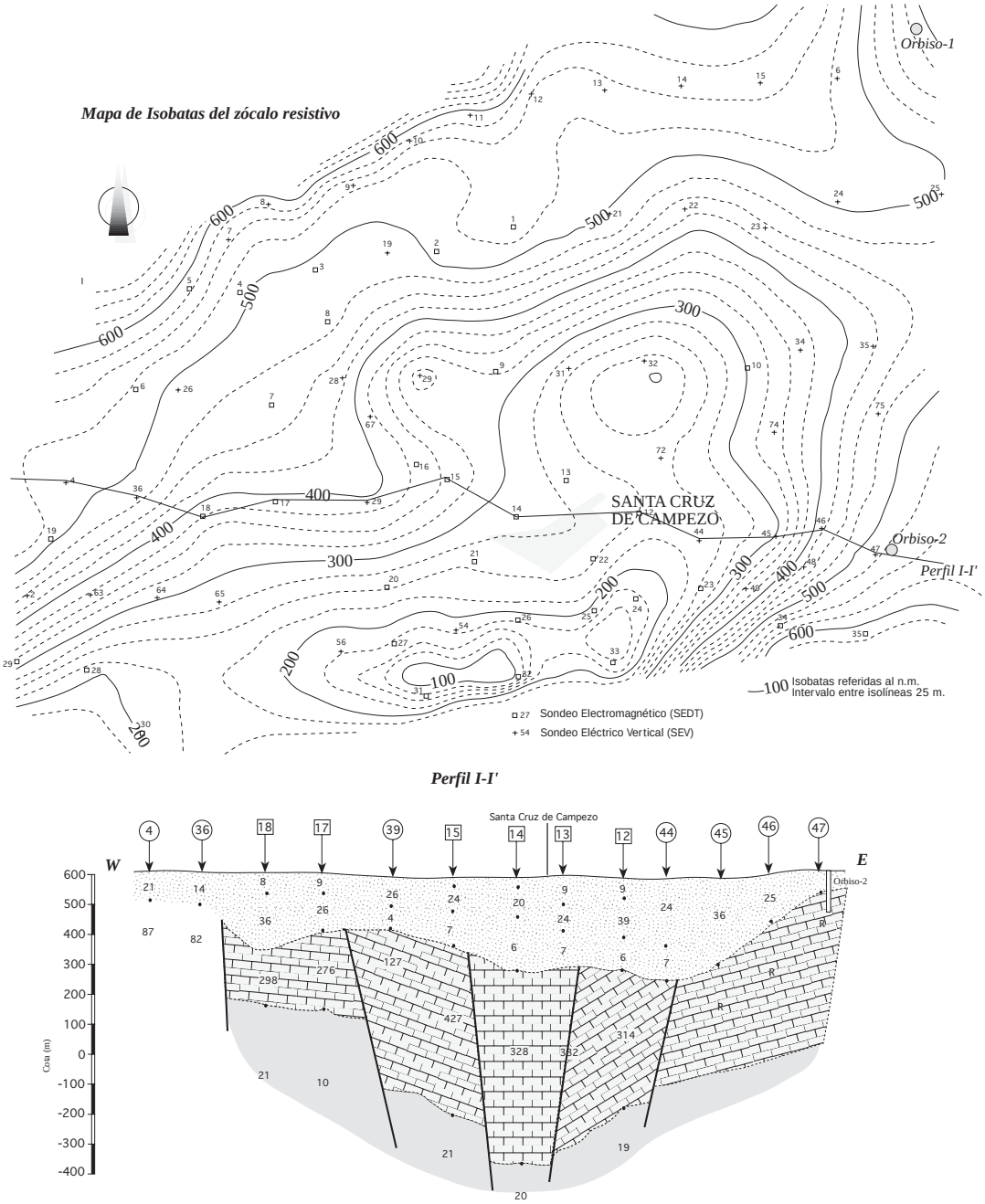



Figura 3. Investigación geofísica en Campezo.

manifiesto la existencia de un nivel piezométrico regional en torno a la cota 535 m. En consecuencia, el nivel se encuentra por debajo del cauce del río Ega, independizado hidráulicamente por el Terciario de baja permeabilidad. Considerando los manantiales de Alborón (cota 517 m), ya en Navarra, como la zona de descarga del acuífero se obtienen gradientes de 0,51-0,17 %.

Los sondeos que han permitido la realización de pruebas de producción han arrojado buenos rendimientos, excepcionales en el caso del sondeo Orbiso-2 con un caudal específico superior a los 100 l/s/m. Este sondeo fue ensayado con un caudal de bombeo de 130 l/s.

Tras 24 h de bombeo no se consigue deprimir el nivel apenas un metro (figura 4). Los valores de transmisividad obtenidos en bombeo y recuperación fluctúan ligeramente, pudiéndose admitir un valor medio de T del orden de 200 m²/hora (4.800 m²/día).

Los ensayos de bombeo efectuados en el sondeo Orbiso-1, utilizado actualmente para el abastecimiento al pueblo de Orbiso, arrojan valores de T notablemente inferiores (120-315 m²/día), si bien este sondeo atraviesa tan solo 50 m de formación acuífera. Aún así, mantiene un rendimiento bueno (1,2 l/s/m), con un caudal de bombeo óptimo, en ausencia de pérdidas de carga importantes, del orden de 50 l/s.

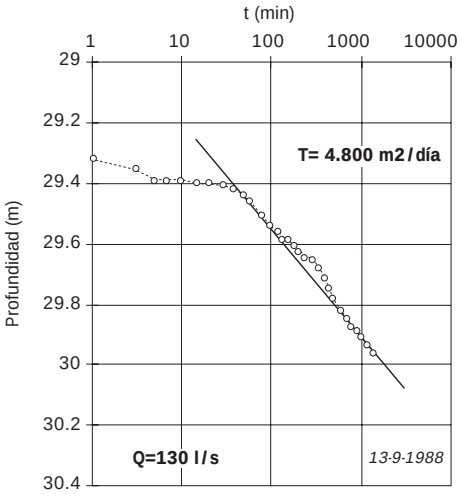



Figura 4. Ensayo de bombeo en el sondeo Orbiso-2.

Se han perforado además varios sondeos de investigación a rotación en el entorno de Santa Cruz de Campezo que han permitido constatar la presencia de las calizas a las profundidades detectadas por la geofísica, así como el importante grado de karstificación desarrollado en ellas.

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Fuente Sta. Cruz | 553270 | 4724020 | 603 | 5 | Fuente pública |
| Fuente Orbiso | 554450 | 4727600 | 598 | 5 | Fuente pública |
| Castañal | 553725 | 4723900 | 599 | 5 | Abastecimiento Santa Cruz de Campezo |
| | | | | | |
| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
| Orbiso-1 | 555490 | 4727830 | 620 | 50 | Abastecimiento de Orbiso |
| Orbiso-2 | 555555 | 4724471 | 565 | 130 | |

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO PLATAFORMA ALAVESA

## GENERALIDADES

El límite establecido para su delimitación es de carácter fundamentalmente estratigráfico. Se trata de una banda de dirección aproximada Este-Oeste cuyo límite Norte corresponde al tránsito Cretácico inferior-superior y el Sur del Cretácico superior al Terciario del Sinclinal Urbasa-Treviño (figura 1).




Figura 1. Situación del dominio.

Incluye la Llanada alavesa, en su mitad oriental, y las Sierras de Badaia, Arkamo, Salvada y Arcena en la mitad occidental. Por sus características geomorfológicas, es asiento de un porcentaje importante de la población de la Comunidad Autónoma del País Vasco, con Vitoria-Gasteiz, Salvatierra, Iruña de Oca, Murgia, Amurrio y Orduña, esta última localidad perteneciente a Bizkaia.

La actividad más extendida es la agricultura, intensiva en la llanada, y la industrial en el entorno de las principales localidades.

Salvo el extremo noroccidental, cabecera de los ríos Nervión y Herrerías, el resto del área pertenece a la cuenca del Ebro, principalmente a los tributarios Bayas o Baia y Zadorra. Este último se encuentra parcialmente regulado mediante los embalses de Urrunaga y Ullibarri, principal suministro de Vitoria-Gasteiz y Gran Bilbao.

La Sierra de Arcena, situada en el extremo suroccidental del dominio es el núcleo del Parque Natural de Valderejo.

## GEOLOGIA

La estructura del dominio es, a grandes rasgos, una serie monoclinal de materiales del Cretácico superior, con suaves buzamientos al Sur, interrumpida por las intrusiones diapíricas de Orduña y Murgia y con una estructura algo más compleja, al Oeste, en la zona del anticlinal de Lahoz y domo de Sobrón.

Es a favor de las estructuras citadas donde afloran los materiales más antiguos, concretamente las arcillas y yesos (10) y ofitas (11) del Trías en los diapiros de Orduña y Murgia y las carniolas jurásicas (29) en el diapiro de Murgia y en el núcleo del anticlinal de Sobrón.

Bordeando el asomo jurásico, se ha delimitado una serie terrígena constituida por areniscas y lutitas (35, 36), equivalente meridional de las potentes series que constituyen el complejo Urgoniano en la mitad Norte de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Por encima se sitúa

otra serie detrítica, muy semejante litológicamente, compuesta por arenas y microconglomerados (37) atribuida a la formación Utrillas.

El Cretácico superior propiamente dicho consiste en una sucesión de plataformas carbonatadas, de amplia representación en la mitad occidental, alternando con una serie de margas y margocalizas. Todo el conjunto sufre una drástica reducción de potencia hacia el Este, al tiempo que desaparecen las calizas y dolomías por cambio de facies hacia materiales margosos.

Se diferencian tres niveles carbonatados principales, el inferior de calizas bioclásticas (61), restringidas al anticlinal de Lahoz, y sus equivalentes en el Norte del dominio (65, 66), el intermedio de calizas y dolomías (71, 72), responsables de los principales relieves del dominio, y el superior de calcarenitas bioclásticas (77) reconocible únicamente en el área de Valdegobia.

La alternancia margosa consta de los términos situados a muro del primer nivel (62, 63, 64, 67), entre el primero y el segundo (68), segundo y tercero (75) y por encima del tercero (86). El resto de materiales comprendidos en el mismo período descrito, en todos los casos margocarbonatados con diferentes proporciones de carbonato cálcico, representan cambios de facies normalmente hacia el Este (70, 73, 74, 76, 78, 79, 80, 83) o intercalaciones reconocibles por la diferencia de competencia de los materiales (69, 81, 82).

El Campaniense arenoso, formado por margas arenosas (84), calizas arenosas (85) y areniscas (87) constituye el límite Sur del dominio descrito y preludio de los materiales del dominio colindante.

Otros materiales incluidos en el dominio son los situados en el entorno del diapiro de Murgia, resultado de una dinámica propia en un ambiente restringido. La diversidad de términos alcanza a margas (88), calizas arrecifales (89), areniscas calcáreas (90), conglomerados (91), margas (92) y limolitas (93).

Los materiales cuaternarios tienen una amplia representación en el dominio, tanto en diversidad de facies como en extensión de algunas de ellas. La más significativa es la del aluvial (200) asociado al río Zadorra y afluentes, que ocupa una importante extensión en la llanada alavesa, y a los ríos Nervión y Baia. Ligados a la misma dinámica fluvial, se han reconocido terrazas (197) y abanicos aluviales (198), estos últimos como tránsito hacia la dinámica de laderas, donde se han diferenciado coluviales (201) y coluviales antiguos (199).

Con un carácter anecdótico, se han diferenciado lacustres (202) en la zona de los embalses y antropogénicos (206).

**HIDROGEOLOGIA**

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

Las formaciones de permeabilidad alta e interés hidrogeológico, en el sentido de su potencialidad para formar acuíferos de entidad, son los tres niveles de calizas, dolomías y calcarenitas (61, 65, 71, 72, 77) presentes en la mitad occidental del dominio.

Constituyen acuíferos kársticos de tipología variable, con predominio de los mixtos, en los que coexiste una doble porosidad debida a procesos de dolomitización en horizontes concretos y desarrollo de conductos abiertos a favor de discontinuidades.

A la misma categoría de permeabilidad e interés pertenecen los materiales cuaternarios (197, 200), que alcanzan un importante desarrollo en la llanada alavesa, y la serie detrítica (35, 36, 37) que ocupa el núcleo del anticlinal de Lahoz y domo de Sobrón. Originan acuiferos detríticos no consolidados y mixtos respectivamente.

Con la misma asignación de permeabilidad, aunque de escaso interés por los condicionantes de falta de extensión y continuidad, se han catalogado los términos carbonatados y detríticos 29, 89, 198, 199 y 201.

De permeabilidad media se han clasificado los equivalentes de las formaciones carbonatadas antes descritas y algunas de las intercalaciones con menor componente terrígeno en las series margosas (66, 69, 70, 73, 82). Por su posición respecto a las formaciones más permeables, juegan en general un importante papel en el funcionamiento hidrogeológico. Por otra parte, las intercalaciones llegan a desarrollar acuíferos de interés local.

Con una interrelación semejante, aunque ligados a las unidades hidrogeológicas del dominio situado al Sur, tienen también permeabi-

lidad media las formaciones del campaniense arenoso (85, 87). A los términos detríticos del entorno de Murgia (90, 91), ofitas (11) y al cuaternario (202) se les ha asignado el mismo grado de permeabilidad.

El resto de los términos diferenciados, de permeabilidad baja (62, 64, 74, 75, 76, 81, 83, 92, 93) y muy baja (10, 63, 67, 68, 78, 79, 80, 84, 86), se agrupan mayoritariamente en la mitad oriental del dominio, constituyendo un conjunto de materiales netamente diferentes, desde el punto de vista hidrogeológico, de los situados en la otra mitad.

*UNIDADES HIDROGEOLOGICAS*

En relación con los materiales de permeabilidad alta y representación geográfica de suficiente entidad, se han definido tres unidades hidrogeológicas (figura 2):

- Unidad Hidrogeológica Valdegobia, constituida mayoritariamente por los materiales detríticos del Cretácico inferior y los tres niveles de calizas y dolomías del Cretácico superior. Comprende el valle de Valdegobia y la Sierra de Arcena.

- Unidad Hidrogeológica Subijana, constituida por el nivel intermedio de calizas y dolomías y los correspondientes cambios laterales de facies. En su delimitación se han incluido las Sierras de Badaia y Arkamo.

- Unidad Hidrogeológica Vitoria, constituida por los depósitos aluviales generados por el río Zadorra y afluentes. En la delimitación de la unidad se ha considerado únicamente la zona central, de mayor desarrollo y potencia.

La descripción de las dos primeras unidades citadas se presenta en los capítulos siguientes y la de la tercera en el contexto del Dominio Hidrogeológico Cuaternario.

*RESTO DEL DOMINIO*

De los materiales no encuadrados en las unidades mencionadas tienen un interés hidrogeológico destacable las formaciones carbonatadas de permeabilidad alta, aunque por su posición geográfica o por su reducida extensión no configuren acuíferos importantes, o bien aquellos términos, también de naturaleza carbonatada, que ven disminuida su permeabilidad de alta a media debido a la presencia en su composición de terrígenos de granulometría fina.

Es el caso de la banda de calizas margosas (66) que discurre por el límite noroccidental del dominio. Conocidas como Calizas de Garate, representan el equivalente lateral de las calizas bioclásticas (61), de permeabilidad alta, incluidas en la Unidad Valdegobia.

La permeabilidad global media aumenta localmente a alta, en zonas en las que la karstificación alcanza un desarrollo notable. En relación

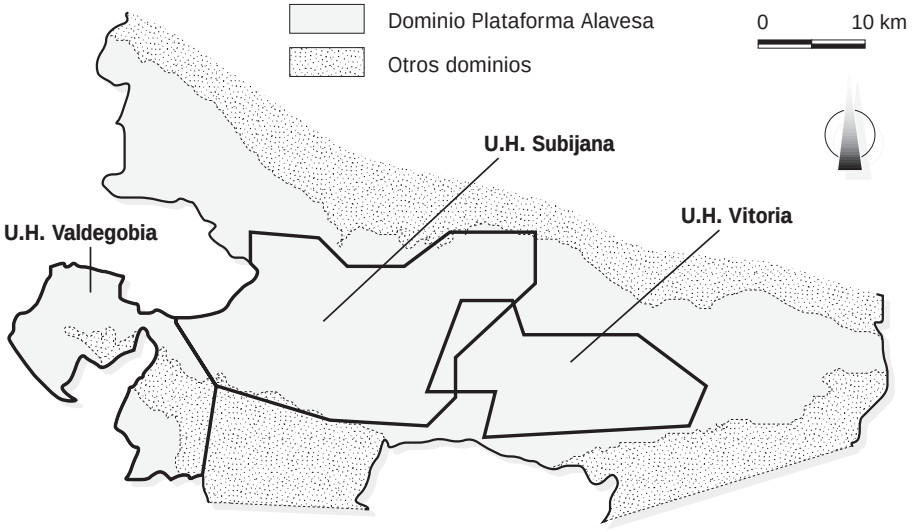



Figura 2. Unidades hidrogeológicas.

con este nivel se han inventariado una serie de manantiales, **Lendoñoerreka**, **Etxegoien**, **Landako**, **Idas** y **Bandera**, con caudales medios comprendidos entre 1 y 10 l/s. Representan la descarga del agua infiltrada sobre los afloramientos y, posiblemente, de flujos provenientes de los materiales suprayacentes. Sin embargo, entre estos es preciso diferenciar los situados inmediatamente por encima (68) de permeabilidad baja, con intercalaciones (69) de permeabiliad media, y cuyo drenaje sí es vehiculado a través de las Calizas de Garate, de los situados topográficamente más altos (72) de permeabililidad alta y constituyentes de la Sierra Salvada.

En este último caso, se trata de la misma formación que da lugar a la Unidad Hidrogeológica Subijana pero que, por su particular posición geográfica, queda desligada de esta. El drenaje del agua infiltrada sobre sus afloramientos se dirige mayoritariamente fuera de los límites definidos en el mapa, salvo en el entorno de Orduña donde parte de sus recursos se canalizan a través de las margas infrayacentes, dando lugar a manantiales de la entidad de **Gobas** y la **Ascensión**, con caudales medios que sobrepasan los 10 l/s, y la **Cueva**, la **Teta**, **Lupierro** y la **Tejera**, con caudales medios entre 1 y 10 l/s. El funcionamento de algunos de ellos es temporal, como respuesta a precipitaciones intensas.

En la misma área geográfica aunque de un origen diferente, se encuentra el manantial la **Muera**, de naturaleza clorurada sódica y asociado a la estructura diapírica de Orduña. Su caudal medio es cercano a 5 l/s.

Otra área de interés es la constituida por las margocalizas y calizas laminadas (69) que asoman en el núcleo del anticlinal de Zuazo. Asociado probablemente a estos materiales y surgente a favor de alguna de las fracturas distensivas relacionadas con la estructura geológica, se localiza el manantial **Zuazo** de caudal medio ligeramente superior a 10 l/s. Se describen algunas de las características más relevantes de este punto en el contexto de la Unidad Hidrogeológica Subijana.

Como dato significativo de las características hidrogeológicas de estos materiales (69) puede citarse el valor de transmisividad (96 $m^2$/día) obtenido en dos sondeos de exploración, Zuazo-1 y 2, construidos en el entorno del manantial. El caudal observado durante la perforación es de 10 l/s, con depresiones de 40 m. La recarga del acuífero se produce, además de por infiltración de la precipitación sobre el afloramiento, por pérdidas de los ríos Vadillo y Baias. Estas han sido evaluadas, en condiciones de aguas medias-bajas, en el 50% del caudal circulante por el río Vadillo y del 7% en el caso del Baias.

Otro área a destacar es la de los Montes de Aldaia, situados entre Maturana y Gordoa. Están formados por calizas laminadas y margas (73) cuyos equivalentes hacia el Oeste constituyen el karst de Apodaka, incluido en la Unidad Hidrogeológica Subijana. Su interés y funcionamiento hidrogeológico es, hasta cierto punto, similar. Se trata de materiales de permeabilidad media, desarrollada por karstificación en forma de conductos preferentes escasamente jerarquizados. Este esquema da lugar a la presencia de manantiales temporales, con rápidas descargas del agua infiltrada por precipitación sobre los afloramientos. De los manantiales perennes destacan **Zuazola** y **Arriola**, con caudales medios comprendidos entre 1 y 10 l/s.

Por último, se incluyen en este dominio otros materiales de permeabilidad media (85) situados en su mitad suroriental y en conexión hidráulica con los términos que constituyen la Unidad Hidrogeológica Urbasa. Actúan como transmisores de cierto flujo asociado a la unidad, dando lugar a numerosos manantiales, en general de pequeña entidad, con alguna excepción como **Iturriotz** con un caudal medio comprendido entre 1 y 10 l/s.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Se dispone de un total de 172 análisis químicos de muestras tomadas en puntos de agua ubicados en lo que se ha denominado resto del dominio.

La práctica totalidad de las muestras analizadas responden a la facies bicarbonatada cálcica, con una mineralización media en torno a 600 mg/l. Las excepciones más destacables son el ya citado manantial la Muera, asociado a la estructura diapírica de Orduña y de naturaleza clorurada sódica, y otras pequeñas surgencias como Zuazo-4, situada junto al manantial Zuazo, sulfuroso y de facies sulfatada cálcica, y Urgazi, también de naturaleza clorurada sódica asociado a las margas (83) de permeabilidad baja.

Con respecto a la calidad de las aguas, el único dato reseñable es el contenido en nitratos por encima del límite tolerable, detectado en

algunos puntos, siempre pozos y manantiales situados en el área de influencia de la actividad agrícola.

**BALANCE HIDRICO**

El volumen de recurso renovable asociado a los materiales del dominio, siempre referido a aquellos no incluidos en alguna de las unidades hidrogeológicas, se ha estimado de acuerdo con los siguientes parámetros:

- precipitación variable entre 1.200 mm en ambos extremos y 700 mm en la zona centro-sur

- lluvia útil variable entre 600 y 300 mm, con la misma distribución geográfica

- porcentaje de infiltración medio del 20%, considerando que hay un área equivalente de materiales de alta y media permeabilidad frente a los de baja y muy baja

- área considerada en balance de 946 $km^2$

Resulta un recurso renovable de 85 $Hm^3$/año.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

La mayoría de los puntos de agua inventariados en el área del dominio no incluida en las unidades hidrogeológicas, del orden de doscientos, se encuentran captados para abastecimiento de diversos usos.

Los más caudalosos, citados en la descripción previa, son en general utilizados para abastecimiento municipal. Es el caso de Zuazo, abastecido por el manantial del mismo nombre, Orduña, que capta los manantiales descritos en su entorno, Saratxo hace lo propio con el manantial Lendoñoerreka, Artziniega con Bandera, Aspuru con Zuazola.

La utilización del resto de los puntos es más diversa, abastecimiento a pequeños núcleos y caseríos, regadío, etc.

La proporción de obras de extracción de agua subterránea frente a manantiales es inferior al 10% del total de puntos de agua inventariados y se trata, en todos los casos, de obras de escasa capacidad de regulación. El aprovechamiento de los recursos se limita, por tanto, al de captación de las surgencias para los usos descritos. Se ha estimado en el 10% (8,5 $Hm^3$/año) de los renovables en un año medio.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

IGME (1968). Estudio Hidrogeológico General de la Provincia de Alava.

EVE (1986). Estudio Hidrogeológico de la Unidad Calizas de Subijana (1ª y 2ª Fase). (GIGSA).

EVE (1987). Investigación Hidrogeológica del Area de Valdegobia. (GIGSA).

EVE-GV (1987). Síntesis Hidrogeológica de la Comunidad Autónoma del Pais Vasco.

DFA (1996). Estudio de las Unidades Hidrogeológicas del área de Sobrón. (CGS).

DFA (1996). Estudio de Caracterización de Fuentes y Manantiales de Alava.

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Lupierro | 498350 | 4757875 | 400 | 1-10 | |
| La Teta | 497475 | 4760550 | 400 | 1-10 | Abastecimiento de Orduña |
| La Cueva | 497410 | 4760800 | 430 | 1-10 | Abastecimiento de Orduña |
| Lendoñoerreka | 497750 | 4763025 | 300 | 1-10 | Abastecimiento de Saratxo |
| Landako | 496200 | 4765725 | 290 | 1-10 | |
| Ida | 495525 | 4766375 | 290 | 1-10 | |
| Bandera | 486475 | 4773250 | 280 | 1-10 | Abastecimiento de Artziniega |
| La Muera | 499725 | 4762175 | 270 | 1-10 | Termal (18,5°C). Clorurado sódico |
| Etxegoien | 498100 | 4765525 | 330 | 1-10 | Abastecimiento de caseríos |
| La Ascensión | 501521 | 4756775 | 350 | 10-50 | Abastecimiento de Orduña |
| Tejera | 501425 | 4755625 | 390 | 1-10 | Abastecimiento de Orduña |
| Zuazola | 545220 | 4750240 | 575 | 1-10 | Abastecimiento de Aspuru |

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Arriola | 549850 | 4751500 | 630 | 1-10 | |
| Iturriotz | 546715 | 4740232 | 770 | 1-10 | |
| Gobas | 496624 | 4758015 | 642 | 10-50 | Temporal |
| Zuazo-4 | 509250 | 4746700 | 650 | <1 | Sulfuroso |
| Urgazi | 533890 | 4740980 | 580 | <1 | Clorurado sódico |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Zuazo-1 | 508570 | 4747120 | 558 | 10 | Sondeo de exploración |
| Zuazo-2 | 507412 | 4747205 | 560 | 10 | Sondeo de exploración |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA SUBIJANA

## GENERALIDADES

Esta unidad dibuja una franja irregular, situada al Oeste de Vitoria-Gasteiz, que se prolonga por su parte occidental hasta el límite de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Este límite establecido para la unidad es, por tanto, administrativo puesto que los afloramientos carbonatados que constituyen el acuífero continúan por territorio burgalés. Queda incluida en su totalidad en el Dominio Hidrogeológico Plataforma Alavesa (figura 1).




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

Desde el punto de vista geomorfológico, destacan las Sierras de Badaia, Arkamo y Gibijo, que ocupan la mayor parte del área. Se trata de elevaciones suaves de tipo "cuesta", que se caracterizan por escarpes pronunciados hacia el Norte y pendientes suaves hacia el Sur. En el sector central, y entre estas sierras, se encuentra la depresión del Valle de Cuartango.

Salvo el extremo Norte, cabecera del río Nervión, la zona pertenece a la cuenca hidrográfica del Ebro, subdividida en las cuencas de los afluentes Zubialde, Zadorra, Baias y Húmedo o Tunecillo.

## GEOLOGIA

La unidad, desde el punto de vista geológico, se ubica en la plataforma alavesa, correspondiendo el límite Sur a los afloramientos del Terciario. Por el Norte, el límite lo establecen los diapiros de Orduña y Murgia. Las litologías más importantes presentes en el área son:

**Turoniense-Coniaciense inferior** (68-69). Margas de Zuazo. Situadas en el núcleo anticlinal de Zuazo, ocupan el valle de Cuartango. Se trata de un paquete de margas hojosas grises (68) de potencia variable entre 550 y 1.000 m. Localmente incluye términos margocalizos (69).

**Coniaciense medio-superior** (72-73). Calizas de Subijana. Concordante sobre la formación anterior, se dispone un conjunto de facies carbonatadas de 200 a 400 m de potencia. Incluye calizas masivas de tonos cremas, calizas bioclásticas, con nódulos de sílex, dolomías, etc., con rápidos y frecuentes cambios de facies (72). La dolomitización, allí donde aparece, se concentra en torno a dos niveles situados a 100 y 200 m respectivamente del techo de las calizas. La dolomitización disminuye hacia el Este, llegando a estar ausente en las proximidades de Nanclares de la Oca. En varios sectores se produce un cambio de facies hacia materiales más impuros, con un contenido arcilloso mayor y tonalidad más grisácea (73).

**Santoniense inferior** (74-75). Margas de Osma. Similares a las de Zuazo, incluyen margas y margocalizas (74) y margas, margocalizas y calizas (75).

**Cuaternario**. Se trata de materiales aluviales (200) localizados en el trazado del río Zadorra, formando una banda de poco espesor de gravas heterométricas de diversa naturaleza y anchura variable. En el sector oriental aparecen pequeños depósitos de abanicos aluviales (198) y terrazas (197).

Desde el punto de vista tectónico los materiales cretácicos se encuentran afectados por una serie de pliegues de gran radio. La principal estructura de la zona es el anticlinal de Zuazo. Se trata de una amplia estructura con suaves buzamientos y direcciones SE-NO. Unicamente en el extremo noroccidental se ve interrumpido bruscamente por fracturas E-O lo que produce un cambio en la dirección de su eje, pasando a ser N-S.

Hacia el NE aparece otra estructura paralela a la anterior denominada sinclinal de Huetos. En su núcleo se localizan las calizas de Subijana así como sus cambios laterales de facies. Este sinclinal llega a desaparecer en las proximidades de Vitoria-Gasteiz, dando lugar a una serie monoclinal con buzamiento general hacia el SO.

La fracturación, sobre todo en el nivel carbonatado coniaciense, es muy intensa tanto a nivel de afloramiento como a escala de fotograma aéreo. El sistema de fracturación más desarrollado es aproximadamente N20°E correspondiendo a fracturas transversales asociadas al pliegue anticlinal. Otro sistema que alcanza bastante relevancia es el longitudinal a esta estructura con una dirección aproximada N100-110°E. Las fracturas son por lo general abiertas. La casi totalidad de ellas responden a fracturas originadas en una etapa distensiva, posterior a la compresión origen de los pliegues en el área.

La gran mayoría de las fracturas atravesadas en los sondeos que muestran síntomas de karstificación corresponden a fracturas verticales o con ángulo muy alto.

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

De los materiales aflorantes en la unidad, son los materiales carbonatados del Coniaciense medio-superior los que presentan una permeabilidad alta (72). El tránsito hacia materiales más arcillosos (73) disminuye su permeabilidad a media.

La porosidad primaria del paquete carbonatado es escasa, configurando un acuífero de tipología kárstica con porosidad secundaria asociada a procesos de disolución del carbonato en fracturas (mayoritariamente subverticales). Los procesos de dolomitización y silicificación habidos en el paquete carbonatado han contribuido a aumentar la porosidad secundaria, hasta el punto de condicionar el modelo de funcionamiento, llegando a configurar un acuífero de tipología kárstica mixta.

Los materiales margosos a techo y muro de la formación carbonatada (68, 69, 74, 75) presentan una permeabilidad notablemente inferior, calificada como baja, suficiente para confinar el acuífero en determinadas áreas. No obstante, la fracturación que exhiben en otros puntos llega a originar pequeñas cuencas endorreicas.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

El suave buzamiento hacia el Sur del nivel carbonatado permite, a pesar de su discreto espesor, una gran superficie de afloramiento, mayor de 170 $km^2$ dentro de los límites impuestos a la unidad, en condiciones muy favorables a la infiltración.

Las condiciones de borde están impuestas por las facies margosas situadas a techo y muro del acuífero que, aunque no actúan como límites estrictos, llegan a confinarlo en buena parte de su extensión.

*PUNTOS DE DESCARGA*

Entre las surgencias asociadas directa o indirectamente al acuífero carbonatado, se establece una división en relación con su funcionamiento: por un lado surgencias perennes, con aportación de caudal a lo largo de todo el año y, por otro, surgencias temporales. Dentro del primer grupo destacan por orden de caudal, los manantiales Nanclares, Osma, Abecia, Lendia, Foronda, Kas y Legarda.

**Nanclares.** Está constituido por un grupo de surgencias localizadas en el núcleo urbano de Nanclares de la Oca, en torno a la cota 490 m. Como han demostrado los sondeos de investigación perforados en la zona, la surgencia de sus aguas está fuertemente controlada por la fracturación.

Sus aportaciones han sido controladas desde el año 1985 en la estación de aforos del mismo nombre localizada cerca de la confluencia con el río Zadorra (figura 2). Presenta un caudal base de unos 90-100 l/s y puntas de algunos metros cúbicos por segundo. El caudal medio se sitúa en torno a 440 l/s con una variabilidad relativamente pequeña (Qmáx/Qmin = 30). El análisis de las series de caudales obtenidas permite deducir un interesante poder inercial en el acuífero con un efecto memoria elevado; el coeficiente de agotamiento ($\alpha$) medio obtenido es de 1,09 x $10^{-2}$ $días^{-1}$.

Dada la cercanía de este grupo de surgencias al cauce del río Zadorra y teniendo en cuenta el componente estructural que las controla, no se descarta la posible existencia de otras surgencias dentro del propio cauce del río. La temperatura del agua se sitúa en torno a 14-15°C.

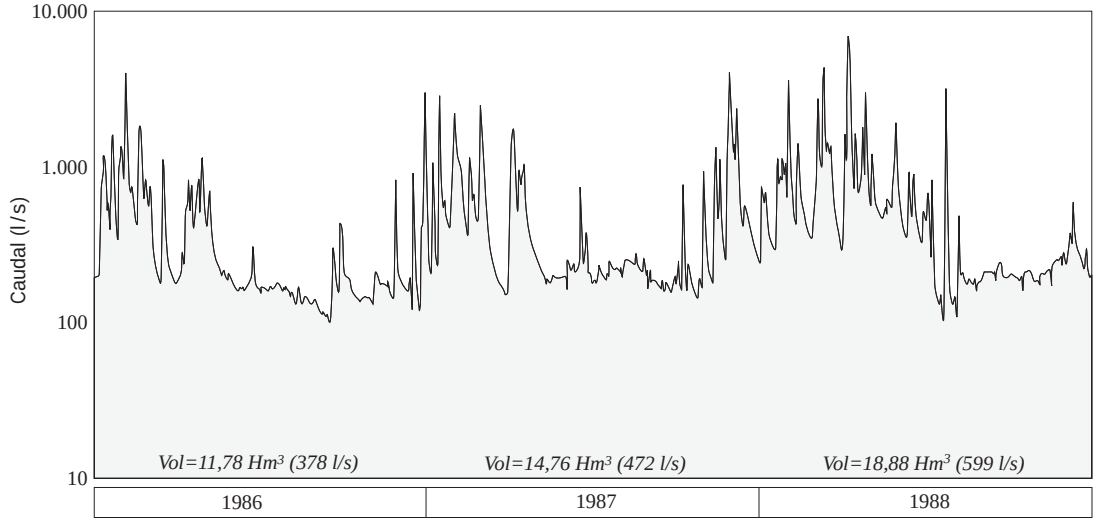



Figura 2. Hidrograma de caudales medios diarios del manantial Nanclares.

Por último, es de destacar la transparencia de las aguas de este manantial tanto en períodos de estiaje como de crecidas importantes.

**Osma.** Surgen a cota aproximada 590 m, en las proximidades del núcleo urbano de Osma, en el contacto entre los materiales carbonatados y la formación margosa suprayacente. En las inmediaciones de la surgencia principal se localizan otras surgencias que funcionan únicamente en períodos de aguas altas (*trop-plein*). La cercanía de estas surgencias al cauce del río Húmedo obligó, para su control de caudales, a la instalación de dos estaciones de aforo, antes y después del manantial. Ambas estaciones vienen aportando datos desde marzo de 1986 hasta la actualidad y por diferencia se obtienen los caudales drenados por este grupo de manantiales. El caudal medio se sitúa en torno a 400 l/s con puntas de algunos metros cúbicos por segundo y caudales de base del orden de 30 l/s. La alta variabilidad de los caudales (Qmáx/Qmin >150) apunta hacia una menor regulación de caudales que en Nanclares. El coeficiente de agotamiento calculado sobre algunos estiajes para este manantial es de 1,53 x $10^{-2}$ días$^{-1}$. Es también característica la claridad del agua en todo momento hidrológico.

**Abecia.** Surge a cota aproximada 620 m. Presenta un caudal medio estimado entre 50 y 100 l/s, con puntas superiores a 1 m³/s y estiajes en torno a 2 l/s. En crecida comienzan a funcionar algunos trop-pleins topográficamente más elevados. La hidroquímica de la surgencia topográficamente más baja parece reflejar una cierta influencia de los materiales margocarbonatados.

**Lendia, Foronda, Kas y Legarda.** Se trata de un conjunto de surgencias interconectadas, a pesar de su distancia, que se sitúan en las proximidades de Apodaka-Foronda, a una cota comprendida entre 510 y 520 m. Su caudal es muy variable, con rápidas respuestas a las precipitaciones. Las aportaciones conjuntas de base son de unos 50 l/s, con puntas que superan ampliamente los 5 m³/s. Su capacidad de regulación es muy baja. Los estudios de caudales muestran tipologías muy similares a las obtenidas en cursos superficiales. El origen del agua es doble. Por un lado, el caudal influente de los ríos Zubialde y Zubibarri, que se infiltra en su totalidad la mayor parte del año en las proximidades de Gopegi. Este aporte representa el 80-90% del caudal total de las surgencias y se caracteriza por una mineralización baja de las aguas (150-350 µS/cm de conductividad). Por otro lado, existe una recarga asociada a la precipitación sobre la Subunidad Huetos-Apodaka, transmitida a favor de fisuras y conductos de menor tamaño. Este aporte representa el 10-20% del aporte total de las surgencias y se caracteriza por una mineralización mayor (350 a 550 µS/cm de conductividad).

Dentro del grupo de surgencias temporales, se incluyen aquellos manantiales activos única-

mente en períodos de aguas altas pero que en esos momentos de funcionamiento aportan caudales punta incluso de varios metros cúbicos por segundo.

Las principales surgencias que se engloban dentro de este grupo son **Subijana**, **Huetos**, **Andagoia, Ugau** y **Fresneda**, existiendo algunas otras de menor entidad en **Cárcamo**, **Catadiano** y **Trespuentes**.

Mención aparte merece el paso del río Baias por las calizas, conocido como **Techa**, cuyo funcionamiento a lo largo del año es alternativamente como sumidero, en aguas medias-bajas, y como surgencia en aguas altas. El funcionamiento es complejo y relacionado con la situación del nivel piezométrico.

El resto de manantiales inventariados dentro del área ocupada por la unidad mantienen caudales de estiaje inferiores al litro por segundo, constituyendo a pesar de ello el abastecimiento de algunos pequeños núcleos de población (**Guinea**, **Fresneda**, etc.).

Existen, por último, manantiales de naturaleza sulfurosa (**Zuazo-1**) y de características termales (**Villodas**, **Bolen**) con temperaturas de 18-22°C. Estos últimos están asociados a fracturas similares a las que condicionan las surgencias de Nanclares de la Oca.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. PARAMETROS*

En el establecimiento de los límites de la unidad es necesario considerar, además de las imposiciones administrativas, el límite a veces impreciso entre la formación carbonatada y las limitantes a techo y muro. Asimismo, la delimitación de subunidades de funcionamiento y piezometría diferentes no siempre es clara.

En cualquier caso, se ha optado por la subdivisión en las siguientes áreas (figura 3):

- Subunidad Abecia
- Subunidad Osma
- Subunidad Subijana
- Subunidad Nanclares
- Subunidad Huetos-Apodaka

**Subunidad Abecia**

Localizada en el extremo Noroeste de la unidad presenta un área de recarga aproximada de 15 km$^2$. La alimentación se produce exclusivamente por la precipitación sobre los afloramientos.

Su morfología, en forma de mesa colgada, implica un escaso poder de regulación. De hecho, las surgencias asociadas, Abecia y Andagoia, tienen escasa capacidad de regulación, con respuesta inmediata a la precipitación,

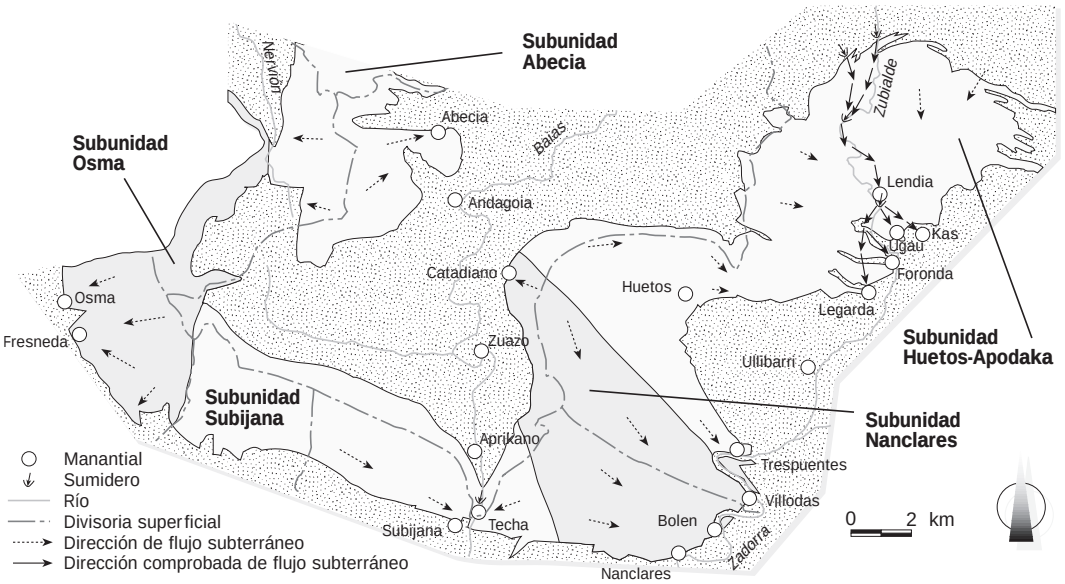



Figura 3. Esquema de subunidades.

o incluso carácter temporal. En definitiva, la tipología de esta subunidad está probablemente más cerca de la de acuífero kárstico *sensu stricto* que la de kárstico mixto.

Por las características morfológicas descritas, es posible cierta transferencia de flujo hacia las margocalizas infrayacentes, que sería la responsable del mantenimiento del caudal de las pequeñas surgencias situadas a cota inferior.

**Subunidad Osma**

El área de la subunidad, con los límites establecidos en la Comunidad Autónoma del País Vasco, es de 24 km$^2$. No obstante, se extiende considerablemente por el territorio vecino de Burgos.

La recarga se produce por infiltración de la lluvia útil sobre los afloramientos de las calizas. El flujo subterráneo se dirige hacia el manantial Osma, con direcciones NO o SO según se trate de sectores localizados al Sur o Norte respectivamente.

Esta dirección general se ve trastocada localmente, originándose flujos que alimentan surgencias de menor entidad, Fresneda y Cárcamo, o Berberana en Burgos. Son posibles, asimismo, aportes directos al río Húmedo.

Los sondeos perforados reflejan gradientes hidraúlicos bastante constantes del 1% hacia las surgencias Osma. Estos mismos sondeos revelan la ausencia de grandes conductos, predominando el flujo difuso a través de fracturas de menor entidad y de niveles dolomíticos.

Los valores de transmisividad obtenidos son muy altos en la proximidad de la principal zona de descarga (1.500 m$^2$/día) y relativamente bajos en zonas más alejadas (78 m$^2$/día en la zona de Cárcamo). Esta variación de los parámetros se ve reflejada en la diferente productividad obtenida en los sondeos (0,4 - 15 l/s/m).

Los gradientes térmicos obtenidos en los sondeos varían entre 0,5 y 2°C por cada 100 m. Los valores más bajos se asocian a sectores con una mayor proporción de dolomías.

La estructura del acuífero, con suave buzamiento hacia el SO, y la constatación de karstificación bastante por debajo de la cota natural de drenaje deben condicionar la existencia de un volumen de reservas importante.

**Subunidad Subijana**

Localizada en el sector central de la unidad, presenta un área de recarga aproximada de 32 km$^2$ y muy probablemente en conexión hidraúlica compleja con la Subunidad Nanclares.

La recarga al sistema se produce por infiltración directa sobre los afloramientos así como por infiltración del río Baias en el sumidero de Techa.

La investigación geotérmica llevada a cabo en el área de Antezana (6 km al Sur de Subijana), así como otros trabajos (ensayos con trazador, control piezométrico, etc.) apuntan hacia una dirección Sur del flujo subterráneo, controlada por el buzamiento del paquete carbonatado.

De acuerdo con la estructura geológica, el drenaje debe producirse a través de los materiales equivalentes en la Sierra de Cantabria en su cota más baja, es decir, en la intersección con el río Ebro.

En condiciones hidrológicas de aguas altas, se produce el rebose a través de las surgencias temporales de Subijana y del propio sumidero de Techa.

La circulación subterránea se realiza tanto a través de grandes fracturas como a favor de fracturas de menor entidad y de niveles dolomíticos. Los grandes conductos de desarrollo kárstico no son muy frecuentes y suelen aparecer en ocasiones asociados al techo de las calizas o incluso en los materiales margocarbonatados superiores.

El control piezométrico en algunos sondeos refleja fuertes variaciones a lo largo del ciclo hidrológico fluctuando entre las cotas 535 m en momentos de fuertes lluvias y 495 m, en períodos de estiaje prolongado.

Las transmisividades medidas son netamente inferiores a las de otras áreas, con valores máximos algo superiores a 120 m$^2$/día. No obstante, los caudales específicos llegan a 2 l/s/m.

La estructura de la plataforma caliza en su prolongación hacia el Sur, bien conocida a través de la intensa investigación petrolera llevada a cabo en la zona, origina un acuífero confinado de grandes dimensiones e igualmente grandes reservas.

**Subunidad Nanclares**

Con un área de recarga aproximada de 34 km², ocupa la mayor parte de la Sierra de Badaia. Muy probablemente presente conexiones hidráulicas complejas con las subunidades vecinas, Subijana y Huetos-Apodaka.

La recarga al sistema se produce por infiltración de la lluvia útil sobre los afloramientos permeables. La circulación es mayoritariamente en dirección Sur, hacia el manantial Nanclares, posiblemente hacia surgencias no visibles en el cauce del río Zadorra y hacia surgencias de menor entidad y carácter ligeramente termal, Villodas y Bolen (18°C), temperaturas dentro del rango de las medidas en los sondeos de investigación, 15-19°C.

La circulación se realiza preferentemente a favor de fracturas de pequeña entidad, con la salvedad de importantes conductos desarrollados hacia el techo de las calizas y, más frecuentemente, en las margocalizas suprayacentes. Donde sí ejercen un importante control en el flujo las grandes fracturas es en la surgencia principal de Nanclares. Se trata de fracturas subverticales, de dirección NE-SO, que permiten una descarga bastante regulada del acuífero, confinado en este punto.

Los sondeos perforados, surgentes en varios casos, indican valores de transmisividad en una gama más amplia que en las otras subunidades. Se alcanzan valores de hasta 2.600 m²/día con caudales específicos de 13 l/s/m.

La evolución del nivel piezométrico muestra también diferencias notables con la Subunidad Subijana. La máxima fluctuación medida va de 497 m en aguas altas a 485 en estiaje (figura 4).

**Subunidad Huetos-Apodaka**

Con un área de recarga aproximada de 65 km², ocupa el extremo oriental de la unidad, tomándose como límite más oriental el área de Gopegi.

La recarga al sistema se produce por infiltración directa sobre los afloramientos así como por infiltración de algunos de los arroyos que lo intersectan, Zubialde y Zubibarri.

La subunidad se desarrolla en el cambio de facies hacia materiales menos carbonatados (73), lo que le confiere unas características singulares.

La circulación subterránea se realiza fundamentalmente a través de conductos kársticos individualizados y en general de grandes dimensiones, muchos de ellos penetrables. El drenaje se efectúa a través de los manantiales Lendia, Kas, Foronda, Legarda, surgencias temporales de Huetos, Ugau, etc., estableciéndose flujos subterráneos locales en dirección a estos manantiales. Se producen además aportes directos a los cauces de los arroyos que intersectan la subunidad así como un drenaje diferido hacia la Unidad Vitoria, con la cual contacta en la zona Norte de Foronda.

No se descarta un cierto flujo profundo hacia el Sur, siguiendo el buzamiento de los materiales.

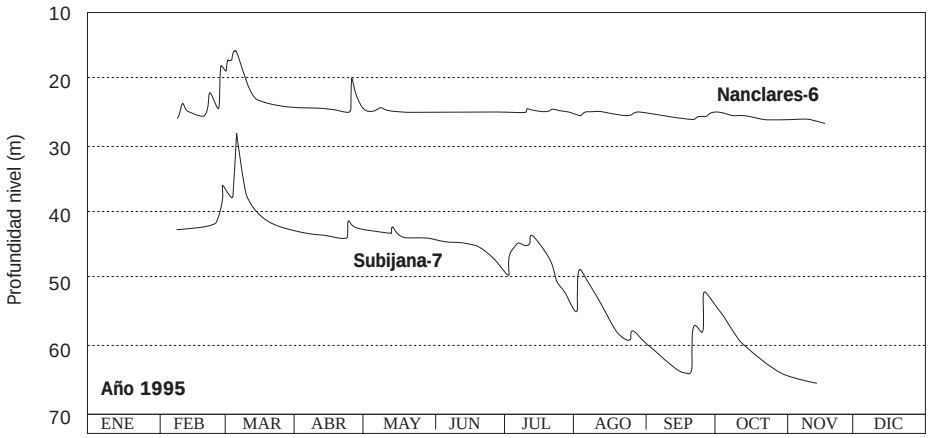



Figura 4. Evolución de niveles piezométricos en las Subunidades Nanclares y Subijana.

La piezometría de la zona refleja una variación importante a lo largo del año hidrológico, con variaciones de unas decenas de metros.

Algunos sondeos efectuados en el área han arrojado transmisividades en general muy bajas, 4-12 $m^2$/día. Unicamente en sectores más occidentales se llegan a valores de 100 $m^2$/día después de desarrollos mediante acidificación. El cambio de facies hacia términos margosos que se produce hacia el Este, sería responsable de la disminución de la transmisividad y por consiguiente de una pérdida de rendimiento en los sondeos.

*BALANCE HIDRICO*

El balance se ha ajustado por contraste entre los métodos empíricos y la información hidrometeorológica disponible en la zona. A falta de datos meteorológicos de altura, se adoptan los siguientes parámetros medios para la zona: isoyeta de 900 mm e isoterma de 9°C. La lluvia útil resultante es de 450 mm, equivalente al 50% de la precipitación. Respecto a la infiltración, puede considerarse del 100% en una parte importante de la superficie de la unidad, aunque se establece el 95% como valor medio más representativo.

Con estos parámetros, los recursos totales de la unidad se sitúan en 72,5 $Hm^3$/año, distribuidos por subunidades de la siguiente forma:

**Subunidad Abecia,** con unos recursos medios renovables de 6,4 $Hm^3$/año, drenados mayoritariamente por las surgencias Abecia y Andagoia. El resto es drenado por surgencias temporales, algunas de las cuales están situadas en la cabecera del Nervión. La regulación de caudales es mínima, condicionada por su estructura geológica.

**Subunidad Osma,** con 10,3 $Hm^3$/año (325 l/s de caudal medio equivalente). El caudal medio del manantial Osma es superior al recurso establecido para esta subunidad (400 l/s), lo que indica el drenaje hacia Osma de un área exterior al límite de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Existen, además, algunas surgencias temporales que no se controlan en las estaciones de aforo, por lo que el recurso real es superior.

**Subunidad Subijana,** con 13,6 $Hm^3$/año, contabilizando únicamente la entrada por infiltración de la precipitación sobre los afloramientos permeables. El drenaje se divide en aportación al río Baias en Techa y en descarga profunda hacia el Sur.

**Subunidad Nanclares,** con unos recursos renovables año de 14,5 $Hm^3$/año (460 l/s de caudal medio equivalente) congruentes con la aportación del grupo de surgencias de Nanclares (440 l/s). El pequeño volumen restante es drenado por las surgencias menores del área.

**Subunidad Huetos-Apodaka**, con 27,7 $Hm^3$/año. A pesar de constituir la subunidad con mayor volumen de recurso, su drenaje se produce mayoritariamente por surgencias con una mínima regulación de caudal, Huetos, Lendia, Kas, Foronda, etc.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

La información hidroquímica se basa en más de ciento cuarenta análisis químicos correspondientes tanto a manantiales muestreados únicamente para caracterización, como a controles periódicos llevados a cabo en algunas de las principales surgencias, Nanclares, Osma y Abecia, y en otros manantiales de menor entidad tomados como referencia, Zuazo y Aprikano. Los valores medios se recogen en el cuadro 1.

| *Manantial* | *$Na^+$* | *$K^+$* | *$Ca^{++}$* | *$Mg^{++}$* | *$Cl^-$* | *$SO_4^=$* | *$CO_3H^-$* | *$NO_3^-$* | *$SiO_2$* | *Cond* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Abecia** (12) | 3,3 | 0,4 | 80,1 | 1,7 | 5,3 | 18,6 | 227,2 | 6,4 | 2,7 | 369 |
| *Coef. variación (%)* | *15,9* | *64,3* | *11,1* | *18,2* | *17,9* | *17,3* | *11,6* | *33,7* | *65,2* | *10,3* |
| **Aprikano** (18) | 3,4 | 0,3 | 77,9 | 1,9 | 6,0 | 15,3 | 225,9 | 3,3 | 2,0 | 401 |
| *Coef. variación (%)* | *21,2* | *57,2* | *14,9* | *27,3* | *24,9* | *28,0* | *13,6* | *43,5* | *16,8* | *15,7* |
| **Zuazo** (18) | 5,4 | 1,3 | 90,0 | 4,1 | 9,9 | 52,6 | 220,3 | 11,0 | 1,5 | 466 |
| *Coef. variación (%)* | 30,6 | 39,9 | 9,9 | 36,8 | 20,0 | 56,8 | 12,9 | 69,9 | 28,3 | 18,0 |
| **Osma** (15) | 3,6 | 0,7 | 72,0 | 3,1 | 8,1 | 20,0 | 201,0 | 13,7 | 2,0 | 379 |
| *Coef. variación (%)* | 26,1 | 75,2 | 28,8 | 56,9 | 26,4 | 25,1 | 27,3 | 47,8 | 61,0 | 25,1 |
| **Nanclares** (18) | 3,8 | 0,6 | 81,3 | 8,3 | 7,5 | 25,6 | 248,8 | 7,9 | 2,8 | 452 |
| *Coef. variación (%)* | *16,5* | *35,4* | *13,3* | *29,7* | *16,5* | *16,6* | *13,9* | *21,6* | *26,7* | *17,6* |

Cuadro 1. Caracterización hidroquímica. Valores en mg/l, salvo conductividad (µS/cm). El número entre paréntesis corresponde al número de análisis.

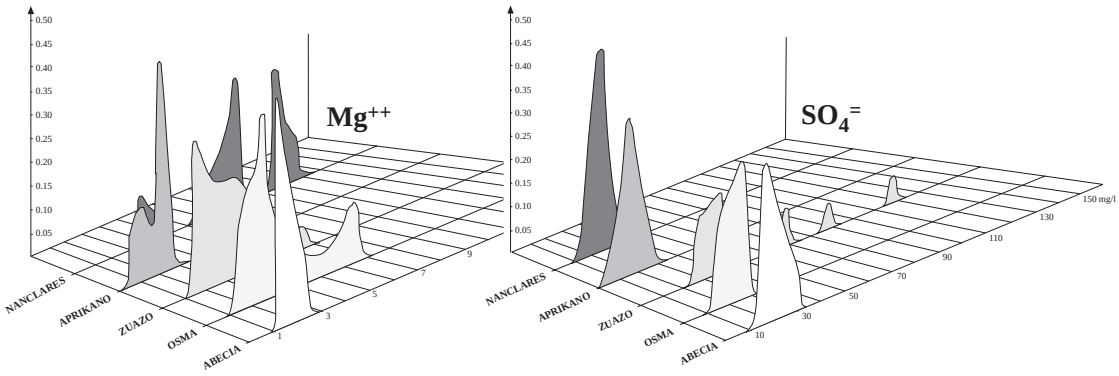



Figura 5. Curvas de distribución de magnesio y sulfatos.

Las muestras analizadas revelan facies bicarbonatada cálcica, de mineralización media, aptas para el consumo y peligro de alcalinización del suelo por regadío prácticamente nulo. Se alejan de esta constante las muestras analizadas en la Subunidad Huetos-Apodaka, donde son frecuentes las bajas mineralizaciones por dilución, causada por los flujos superficiales infiltrados, y otras muestras anómalas asociadas a la actividad diapírica.

En la figura 5 se presentan las curvas de distribución de los sulfatos y magnesio en los manantiales con control hidroquímico periódico. El magnesio resulta ser un elemento diferenciador, dados los procesos de dolomitización que existen en el paquete carbonatado, mostrando menores contenidos aquellas surgencias con mayor influencia de los materiales margosos (Abecia y Aprikano). La plurimodalidad de la curva del ion $SO_4^=$ revela, por otra parte, el complejo funcionamiento del manantial Zuazo. Parecen diferenciarse dos flujos, uno de naturaleza salina ligado probablemente a materiales triásicos profundos (que provocan un aumento de $SO_4^=$, $Cl^-$, $Na^+$ y $Ca^{++}$ en estiaje) y otro más superficial asociado a materiales carbonatados que produce un efecto de dilución sobre el anterior.

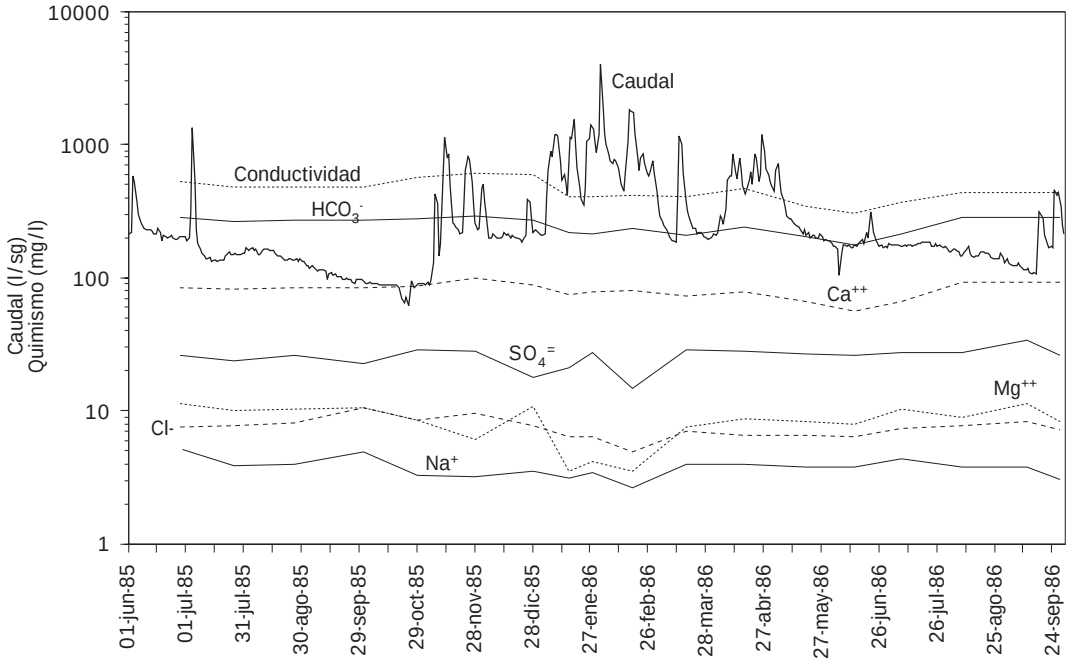



Figura 6. Evolución hidroquímica del manantial Nanclares.

La evolución hidroquímica es reflejo del funcionamiento del acuífero. Así, en la surgencia Nanclares las fuertes lluvias de comienzo del año hidrológico provocan la salida, con altos caudales, de aguas similares a las drenadas en estiaje, o incluso más mineralizadas, lo cual es significativo del importante poder regulador del acuífero asociado (figura 6). En otros manantiales controlados, sin embargo, la subida de caudal suele ir acompañada de una disminución de la mineralización, consecuencia de menor capacidad reguladora de los acuíferos relacionados.

## INVESTIGACION COMPLEMENTARIA

La investigación complementaria llevada a cabo en la unidad, puede dividirse en varios apartados:

- Ensayos con trazadores.
- Investigación geofísica.
- Sondeos de investigación/explotación.
- Investigación geotérmica.

### Ensayos con Trazadores

Los trazados se han efectuado en la Subunidad Huetos-Apodaka y en el sumidero de Techa, Subunidad Subijana.

Se han utilizado como trazadores diversas sustancias (fluoresceína, cloruro de litio e ioduro potásico) habiendo sido el cloruro de litio el que ha ofrecido mejores resultados, con tasas de restitución (>80%) superiores a la fluoresceína e ioduro.

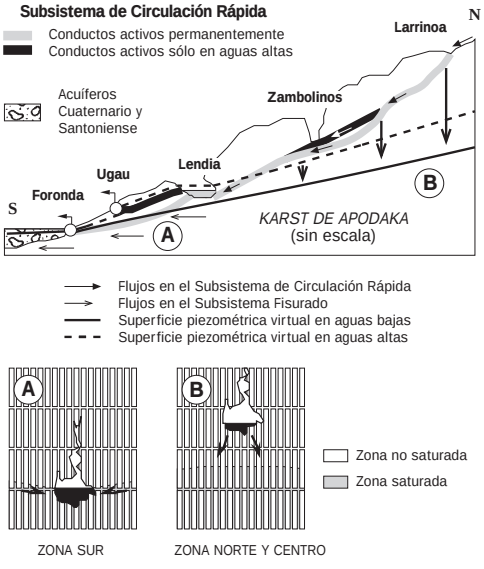



Figura 7. Esquema de funcionamiento de la zona de Apodaka (Subunidad Huetos-Apodaka).

Los ensayos llevados a cabo en los sumideros de Larrinoa, Manurga, Lendia y Zambolinos han arrojado velocidades medias de tránsito variables entre 10 y 90 m/h.

Los ensayos, además de demostrar la conexión entre los puntos de inyección y los manantiales controlados, evidencian la existencia de dos flujos. Uno predominante y asociado a una circulación rápida a través de grandes conductos, algunos de ellos activos sólo en periodos de aguas altas, y otro de menor envergadura asociado a fisuras o conductos de menor entidad (figura 7).

El ensayo realizado en el sumidero de Techa con fluoresceína no permitió obtener datos concluyentes, si bien demostró la ausencia de una conexión directa y rápida tanto con el manantial Nanclares como incluso con el sondeo de abastecimiento a Subijana.

### Investigación Geofísica

La investigación geofísica en el área se ha desarrollado en dos campañas: una en el año 1986 y la segunda, más de detalle, en 1994. En ambas campañas la modalidad de investigación efectuada fue la de sondeos eléctricos verticales (SEV).

La primera campaña consistió en la realización de dos perfiles (uno en Escota y otro en Fresneda) con seis sondeos eléctricos en cada perfil. Los datos obtenidos reflejaron una variabilidad importante de la resistividad dentro del paquete calizo (110-1.100 Ωm) obteniéndose mayores resistividades en la zona de Fresneda.

La segunda campaña, de mayor detalle, se limita a las áreas de Subijana y Nanclares, y constituye la fase previa a la realización de una serie de sondeos de investigación en ambas zonas. Se realizaron un total de 102 SEV con apertura de alas de hasta AB=1.000 m, alcanzando una profundidad investigada de hasta 300 m.

Los resultados variaron en función de cada zona y del dispositivo geológico que las caracteriza. En Subijana el dispositivo geoeléctrico es más favorable, ya que los materiales existentes

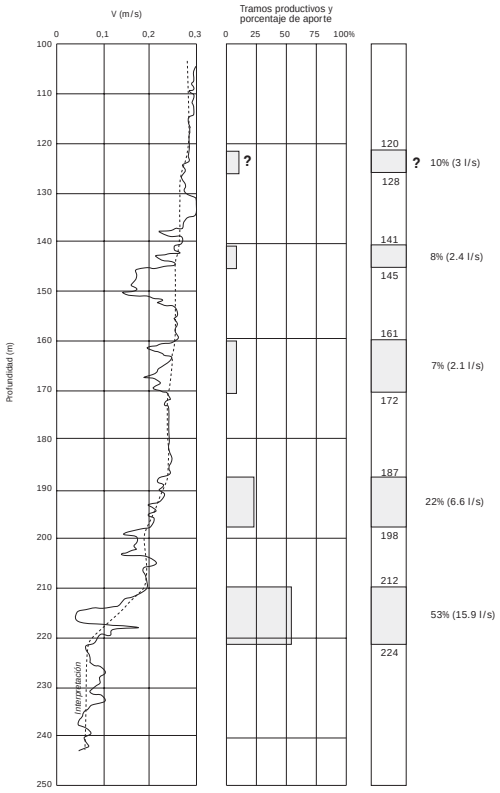



Figura 8. Registro de flujo en el sondeo Subijana-C. Caudal de bombeo 30 l/s.

por encima de las calizas son de naturaleza más margosa y las diferencias resistivas permiten localizar bien el techo calizo. El mapa de isorresistividades del paquete calizo se encuentra en ocasiones muy controlado por la poca focalización del método utilizado.

En Nanclares el dispositivo es distinto y más problemático. Al hecho de que los materiales margocarbonatados situados encima de las calizas presenten una resistividad mayor y, por lo tanto, sea necesario abrir más las alas del dispositivo SEV, se une la presencia de un importante ruido de fondo, por proximidad al núcleo urbano y, muy probablemente, por interferencias del tendido férreo.

**Sondeos de Investigación y Explotación**

Dentro de la unidad se han perforado más de veinte sondeos de investigación y treinta de explotación repartidos en cuatro de las cinco subunidades definidas. Las profundidades alcanzadas varían entre 100 y 360 m.

Los sondeos de investigación se han realizado en su mayor parte a rotación con extracción continua de testigo. La mayoría de los sondeos han sido acondicionados como piezómetros, realizándose diagrafías previas a la entubación. Los registros efectuados en los sondeos de investigación de Subijana y Nanclares han sido los siguientes: potencial espontáneo, resistividad monoelectródica, resistividades corta y larga, radiación natural gamma, temperatura y conductividad del fluido.

Los sondeos de explotación/preexplotación se han realizado tanto por el sistema de percusión con cable como por rotopercusión con martillo de fondo. Los primeros sondeos realizados en la unidad durante la década de los años sesenta fueron realizados a rotación con circulación inversa.

El acabado de los sondeos es muy diverso, habiéndose utilizado tuberías puentecillo de diversos pasos, tuberías perforadas, ranuradas, etc., tanto con empaque de grava como sin él.

En los últimos sondeos realizados en la zona y allí donde es posible por el confinamiento del acuífero, se ha dejado abierto el tramo carbonatado eliminando de esta forma las posibles pérdidas de carga en la entubación. Previo al

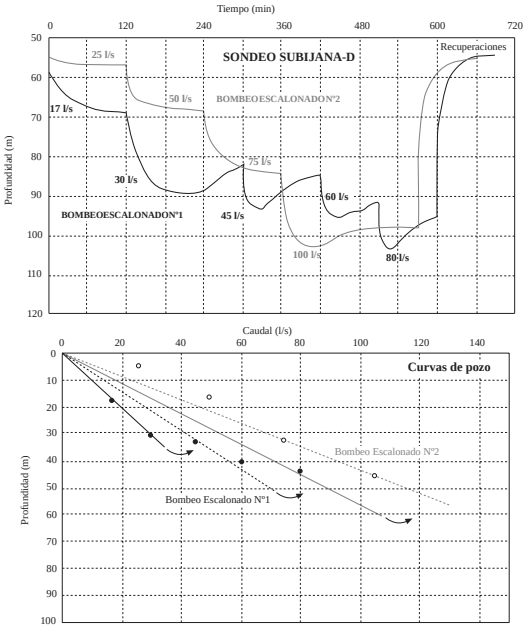



Figura 9. Bombeos escalonados en el sondeo Subijana-1.

acabado definitivo de los sondeos se ha realizado la testificación geofísica de los mismos, registrándose los mismos parámetros que en los de investigación en estática, más los registros de flujo, temperatura y conductividad en producción, así como eventualmente registros de desviación.

Los registros de flujo en producción se han realizado con caudales relativamente bajos (15-30 l/s), permitiendo establecer las zonas de aporte y su contribución porcentual respecto al caudal bombeado (figura 8).

La inspección endoscópica mediante registro videográfico ha constatado la existencia de fracturas subverticales predominando el sistema N90-120°E y N140°E.

De los métodos de desarrollo hasta el momento ensayados, son los sucesivos bombeos escalonados los que han ofrecido mejores resultados. La posibilidad de evacuación de material suelto en sondeos abiertos ha supuesto desarrollos que han llegado a duplicar el rendimiento del pozo (figura 9). Las acidificaciones también han ofrecido resultados satisfactorios en algunos casos.

Respecto a la evaluación de otros parámetros hidráulicos, las pruebas de producción realizadas hasta la fecha han permitido una cuantificación cuyos valores extremos de transmisividad son 8 y 2.600 $m^2$/día, congruentes con caudales específicos entre casi nulo y 13 l/s/m (cuadro 2).

La morfología de las curvas de descensos obtenidas en algunas pruebas de producción parece reflejar un coeficiente de almacenamiento bastante bajo.

Los sondeos con mayor rendimiento son los construidos en la Subunidad Nanclares, en las proximidades del manantial, donde el acuífero se encuentra confinado y la cota del terreno hace que las obras sean surgentes, algunas de ellas incluso en condiciones de estiaje prolongado. Los valores más bajos se han registrado en la Subunidad Huetos-Apodaka.

| Sondeo | Prof. (m) | Nivel Estático (m) | Caudal crítico (l/s) | T ($m^2$/día) | Qs (l/s/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| OSMA | 160 | 18 | >50 | 1300 | 15 |
| FRESNEDA | 142 | 28 | >50 | - | - |
| CARCAMO | 191 | 50 | 30 | 78 | 0,4 |
| GUINEA | 202 | 120 | 1 | - | - |
| ARTAZA | 275 | 151 | 2 | - | - |
| ORMIJANA | 310 | 85 | 6 | 8-9 | - |
| SUBIJANA-A | 193 | 2-28 | >120 | 60 | 6,6 |
| SUBIJANA-B | 235 | 19-49 | 80 | 50 | 1,2 |
| SUBIJANA-C | 250 | 0-10 | >100 | 55 | 1,6 |
| SUBIJANA-D | 263 | 50 | >100 | 250 | 3,3 |
| MORILLAS-1 | 150 | 18 | 35 | - | - |
| MORILLAS-2 | 120 | 48 | 40 | - | - |
| MORILLAS-3 | 300 | 30 | 24 | 15 | 0,4 |
| SUBIJANA | 190 | 12 | 12 | - | 0,7 |
| MONTEVITE | 232 | 132 | 2 | - | <0,1 |
| OLLAVARRE | 278 | 42 | 2 | - | 0,05 |
| NANCLARES-A | 250 | 0-12 | >100 | 120 | 1,2 |
| NANCLARES-B | 266 | 15-25 | >40 | 120 | 2 |
| NANCLARES-C | 303 | Surgente | >240 | >2.500 | >13 |
| NANCLARES-D | 290 | 0-6 | >200 | 2.600 | >10 |
| VILLODAS | 203 | 49 | >20 | - | - |
| TRESPUENTES | 222 | 34 | 5 | - | - |
| CAR. NANCLARES | 151 | 6 | >50 | 400 | 0,8 |
| HUETO ARRIBA | 362 | 26 | 25 | 100 | 0,7 |
| COPEGI | 163 | 20 | 14 | 12 | 0,2 |
| MANDOJANA | 200 | 20 | 7 | - | - |
| ETXABARRI-1 | 160 | 14 | 6 | 8 | - |
| ETXABARRI-2 | 162 | 15 | 5 | 4 | - |

Cuadro 2. Principales sondeos de explotación.

**Investigación Geotérmica**

La investigación geotérmica llevada a cabo en los mismos materiales que configuran la Unidad Hidrogeológica Subijana, aunque fuera de los límites establecidos para su descripción, ha consistido en la recuperación de un antiguo sondeo de investigación petrolera, Antezana-1, y en la construcción del sondeo Gaztelu-1, este último situado en Monasterioguren, al Sur de Vitoria-Gasteiz.

El sondeo Antezana-1 de 4.113 m, situado a unos 6 km al Sur del techo de las calizas, perfora el techo del acuífero a una profundidad de 1.737 m. Se atraviesan doce niveles productivos totalizando 37 m de potencia productora con una porosidad media calculada del 13%.

El sondeo presenta un rendimiento de 1 l/s/m con un caudal de explotación situado, por límites constructivos, sobre los 50 l/s. La transmisividad del acuífero a esta profundidad, dependiendo del método de evaluación utilizado, se sitúa entre 77 y 220 $m^2$/día.

La temperatura del agua en el paquete carbonatado (1.737-1.987 m) resultó ser más fría de lo esperable, fluctuando entre 14 y 19°C. La anomalía del gradiente geotérmico está originada por la existencia de un flujo rápido e importante de agua hacia el Sur.

A partir de la determinación del tritio en algunas muestras, se ha estimado un tiempo de permanencia de las aguas en el acuífero hasta este punto de 10-15 años, lo que supone una velocidad de circulación subterránea de 1-1,4 m/día.

El sondeo Gaztelu-1, localizado a unos 5 km al Sur de Vitoria-Gasteiz, perfora el techo del acuífero a la profundidad de 1.813 m, llegando hasta los 2.123 m.

La baja transmisividad en este punto del acuífero, <1 $m^2$/día, y el escaso rendimiento del sondeo, 0,03 l/s/m, condicionan negativamente el aprovechamiento de un recurso cuya temperatura de base alcanza los 65°C y en boca de sondeo 56°C.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

El recurso actualmente aprovechado es insignificante frente a los recursos disponibles en la unidad; puede evaluarse aproximadamente en 1,5 $Hm^3$/año.

Las captaciones más significativas son las del manantial Nanclares, para abastecimiento del núcleo urbano del mismo nombre, y una serie de sondeos de pequeño caudal en los distintos asentamientos de la zona.

Sin embargo, la infraestructura de regulación de recurso subterráneo recientemente construida permite elevar el recurso aprovechado al 70-75% en las Subunidades Subijana y Nanclares. El caudal de explotación conjunto de los sondeos citados, de acuerdo con las pruebas de producción efectuadas, es superior a 600 l/s.

Su utilización contribuirá al abastecimiento de Vitoria-Gasteiz y de los núcleos del entorno de las captaciones.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

EVE (1986). Estudio Hidrogeológico de las Calizas de Subijana (1ª y 2ª Fase). (GIGSA).

DFA (1988). Ensayo de trazador en el sumidero de Techa. (GIGSA).

EVE (1988). Control y seguimiento del sondeo Villodas. (GIGSA).

EVE (1988). Control y seguimiento bombeo Ormijana. (GIGSA).

EVE (1991). Sondeos de investigación piezométrica Osma 1-5.

ARRATE, I. (1994). Estudio Hidrogeológico del acuífero cuaternario de Vitoria-Gazteiz (Araba). (Tesis de Doctorado, UPV-EHU) .

AMVISA-DFA-EVE (1996). Evaluación y Regulación de los Recursos Hídricos Subterráneos en la Unidad Hidrogeológica Calizas de Subijana (Sectores Subijana-Nanclares).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Abecia | 506850 | 4754950 | 610 | 50-100 | Abastecimiento Abecia |
| Foronda | 522430 | 4750350 | 510 | 10-100 | Utilización en regadío |
| Kas | 523370 | 4750900 | 516 | 10-100 | Uso industrial |
| Zuazo | 509000 | 4747150 | 570 | 10-100 | Abastecimiento Zuazo |
| Nanclares | 515450 | 4740800 | 500 | 440 | Varias salidas. Abastecimiento Nanclares |
| Osma | 495100 | 4749500 | 590 | 400 | |
| Lendia | 522130 | 4752430 | 524 | >100 | Procede de los sumideros del río Zubialde-Zubibarri |
| Villodas | 517900 | 4742550 | 490 | 1-10 | Termal, 18-22°C. Abastecimiento Villodas |
| Bolen | 516500 | 4741290 | 500 | 1-10 | Termal, 18-22°C. Dos surgencias |
| Legarda | 522000 | 4749150 | 513 | 1-10 | Abastecimiento Legarda |
| Aprikano | 508500 | 4744450 | 530 | 1-10 | Abastecimiento Aprikano |
| Zuazo-1 | 509250 | 4746700 | 650 | <1 | Sulfuroso |
| Subijana | 507650 | 4741450 | 540 | 10-100 | Surgencia temporal |
| Huetos | 515800 | 4749450 | 530 | 10-100 | Surgencia temporal |
| Andagoia | 506660 | 4751850 | 590 | 10-100 | Surgencia temporal |
| Fresneda | 495300 | 4747700 | 600 | 1-10 | Surgencia temporal |
| Carcamo | 496750 | 4745750 | 630 | 10-100 | Surgencia temporal |
| Catadiano | 509650 | 4749650 | 720 | 1-10 | Surgencia temporal |
| Trespuentes | 516675 | 4744050 | 505 | 10-100 | Surgencia temporal |
| Techa | 508650 | 4742290 | 535 | >100 | Funcionamiento alternativo: infiltración o surgencia |
| Ugau | 522820 | 4751335 | 522 | 1-10 | Surgencia temporal. Antiguo molino |
| Ullibarri | 519680 | 4747500 | 500 | 1-10 | Abastecimiento de Ullibarri-Ibina |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Osma | 494905 | 4749655 | 578 | >50 | |
| Fresneda | 495720 | 4747135 | 600 | >50 | Abastecimiento de Fresneda |
| Carcamo | 496850 | 4745525 | 654 | 30 | Abastecimiento de Cárcamo |
| Guinea | 498863 | 4744870 | 730 | 1 | Abastecimiento de Guinea |
| Artaza | 501742 | 4744078 | 687 | 2 | Abastecimiento de Artaza y Escota |
| Ormijana | 506129 | 4742222 | 590 | 6 | Abastecimiento de Ormijana |
| Subijana-A | 508278 | 4741492 | 522 | >120 | Abastecimiento Vitoria-Gasteiz y entorno |
| Subijana-B | 507400 | 4741679 | 542 | 80 | Abastecimiento Vitoria-Gasteiz y entorno |
| Subijana-C | 508398 | 4741178 | 518 | >100 | Abastecimiento Vitoria-Gasteiz y entorno |
| Subijana-D | 509420 | 4741113 | 547 | >100 | Abastecimiento Vitoria-Gasteiz y entorno |
| Morillas-1 | 508110 | 4741850 | 559 | 35 | - |
| Morillas-2 | 509105 | 4740814 | 557 | 40 | - |
| Morillas-3 | 509400 | 4741100 | 560 | 24 | - |
| Subijana | 509140 | 4741238 | 558 | 12 | Abastecimiento Subijana y Morillas |
| Montevite | 511104 | 4741530 | 670 | 2 | Abastecimiento Montevite |
| Ollabarre | 513386 | 4741308 | 560 | 2 | Abastecimiento Ollabarre |
| Nanclares-A | 514638 | 4740576 | 499 | >100 | Abastecimiento Vitoria-Gasteiz y entorno |
| Nanclares-B | 515219 | 4741094 | 512 | >40 | Abastecimiento Vitoria-Gasteiz y entorno |
| Nanclares-C | 515736 | 4740579 | 485 | >240 | Surgente. Abastecimiento Vitoria-Gasteiz y entorno |
| Nanclares-D | 516350 | 4741144 | 493 | >200 | Surgente en aguas altas. Abastecimiento Vitoria-Gasteiz y entorno |
| Villodas | 517400 | 4742550 | 536 | >20 | Abastecimiento Villodas |
| Trespuentes | 516690 | 4744150 | 530 | 5 | Abastecimiento Trespuentes |
| Cárcel Nanclares | 516692 | 4741687 | 498 | >50 | Abastecimiento centro penitenciario |
| Hueto Arriba | 516550 | 4749430 | 580 | 25 | Abastecimiento Hueto Arriba y Hueto Abajo |
| Gopegi | 522578 | 4756565 | 586 | 14 | Abastecimiento Buruaga, Eribe y Berrikano |
| Mandojana | 520350 | 4748930 | 540 | 7 | Abastecimiento Artaza, Mandojana y Gereña |
| Etxabarri-1 | 524045 | 4752950 | 555 | 6 | |
| Etxabarri-2 | 523250 | 4754225 | 585 | 5 | Abastecimento Mendarozketa y Etxabarri Biña |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA VALDEGOBIA

## GENERALIDADES

Se sitúa en el área occidental de Alava, extendiéndose parte de ella por territorio burgalés. Incluye materiales correspondientes a los Dominios Hidrogeológicos Plataforma Alavesa y Sinclinal Urbasa-Treviño (figura 1).




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

Fruto de la configuración administrativa y geológica del área, esta unidad, tal como aquí se define, no responde a una entidad más o menos aislada sino que, en determinados lugares, presenta continuidad hidrogeológica fuera de la zona definida. Parte de esta continuidad se refiere a las formaciones del Oligoceno-Mioceno, cuya descripción más detallada se incluye en el capítulo del Dominio Hidrogeológico Sinclinal Urbasa-Treviño.

Hidrográficamente pertenece íntegramente a la cuenca del Ebro, actuando como colectores principales los ríos Omecillo y Purón. Desde el punto de vista geomorfológico se pueden distinguir dos zonas claramente diferenciadas: la mitad septentrional, caracterizada por elevaciones de tipo “cuesta” con escarpes pronunciados hacia el Norte y pendientes suaves hacia el Sur, y la mitad meridional, que presenta una topografía más abrupta con diversos resaltes y crestones.

## GEOLOGIA

La unidad comprende un conjunto de materiales, carbonatados y detríticos que, de acuerdo con las divisiones clásicas de la estratigrafía mesozoica de la Región Vasco-Cantábrica, pueden agruparse en:

**Jurásico marino**, compuesto por carniolas, calizas y margas (29) presente en un pequeño afloramiento en la zona de Nograro.

**Complejo Urgoniano**. Por encima de los términos jurásicos, se dispone una serie detrítica compuesta por areniscas, conglomerados y niveles calcáreos (35, 36) de algo más de 800 m de potencia total.

**Complejo Supraurgoniano (Facies Utrillas)**. Término litológicamente semejante al anterior, en discordancia sobre él y de 700 m de espesor (37).

**Cretácico superior**. Conjunto fundamentalmente carbonatado compuesto por una sucesión de calizas bioclásticas (61), margas y margocalizas (68) equivalentes a las margas de Zuazo, calizas y dolomías (71) de características semejantes a las calizas de Subijana, margas y margocalizas (75) equivalentes a las margas de Osma y calcarenitas con Lacazina (77). Por encima, se sitúa la serie margo-detrítica del Campaniense (86, 87) y las areniscas y calcarenitas del Maastrichtiense (164). La serie descrita totaliza una potencia media superior a 1.500 m.

**Terciario**. Incluye calizas y dolomías del Paleoceno (180) y conglomerados (181), lutitas (182), areniscas y limolitas (183) y margas (187) del Oligomioceno.

**Cuaternario**. Constituido por depósitos aluviales (200) asociados a los ríos Omecillo y Ebro y terrazas colgadas (197).

Estos materiales se disponen de acuerdo con dos estructuras parcialmente paralelas: sinclinal de Urbasa-Treviño y anticlinal de Sobrón. Este anticlinal, perteneciente al dominio estructural de la Sierra de Cantabria, describe una inflexión pasando de una dirección Noroeste-Sureste a otra Norte-Sur. Su flanco Norte está afectado

en parte por una falla inversa que contacta esta estructura con el sinclinal de Urbasa-Treviño.

**HIDROGEOLOGIA**

Debido a la continuidad hidrogeológica antes aludida, la recarga y descarga natural de la unidad no se produce enteramente dentro de los límites geográficos definidos. La precipitación media anual, con un rango aproximado entre 600 y 900 mm, deriva en una lluvia útil comprendida entre 150 y 350 mm, equivalentes a unos 5 y 11 l/s/km² respectivamente. El valor más elevado corresponde al área de Sobrón (cuadro 1).

| PARAMETRO | BOVEDA | SOBRON | OSMA |
|---|---|---|---|
| P media (mm) | 705 | 915 | 600 |
| Tª media (°C) | 10 | 12,5 | 11 |
| ETP (mm) | 735 | 760 | |
| ETR (mm) | 455 | 570 | 445 |
| Lluvia útil (mm) | 250 | 345 | 155 |

Cuadro 1. Parámetros climatológicos medios.

*PUNTOS DE AGUA*

Entre las surgencias más importantes asociadas a la unidad (cuadro 2), la única que supera los 100 l/s de caudal medio es la que se produce a favor de un sondeo de prospección de hidrocarburos. Este sondeo, **Sobrón-1**, perforado en la década de los sesenta, mantiene un caudal de surgencia casi constante en torno a 100 l/s, sin que se hayan determinado, por falta de estudios previos, las posibles afecciones al esquema general de funcionamiento hidrogeológico de la zona.

| Denominación | Q med (l/s) | Geología |
|---|---|---|
| Sobrón-1 | 110 | Arenas Utrillas (37) |
| Quintanilla | 50 | Calcarenitas Lacazina (77) |
| Ribera | 50 | Calizas (61) |
| Bóveda-2 | 35 | Calcarenitas Lacazina (77) |
| Herrán | 25 | Calizas (71) |
| Fuente Fría | 25 | Calizas (71) |
| Valluerca | 25 | Calcarenitas Lacazina (77) |
| Bóveda-1 | 10 | Calcarenitas Lacazina (77) |

Cuadro 2. Principales surgencias.

Las surgencias asociadas a las calcarenitas con Lacazina (77), **Quintanilla**, **Bóveda-2**, **Valluerca** y **Bóveda-1**, constituyen grupos de surgencias que incluyen, individualmente, salidas de funcionamiento temporal en aguas altas. Destaca en ellas la alta variabilidad de caudales entre aguas altas, varios cientos de litros por segundo en total, y estiaje, menos de 10 l/s.

En contraste con las anteriores, **Ribera** presenta una variabilidad mucho menos significativa con estiajes entre 25 y 30 l/s. Se localiza a techo del paquete calizo cenomaniense (61) considerándose, no obstante, que las arenas de las facies Utrillas (37) juegan un papel hidrogeológico importante en la regulación natural de la descarga.

**Herrán** y **Fuenfría**, finalmente, presentan un grado de variación intermedio entre las anteriores. Con caudales base del orden de 10 l/s, sus caudales en aguas altas superan los 100 l/s.

Respecto a las descargas, cabe destacar que además de las surgencias reseñadas existen aportes difusos a lo largo de diferentes tramos de diversos cursos superficiales. Tal es el caso, por ejemplo, de las descargas al río Purón al Norte y al sur de Ribera (a favor de las facies Utrillas, 37, calizas cenomanienses, 61 y calizas coniacienses o "de Subijana", 71), así como de las que muy probablemente se realizan al río Ebro, nivel de base general, en la zona del embalse de Sobrón.

*PERMEABILIDAD. ACUIFEROS*

La notoria variabilidad geológica de la unidad, con un gran número de formaciones litoestratigráficas, se traduce en la existencia de numerosos acuíferos. Las formaciones de permeabilidad más alta son:

**Jurásico marino. Carniolas, calizas y margas** (29). Presenta una superficie de afloramiento muy reducida en el conjunto de la unidad. Su permeabilidad general, alta, se ve limitada por la presencia de paquetes margosos.

**Complejo Urgoniano. Areniscas, conglomerados y niveles calcáreos** (35, 36). Se sitúan en contacto estratigráfico directo con los niveles calcáreos jurásicos. Se trata de dos series detríticas con características hidrogeológicas similares. La permeabilidad general alta, fruto de la amplia representación de areniscas y conglomerados, se ve reducida en diferentes tramos por intercalaciones lutíticas y arcillosas. La variabilidad en la cementación y alteración de los niveles provoca, igualmente, diferencias locales en su comportamiento.

**Complejo Supraurgoniano (Facies Utrillas). Areniscas, lutitas y conglomerados** (37). En contacto estratigráfico con las anteriores, comprende la sucesión detrítica atravesada por el sondeo Sobrón-1.

La variabilidad espacial de la permeabilidad, debida a los diferentes grados de cementación y meteorización que afectan a la serie origina un acuífero detrítico mixto caracterizado, entre otros aspectos, por la regulación que impone a sus puntos de descarga. Además del citado, merecen mención los manantiales Terma Sobrón (8 l/s) y Torcal (5 l/s).

**Cretácico superior. Calizas** (61). Sin separación estratigráfica, por encima del tramo detrítico de facies Utrillas se sitúa este paquete de calizas cenomanienses que exhibe una permeabilidad alta por fisuración y karstificación, sobreimpuesta a una porosidad primaria, originando un acuífero kárstico de flujo difuso. El manantial Ribera es representativo de este tipo de acuífero.

**Calizas y dolomías ("calizas de Subijana")** (71). Separada estratigráficamente de las calizas anteriores por un paquete de margas (68), de baja permeabilidad, esta unidad geológica coniaciense presenta numerosas formas exokársticas (lapiaces, dolinas, etc.), constituyendo redes de drenaje por lo general bien desarrolladas. La composición predominantemente dolomítica en algunos tramos confiere al acuífero un comportamiento propio de los kársticos mixtos. La descarga principal de este acuífero se sitúa hacia el Oeste del área considerada, aportando también, dentro de ésta, en Herrán, en Fuente Fría, en el río Purón y en otros lugares de menor entidad.

**Calcarenitas ("calcarenitas con Lacazina")** (77). En este acuífero, separado del anterior por un tramo margoso (75) de baja permeabilidad, las formas exokársticas están ausentes o tienen un desarrollo muy limitado. No obstante, la escasa regulación natural de las descargas asociadas (Quintanilla, Bóveda, Valluerca) apunta la existencia de un cierto desarrollo endokárstico. La presencia de intercalaciones margosas limita, en cualquier caso, este desarrollo y por ello las principales surgencias se sitúan dentro de esta formación y no en su techo.

**Paleoceno. Calizas, dolomías y margas** (180). Separado estratigráficamente del anterior por un tramo margoso (86) de muy baja permeabilidad y por unas series detrítico-carbonatadas de permeabilidad media (87, 164), este acuífero presenta un evidente desarrollo kárstico en los niveles dolomíticos más potentes. Las intercalaciones margosas condicionan este desarrollo y, con él, la permeabilidad local del conjunto.

En contacto directo (discordante) con el acuífero anterior, aparecen los términos del Oligomioceno de permeabilidades media (181), baja (183) y muy baja (182, 187) de menor interés hidrogeológico en el conjunto de la unidad, al igual que los depósitos cuaternarios (200) de permeabilidad alta.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. SUBUNIDADES Y RECURSOS*

La disposición geológica de los materiales de la unidad permite la definición de diversas subunidades hidrogeológicas separadas entre sí por formaciones de permeabilidad baja o muy baja. La continuidad hidrogeológica de estas subunidades fuera de los límites establecidos no se tiene en cuenta de cara a la evaluación de los recursos. Estos comprenden únicamente los que corresponden a las áreas incluidas en el mapa (figura 2).

**Subunidad Sobrón**

Subunidad definida por los materiales que conforman el anticlinal de Sobrón y que incluye principalmente los acuíferos del complejo Urgoniano (35, 36), facies Utrillas (37), calizas cenomanienses (61) y calizas y dolomías coniacienses ("calizas de Subijana", 71) además de pequeños retazos de otros. Los principales puntos de descarga son Sobrón-1, Ribera, Herrán y Fuenfría, así como diversos tramos de arroyos efluentes. En el límite occidental, en particular, el flujo subterráneo se dirige fuera del área considerada.

Dentro de esta subunidad, de cara a la evaluación de los recursos, pueden agruparse los acuíferos en tres sectores:

**Herrán**: definido por las calizas y dolomías coniacienses que afloran en la mitad occidental de la subunidad. Se encuentra limitado tanto a muro como a techo por paquetes margosos de baja permeabilidad. La superficie de afloramiento en el área es de 17,4 $km^2$. Con una infiltración de aproximadamente el 90% de la lluvia útil, los recursos medios anuales alcanzan 4,7 $Hm^3$, es decir, 150 l/s de caudal medio equivalente.

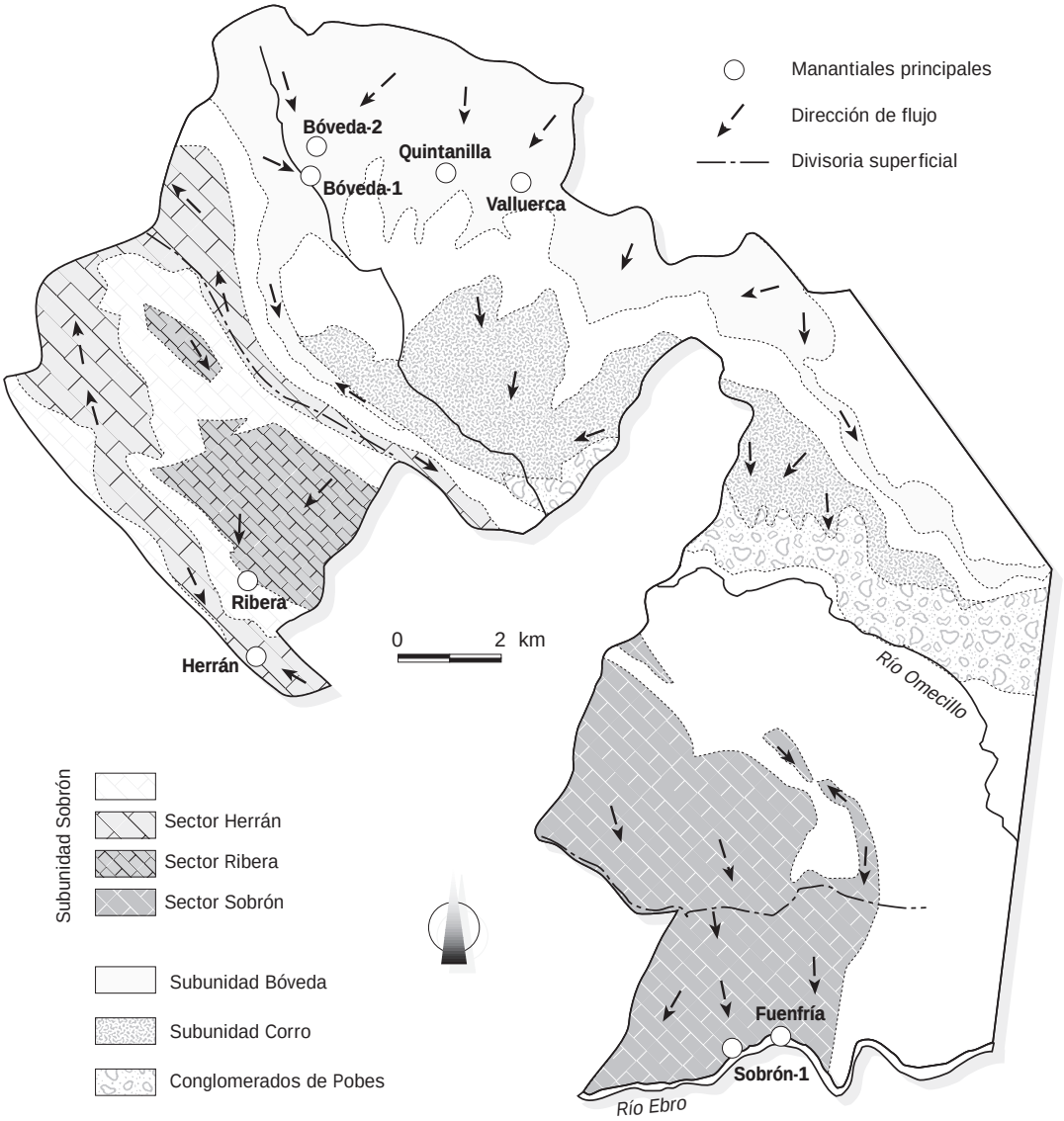



Figura 2. Esquema de subunidades.

**Ribera**: comprende los acuíferos de la facies Utrillas (37) y de las calizas cenomanienses (61) que afloran en la mitad occidental de la subunidad. Estos acuíferos constituyen en esta zona el núcleo del anticlinal de Sobrón y se encuentran separados del sector Herrán por un tramo margoso de baja permeabilidad. El área de recarga es de 9,4 km$^2$ y la infiltración estimada del 80% de la lluvia útil. Los recursos medios anuales totalizan, consiguientemente, 2,3 Hm$^3$ equivalentes a un caudal medio de 75 l/s.

**Sobrón**: comprende los acuíferos de la mitad oriental de la subunidad, que presentan continuidad fuera del área aquí considerada así como también con los de los sectores Herrán y Ribera. Debido a la estructura geológica, estos acuíferos se encuentran conectados unos con otros sin que existan tramos de baja permeabilidad que los aíslen enteramente. La superficie de este sector es de unos 30 km$^2$. Admitiendo una infiltración media del 70% de la lluvia útil en los tramos detríticos y del 90% en los carbonatados, los recursos medios anuales suman 7,8 Hm$^3$, representando un caudal medio equivalente de 250 l/s.

**Subunidad Bóveda**

Subunidad definida por el acuífero de calcarenitas con Lacazina (77) que aflora extensamente al Norte de la unidad. Los principales

puntos de descarga son los manantiales Bóveda (1 y 2), Quintanilla y Valluerca además de otros menores, como la Tejera (5 l/s), situados próximos al contacto de techo. Esta subunidad, que se extiende hacia el Norte fuera del área, está globalmente limitada por tramos margosos tanto a muro (separándola de la Subunidad Sobrón, sector Herrán) como a techo (diferenciándola de la de Corro que será descrita más adelante).

Considerando una infiltración del 70% de la lluvia útil sobre la superficie considerada (37 $km^2$), los recursos medios anuales alcanzan 5,8 $Hm^3$ o 185 l/s de caudal medio equivalente.

**Subunidad Corro**

Subunidad definida por los materiales de permeabilidad media y alta del Campaniense, Maastrichtiense y Paleoceno (87, 164, 180) que se encuentran separados de la Subunidad Bóveda por un tramo margoso de muy baja permeabilidad. La descarga se produce a favor de un conjunto de surgencias menores distribuidas por toda la subunidad (Corro, Villanueva-1 y 2, Tobillas y Linares, todas ellas de caudal medio estimado 5 l/s) y al río Omecillo, bien directamente o a través de los conglomerados oligocenos (181).

El área de recarga considerada es de 20 $km^2$ y la infiltración estimada del 70% de la lluvia útil. Los recursos medios anuales totalizan 3,1 $Hm^3$, equivalentes a un caudal medio de 100 l/s.

**Conglomerados de Pobes**

Comprende el acuífero conglomerático del Oligoceno que se prolonga extensamente fuera de la unidad formando parte integrante del Dominio Hidrogeológico Sinclinal Urbasa-Treviño. En Valdegobia, donde se encuentra en contacto con la Subunidad Corro, los recursos medios anuales estimados son de unos 3,3 $l/s/km^2$.

En definitiva, se han cuantificado unos recursos anuales asociados a las subunidades descritas de 23,7 $Hm^3$, de los cuales se justifican tan sólo 10,4 $Hm^3$ por las descargas medidas en los puntos de agua más significativos. Los 13,3 $Hm^3$ restantes corresponden a drenaje fuera de los límites impuestos a la unidad y a salidas difusas a los cauces principales, esquema éste acorde con la tipología de acuíferos más representada.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Las aguas de la unidad presentan globalmente un carácter bicarbonatado cálcico aunque con contenidos importantes en magnesio. Los valores medios de los principales parámetros están recogidos en el cuadro 3.

| Parámetro | Media (mg/l) |
|---|---|
| Conductividad | 350 µS/cm |
| Bicarbonatos | 220 |
| Sulfatos | 23 |
| Cloruros | 8 |
| Nitratos | 4 |
| Calcio | 55 |
| Magnesio | 15 |
| Sodio | 6 |
| Sílice | 5 |

Cuadro 3. Caracterización hidroquímica.

Asimismo, en el cuadro 4 se recogen los análisis más representativos de las surgencias principales.

| SURGENCIA | Cond. | $SiO_2$ | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $HCO_3^-$ | $SO_4^=$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Quintanilla | 329 | 6,8 | 54.6 | 7,7 | 198,6 | 13,8 |
| Ribera | 465 | 8,9 | 69,0 | 14,0 | 251,2 | 27,1 |
| Bóveda-2 | 306 | 3,4 | 53,2 | 5,5 | 172,2 | 20,0 |
| Bóveda-1 | 520 | 12,1 | 102,8 | 6,8 | 325,1 | 24,3 |
| Herrán | 321 | 5,5 | 58,3 | 6,0 | 180,1 | 19,5 |
| Valluerca | 342 | 7,1 | 61,7 | 6,2 | 203,6 | 21,1 |
| Sobrón-1 | 339 | 4,2 | 51,7 | 21,1 | 181,7 | 57,5 |
| Terma Sobrón | 388 | 5,7 | 41,5 | 24,3 | 247,8 | 10,4 |

Cuadro 4. Análisis representativos (mg/l, salvo conductividad, en µS/cm).

Tal como se ha comentado, un rasgo destacable es el elevado contenido en magnesio que presentan algunas surgencias, explicable por el carácter dolomítico predominante en una parte significativa de los acuíferos presentes en la unidad.

Con respecto a la temperatura de surgencia, destacan las aguas de las Termas Sobrón y Sobrón-1 con 19 y 18°C respectivamente. Sin embargo, este aumento de temperatura con respecto a la media del entorno no se ve acompañado de incremento o variación significativa en su quimismo.

De acuerdo con la información analítica disponible, la calidad de las aguas de la unidad puede catalogarse como apta tanto para el consumo humano como para usos agropecuarios.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

Ha consistido básicamente en perforación de sondeos, entre los que merece destacar los destinados a prospección de hidrocarburos construidos todos ellos en la década de los sesenta.

Además del citado Sobrón-1, de 590 m de profundidad abandonado en ese punto por problemas de control del caudal surgente, cabe citar el sondeo Sobrón-1 bis, cercano al anterior, de 1.516 m de profundidad y que atraviesa calizas cenomanienses (71), facies Utrillas (37), urgoniano detrítico (35, 36) y Jurásico (29); es temporalmente surgente aportando entonces un caudal de 6 a 8 l/s.

De los sondeos de carácter hidrogeológico, los más significativos son Acebedo y Mioma, ambos emplazados a techo de las calizas de Lacazina (77). Los resultados obtenidos durante su ejecución, perforados a rotopercusión, permiten estimar un caudal de explotación de 10 l/s.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

Las obras de aprovechamiento y regulación emplazadas en la unidad, además del embalse de Sobrón situado en el límite meridional, comprenden la captación de numerosas surgencias y la explotación de algunos de los sondeos descritos. En todos los casos el objetivo es satisfacer la demanda de los núcleos del área, y otros próximos, así como la derivada de las actividades agropecuarias.

Este aprovechamiento representa una mínima parte, inferior al 5% (1 $Hm^3$/año), del total de recursos estimados para las subunidades y sectores de mayor interés hidrogeológico.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

EVE (1987). Investigación Hidrogeológica del Area de Valdegobia (Alava). (GIGSA).

DFA (1996). Estudio Hidrogeológico de las Unidades del Area de Sobrón. (CGS).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Ribera | 481325 | 4744330 | 760 | 50 | Abastecimiento Ribera |
| Herrán | 481490 | 4742200 | 610 | 25 | Abastecimiento once núcleos urbanos |
| Bóveda-1 | 482600 | 4752045 | 750 | 10 | Abastecimiento Bóveda |
| Bóveda-2 | 483060 | 4752765 | 765 | 35 | |
| Quintanilla | 485625 | 4752600 | 800 | 50 | Abastecimiento Quintanilla |
| Valluerca | 486720 | 4751625 | 760 | 25 | Abastecimiento Valluerca |
| Fuenfría | 492500 | 4735050 | 500 | 25 | |
| Termas Sobrón | 492650 | 4735650 | 505 | 8 | Termal, 19°C |
| Torcal | 489420 | 4734725 | 560 | 5 | |
| La Tejera | 482350 | 4748890 | 755 | 5 | |
| Corro | 486190 | 4748480 | 718 | 5 | Abastecimiento Corro |
| Villanueva-1 | 491470 | 4745830 | 675 | 5 | Abastecimiento Villanueva |
| Villanueva-2 | 491440 | 4745340 | 635 | 5 | Abastecimiento Villanueva |
| Tobillas | 484790 | 4747450 | 655 | 5 | Abastecimiento Tobillas |
| Linares | 492970 | 4745070 | 655 | 5 | |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Sobrón-1 | 490765 | 4734665 | 550 | 110 | Surgente (18°C). Abastecimiento cuatro núcleos urbanos |
| Sobrón-1bis | 490831 | 4734630 | 570 | 6 | Surgente |
| Acebedo | 487464 | 4750422 | 745 | 10 | Surgente |
| Mioma | 490976 | 4749000 | 755 | 10 | Abastecimiento a Mioma |

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO SINCLINAL DE URBASA-TREVIÑO

## GENERALIDADES

Tiene una extensión, en lo que a territorio alavés se refiere, de aproximadamente 520 km$^2$. Incluye la Sierra de Entzia y los Montes de Iturrieta en su extremo oriental constituyendo la prolongación de la navarra Sierra de Urbasa, el Condado de Treviño en su zona central y se adentra en el valle de Valdegobia en el extremo occidental (figura 1).




Figura 1. Situación del dominio.

Esta sucesión configura un relieve en general poco abrupto con las cotas más altas en los extremos, con elevaciones superiores a 1.000 m en Urbasa (Ballo, Bitigarra, Kapildui) y un poco inferiores en el extremo opuesto, y una zona relativamente deprimida en el centro.

Hidrográficamente toda el área queda incluida en la cuenca del Ebro, con los cursos principales atravesando la alineación en sentido Norte-Sur. Destacan el Omecillo, Baias, Zadorra, Ayuda, Izkiz y Berrón, estos últimos como drenaje de la vertiente Sur de Urbasa.

La densidad de población asentada en el área del dominio puede considerarse, por razones orográficas y otras de diferente índole, como muy baja. Se concentra en la mitad occidental, en núcleos de la entidad de Espejo, Villanueva de Valdegobia, Comunión, etc.

## GEOLOGIA

Desde el punto de vista geológico, incluye los depósitos terciarios asociados a la estructura sinclinal, de carácter predominantemente marino en el área de Urbasa y continental en la depresión central. El límite con los dominios situados al Norte y Sur se ha establecido mayoritariamente en la discordancia basal que afecta al Maastrichtiense u Oligoceno, según el sector considerado.

Las litologías diferenciadas, expuestas en orden cronológico, comprenden arcillas y yesos (10) y ofitas (11), ambas de edad triásica, presentes en la estructura diapírica de Salinas de Añana. Asociadas a esta misma estructura, afloran retazos de carniolas (29) jurásicas.

En contacto discordante sobre la serie arenosa campaniense, encuadrada en los dominios colindantes al Norte y al Sur, se emplaza la serie alternante carbonatado-detrítica compuesta por calizas y dolomías (162), areniscas y conglomerados (163), areniscas y calcarenitas (164) y conglomerados y brechas (165) del Maastrichtiense. La diferencia de competencia con los términos precedentes remarca, al menos en determinadas transver-

sales, la entidad geomorfológica de este dominio.

La diversidad de facies englobadas en el Paleoceno y su distribución geográfica es indicativa del rasgo geológico más sobresaliente del dominio, ya señalado previamente, de tránsito gradual de las facies predominantemente marinas en ambos extremos del sinclinal a las terrígenas de la depresión central. Así, afloran, definiendo los relieves más característicos de la sierra, las dolomías y calcarenitas (166, 167) de la mitad oriental y las calizas y dolomías (180) del extremo occidental.

Limitadas a afloramientos puntuales o a estructuras como la de Loza, se distinguen calizas y margas (168), alternancias de margas y calizas (169, 171) y arcillas y margas (172). El término en más claro tránsito hacia las facies suprayacentes de ambiente continental son las arenas (arenas de Laminoria) y calizas arenosas (170).

El Eoceno está restringido a estructuras locales, Loza (173, 174), o al núcleo de la estructura sinclinal, preferentemente en la mitad oriental. Según su posición geográfica y estratigráfica, está constituido por materiales depositados en diferentes ambientes, desde calcarenitas, calizas y dolomías (175, 178), margocalizas (176) y conglomerados de composición diversa (177, 179).

De composición semejante a los términos precedentes, aunque de edad Oligo-Mioceno, destacan los conglomerados calcáreos (181), con amplia representación a lo largo del dominio y responsables de su delimitación geográfica en su mitad noroccidental. En tránsito gradual, afloran en su entorno argilitas y limolitas (182).

Ocupando la depresión central, se dispone una potente serie fundamentalmente terrígena con diferentes proporciones de areniscas y limolitas (183, 185), con predominio de fracciones más gruesas en determinados puntos (186) e intercalaciones de depósitos margocarbonatados (184, 187) en los puntos más alejados de la zona central de la depresión.

La representación de los depósitos cuaternarios alcanza cierta relevancia en los márgenes del río Ebro y sus afluentes Zadorra, Baias y Omecillo, en forma de depósitos aluviales (200) y terrazas (197). De forma puntual, se han reconocido depósitos coluviales (201) y rellenos antropogénicos (206), estos últimos generados por la actividad extractiva en Laminoria.

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

De los materiales descritos ofrecen interés, desde el punto de vista hidrogeológico, los situados en los extremos y en los flancos de la estructura sinclinal, es decir, alejados de su núcleo. Tal como se ha señalado, esta discriminación obedece a variaciones en los ambientes de depósito.

Se han considerado de permeabilidad alta y constituyentes de los principales acuíferos del dominio las dolomías y calcarenitas (166, 167) del Paleoceno. Con menor representación y en algunos casos asociadas a las anteriores, pertenecen a esta categoría las calizas y calcarenitas (162, 170, 175, 178, 180) y los depósitos conglomeráticos (165, 179).

Constituyendo otro tipo de acuíferos, en escala y en comportamiento, se han catalogado también como de permeabilidad alta las carniolas jurásicas (29) y los depósitos cuaternarios (197, 200, 201).

Integrados en los esquemas de funcionamiento hidráulico de los acuíferos constituidos por las formaciones anteriormente citadas, se incluyen los siguientes términos detríticos de permeabilidad media: 163, 164, 168, 177, 181 y 186. En algún caso (181) constituyen un acuífero con entidad propia.

Perteneciente a la misma categoría de permeabilidad media aunque con un interés más limitado, se han incluido las ofitas (11) asociadas a la estructura diapírica de Salinas de Añana.

Los términos de permeabilidades bajas y muy bajas se encuentran fundamentalmente en la zona central. Se trata de las alternancias limo-arenosas (183, 185) y las intercalaciones margosas (176, 184).

También de permeabilidades bajas y muy bajas, se han catalogado las margas y calizas lacustres (171, 173) y margas y arcillas (169, 172, 174) asociadas a la estructura de Loza.

A la misma categoría de permeabilidad muy baja pertenecen las arcillas (10) y limolitas y margas (182, 187).

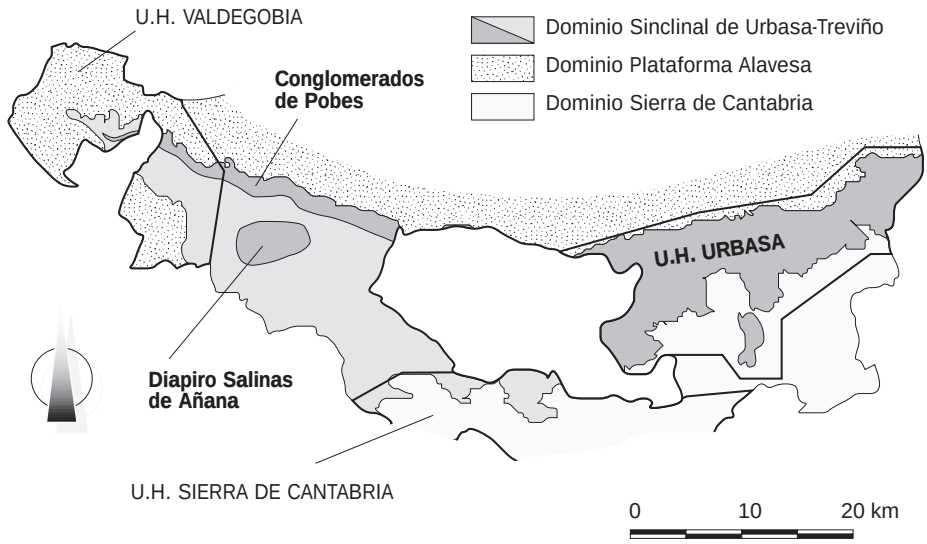



Figura 2. Esquema de unidades y sectores.

*UNIDADES Y SECTORES HIDROGEOLOGICOS*

De acuerdo con la descripción realizada, los materiales con permeabilidades de interés tienen una distribución geográfica que admite la siguiente diferenciación (figura 2):

- Plataformas carbonatadas y depósitos conglomeráticos situados en el núcleo del sinclinal en su extremo oriental, configurando la Sierra de Entzia y Montes de Iturrieta; con los límites geológicos descritos y los límites administrativos impuestos por Navarra y Treviño al Este y Oeste respectivamente, constituyen la Unidad Hidrogeológica Urbasa.

- Los materiales equivalentes situados en el cierre periclinal del extremo opuesto, en el área de Valdegobia, se encuentran integrados en la Unidad Hidrogeológica Valdegobia.

- Los materiales situados en el flanco Sur, asociados a las estructuras de Loza y Ocio, se incluyen para su descripción en el contexto de la Unidad Hidrogeológica Sierra de Cantabria.

- Depósitos cuaternarios, entre los que caben destacar los asociados al río Ebro y afluentes; forman parte del Dominio Hidrogeológico Cuaternario.

- Conglomerados oligo-miocenos (181); los situados en el flanco Norte, en el entorno de Pobes, adquieren un desarrollo suficiente como para definir un acuífero con entidad propia.

- Estructura diapírica de Salinas de Añana, en la que el acúmulo en superficie de ofitas alteradas y carniolas configura un dispositivo hidrogeológico digno de mención.

En el presente capítulo se procede a la descripción de aquellas zonas no incluidas en alguna unidad o dominio hidrogeológico.

**Conglomerados de Pobes**

Constituidos por cantos calizos redondeados con cemento calcáreo y matriz arenosa rojiza, entre los que pueden existir pequeñas intercalaciones de arcillas y arcillas arenosas. En el área delimitada, entre el límite establecido para la Unidad Valdegobia y el Condado de Treviño, alcanza una potencia media de 150 m.

Aunque la permeabilidad del conjunto ha sido calificada como media, condicionada por la escala de trabajo y el agrupamiento de términos que ello implica, llega a ser alta en determinadas áreas, como lo sugiere la ausencia casi generalizada de escorrentía superficial y la presencia puntual de cuencas endorreicas en la zona objeto de esta descripción.

La tipología de acuífero al que dan lugar se ha catalogado como detrítico mixto, entendiendo que participa de las características de los no

consolidados en aquellas zonas en las que la eliminación del cemento carbonatado ha sido total y de los consolidados en el resto. La información aportada por los sondeos perforados en este área revela la existencia de niveles de circulación preferente asimilables, hasta cierto punto, con los dispositivos kársticos convencionales.

La recarga del acuífero se produce, en su mayor parte, por infiltración de la lluvia útil y la descarga a través de pequeñas surgencias situadas a diferentes cotas dentro del paquete, originadas por las intercalaciones arcillosas, y mayoritariamente en forma difusa hacia los cursos de agua que lo atraviesan.

La cota más baja de intersección de la red fluvial con los conglomerados se produce en el río Zadorra, lugar a donde se dirige presumiblemente el drenaje del acuífero, lo cual implica un desplazamiento de la divisoria hidrológica hacia el Oeste al menos hasta el río Bayas. Esta tendencia se ve modificada en momentos hidrológicos de aguas medias-altas. La comprobación de estas apreciaciones se ve dificultada por la entidad de los caudales puestos en juego en relación con el circulante por las rios citados.

El funcionamiento del acuífero es libre en su área expuesta, pasando rápidamente a confinado en su prolongación hacia el núcleo del sinclinal, como lo atestigua la presencia de sondeos surgentes emplazados en las limolitas (183) a escasos metros del contacto. Es el caso de los sondeos Angosto, Bellojin y Atiega, con caudales surgentes entre 1 y 5 l/s.

Además de los citados, perforan el acuífero los sondeos Basquiñuelas, Pobes y Lasierra. Los caudales de explotación oscilan entre 5 y 50 l/s, con caudales específicos que superan en algunos casos los 5 l/s/m, como en Pobes y Lasierra.

La información hidroquímica disponible procede de la analítica realizada en las pruebas de producción de los sondeos. En todos los casos se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas, con mineralizaciones que oscilan entre 500 y 600 mg/l y contenidos en sulfatos del orden de 25 mg/l, que puntualmente alcanzan los 100 mg/l, en consonancia con la hidroquímica característica de los materiales del Terciario continental.

El recurso renovable asociado se ha establecido en 6,6 $Hm^3$/año, equivalentes a una infiltración media del 75 % de la lluvia útil sobre una superficie de 35 $km^2$. Los parámetros climáticos de la zona son: precipitación media 700 mm y evapotranspiración real de 448 mm (64 %).

**Diapiro de Salinas de Añana**

La peculiaridad hidrogeológica de esta estructura diapírica reside en la presencia del manantial Santa Engracia, salmuera surgente en la localidad de Salinas de Añana. Su aprovechamiento para producción de sal, documentado históricamente desde el siglo X, se realiza mediante evaporación en eras. Se han alcanzado producciones ligeramente superiores a 8.000 t/año, equivalentes al 50% de la aportación anual de la salmuera.

El diapiro de Salinas de Añana corresponde a una estructura elipsoidal de unos 13 $km^2$, elongada en dirección E-O. Una cartografía de detalle revela la presencia de un gran número de bloques de carniolas (29) y ofitas (11), inmersos en las arcillas típicas del Trías (10), definiendo una especie de cobertera que se podría interpretar como el apilamiento de materiales más competentes y menos solubles que las importantes masas de sales que los acompañan (figura 3).

La permeabilidad del conjunto es alta, originada por las carniolas y las ofitas, estas últimas afectadas de una importante meteorización.

Del inventario de puntos de agua, merecen ser destacados los siguientes (cuadro 1):

| Manantial | Caudal | Cond. | $Cl^-$ | $SO_4^{=}$ | $HCO_3^-$ | $Na^+$ | $Ca^{++}$ | $Mg^{++}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sta. Engracia | 2 | 394.100 | 153.465 | 5.085 | 194 | 99.650 | 1.834 | 300 |
| Fte. Arriba | 0,1 | 382.600 | 150.261 | 4.995 | 190 | 97.497 | 1.816 | 303 |
| San Juan-1 | 4 | 18.690 | 6.400 | 956 | 272 | 4.150 | 415 | 88 |
| San Juan-2 | 0,2 | 55.635 | 21.885 | 1.400 | 266 | 14.153 | 808 | 121 |
| El Pico | 2,2 | 18.650 | 6.436 | 998 | 274 | 4.157 | 440 | 85 |
| Paul | 3,5 | 1.598 | 18,5 | 1.021 | 294 | 12,8 | 415 | 75 |

Cuadro 1. Manantiales de Salinas de Añana. Caudal en l/s. Conductividad en µS/cm. Resto de parámetros en mg/l.

Con respecto a las aportaciones de los manantiales, el rasgo más destacable es la gran constancia en sus caudales, especialmente en los de salinidad más alta.

Otro punto de interés hidrogeológico lo constituye la laguna de Arreo, situada en el extremo Sur del diapiro. Con una extensión aproximada de 4 Ha, alberga un volumen en

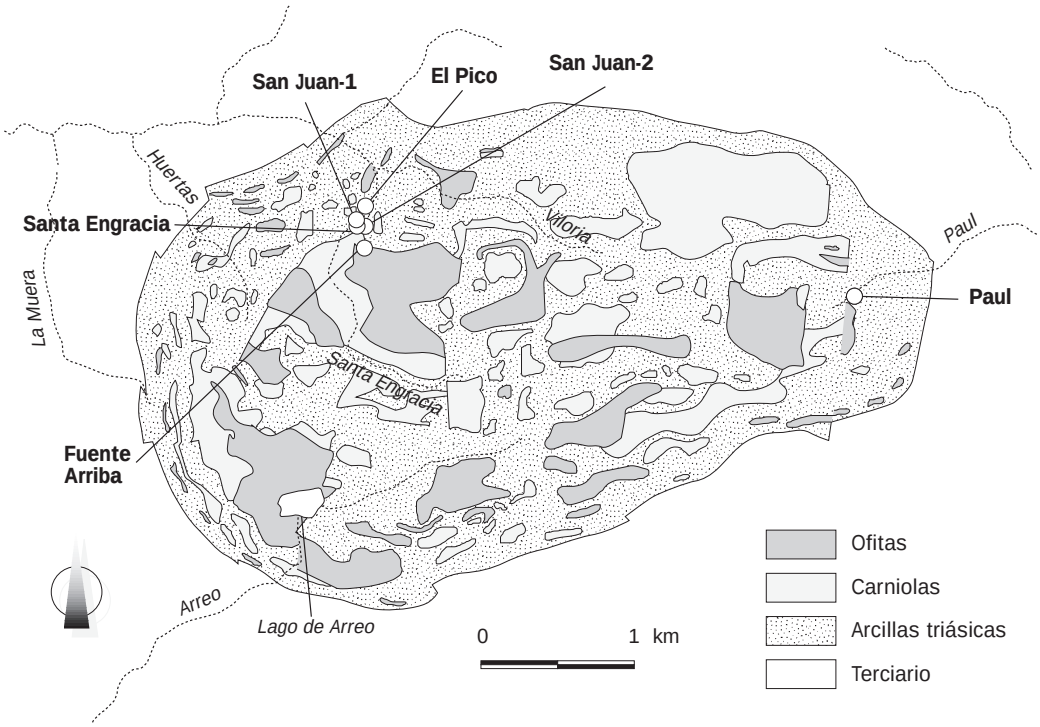



Figura 3. Esquema del diapiro de Salinas de Añana.

aguas medias de algo más de 0,2 Hm³. De acuerdo con la batimetría disponible, el punto más bajo del lago se encuentra aproximadamente 20 m por debajo del umbral de salida. No se tiene constancia, al menos con los aforos diferenciados realizados, de que el lugar actúe como punto de recarga o descarga de los materiales permeables de la zona.

Todo apunta a que su origen es fruto de la subsidencia a la que deben estar sometidos los materiales más competentes de la masa englobada en el diapiro, debido al desalojo en disolución de los materiales solubles. La singularidad de este punto con respecto a este esquema, repetido en otros diapiros de la Comunidad Autónoma del País Vasco, lo constituye el hecho de no encontrarse el lago colmatado de depósitos de limos o arcillas. A pesar de lo antedicho, no se descarta la posibilidad de que exista flujo, de recarga o descarga del sistema.

La caracterización hidroquímica de los manantiales, recogida en el cuadro 1, representa los valores medios de un total de 106 análisis químicos realizados en el período 1991-92.

Las facies resultantes son cloruradas sódicas en los cinco primeros y sulfatada cálcica en el último, Paul, con un contenido apenas reseñable de cloruros. Este y otros resultados analíticos de muestreos en pequeñas surgencias y sondeos distribuidos a lo largo del diapiro, hacen suponer la existencia de una masa de sales cloruradas cuya localización se circunscribe a algún área concreta, a diferencia de los sulfatos cuya presencia parece más homogénea.

Como caracterización general de las aguas asociadas al diapiro, se presentan los valores de conductividad media de los arroyos que parten de él: confluencia de los arroyos Santa Engracia y Viloria 80.000 y 8.000 µS/cm respectivamente, Huertas 1.100 µS/cm, La Muera 2.800 µS/cm, Arreo 1.500 µS/cm y Paul 1.500 µS/cm.

Admitiendo una lluvia útil de 200 mm, el volumen total de recurso implicado resulta de 2,6 Hm³, del cual se estima que un mínimo del 80 % (2 Hm³) se convierte en escorrentía subterránea.

**Resto del dominio**

Comprende las alternancias de areniscas y limos e intercalaciones margosas que constituyen el Terciario continental y ocupan el área centro-occidental del dominio.

Corresponde a una serie de permeabilidad global baja aunque con intercalaciones de litologías, en este caso areniscas, que en condiciones favorables de disposición geométrica, meteorización, etc. pueden desarrollar localmente una permeabilidad más alta. En consecuencia, son frecuentes las pequeñas surgencias, en algunos casos de carácter temporal. Como más significativas, se citan los manantiales Salceda, La Presa y Mendoza, con caudales medios cercanos a 5 l/s.

La hidroquímica de estas aguas se caracteriza por el elevado grado de mineralización y por la diversidad de facies. Aunque en los manantiales con caudales más significativos, como los tres citados, la facies dominante es la bicarbonatada cálcica con contenidos salinos comprendidos entre 500 y 900 mg/l, son muy frecuentes en algunas áreas, como Lantarón, las aguas bicarbonatadas magnésicas. Con una distribución algo más homogénea, se encuentran aguas sulfatadas cálcicas de mineralizaciones superiores a 1.000 mg/l asociadas a los niveles yesíferos presentes en el Mioceno.

Otras facies encontradas guardan relación con causas más específicas, como las sulfatadas sódicas en el aluvial del río Omecillo, en un punto en el que se deja notar la influencia de las aguas provenientes de Salinas de Añana, o las bicarbonatadas sódicas encontradas en la zona de Manzanos, atribuidas en este caso a la presencia de sulfatos sódicos entre las sales que acompañan a los depósitos continentales terciarios.

La evaluación del recurso de agua subterránea asociado a este área del dominio obedece a una estimación del porcentaje de lluvia útil que previsiblemente puede infiltrarse a favor de las litologías que presentan condiciones favorables para ello.

Para el cálculo se han adoptado los siguientes parámetros medios: lluvia útil 150 mm/año, infiltración media extrapolada a toda la superficie considerada del 10% y área de recarga de 140 $km^2$. Resulta, así, un recurso renovable anual de 3 $Hm^3$.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

Considerando únicamente el área no incluida en ninguna de las unidades hidrogeológicas, el aprovechamiento mayoritario se realiza de la manera más convencional, es decir, mediante la captación de manantiales y a través de pequeños sondeos excavados en los aluviales o a favor de las zonas de meteorización más intensa. En todos los casos los caudales utilizados son muy bajos.

En un número más reducido aunque de una importancia relativa superior, empiezan a ser numerosos los sondeos construidos con criterios más propiamente hidrogeológicos. Entre estos se encuentran los descritos en el comentario sobre los conglomerados de Pobes. El destino es mayoritariamente el abastecimiento municipal.

En conjunto, se estima que el volumen total de recurso captado en las surgencias y regulado mediante sondeos se sitúa en el 10% (0,3 $Hm^3$) de los renovables en un año medio.

Como caso singular de aprovechamiento merece recordar el de la explotación de sales a partir de la salmuera del manantial Santa Engracia en Salinas de Añana. El modelo tradicional, de desecación en eras, está en vías de ser sustituido por un proceso industrial que permita la optimización del recurso.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

IGME (1968). Estudio General de la Provincia de Alava.

DFA (1983). Informe geológico de la Unidad Hidrogeológica Terciaria Urbasa - Montes de Vitoria. (CGS).

EVE (1987). Investigación Hidrogeológica del Area de Valdegobia. (GIGSA).

EVE-GV (1987). Síntesis Hidrogeológica de la Comunidad Autónoma del Pais Vasco.

ITGE (1991). Investigación Hidrogeológica del Terciario de la Cuenca Miranda-Treviño. (CGS).

EVE (1992) Investigación de los manantiales de Salinas de Añana. (GIGSA).

DFA (1996). Estudio de Caracterización de Fuentes y Manantiales de Alava.

DFA (1996). Estudio Hidrogeológico del área comprendida desde Oquina a Iturrieta (EUROESTUDIOS).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Santa Engracia | 501210 | 4738425 | 600 | 2 | Aprovechado para producción de sal |
| Paul | 504660 | 4737920 | 665 | 3,5 | Fuente pública |
| El Pico | 501250 | 4738540 | 590 | 2,2 | |
| San Juan-1 | 501195 | 4738460 | 590 | 4 | |
| Fuente Arriba | 501250 | 4738250 | 590 | 0,1 | Aprovechado para producción de sal |
| San Juan-2 | 501230 | 4738425 | 600 | 0,2 | |
| Salceda | 512810 | 4724730 | 620 | 5 | |
| La Presa | 512000 | 4726025 | 465 | 5 | |
| Mendoza | 508980 | 4725125 | 460 | 5 | |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Angosto | 494500 | 4743650 | 537 | 1-5 | Surgente. Abastecimiento Angosto y Villanañe |
| Bellojin | 497388 | 4741881 | 583 | 1-5 | Surgente. Abastecimiento Bellojin y Villamaderne |
| Atiega | 499242 | 4741808 | 586 | 1-5 | Surgente. Abastecimiento Tuesta y Espejo |
| Basquiñuelas | 503180 | 4740650 | 685 | 5 | Abastecimiento Basquiñuelas |
| Pobes | 507210 | 4739766 | 542 | 50 | Abastecimiento Pobes y Anuzita |
| La Sierra | 510250 | 4138005 | 662 | >10 | Abastecimiento de quince localidades |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA URBASA

## GENERALIDADES

Es un conjunto morfoestructural situado al Sur de Vitoria-Gasteiz ocupando buena parte del sector centro-meridional de Alava, entre la Llanada Alavesa y el Dominio Hidrogeológico Sierra de Cantabria (figura 1). Con los límites establecidos, representa un área de aproximadamente 300 km$^2$.




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

Constituye la prolongación occidental de la Sierra de Urbasa en Navarra, configurando las Sierras de Entzia e Izkiz y los Montes de Iturrieta, llegando hasta Zambrana después de atravesar el Condado de Treviño. Este recorrido se caracteriza por presentar lentos aunque progresivos cambios orográficos, coincidentes a gran escala con sucesivas modificaciones estructurales con implicaciones en el funcionamiento hidrogeológico global.

Así, en el extremo oriental los relieves son acentuados, como corresponde a la presencia de materiales competentes, constituyendo una meseta alargada ligeramente deprimida con altitudes entre 900 y 1.100 m. Hacia el Oeste inicia un lento descenso que se incrementa ostensiblemente a partir del monte Kapildui.

Hidrográficamente, el conjunto de sierras que configuran la unidad actúa de divisoria entre el río Zadorra, al Norte, y los ríos Ega e Inglares al Sur.

A efectos de descripción de las características más relevantes de la unidad, se han establecido como extremos oriental y occidental los límites administrativos con Navarra y Treviño respectivamente. Su prolongación en el área Ocio-Peñacerrada se integra en el contexto de la Unidad Hidrogeológica Sierra de Cantabria.

## GEOLOGIA

Desde el punto de vista geológico, el área se caracteriza por una notable diversidad motivada por la presencia de continuos e importantes cambios laterales de facies, discordancias y lagunas estratigráficas, originadas por su especial situación paleogeográfica cercana al borde de la cuenca y por los movimientos halocinéticos condicionados por el Trías Keuper evaporítico. Afloran materiales cuyas edades abarcan desde el Triásico hasta el Cuaternario con una gran variedad de litologías y facies.

El **Triásico** aparece representado en el diapiro de Maeztu donde exhibe, en este caso, además de las arcillas y yesos habituales (10) numerosos fragmentos de calizas laminadas atribuibles al Muschelkalk (9).

El **Cretácico superior (Campaniense)** aflora a ambos lados de la estructura sinclinal sobre la que se define la unidad. Los niveles inferiores están constituidos por una secuencia de margas y calizas arenosas (25, 26, 79, 84) y el tramo superior está definido por una serie detrítico-terrígena (27, 85) con variable proporción de limos según su posición paleogeográfica. Los suaves buzamientos y la alternancia de niveles permeables y semipermeables de esta última serie origina, en el flanco Sur, un área con características morfológicas propias, la llanura de Izkiz. Por su particular configuración, es frecuente en períodos de aguas altas la presencia de amplias zonas encharcadas.

El **Maastrichtiense** aparece como un tramo de potencia variable, discordante sobre las series anteriores, constituyendo la base sobre la que se disponen las dolomías con las que se inicia la sedimentación terciaria. Está constituido por un conjunto de calizas de tonos claros (162) con abundante fauna (orbitóididos, lamelibranquios,

etc.), estratificadas en bancos decimétricos que a techo se vuelven masivas. Hacia el Oeste va aumentando la proporción del contenido en terrígenos, dando lugar a un conjunto de litologías entre las que llega a faltar el componente carbonatado (163, 164, 165).

El **Terciario** muestra una mayor representación en comparación con el resto de las litologías presentes, aflorando prácticamente de forma continua a lo largo del eje de la unidad. Incluye materiales de facies marinas y continentales, siendo las primeras las predominantes en las zonas central y oriental. Se inicia con la sedimentación paleocena, caracterizada por formaciones carbonatadas de aspecto masivo que dan lugar a los crestones que de manera continua definen el entorno de la Sierra de Urbasa y sus estribaciones occidentales.

El Paleoceno comienza con un potente tramo de dolomías y calizas dolomíticas (166) a veces alteradas en superficie, lo que les confiere un aspecto margoso. El tramo superior (Thanetiense) está esencialmente constituido por un conjunto de calizas y dolomías cuyas potencias pueden variar significativamente, principalmente por efecto de fenómenos diapíricos. Se trata de una secuencia de calcarenitas bioclásticas (167), calizas arenosas y dolomías blanquecinas ricas en microfauna, con intercalaciones ocasionales de arcillas y areniscas calcáreas de grano fino (168). El Paleoceno culmina con una serie fundamentalmente terrígena (Thanetiense superior) de escasa potencia representada por una secuencia prácticamente azoica de arenas limolíticas, con intercalaciones arcillosas y microconglomeráticas (170), que vienen siendo objeto de intensa explotación en los alrededores de Laminoria. A excepción de este último nivel las formaciones marinas del Paleoceno pasan progresivamente a facies de tipo continental a partir del sector de Loza, hacia el Oeste.

Los sedimentos eocenos, de presencia más restringida y ocasionalmente discordantes sobre la serie precedente, incluyen calcarenitas y calizas bioclásticas (175), calizas con nummulites y dolomías (178), responsables de los relieves característicos de la Sierra de Entzia y su prolongación en la Sierra de Urbasa, además de un conjunto de conglomerados y brechas (177, 179) y margocalizas (176).

El conjunto oligomioceno ocupa el núcleo sinclinal en el área considerada como unidad hidrogeológica. Está constituido por una sucesión de margas (182) que incluyen cuerpos conglomeráticos indentados (181) de extensión lateral variable. La diversidad de sedimentos se completa con series que incluyen limolitas, conglomerados, margas (183), calizas y margocalizas lacustres (184).

El **Cuaternario** está constituido básicamente por dos tipos fundamentales de depósitos: coluviales y aluviales, además de otros de carácter antropogénico que localmente pueden revestir cierta importancia, como los asociados a las explotaciones de Laminoria. Los primeros son depósitos de pie de monte y corresponden a brechas angulosas (201) y a recubrimientos inestables debidos a la erosión y desprendimiento de bloques en zona de fuerte pendiente. Los aluviones incluyen los depósitos de ríos (200), tanto actuales como los distintos niveles de terrazas (197) de las que se conservan escasos afloramientos. Se trata de gravas heterométricas y arenas incoherentes desigualmente distribuidas entre las que se intercalan delgados tramos arcillosos.

Desde el punto de vista estructural, la unidad se integra en su totalidad en el Sinclinal de Urbasa-Treviño. Se trata de una suave estructura sinclinal, relativamente estrecha en su borde oriental, que se ensancha hacia el Oeste hasta alcanzar una veintena de kilómetros en el borde occidental, en la transversal de Zambrana-Subijana de Alava. Sus flancos poseen buzamientos bajos (del orden de 10° a 15°) en la mitad septentrional, si bien en el sector meridional se encuentran algo más acusados, lo que le confiere en el sector medio-occidental una ligera asimetría.

Además pueden mencionarse, como elementos peculiares, las estructuras diapíricas de Maeztu y Treviño, esta última no aflorante en superficie.

Esta disposición estructural es de especial relevancia a la hora de definir diferentes sectores hidrogeológicamente independientes así como para explicar el funcionamiento de la unidad en profundidad.

## HIDROGEOLOGIA

### *ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

A partir de las características litológicas y estructurales de los materiales aflorantes y del conocimiento que se posee de los puntos de agua a ellos asociados, se han considerado cuatro tipos de formaciones con distinto comportamiento

hidrogeológico. Estas a su vez integran un determinado número de horizontes cuya única relación, al margen de su posición cronoestratigráfica en la serie, es la de poseer una notable afinidad en cuanto al tipo de permeabilidades se refiere. Esta separación, en grupos de diferente permeabilidad, a la postre posibilita la definición de los principales aspectos hidrogeológicos de la unidad y su separación en subunidades independientes.

**Materiales de permeabilidad alta.** Bajo esta categoría se han incluido las formaciones fundamentalmente carbonatadas del Cretácico superior y del Terciario. Constituyen los niveles acuíferos principales de la unidad definiendo un conjunto de notable continuidad lateral y altamente permeable en el que se integran las calizas y conglomerados del Maastrichtiense (162, 165) y las calizas y dolomías (166, 167, 170, 175, 178) del Terciario marino. Poseen una mayor representación en la mitad oriental de la Sierra de Entzia, que disminuye significativamente a partir del diapiro de Maeztu hacia el interior de la depresión de Treviño, llegando incluso a desaparecer al Norte de esta última localidad por efecto de la discordancia progresiva oligomiocena.

En la tipología de acuíferos originados por estas formaciones predominan los de flujo difuso y mixto, fruto de la porosidad primaria asociada a los materiales con componente detrítico y de la secundaria originada en los procesos de dolomitización. No obstante, el término de más peso en el funcionamiento de la unidad (167) origina un acuífero que puede catalogarse como kárstico *sensu stricto*.

Otras litologías que pertenecen a esta categoría pero que, por diversas razones, no merecen consideración semejante son los materiales carbonatados triásicos (9) y eocenos (179) además de los depósitos aluviales (197, 200) y coluviales (201). Aun así, desempeñan un papel, junto con litologías semejantes de permeabilidad global inferior, con implicaciones claras en el funcionamiento hidrogeológico de la unidad.

**Materiales de permeabilidad media.** Se han considerado los materiales detríticos y carbonatados de porosidad mixta (intersticial y fracturación) que sin embargo presentan valores de permeabilidad cuantitativamente más bajos. Mayoritariamente están representados por los niveles detríticos, básicamente conglomeráticos (168, 177, 181) del Terciario continental aflorantes principalmente hacia el núcleo del sinclinal de Urbasa, entre Arluzea y el límite oriental de la unidad, y en mucha menor proporción al Sur de la unidad en el sector de Peñacerrada-Baroja. Igualmente se incluyen las formaciones del Campaniense superior terrígeno (25, 27, 85) y del Maastrichtiense arenoso (163, 164), que se disponen a uno y otro lado de la mencionada estructura sinclinal por debajo de los niveles carbonatados que constituyen el acuífero principal de la unidad.

Los niveles conglomeráticos, por su textura heterogénea y, en ocasiones, altos índices de porosidad, pueden constituir excelentes rocas almacén dado que su permeabilidad primaria puede localmente estar incrementada por la fracturación. No obstante, el carácter en ocasiones lenticular de los cuerpos y el hecho de hallarse englobados en materiales limoarenosos limitan en general su interés, dando lugar a la existencia de paquetes productivos de moderado espesor. El resto de los materiales está caracterizado por una serie detrítica de grano fino que varía en detalle de uno a otro punto tanto en su composición como en sus espesores. En general se trata de unas secuencias en las que alternan materiales arenosos localmente muy permeables y depósitos limosos y limoarcillosos, lo que condiciona la existencia de numerosos niveles acuíferos productivos.

**Materiales de permeabilidad baja.** Constituyen afloramientos dispuestos entre las formaciones precedentes y están representados por las sucesiones esencialmente terrígenas y margocalcáreas del Mesozoico y Terciario. Dentro de esta categoría hidrogeológica, se han incluido los materiales correspondientes al Campaniense inferior (26) que afloran al Sur de la unidad constituyendo el nivel de base. De igual modo se han considerado los niveles no conglomeráticos del Eoceno-Oligoceno (176, 183, 184), cartográficamente dispuestos de Este a Oeste siguiendo el eje principal de estructura, por encima del acuífero principal.

**Materiales de permeabilidad muy baja**. Bajo esta categoría se recogen los materiales francamente impermeables cuyo único interés es básicamente el servir de elementos confinantes o individualizar determinados sectores en el interior de unidad. Se incluyen los términos evaporíticos y las arcillas (10) del Trías diapírico, así como los materiales de desigual edad aunque litología semejante del Campaniense (79, 84), constituyendo el sustrato impermeable de la unidad, y del Oligoceno-Mioceno (182) situados a techo del acuífero principal.

*ZONAS DE RECARGA Y DE DESCARGA*

La recarga de las principales formaciones acuíferas fundamentalmente corre a cargo de la precipitación directa del agua de lluvia sobre sus superficies aflorantes, pudiendo existir en determinados momentos recargas adicionales debidas a escorrentías superficiales procedentes de áreas periféricas, recargas inducidas relacionadas con flujos desarrollados en materiales infrayacentes e incluso recargas a través de los lechos de los principales cursos de agua en condiciones de influencia.

La descarga de los acuíferos en régimen natural se efectúa principalmente a través de los manantiales situados en sus bordes de baja permeabilidad y, en zonas muy concretas, de forma directa a la red hidrográfica. Tal es el caso del río Berrón a su paso por el desfiladero de Leorza en donde su caudal de base sufre un incremento significativo al atravesar el borde medio-occidental de la Subunidad Igoroin en su camino hacia Maeztu, hecho especialmente patente durante la época estival. Esta situación hidráulica se invierte en momentos de grandes aportaciones coincidiendo con períodos de crecidas.

De los aproximadamente 400 puntos de agua conocidos, sólamente se han considerado los más representativos cuya localización en la cartografía, en una primera instancia, permite establecer los bordes de las formaciones acuíferas así como las principales direcciones del flujo subterráneo.

Los puntos de agua son en general de naturaleza perenne, caso de manantiales relacionados con el drenaje de materiales detríticos y con niveles acuíferos confinados, o bien de régimen temporal, ligados a las formaciones más karstificadas.

Los principales manantiales se sitúan en la mitad oriental de la unidad en relación con el drenaje de la Sierra de Entzia. Entre las surgencias más importantes cabe señalar en su flanco septentrional el nacedero del **Zadorra** (40 l/s de caudal medio) que al igual que otros situados hacia el Oeste, en la alineación de los Montes de Vitoria, constituyen un nutrido número de manantiales de borde cuyas aportaciones son directamente drenadas por el río Zadorra. Por el Sur los mecanismos de descarga son en cierto modo comparables, si bien en algunos puntos las surgencias están controladas por la presencia de accidentes mecánicos (fallas) originados por esfuerzos distensivos que dieron lugar a la aparición de grandes bloques ligeramente basculados entre sí, especialmente en el extremo oriental de la unidad. Tal es el caso de los manantiales **Zarpia** (caudal medio conjunto de 400 l/s), principales surgencias de la Subunidad Iturrieta, cuya existencia está relacionada con la falla normal de Contrasta. Estos manantiales muestran una gran irregularidad, como corresponde a surgencias asociadas a acuíferos kársticos *sensu stricto*.

En situación análoga se encuentra algo más al Oeste, bajo condiciones mixtas, el importante nacedero de **Irazulo** cuyas descargas volumétricamente elevadas (300 l/s de caudal medio) son recogidas por el arroyo Sabando que vierte sus aguas a la altura de Antoñana al río Berrón afluente del Ega. Asimismo, se han puesto de manifiesto en diversos puntos del área zonas de variable extensión y drenaje lento, con surgencias de tipo difuso, especialmente numerosas en el sector Izkiz donde aparecen asociadas a los niveles detríticos del Campaniense.

Por otra parte, la propia estructura de la unidad condiciona numerosos puntos de descarga hacia el interior del sinclinal. Quizá el más espectacular sea el manantial **Igoroin** y el conjunto de surgencias asociadas (300 l/s de caudal medio) localizadas en la cabecera del barranco del mismo nombre cuya existencia se debe a un repentino descenso del nivel topográfico relacionado con la erosión diferencial del núcleo del sinclinal motivada por el encajamiento de la red hidrográfica en la dirección Este-Oeste.

Otros puntos representativos son el manantial **Laminoria**, con una aportación media de 40 l/s, e **Iturriotz** (50 l/s), este último condicionado por la presencia del diapiro de Maeztu.

Igualmente cabe mencionar la existencia de manantiales con salidas en carga, asentados sobre los niveles de muy baja permeabilidad de la mitad occidental de la depresión de Treviño que más bien parecen corresponder a flujos verticales procedentes de niveles acuíferos subyacentes.

*SUBUNIDADES. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS. FUNCIONAMIENTO*

El área Urbasa-Treviño está constituida por un conjunto de materiales permeables que incluye diversos tramos litológicos, de naturaleza carbonatada y detrítica, estructuralmente integrado en el amplio sinclinal de Urbasa-

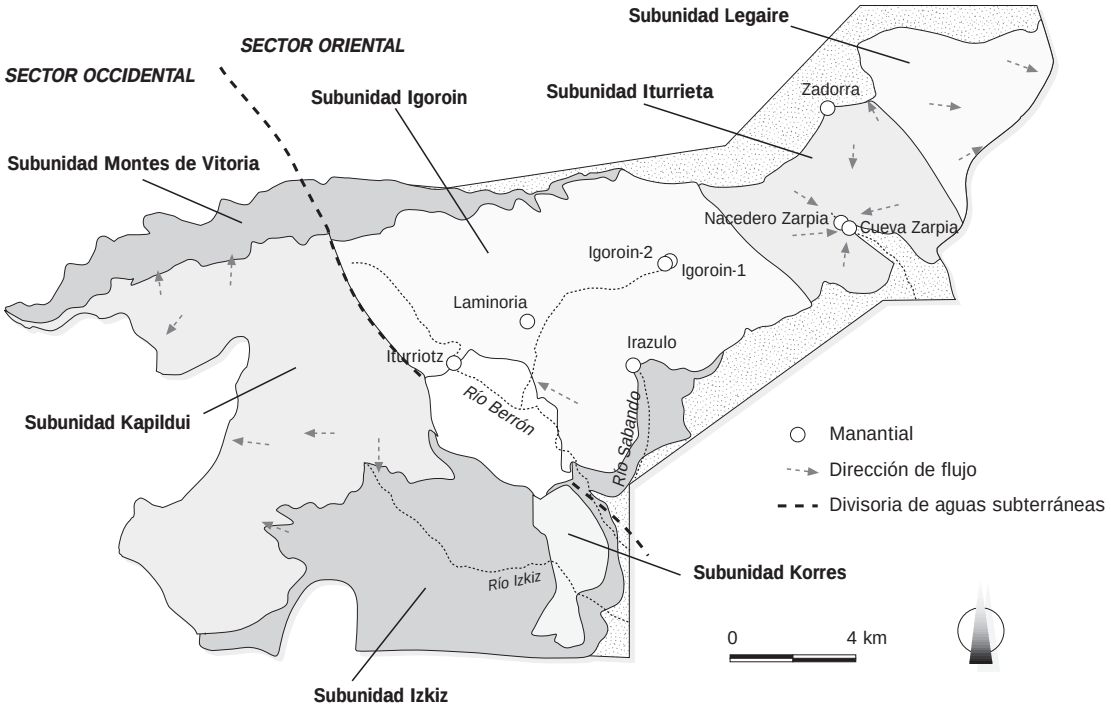



Figura 2. Esquema de subunidades.

Treviño, de dirección aproximada Este-Oeste, interrumpido por la estructura diapírica de Maeztu. Los términos carbonatados poseen su máxima representación en el sector oriental, donde prácticamente afloran de forma continua, configurando los principales relieves entre el puerto de Azazeta y el límite con Navarra.

En toda esta área se comportan como un acuífero en general libre, si bien por efecto del progresivo basculamiento de toda la estructura hacia el Oeste, en el que indudablemente jugó un papel preponderante el empuje ascensional condicionado a nivel del Trías Keuper, se produce la individualización en dos sectores hidrogeológicos, oriental y occidental (figura 2).

En efecto, el abombamiento de dirección aproximada NO-SE ligado a la estructura diapírica de Maeztu condiciona la existencia de una división hidrogeológica que da lugar al desarrollo de flujos en sentidos opuestos. En dirección Este, hacia los puntos de descarga descritos y en su extremo oriental en conexión con la Unidad Urbasa en Navarra, y en dirección Oeste hacia Treviño. Este último flujo, a partir del monte Kapildui, pasa a condiciones de confinamiento al disponerse inmediatamente por encima los materiales terrígenos del Terciario continental de la depresión de Treviño. El resultado en este último tramo es la aparición de dos bandas con afloramientos de similares características, convergentes hacia el núcleo de la estructura principal y conectadas hidráulicamente en profundidad, dando lugar a condiciones de artesianismo en toda la depresión de Treviño. Sin embargo, tal como se ha comentado, el límite establecido para la descripción de la unidad coincide con el administrativo.

**Sector Oriental**

Corresponde a la franja estructuralmente más alta de la unidad, asentada entre la cuenca del río Berrón y Navarra.

A gran escala se encuentra constituido por gruesos paquetes calizo-dolomíticos del Cretácico superior y Terciario marino y en menor proporción por los niveles del Terciario continental cartográficamente dispuestos de Este a Oeste siguiendo el eje principal de la estructura. En realidad, ambas formaciones presentan notables convergencias faciales, como corresponde a un parecido

proceso sedimentológico dilatado en el tiempo, si bien en los últimos términos se aprecia un predominio prácticamente absoluto de las fracciones groseras (conglomerados). En este sentido, dada su particular posición puede afirmarse que forman un cuerpo único con los niveles carbonatados del Terciario marino ya que básicamente están constituidos por conglomerados heterométricos, cementados por carbonato cálcico, con parecidos procesos de fracturación y disolución que las calizas infrayacentes, lo que provoca que el agua de precipitación se infiltre fácilmente incorporándose finalmente al nivel acuífero principal.

Además debe resaltarse que se trata de un conjunto de carácter en general libre, caracterizado por una elevada tasa de infiltración, con una compleja red de conductos motivada por el desarrollo de procesos de karstificación, controlados por la fracturación, que dan lugar a la existencia de componentes transmisivas privilegiadas y, en consecuencia, a la presencia de un reducido número de manantiales, con caudales de base normalmente altos, que representan los principales puntos de emergencia.

Con independencia de la Subunidad Korres, cuya localización se debe a la acción combinada de la colindante estructura diapírica y del lineamiento de Maeztu en su prolongación hacia el Sur, el sector hidrogeológico oriental incluye cuatro subunidades sumamente compartimentadas con unas relaciones mutuas complejas, cuya separación ha sido posible gracias a la aplicación del análisis estructural a la fracturación existente completada con la realización de ensayos con trazadores. En este sentido el tratamiento global de los resultados obtenidos mediante estas técnicas complementarias junto a la información hidrológica disponible a nivel de entradas y salidas (precipitaciones, series continuas de caudales en las principales surgencias y balances) han facilitado enormemente la interpretación global permitiendo un detallado conocimiento de la estructura y del funcionamiento hidrogeológico del sector cuyo modelo conceptual se muestra en la figura 3.

**Subunidad Legaire**

Se sitúa en el extremo oriental del sector y posee una superficie, en suelo alavés, de 25 km$^2$. Geológicamente se integra en un suave sinclinal, con buzamientos no superiores a 10°, que morfológicamente da lugar a una amplia y elevada plataforma estructural (Llanada de Uraska). En el flanco Norte se observan pequeñas estructuras de plegamiento subparalelas, que muestran, junto con la principal, un progresivo cambio de dirección (virgación de Uraska) y un ligero cabeceo que condiciona el lento hundimiento de todo el conjunto y el sentido de drenaje general hacia el Este. Esta divisoria hidrogeológica se ha definido siguiendo los puntos de máxima curvatura en las estructuras.

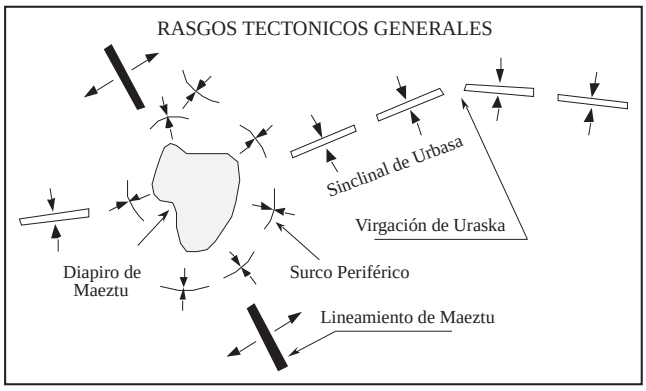
Los niveles acuíferos están constituidos por el complejo calizo-dolomítico del Paleoceno-Eoceno. La recarga se produce en exclusiva por precipitación del agua de lluvia y el drenaje se efectúa débilmente a través de escasos manantiales superficiales y, mayoritariamente, hacia el Este, recargando a la continuación de la unidad hidrogeológica en Navarra.

**Subunidad Iturrieta**

En continuidad lateral con la Subunidad Legaire y encajada entre ésta e Igoroin la Subunidad Iturrieta ocupa una superficie de 26,8 km$^2$. Desde el punto de vista geológico se integra en la mitad medio-oriental del sinclinal de Urbasa y está caracterizada por la compartimentación de grandes bloques de naturaleza carbonatada cuya disposición, según un esquema tectónico de *horst/graben*, condiciona la existencia de una divisoria hidrogeológica (*horst* de Atxurri) que la individualiza de la colindante Subunidad Igoroin.

Las formaciones acuíferas están representadas básicamente por los niveles detrítico-carbonatados del Maastrichtiense y Paleoceno y, en menor proporción por los niveles conglomeráticos, igualmente carbonatados, del Mioceno localizados en el núcleo de la estructura que, en general, muestran un grado de fracturación y de karstificación comparativamente menor al desarrollado en el acuífero principal. El conjunto tiene por nivel de base o substrato impermeable los niveles margosos del Cretácico superior e internamente aparece seccionada por el accidente de Contrasta. Se trata de una falla normal que lateralmente, por el Este, limita el bloque de Eztibazterra y que condiciona la existencia de los principales puntos de drenaje de la subunidad, manantiales Zarpia.

Los recursos subterráneos proceden en exclusiva de la infiltración directa del agua de lluvia sobre sus afloramientos. A pesar de estar caracterizada por un horizonte permeable de unos 200 m de potencia, su débil estructuración,



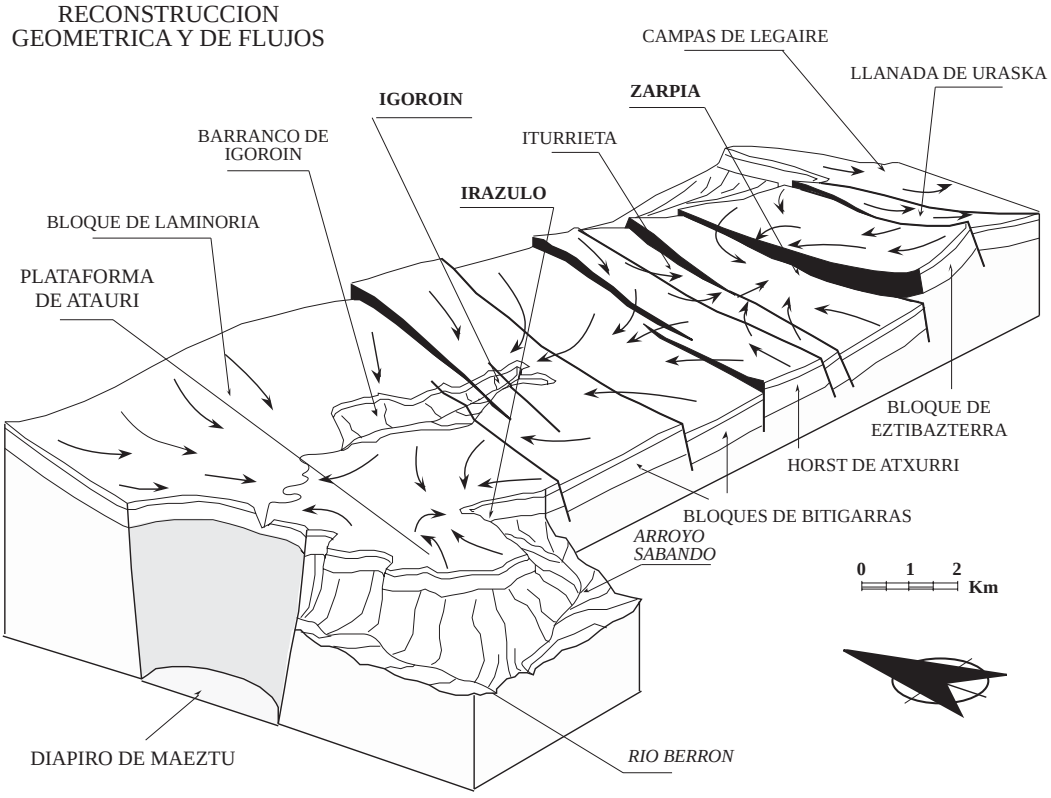




Figura 3. Estructura de la Sierra de Entzia.

con suaves buzamientos hacia el eje del sinclinal, y su disposición espacial, compartimentada y en cierto modo "colgada", son indicativas de su bajo poder regulador, puesto de manifiesto además por el análisis de las series de caudales de la estación de aforos ubicada en Contrasta para el control de las aportaciones de los manantiales Zarpia. Estos manantiales presentan un coeficiente de agotamiento entre 0,024 y 0,04 días$^{-1}$, significativo de su rápido vaciado.

Una pequeña parte de sus recursos (1,4 Hm$^3$/año) es drenada por el conjunto de manantiales localizados en el contacto septentrional entre los que cabe citar el nacedero del Zadorra. En general dichos manantiales presentan una gran irregularidad y están caracterizados por sus rápidas respuestas a la precipitación, razón por la que se les puede considerar como *trop-pleins* de borde cuyo funcionamiento estaría asociado a situaciones de gradientes elevados en el

acuífero. La mayor parte de sus recursos (12,6 $Hm^3$/año), se drenaría, como ya se ha esbozado, por la zona de surgencias condicionadas por la falla de Contrasta, en concreto por los manantiales Zarpia, cuyas aportaciones pasan a formar parte del arroyo Biarra, afluente del Ega.

**Subunidad Igoroin**

De parecidas características estructurales a la Subunidad Iturrieta, de la que puede considerarse como su prolongación, ocupa la mayor parte de los afloramientos del sector oriental de la unidad hasta su límite con la Subunidad Kapildui, de la que se independiza hidrogeológicamente por el lineamiento de Maeztu. Tiene una superficie de 78,7 $km^2$.

Su borde suroccidental aparece sellado por los niveles triásicos de la estructural diapírica de Maeztu, situándose los acuíferos en todo momento sobre los sedimentos margosos y limoarenosos del Cretácico superior que afloran a ambos lados de la estructura sinclinal. Geológicamente, se encuentra compartimentada por sucesivos bloques limitados por fallas normales y ligeramente basculados hacia el Sur que condicionan la sedimentación de los materiales del Terciario continental en el núcleo de la estructura. Tiene una mayor representación en el área de Laminoria donde configuran una pequeña cubeta, con buzamientos hacia el interior de la misma, limitada parcialmente, por el Sur, por el diapiro de Maeztu.

Internamente se encuentra seccionada por un profundo barranco (barranco de Igoroin), producto del encajamiento de la red fluvial a favor de un sistema de fracturas distensivas subparalelas al eje de plegamiento, en cuyo fondo, ya próximo a su cabecera, se encuentran dos de las principales surgencias (Igoroin) de la subunidad que dan lugar al nacimiento del río Berrón. Los principales niveles acuíferos están representados por la sucesión detrítico-carbonatada Maastrichtiense-Paleoceno y por los materiales de naturaleza variable de edad miocena, entre los que predominan los de tipo conglomerático, que forman un conjunto en el que el sentido general del flujo subterráneo, a partir de la divisoria con la Subunidad Iturrieta (*horst* de Atxurri), se realiza hacia el Oeste.

Sin embargo, su funcionamiento dista de ser el correspondiente a un conjunto homogéneo y permeable. La información sobre sus parámetros hidráulicos característicos se limita a la aportada por el sondeo de explotación Zikujano-A y los piezómetros Zikujano-1 y 2, perforados en su entorno, todos ellos de carácter surgente en períodos de aguas altas. Los valores encontrados en el nivel acuífero objetivo de la perforación, dolomías (166) del Paleoceno inferior, revelan una clara situación de confinamiento ($T=40\ m^2$/día, $S=3,5 \times 10^{-4}$) que pasa a ser libre en los niveles permeables más altos encontrados: $T=20\ m^2$/día, $S=1,5 \times 10^{-2}$ en las calizas arenosas y arenas (170) del Paleoceno superior. El sondeo, mejorada notablemente su productividad tras una acidificación, aporta un caudal de explotación de 70 l/s.

La recarga se debe a la precipitación del agua de lluvia sobre sus afloramientos. El drenaje es disperso, con varios puntos significativos entre los que destacan las surgencias Igoroin con caudal conjunto de 300 l/s, e Irazulo, con una aportación similar y características semejantes a los manantiales Zarpia. De hecho el manantial Irazulo presenta un coeficiente de agotamiento entre 0,013 y 0,027 $días^{-1}$, próximo al de Zarpia. Del resto de los puntos inventariados cabe destacar Iturriotz (50 l/s) en el contacto con el diapiro y Laminoria (40 l/s). Existe, además, una descarga directa al río Berrón cuantificada en 3 $Hm^3$/año que justifica el drenaje del sector más meridional de la subunidad, el correspondiente a la plataforma de Atauri.

El estudio de las curvas de recesión de algunas de las surgencias principales ha permitido constatar la evolución de la tipología del acuífero, en tránsito del tipo *sensu stricto* en el extremo oriental, representado por Zarpia, hacia sectores progresivamente más inerciales como el correspondiente a esta subunidad y que, como se detallará más adelante, es aún más acusado en el sector occidental de la unidad.

**Subunidad Korres**

Constituye una pequeña subunidad, de 8,8 $km^2$, situada a caballo entre el sector oriental y occidental de la unidad e integrada en su totalidad en la cuenca del río Izkiz, sirviendo, parte de su borde oriental, de divisoria de la cuenca del río Berrón. Desde el punto de vista geológico puede considerarse como prolongación de la Sierra de Entzia, actualmente aislada por efecto de la denudación, prácticamente rodeada por los niveles del Campaniense superior, excepto al Norte donde afloran los materiales triásicos de la estructura de Maeztu.

Los principales niveles acuíferos están constituidos por las calizas y dolomías del Maastrichtiense, del Paleoceno, que incluye el Danomontiense y el Thanetiense inferior, y del Eoceno, este último separado por un nivel detrítico de arenas y areniscas conglomeráticas del Thanetiense superior que, en general, muestran un grado de fisuración y de karstificación comparativamente menor que sus homólogos de las subunidades integrantes del sector oriental.

Hidrogeológicamente, pese a situarse sobre los sedimentos de porosidad restringida del Campaniense superior de la zona de Izkiz, parece individualizarse de éstos, como así lo confirman los numerosos manantiales situados en sus bordes, constituyendo en principio una subunidad con entidad propia, de carácter libre. En cualquier caso, el drenaje mayoritario se realiza de forma directa al río Izkiz a su paso por la subunidad, no conociéndose surgencias importantes al estar su trayecto ocupado en gran medida por un pequeño embalse de regulación con fines hidroeléctricos.

**Sector Occidental**

Comprende la parte de la unidad situada entre la estructura diapírica de Maeztu y Treviño y se encuentra limitada, al Norte, por la Llanada Alavesa y, al Sur, por la Unidad Hidrogeológica Sierra de Cantabria, de la que queda individualizada por los niveles margosos del Campaniense inferior. Hidrológicamente sus afloramientos se reparten básicamente entre las cuencas de los ríos Izkiz y Ayuda. Incluye tres subunidades: Montes de Vitoria, Kapildui e Izkiz. Dada la interrelación existente, se describen conjuntamente.

Este sector constituye un conjunto de afloramientos, de 167 km$^2$ de superficie, de desigual permeabilidad y naturaleza, con litologías que van desde areniscas de grano fino hasta calizas y dolomías bien karstificadas. Tienen como sustrato impermeable las margas del Campaniense inferior. Estructuralmente forma parte de la prolongación occidental del sinclinal de Urbasa el cual muestra una acusada asimetría que se manifiesta por la seriación litológica de los materiales que lo integran.

El nivel acuífero inferior está representado por los sedimentos detríticos del Campaniense superior y, ocasionalmente, del Maastrichtiense, presentes en ambos flancos de la estructura principal, cuyas superficies aflorantes corresponden a las subunidades Montes de Vitoria, al Norte, e Izkiz al Sur. Litológicamente está definido por una serie detrítico-terrígena, con un mayor espesor en Ullívarri de los Olleros y en la zona de Izkiz, con potencias que pueden alcanzar los 500 m, que lateralmente disminuyen, llegando incluso a desaparecer por efecto de una discordancia condicionada por el desarrollo de un tectonismo sinsedimentario durante el Terciario.

Mayoritariamente los materiales que lo componen poseen permeabilidad media, por porosidad intersticial y están representados por areniscas calcáreas y arenas, escasamente clasificadas, que albergan ocasionalmente niveles limoarenosos, pudiendo localizarse hacia su parte alta algunos bancos lenticulares, de carácter dolomítico, que anuncian el paso a las condiciones de sedimentación marina instauradas a partir del Maastrichtiense y que se prolongaron durante el Paleoceno. Pese a poseer unos valores de permeabilidad y una capacidad de retención cuantitativamente inferior a la del acuífero carbonatado suprayacente, con el que guarda estrechas relaciones verticales, no por ello deja de tener un enorme interés hidrogeológico ya que sus materiales contribuyen a la recarga general de la cuenca de Treviño. En efecto, además de los afloramientos presentes en el borde Norte, en el flanco meridional (Subunidad Izkiz) los niveles acuíferos constituyen una extensa llanura estructural con una elevada capacidad de absorción del agua de lluvia cuyos recursos, en su mayor parte drenan hacia la cuenca del río Izkiz.

El nivel acuífero intermedio, y principal del Sector Occidental, está constituido por los materiales calizo-dolomíticos del Paleoceno los cuales forman un conjunto altamente permeable en comunicación vertical con el acuífero detrítico de Izkiz-Montes de Vitoria. Constituye la Subunidad Kapildui. Dichos materiales muestran una intensa fracturación y karstificación, en particular en las elevaciones existentes en su extremo oriental, que da lugar a morfologías de tipo ruiniforme análogas a las reconocidas en el área de la Sierra de Entzia. Sus afloramientos se extienden a lo largo de los flancos de la estructura principal, presentando en todo momento un carácter libre, y evolucionan hacia el interior, con buzamientos opuestos, para pasar progresivamente a condiciones de confinamiento al situarse por encima los niveles del Terciario continental de la depresión adyacente. Presenta un espesor medio de unos 150 metros que, al igual que los niveles campanienses subyacentes muestran una reducción lateral, hacia el Oeste, que se hace especialmente patente en los paquetes carbonatados

localizados en el borde Sur de la unidad al Oeste de la localidad de Laño.

El nivel acuífero superior está representado por los depósitos detríticos de permeabilidad media del Terciario continental, igualmente integrantes de la Subunidad Kapildui. Está constituido por una sucesión discordante con predominio de conglomerados calcáreos asociados a abanicos aluviales proximales que hacia el techo da paso a una serie terrígena de compleja geometría, con importantes cambios laterales de facies, que incluye desde conglomerados hasta intercalaciones de calizas lacustres, si bien son predominantes los términos finos, básicamente areniscas calcáreas. A pesar de mostrar una menor potencialidad hidrogeológica presenta, no obstante, un notable interés ya que sirve de horizonte semiconfinante del nivel acuífero principal contribuyendo de este modo a su recarga subterránea.

El drenaje se efectúa mediante los numerosos manantiales existentes tanto en el interior como en los bordes de la subunidad y de forma difusa a la red hidrográfica, existiendo una cierta transferencia de recursos a nivel de cuencas. Además, cabe reseñar la existencia de un determinado número de surgencias situadas hacia la parte baja de la depresión de Treviño que muestran una gran regularidad (salidas en carga) y que, aparentemente, se encuentran asociadas a los materiales de más baja permeabilidad del Terciario continental. En general, estos manantiales poseen unos caudales que no se corresponden con el entorno hidrogeológico en el que se encuentran, e invariablemente presentan unas características físico-químicas anómalas, con altos contenidos en sales disueltas, principalmente magnesio y sulfatos.

Así mismo, sus posiciones en superficie se alinean en direcciones predominantes NE-SO, coincidentes con la del abarrancamiento del flanco septentrional, el cual parece estar relacionado con la activación tardía de accidentes que condicionaron la deposición y distribución de los sedimentos de la depresión de Treviño durante el Terciario. Por estas razones es muy probable que dichos manantiales formen parte del drenaje, lo que indudablemente lleva a considerar un flujo regional de todo el conjunto hacia el Oeste, cuya existencia estaría asociada a un flujo vertical, desarrollado a favor de los accidentes profundos, ya mencionados, de acuerdo con un clásico dispositivo de artesianismo, en el que jugaría un papel preponderante la presencia de la estructura diapírica de Treviño.

Este hecho queda corroborado por la existencia de algunos sondeos petrolíferos y de investigación realizados años atrás en Treviño en los que se atravesó buena parte de los acuíferos descritos y en los que se dan igualmente circunstancias artesianas. El análisis isotópico de muestras de agua recogidas en algunos de ellos poseen unos contenidos en tritio muy bajos, en especial si se comparan con los correspondientes a surgencias asociadas a los acuíferos kársticos del Sector Oriental, en los que tiene lugar una rápida renovación de los recursos subterráneos. Estos datos, indicativos de aguas recargadas antes de los años cincuenta, apoyarían la existencia del flujo regional antes descrito.

*BALANCE HIDRICO*

Se aborda el estudio de cada uno de los componentes que intervienen en el balance hídrico al objeto de disponer de un conocimiento lo más ajustado posible de los recursos interanuales a nivel de subunidades y para el conjunto de la unidad. Morfológicamente la unidad constituye una amplia banda de relieves topográficos desigualmente prominentes perfectamente delimitada, al Norte, por la Llanada Alavesa y al Sur por los valles de la comarca de la Montaña Alavesa y por la Sierra de Cantabria. En consecuencia, sirve de cabecera de diversas cuencas hidrográficas, algunos de cuyos ríos internamente la drenan. Aparte de la cuenca del Zadorra, cuyo río se origina bajo los escarpes septentrionales de la Sierra de Entzia y que posteriormente discurre de forma periférica por el Norte y el Oeste de la unidad, mayoritariamente dos son las cuencas hidrográficas: Ega y Ayuda. Por su parte, en la cuenca del río Ega se han considerado en su totalidad tres de las diferentes subcuencas que la componen: Biarra, Berrón e Izkiz.

En general, sus cursos de agua están caracterizados por presentar unos regímenes hídricos bastante influenciados por las precipitaciones, debido en unos casos a la abrupta topografía de sus zona altas y, en otros, a la desigual y/o escasa vegetación, lo que salvo excepciones se manifiesta por una escasa a moderada regulación de sus caudales, especialmente coincidiendo con aguaceros intensos. En este sentido a períodos con caudales altos, generalmente durante el invierno y primavera, siguen estiajes en ocasiones muy acusados que se acentúan aún más si cabe por las captaciones incontroladas con fines agrícolas (figura 4).

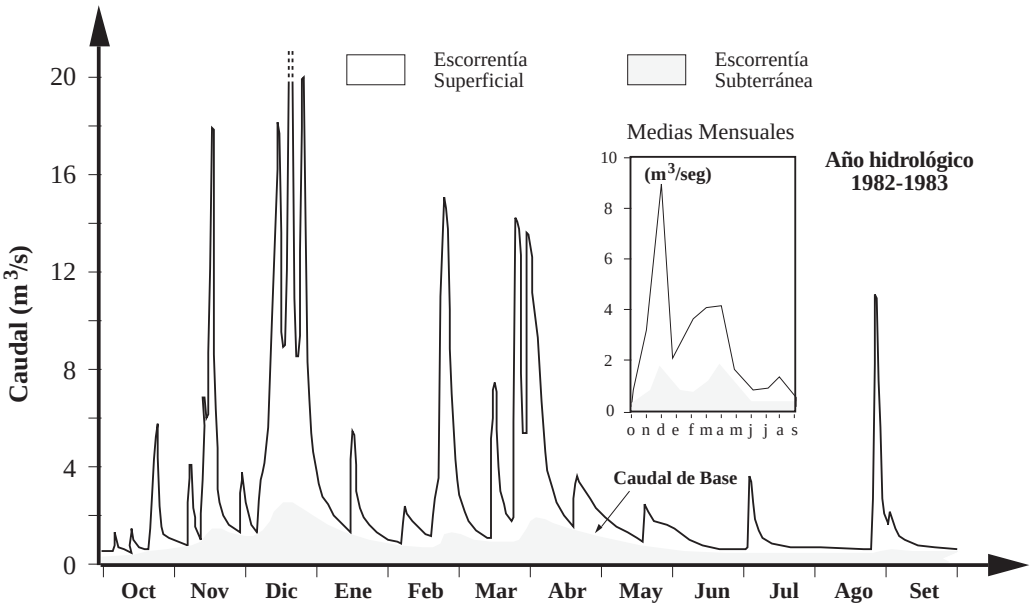



Figura 4. Hidrograma del río Berrón en Antoñana.

El proceso de cálculo en buena parte se ha fundamentado en consideraciones de tipo teórico ya que, a pesar de disponer de la información relativa a los balances a nivel de cuencas hidrográficas, las divisorias subterráneas de la unidad generalmente no muestran el mismo trazado que las superficiales, por lo que una parte de los recursos subterráneos escapan al control que se ejerce desde las estaciones de aforos. Este hecho se hace patente en las cuencas de los ríos Berrón e Izkiz, dando lugar a valores anómalos de sus déficits de escorrentía (cuadro 1).

| Cuenca | | Biarra | Berrón | Izkiz | Ayuda | Totales |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Superficie | ($km^2$) | 24 | 132,5 | 57,1 | 322,4 | 536 |
| Precipitación | (mm) | 1100 | 1050 | 950 | 820 | 903 |
| | ($Hm^3$) | 26,4 | 139,1 | 54,2 | 264,4 | 484,1 |
| Aportaciones | ($Hm^3$) | 15,1 | 63,4 | 21,8 | 116 | 216,3 |
| | (%) | 57,2 | 45,6 | 40,2 | 43,9 | 44,7 |
| Escorrentía | ($Hm^3$) | 1 | 38,4 | 6,5 | 68,4 | 114,3 |
| Superficial | (%) | 3,8 | 27,6 | 11,9 | 25,9 | 23,6 |
| Escorrentía | ($Hm^3$) | 14,1 | 25 | 15,3 | 47,6 | 102 |
| Subterránea | (%) | 53,4 | 18 | 28,3 | 18 | 21,1 |
| Déficit | ($Hm^3$) | 11,3 | 75,7 | 32,4 | 148,4 | 267,8 |
| Escorrentía | (%) | 42,8 | 54,4 | 59,8 | 56,1 | 55,3 |
| Lluvia útil | (mm) | 620 | 510 | 410 | 320 | 390 |
| Coeficiente | ($Hm^3$) | 14,9 | 67,6 | 23,4 | 103,2 | 209,1 |
| Escorrentía | (%) | 56,4 | 48,6 | 43,2 | 39 | 43,2 |

Cuadro 1. Balance hídrico de cuencas.

Por ello, inicialmente se ha procedido al cálculo de las precipitaciones y aportaciones a nivel de cuenca, en base a las cuales se han obtenido una serie de coeficientes de escorrentía que más tarde se aplicarán a las subunidades hidrogeológicas correspondientes. En el caso del río Ayuda se ha considerado la totalidad de la cuenca y no sólo la integrada en la unidad que se describe.

Posteriormente, el cálculo de los recursos subterráneos se ha efectuado asignando diferentes valores de infiltración de acuerdo con las características específicas de las formaciones aflorantes. El resultado obtenido se recoge en el cuadro 2.

Fruto de la morfología de la unidad, el rango de precipitaciones medias caídas sobre su superficie varía entre 1.150 mm en su extremo oriental y 875 mm en el extremo opuesto. Del mismo modo, la lluvia útil resultante supone pérdidas variables entre el 50% y valores cercanos al 65%.

Respecto a su configuración, presenta unas condiciones óptimas para la infiltración dada la geometría de relieves tabulares subhorizontales en la que se disponen las principales formaciones acuíferas.

De todo ello, resultan unos recursos subterráneos globales de la unidad de 103,5 $Hm^3$/año distribuidos de la siguiente manera:

| Subunidades | Legaire | Iturrieta | Igoroin | Korres | Kapildui | M. Vitoria | Izkiz | Totales |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Superficie ($km^2$) | 25,0 | 26,8 | 78,7 | 8,8 | 81,4 | 25,9 | 60,1 | **306,7** |
| Isoyeta media (mm) | 1150 | 1125 | 975 | 975 | 1000 | 875 | 925 | **990,0** |
| Precipitación anual ($Hm^3$) | 28,8 | 30,2 | 76,7 | 8,6 | 81,4 | 22,7 | 55,6 | **304,0** |
| Aportación teórica ($Hm^3$) | 16,2 | 17,0 | 37,3 | 4,2 | 35,7 | 8,8 | 24,4 | **143,4** |
| MPA Superficie ($km^2$) | 21,2 | 19,5 | 61,4 | 8,8 | 67,9 | | | |
| MPA Infiltración ($Hm^3$) | 13,41 | 12,07 | 23,95 | 3,43 | 27,16 | | | |
| MPM Superficie ($km^2$) | 3,8 | 7,0 | 11,1 | | 10,7 | 25,9 | 60,1 | |
| MPM Infiltración ($Hm^3$) | 1,09 | 1,97 | 2,16 | | 2,14 | 4,53 | 11,12 | |
| MPB Superficie ($km^2$) | | 0,3 | 6,2 | | 2,8 | | | |
| MPB Infiltración ($Hm^3$) | | 0,02 | 0,30 | | 0,14 | | | |
| Recursos anuales ($Hm^3$) | 14,50 | 14,05 | 26,41 | 3,43 | 29,44 | 4,53 | 11,12 | **103,48** |
| Infiltración (mm) | 580 | 524 | 336 | 390 | 362 | 175 | 185 | |
| Infiltración (%) | 50,4 | 46,6 | 34,4 | 40,0 | 36,2 | 20,0 | 20,0 | **340,0** |
| Río Ayuda ($Hm^3$) | | | | | 24,00 | | 0,52 | **24,52** |
| Río Izkiz ($Hm^3$) | | | | 3,43 | 1,00 | | 10,60 | **15,03** |
| Río Berrón ($Hm^3$) | | | 25,00 | | 2,64 | | | **27,64** |
| Río Zadorra ($Hm^3$) | | 0,20 | 1,41 | | 1,80 | 4,53 | | **7,94** |
| Urbasa Navarra ($Hm^3$) | 14,50 | | | | | | | **14,50** |
| Ayo. Biarra (río Ega) ($Hm^3$) | | 13,85 | | | | | | **13,85** |

Cuadro 2. Balance hídrico de la unidad. MPA: materiales de permeabilidad alta; MPM: materiales de permeabilidad media; MPB: materiales de permeabilidad baja.

**Subunidad Legaire.** 14,5 $Hm^3$ equivalentes a una superficie de recarga de 25 $km^2$ y una lluvia útil de 580 mm de los que se infiltra prácticamente su totalidad. El drenaje se efectúa, exceptuando un pequeño porcentaje que se dirige a las surgencias de la vertiente Norte de la Sierra de Entzia, a través de la Sierra de Urbasa en su prolongación en Navarra.

**Subunidad Iturrieta.** 14 $Hm^3$ equivalentes a 26,8 $km^2$ de área de recarga y porcentajes de lluvia útil e infiltración ligeramente inferiores al caso precedente. El balance se ajusta con la aportación de los manantiales Zarpia (12,5 $Hm^3$), Zadorra (1,3 $Hm^3$) y un conjunto de pequeñas surgencias que justificarían los 0,2 $Hm^3$ restantes.

**Subunidad Igoroin.** 26,4 $Hm^3$ equivalentes a 78,7 $km^2$ de área de recarga y una lluvia útil disponible de 390 mm de los que se infiltra un porcentaje medio del 85%. Las descargas se dirigen a los manantiales Igoroin e Irazulo, con aportaciones respectivas de 9,5 $Hm^3$, Iturriotz (1,6 $Hm^3$) y Laminoria (1,3 $Hm^3$). Los 4,5 $Hm^3$ restantes se justifican por la aportación de las pequeñas salidas ubicadas al Norte (1,5 $Hm^3$) y las salidas directas al cauce del río Berrón, cuantificadas en 3 $Hm^3$.

**Subunidad Korres.** 3,4 $Hm^3$ equivalentes a 8,8 $km^2$ de área de recarga e infiltración prácticamente total de la lluvia útil. Las descargas se dirigen mayoritariamente al cauce del río Izkiz a su paso por los afloramientos de la subunidad. Existen, en cualquier caso, surgencias menores en el contacto con la formación infrayacente.

**Sector Occidental.** 45 $Hm^3$ de los cuales 29,5 $Hm^3$ corresponden a la Subunidad Kapildui, 4,5 $Hm^3$ a los afloramientos de permeabilidad media a la Subunidad Montes de Vitoria y 11 $Hm^3$ a Izkiz, ocupado por las arenas y areniscas campanienses. El área implicada en el balance es de 167 $km^2$ en la que la lluvia útil disponible es de 380 mm. El porcentaje de infiltración medio es del 70%, con valores extremos del 20% en los materiales de permeabilidad restringida y cercano al 100% en el resto del área. En la descarga, realizada de forma dispersa, juegan un papel fundamental los arroyos de cabecera del río Ayuda y el río Izkiz. De hecho, no se localizan surgencias representativas de flujo concentrado. Por otra parte, y tal como se ha indicado previamente, existe un déficit de aportación de los ríos Izkiz y Berroci, afluente del Berrón, indicativo de una transferencia de caudal hacia el Oeste, esto es, hacia la cuenca del río Ayuda.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Se hace referencia a la calidad del agua subterránea ya que sus características físico-químicas, al margen de su disponibilidad real, condicionan en última instancia su utilización. Pero, además, la calidad del agua puede sufrir modificaciones dependiendo de las diferentes actividades que puedan desarrollarse sobre las formaciones acuíferas.

En este sentido, cabe reseñar la escasa incidencia relacionada con la extracción del agua subterránea mediante sondeos de explotación, si bien se advierte la existencia de un desigual aunque incipiente deterioro de la calidad del agua relacionado con la actividad agrícola de la región.

Con independencia de esta última constatación que, en todo caso, supone una mayor presencia de compuestos básicamente nitrogenados en el agua de consumo, las características químicas del agua subterránea, a nivel de elementos mayoritarios, para una misma surgencia son bastante constantes, dentro de la natural variabilidad que presentan a lo largo de un año hidrológico completo, por lo que el análisis se ha orientado más bien a la caracterización hidroquímica global de la unidad dejando a un lado el estudio de las variaciones estacionales.

En total se ha dispuesto de 145 análisis químicos referidos exclusivamente a elementos mayoritarios que incluyen además determinaciones de interés como el pH, temperatura y conductividad. En base a estos elementos se han obtenido para cada punto de agua las correspondientes relaciones iónicas cuyas representaciones espaciales para el conjunto de la unidad se ha efectuado bajo la forma de mapas hidroquímicos.

Este tipo de documentos son de un gran interés ya que permiten deducir además de las características hidroquímicas de cada punto de agua estudiado, la de un potencial nivel productivo asociado a una formación acuífera determinada, así como la de otros puntos de agua actualmente no inventariados, dentro de los márgenes de precisión de la propia técnica. Los mapas hidroquímicos que se presentan en la figura 5 corresponden a los valores de la conductividad eléctrica y a las concentraciones, en tanto por cien de miliequivalentes, de los elementos mayoritarios siguientes: bicarbonatos, calcio y magnesio, que en conjunto manifiestan una alta correspondencia. Igualmente se ha confeccionado un mapa en el que esquemáticamente se representa el predominio y distribución por sectores de los distintos tipos de aguas. Para ello se ha procedido a una diferenciación de los mismos en familias hidroquímicas, siguiendo la clasificación de Shchukarev.

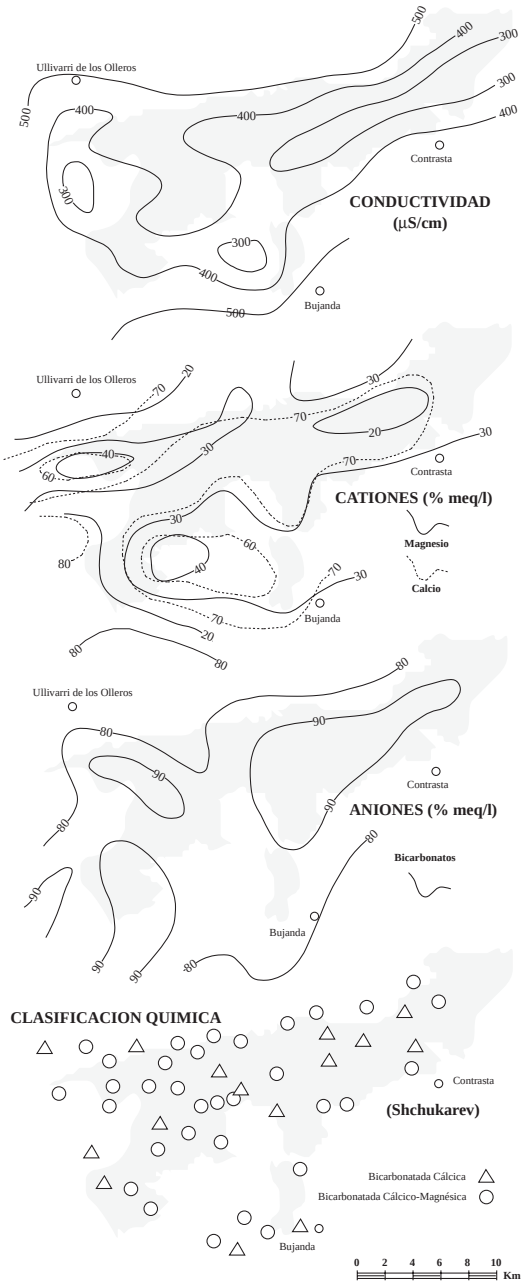



Figura 5. Mapas hidroquímicos.

A la vista de los mapas resultantes se deduce el predominio de las aguas bicarbonatadas divididas en dos familias con implicaciones geográficas: cálcicas y cálcico-magnésicas. Las primeras ocupan las áreas centrales de la estructura y aparecen relacionadas con los niveles conglomeráticos del Terciario continental. Las segundas reflejan, con mayor precisión, la hidroquímica propia de los acuíferos principales.

Con la representación mostrada sólo es apreciable el incremento de mineralización hacia los bordes, Norte y Sur, de la estructura principal. Sin embargo, un análisis más amplio, que incluya la prolongación de la unidad en la depresión de Treviño, muestra un nuevo gradiente, en sentido Este-Oeste, con un incremento mucho más acusado de la mineralización y la aparición de una nueva familia: bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica y conductividades incluso superiores a 800 µS/cm, todo ello acorde con el esquema de funcionamiento hidrogeológico que se viene enunciando.

En este sentido, las aguas correspondientes a las surgencias del entorno de la Sierra de Entzia, aparejadas a comportamientos francamente kársticos con flujos rápidos entre las zonas de recarga y descarga, presentan la más baja mineralización, que se incrementa hacia el Oeste a medida que el desarrollo de la karstificación es menor, dando paso, posteriormente, a flujos retardados de tipo difuso a medida que las formaciones pasan a situaciones de confinamiento lo que condiciona mayores tiempos de residencia del agua en los acuíferos y, en consecuencia, un aumento de sus concentraciones.

Por lo que se refiere a la aptitud de las aguas de la unidad para el consumo humano cabe indicar que los contenidos en constituyentes mayoritarios están por debajo de los límites tolerables a excepción de las correspondientes a zonas de anomalías hidroquímicas. Existe, no obstante, una moderada presencia de nitratos, con valores máximos hacia la mitad occidental de la unidad, que revelan la existencia de una incipiente contaminación relacionada con la actividad ganadera y, especialmente, con la intensa actividad agrícola que se viene desarrollando en este sector, fundamentalmente por el excesivo uso de determinados abonos.

Los índices SAR, de aptitud del agua para uso agrícola, indican aguas de bajo a moderado riesgo de alcalinización.

**INVESTIGACION COMPLEMENTARIA**

Además de los escasos sondeos perforados en la unidad, y cuyas conclusiones más relevantes ya han sido expuestas, han sido varias las técnicas vinculadas a la investigación de acuíferos kársticos, las que se han puesto en práctica en el Sector Oriental de la unidad.

El análisis de la fracturación ha partido del estudio fotogeológico y su posterior tratamiento mediante técnicas de análisis estadístico. El resultado final ha sido la definición del sistema de bloques en que está compartimentado el acuífero, mostrado en la figura 3 de descripción de subunidades, y la constatación de las direcciones de flujo preferentes así como de las alineaciones de las principales formas exokársticas.

Respecto a ensayos con trazadores, han sido dos los realizados, en el mismo punto aunque en condiciones hidrológicas diferentes, y en ambos casos han permitido comprobar la existencia de la divisoria hidrológica entre las Subunidades Iturrieta e Igoroin. Inyectado el colorante en el sumidero Pilón Txikito, el posterior control de las principales surgencias: Zarpia, Igoroin, Irazulo y otras de menor entidad, sólo detectó su presencia en el primer manantial mencionado.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

En general el porcentaje de recursos subterráneos que se viene utilizando es bajo. Básicamente corresponde a captaciones directas de manantiales para el abastecimiento urbano de los núcleos poblacionales asentados tanto en el interior como en la periferia de la unidad.

Así mismo, hay que destacar el aprovechamiento que se realiza de los manantiales Laminoria e Igoroin con fines industriales en el área de Laminoria, para la explotación y laboreo de arenas de fundición, y la infraestructura de emergencia, creada durante el último período de sequía (1989-90) y actualmente no operativa, diseñada para transvasar desde diferentes puntos de la unidad (Maeztu e Iturbaz) parte de los recursos de la cuenca del río Ega al sistema Zadorra, a partir del cual se vertebra el abastecimiento a la ciudad de Vitoria-Gasteiz y al Gran Bilbao.

A modo de estimación, se ha cuantificado en 3 $Hm^3$/año, equivalente al 3% de los recursos en un año medio, el aprovechamiento en usos consuntivos que se lleva a cabo actualmente en la unidad.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

DFA-IGME (1973). Informe Geológico de la Unidad Hidrogeológica Terciaria de Urbasa Montes de Vitoria.

DFN-SGOP (1982). Las Aguas Subterráneas en Navarra. (CGS).

EVE-ITGE (1990). Estudio hidrogeológico de la Sierra de Urbasa. 1ª Fase. (INGEMISA-CGS).

EVE (1990). Sondeos Zikujano 1 y 2. Sondeo Zikujano A.

LLANOS, H.J. (1992). Estudio Hidrogeológico de la Unidad de Urbasa, Montes de Vitoria, Treviño y Sectores Adyacentes. (Tesis de Doctorado. UPV-EHU).

EVE (1994). Obtención de aportaciones por simulación en los manantiales de Contrasta. (YACU).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Iturriotz | 542780 | 4733890 | 700 | 50 | Abastecimiento de Maeztu |
| Zadorra | 555300 | 4741930 | 980 | 40 | |
| Laminoria | 545630 | 4735550 | 700 | 40 | Aprovechamiento en usos industriales |
| Irazulo | 548780 | 4733950 | 820 | 300 | |
| Igoroin | 549420 | 4736900 | 805 | 300 | Aprovechamiento industrial. Dos surgencias |
| Zarpia | 556020 | 4738280 | 880 | 400 | Abastecimiento Valle de Arana. Dos surgencias |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Zikujano-1 | 545744 | 4733970 | 695 | | Piezómetro. Surgente en aguas altas |
| Zikujano-2 | 546326 | 4734035 | 705 | | Piezómetro. Surgente en aguas altas |
| Zikujano-A | 545744 | 4733970 | 695 | 70 | Surgente en aguas altas |

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO CUENCA DEL EBRO

## GENERALIDADES

Se sitúa en el extremo Sur de la Comunidad Autónoma del País Vasco, abarcando la comarca denominada Rioja Alavesa. Su límite Norte lo constituye la Sierra Cantabria y el Sur el río Ebro, colindando a Este y Oeste con las Comunidades Autónomas de Navarra y Castilla-León respectivamente. Como núcleos de población importante destacan Labastida, Laguardia y Oion (figura 1).




Figura 1. Situación del dominio.

La actividad económica más importante gira en torno a la explotación vitivinícola.

## GEOLOGIA

La Cuenca del Ebro es una gran fosa rellenada por sedimentos del Mioceno, con más de 4.000 m de espesor. Constituye el antepaís de la Cuenca Vasco-Cantábrica, teniendo como límite septentrional el frente de cabalgamiento de la Sierra de Cantabria. Dentro de la Comunidad Autónoma sólo queda incluido un pequeño sector del borde norte de la cuenca.

Incluye los siguientes términos:

**Alternancia de areniscas calcáreas, limolitas y argilitas** (192). Se trata de un conjunto muy potente y monótono en el que las areniscas dominan sobre el resto de las litologías, siendo predominantemente de grano fino a medio y variando desde areniscas calcáreas a calcarenitas arenosas. Presencia de niveles de yesos.

**Argilitas rojas y margas** (193). A pesar de la monotonía del término anterior, en algunas áreas (Moreda de Alava) se pueden individualizar tramos más argilíticos que intercalan niveles aislados de areniscas y presentan características similares a las descritas para el término anterior.

**Areniscas de grano grueso y conglomerados, con intercalaciones de limolitas y margas** (194). El término 192 evoluciona hacia techo a facies más groseras, apareciendo varios afloramientos aislados de pequeña extensión localizados en las cercanías de la Sierra de Cantabria.

**Brechas, conglomerados y megabrechas rojizas** (195). Este conjunto de materias jalonan el frente de cabalgamiento de la Sierra de Cantabria. Se reconocen en varios afloramientos poco extensos y aislados, de escasa continuidad lateral.

Se diferencian, además, los siguientes depósitos cuaternarios:

**Terrazas** (197). Se han reconocido hasta 4 niveles de terrazas encajadas asociadas al río Ebro. Normalmente están formadas por gravas redondeadas en una matriz arenoso-limosa. El espesor es variable, alcanzando más de 15 m en algunos niveles.

**Aluviales** (200). En este término se agrupan los sedimentos aluviales que conforman las llanuras de inundación del río Ebro y de los arroyos que naciendo en la Sierra de Cantabria y con dirección Norte-Sur confluyen en el mismo. Se trata de sedimentos muy heterogéneos constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas, con un predominio neto de la fracción arcillosa en los arroyos. Su potencia es sumamente variable desde algunos metros a varias decenas.

**Coluviales** (201). Aparecen asociados a los relieves de Sierra Cantabria, situándose al pie de los mismos. Están constituidos por cantos heterogéneos acompañados por una matriz arcillo-arenosa. Su potencia es reducida.

**Lacustres** (202). Estos sedimentos se presentan asociados a lagunas, la mayoría de carácter estacional. Los de entidad cartográfica aparecen en las proximidades de Laguardia y están compuestos por rellenos limolíticos y arcillosos. Su potencia es reducida, no superando generalmente un metro de espesor.

Los materiales del terciario continental se disponen con suaves buzamientos hacia el Sur, que no sobrepasan los 10-15°. Su límite septentrional está constituido por el importante frente de cabalgamiento de la Sierra de Cantabria con una estructura más compleja, brechas sintectónicas asociadas y depósitos coluviales ligados a los mayores relieves.

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

Los términos de alta y media permeabilidad, correspondientes a una tipología detrítica masiva, bordean los relieves de la Sierra de Cantabria, presentando poca entidad en extensión y potencia. Así, las areniscas de grano grueso y conglomerados con intercalaciones de limolitas y margas (194) presentan una permeabilidad media y las brechas, conglomerados y megabrechas rojizas (195) una alta permeabilidad.

Los materiales cuaternarios presentan por lo general una permeabilidad alta, con una tipología de acuífero detrítico no consolidado. Distinguiendo entre los diferentes tipos de depósitos, las terrazas (197) y aluviales (200) del Ebro y los coluviales (201) de Sierra de Cantabria son los de mayor permeabilidad. Los aluviales (200) de los arroyos presentan una importante fracción arcillosa que les confiere un carácter menos permeable. Los lacustres (202) son arcillosos y apenas tienen representación en la zona.

El término que ocupa la mayor extensión, alternancia de areniscas calcáreas, limolitas y argilitas (192) presenta una baja permeabilidad, ligada localmente a niveles areniscosos de cierta potencia y mayor granulometría. Las argilitas rojas (193) se han considerado de muy baja permeabilidad.

*DIFERENCIACION DE SECTORES*

En base a la asignación de permeabilidades y a la disposición geográfica de los distintos términos se puede distinguir un total de tres sectores con diferente comportamiento hidrogeológico (figura 2):

- Borde Sur de la Sierra de Cantabria
- Alternancia miocena mayoritaria.
- Aluviales y terrazas cuaternarios.

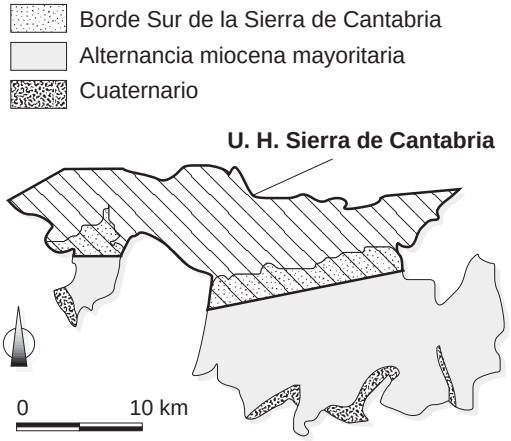



Figura 2. Esquema de sectores.

### Borde Sur de la Sierra de Cantabria

Incluye los términos detríticos de granulometría gruesa y brechas miocenas y los cuaternarios coluviales, ambos de permeabilidades medias y altas.

Aunque están incluidos geográficamente en este dominio, de hecho forman parte integrante de la Unidad Hidrogeológica Sierra de Cantabria. El drenaje de esta unidad hacia el Sur, minoritario con respecto al que se dirige hacia el Norte, se canaliza en buena medida a través de los materiales descritos, dando lugar a manantiales con caudales medios de 1-10 l/s. La procedencia del aporte se ha puesto claramente de manifiesto a través de la afección causada por las extracciones en los sondeos de explotación ubicados en la vertiente Sur de la Sierra de Cantabria.

**Alternancia miocena mayoritaria**

Ocupa la mayor extensión del dominio. Su reducida permeabilidad aumenta en zonas más areniscosas de la alternancia. En esta situación se encuentran los siguientes manantiales, con caudales medios entre 1 y 10 l/s, **Santa Eulalia**, **San Venancio** y **Onueba**.

El resto de los manantiales, hasta un total de cuarenta inventariados, tienen caudales inferiores a 1 l/s. En su mayoría están captados para abastecimiento urbano y fuentes públicas.

Los sondeos perforados en estos materiales, con profundidades que han superado en algún caso los 120 m, han dado caudales muy bajos, acordes con la litología dominante. Localizan pequeños aportes, en general en el contacto con materiales cuaternarios, aluviales y terrazas.

Respecto a la hidroquímica, los treinta y cinco análisis disponibles muestran aguas muy mineralizadas (600-1.500 µS/cm de conductividad), duras, y con contenidos elevados en sulfatos, cloruros y nitratos (cuadro 1), tal y como corresponde a la litología predominante y al uso agrícola del suelo.

| Parámetro | Máximo | Mínimo | Mediana |
|---|---|---|---|
| Conductividad | 1578 | 663 | 1142 |
| $Na^{+}$ | 147,8 | 9,4 | 48,1 |
| $K^{+}$ | 28,8 | 0,5 | 3,7 |
| $Ca^{+2}$ | 238,5 | 129,6 | 169,0 |
| $Mg^{+2}$ | 69,7 | 1,9 | 45,8 |
| $Cl^{-}$ | 326,5 | 20,7 | 68,8 |
| $SO_4^{=}$ | 525,3 | 55,2 | 265,9 |
| $HCO_3^{-}$ | 513,2 | 261,2 | 393,2 |
| $NO_3^{-}$ | 128,9 | 3,8 | 65,8 |

Cuadro 1. Características físico-químicas de las aguas del sector. Valores en mg/l salvo conductividad (µS/cm).

La calidad de las aguas está condicionada básicamente por los contenidos en nitratos, que superan con frecuencia los 50 mg/l, y por contaminación bacteriológica, ambos factores relacionados con deficientes sistemas de saneamiento y actividades agrícolas intensivas.

En este sector cabe señalar la presencia de las pequeñas lagunas endorreicas de Laguardia, de carácter salobre, y que constituyen un entorno de alto interés ecológico. Datos recientes sugieren para ellas un origen similar al de otras lagunas, como las de los Monegros, situadas también en zonas de baja permeabilidad. Se trataría de zonas de descarga de flujos convectivos con un tiempo de residencia relativamente alto (superior al menos a 40-50 años, según indican los muy bajos contenidos en tritio encontrados en algunos casos), originados en los propios materiales miocenos.

**Aluvial y terrazas cuaternarios**

Dadas las características específicas de estos depósitos y su escasa relación con el funcionamiento hidrogeológico del resto del dominio, su descripción se incluye en el contexto del Dominio Hidrogeológico Cuaternario.

*BALANCE HIDRICO*

Se calcula en base a los siguientes parámetros: precipitación media anual de 400-600 mm, lluvia útil de 150 mm e infiltración de la misma del 5%. Este último valor se estima para el conjunto del dominio, asumiendo que es más elevado en los afloramientos de permeabilidad media y alta pero que, dada la reducida representación de estos materiales, no modifican sustancialmente el valor medio.

Así, para una superficie total de 250 $km^2$, resultan unos recursos de agua subterránea de 2 $Hm^3$/año.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

Desde el punto de vista hidrogeológico, el dominio tiene un interés reducido. Los materiales que mayoritariamente lo constituyen presentan permeabilidades muy bajas. Aquellos con permeabilidades medias y altas están ligados por una parte a la vertiente Sur de la Unidad Sierra de Cantabria y por otra a los depósitos cuaternarios del río Ebro.

Las pocas obras realizadas en estos materiales muestran su escasa idoneidad para la regulación de un volumen significativo de agua subterránea.

Por otra parte, la calidad de las aguas tampoco es del todo satisfactoria, debido a su elevada mineralización de las aguas, los altos contenidos en nitratos y la presencia puntual de contaminación bacteriológica.

Aun así, son numerosos los puntos de agua captados para abastecimiento tanto municipal como particular, si bien el volumen total detraído no supera 1 $Hm^3$/año.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

DFA (1983). Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de Oyón con aguas subterráneas. (CGS).

CADEM (1985). Estudio hidrogeológico de Oion (Araba). (GEOTHEKNIKA).

EVE (1990). Estudio de demandas de abastecimiento de agua en el área de Leza (Alava). (GIGSA).

GV (1996). Estudio hidrogeológico de las lagunas de Laguardia. (LURGINTZA).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Santa Eulalia | 526000 | 4714500 | 680 | 1-10 | Captado por Viñedos Uzmendi |
| San Venancio | 528050 | 4714800 | 750 | 1-10 | Dos manantiales. Abastecimento Samaniego |
| Onueba | 537560 | 4715420 | 635 | 1-10 | Abastecimiento El Villar |

# DOMINIO HIDROGEOLOGICO CUATERNARIO

## GENERALIDADES

Los depósitos cuaternarios están constituidos por materiales detríticos, por lo general no consolidados, de tamaño de grano muy variable desde arcilla hasta gravas y bloques. Sus características son muy diversas en función del ambiente morfogenético que los ha generado: fluvial, lacustre, litoral, laderas, etc. La edad de estos depósitos es reciente, y comprende desde finales del Pleistoceno hasta la actualidad.

En el ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco presentan una extensión relativamente reducida. Adquieren su máximo desarrollo en la Llanada Alavesa, depresión del Ebro, Sinclinal de Urbasa-Treviño, y en los pies de algunos relieves, como los de las Sierra de Cantabria, Urkilla y Urbasa. Por otro lado, los cursos medios y bajos de los ríos de la vertiente cantábrica presentan depósitos cuaternarios, a veces de importante espesor, en estrechas bandas paralelas a los cauces.

A diferencia del resto de dominios definidos, el correspondiente al Cuaternario no presenta una superficie continua, sino que se encuentra disperso a lo largo de todo el territorio (figura 1). La particularidad de las características de los depósitos cuaternarios y, en consecuencia, de los acuíferos ligados a ellos, ha motivado su inclusión en un solo dominio sin una referencia espacial única.

## GEOLOGIA

A pesar de su reducida extensión, las características de los materiales son muy variables. Se pueden diferenciar los siguientes tipos de depósitos:

**Glaciar** (196). Sólo se han descrito a escala cartográfica en el sector occidental del macizo del Gorbea. Constituidos por materiales muy heterogéneos en los que predominan las fracciones más finas.

Su espesor es de unos 10 m y su edad Pleistoceno.

**Terrazas** (197). Asociadas a la dinámica de los principales ríos. Están constituidos por acumulaciones muy heterogéneas, tanto en la vertical como en la horizontal, de gravas redondeadas con matriz areno-arcillosa.

Su espesor oscila entre 1-4 m (vertiente cantábrica) y más de 15 m (vertiente mediterránea). Su edad es Pleistoceno.

**Abanicos aluviales** (198). Aparecen en las partes bajas de los relieves que circundan la llanada alavesa. En su parte alta enlazan con depósitos de pie de monte, y en la baja, con sistemas de terrazas y depósitos aluviales. En las zonas proximales de los abanicos predominan las facies gruesas, mientras en las distales predominan los finos.

La potencia puede llegar a alcanzar los 10 m. La edad atribuida es Pleistoceno.

**Coluviales antiguos** (199). Se desarrollan fundamentalmente en los taludes de las Sierras de Urbasa y Urkilla. Constituidos por gravas y bloques heterométricos con una matriz limo-arcillosa, más abundante a cotas más bajas.

El espesor máximo es del orden de 5-7 m. Su edad es Pleistoceno.

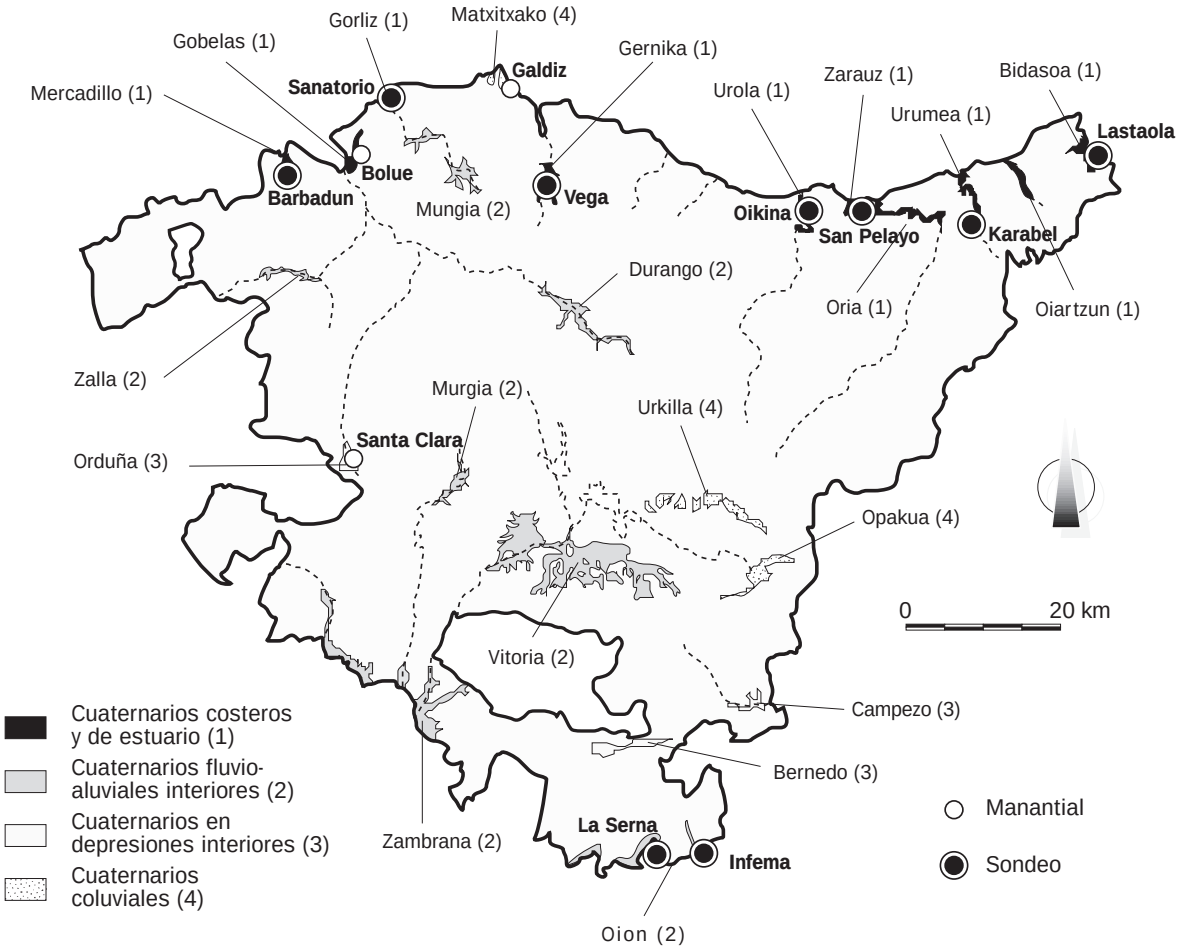



Figura 1. Situación de los principales depósitos cuaternarios. Principales puntos de agua.

**Aluviales, aluvio-coluviales** (200). Este término corresponde a los depósitos que conforman las llanuras de inundación de los principales cursos fluviales, así como a otros generados a consecuencia de una dinámica mixta fluvial y de laderas. Se trata de sedimentos muy heterogéneos constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas.

La potencia es muy variable, oscilando entre algunos metros y varias decenas. Su edad es Holoceno.

**Coluviales** (201). Ligados a la dinámica de las laderas, presentan una gran variabilidad en lo que se refiere a su composición y granulometría. Destacan los coluviones existentes en Sierra de Cantabria, Gorbea, Urbasa, Urkilla y, por su gran desarrollo, los de Matxitxako.

El espesor puede llegar a superar los 5 m. Su edad es Holoceno.

**Lacustres** (202). Asociados a pequeñas lagunas de carácter estacional. Sólo poseen entidad cartográfica los existentes en las proximidades de Laguardia. Su carácter es arcilloso y la potencia es inferior a 1 m. Su edad es Holoceno.

**Turberas** (203). Se trata de depósitos asociados a charcas poco profundas con abundante vegetación y frecuentes lluvias. Destaca la existente en Saldropo (Barazar).

El espesor de la turba es de unos 2 m. Su edad es Holoceno.

**Playas y dunas** (204). Constituidas por depósitos arenosos, algunas veces parcialmente

cementadas (dunas antiguas), cuya potencia puede superar los 10 m. Su edad comprende desde el Pleistoceno superior.

**Fangos estuarinos** (205). Asociados a las desembocaduras de los mayores cursos fluviales. Se trata de limos y arcillas cuyo espesor llega a alcanzar varios metros. Su edad es Holoceno.

**Depósitos antropogénicos** (206). Son acumulaciones de carácter muy diverso, producto de la actividad industrial, extractiva y constructiva. Por su extensión, son dignos de mención los relacionados con actividades extractivas en la zona minera de Bizkaia.

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

La permeabilidad de los depósitos cuaternarios es muy variable y función de diversos factores entre los que destaca la proporción de facies finas y gruesas. Se considera que los depósitos glaciares (196), de terrazas (197), abanicos aluviales (198), coluviales antiguos (199), aluviales (200), coluviales (201), playas (204) y antropogénicos (206) son de alta permeabilidad. A los depósitos lacustres (202) y turberas (203) se les ha asignado una permeabilidad media. A los fangos estuarinos (205) se les considera de permeabilidad baja.

Por otra parte, el propio origen de estos materiales, con frecuentes y bruscos cambios laterales de facies, les confiere una elevada anisotropía. En consecuencia, las variaciones de permeabilidad pueden ser muy rápidas en un mismo depósito, tanto en la vertical como en la horizontal.

*CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS ACUIFEROS CUATERNARIOS*

Los depósitos cuaternarios dan lugar a acuíferos detríticos, en general no consolidados, de porosidad intergranular y elevada anisotropía. Su régimen va desde libre a confinado.

El nivel piezométrico se encuentra muy próximo a la superficie topográfica. Este hecho, combinado con las suaves morfologías a que dan lugar los depósitos y la facilidad de excavación, ha posibilitado tradicionalmente un pronto aprovechamiento de sus recursos subterráneos. De hecho, los acuíferos cuaternarios han contribuido en gran medida, y hasta fechas recientes, al abastecimiento de las poblaciones dispuestas sobre ellos, generalmente a partir de pozos de uso doméstico. Existe un elevadísimo número de puntos de agua relacionados con estas formaciones.

Generalmente se trata de pozos excavados de gran diámetro (0,5-1 m), poca profundidad y rendimientos muy bajos. La mayor parte de ellos no son utilizados hoy en día, y en muchos casos han sido cerrados. Debido a este hecho y a la escasa información que se tiene de ellos no se incluyen en el inventario.

Otra consecuencia de la posición superficial del nivel piezométrico es la presencia de zonas húmedas, especialmente en las zonas de descarga, producto de la intersección de la superficie piezométrica con la topográfica. Los humedales de Zurbano-Betoño en Vitoria-Gasteiz, Bolue en Getxo y Santa Clara en Orduña son algunos ejemplos.

Los acuíferos cuaternarios suelen estar conectados hidráulicamente a los cursos superficiales que los recorren, con relaciones de influencia/efluencia variables en función de la penetración del cauce superficial, de las alturas relativas de la lámina de agua en el acuífero y en el río, de los parámetros hidráulicos de los materiales y del grado de colmatación del lecho del cauce. También suelen presentar conexión hidráulica con acuíferos próximos asociados a materiales consolidados.

Presentan características hidroquímicas muy variables, en función de numerosos aspectos, tales como la litología de los depósitos y del sustrato rocoso, del quimismo del agua de recarga y de procesos de contaminación. En este sentido, la proximidad del nivel piezométrico a la superficie topográfica conlleva una elevada vulnerabilidad a la contaminación. La implantación de núcleos urbanos y actividades agrícolas e industriales (favorecida por la topografía prácticamente llana de los depósitos) ha planteado en determinadas ocasiones un importante problema de contaminación, como consecuencia de vertidos, ya sean en el cauce del río o directamente sobre la superficie del acuífero.

*TIPOLOGIAS. IDENTIFICACION DE UNIDADES*

Los depósitos cuaternarios de la Comunidad Autónoma pueden ser agrupados en varias tipologías morfogenéticas que condicionan en gran medida su funcionamiento hidrogeológico (cuadro 1).

| Tipo | Principales depósitos | Territorio |
|---|---|---|
| 1. Cuaternarios costeros y de estuario | Mercadillo | Bizkaia |
| | Gobelas | Bizkaia |
| | Gorliz | Bizkaia |
| | Gernika | Bizkaia |
| | Urola | Gipuzkoa |
| | Oria | Gipuzkoa |
| | Zarauz | Gipuzkoa |
| | Urumea | Gipuzkoa |
| | Oiartzun | Gipuzkoa |
| | Bidasoa | Gipuzkoa |
| 2. Cuaternarios fluvio-aluviales interiores | Durango | Bizkaia |
| | Zalla | Bizkaia |
| | Mungia | Bizkaia |
| | Murgia | Araba |
| | Vitoria | Araba |
| | Zambrana | Araba |
| | Oion | Araba |
| 3. Cuaternarios en depresiones interiores | Berastegi | Gipuzkoa |
| | Albiztur-Bidania | Gipuzkoa |
| | Aizarna-Akua | Gipuzkoa |
| | Bernedo-Campezo | Araba |
| | Orduña | Bizkaia |
| 4. Cuaternarios coluviales y eluviales | Opakua | Araba |
| | Urkilla | Araba |
| | Matxitxako | Bizkaia |

Cuadro 1. Tipología de acuíferos cuaternarios.

La selección de unidades hidrogeológicas en el dominio del cuaternario a partir de estos depósitos se ha efectuado siguiendo dos filtros consecutivos:

- El primero hace referencia a la entidad que como acuífero pueden presentar las diversas acumulaciones, es decir, sus recursos asociados.

- El segundo hace referencia a consideraciones de diversa índole, como el grado de conocimiento, calidad del recurso, potencial de aprovechamiento, etc.

De esta forma, únicamente se han seleccionado dos Unidades Hidrogeológicas en el Dominio Cuaternario: Vitoria y Gernika, esta última por lo singular del caso y por el papel que desempeña en el abastecimiento de la población establecida en el entorno. Se describen en capítulos específicos.

**Tipo 1. Cuaternarios costeros y de estuario**

Los cuaternarios costeros y de estuario conforman llanuras de muy escasa pendiente, con una cota topográfica muy próxima al nivel del mar. Ello provoca la existencia de una zona de influencia mareal que puede penetrar varios km en el interior a favor de las rías.

Ocupan una superficie reducida (0,3-4,5 $km^2$), pero suelen presentar espesores relativamente importantes, con medias del orden de 20-25 m y máximos constatados de 70 m (cuaternario del Urumea en Hernani). Las mayores potencias por lo general se dan en la zona de desembocadura, en donde suele existir además un acúmulo de dunas de variable desarrollo. Hacia el interior, coincidiendo con el paso de sedimentos de estuario a sedimentos fluviales, los espesores se reducen rápidamente.

La transmisividad suele ser relativamente alta, con valores por lo general superiores a 120 $m^2$/día y máximos de 2.850 $m^2$/día (sondeos Lastaola). El funcionamiento es libre en la zona de sedimentos fluviales, pasando a confinado hacia el estuario. Los valores de coeficiente de almacenamiento obtenidos en este tipo de cuaternarios oscilan entre 0,002 (Bidasoa, sondeos Lastaola) y 0,1 (Gorliz, pozos del Sanatorio).

Si bien no existen en la actualidad estudios de detalle de la relación acuífero/río, la dinámica de los acuíferos de estuario parece estar controlada en gran medida por el curso superficial correspondiente, de manera que éste representa una condición de nivel fijo. Es claro que los cursos superficiales constituyen el eje de drenaje natural de los acuíferos asociados.

Por otra parte, los datos de extracciones de determinados acuíferos, como el del Urumea, indican que la proporción de realimentación inducida a partir de los ríos debe ser muy superior a la de los propios recursos subterráneos. Esta circunstancia obliga a ubicar los pozos de abastecimiento aguas arriba de toda influencia mareal (aún cuando la cuña de agua salina en sentido estricto se encuentre a muchos km de distancia) debido a la posibilidad de salinización por recarga inducida de la ría. Tal es el caso del sondeo San Pelayo en Zarautz.

La posibilidad de intrusión marina *sensu stricto* hay que tenerla en consideración, si bien (y a pesar de la explotación) no se han registrados fenómenos de este tipo.

En lo que se refiere al papel de estos acuíferos, sus recursos propios son reducidos (inferiores a 3-4 $Hm^3$/año). No obstante, son susceptibles de proporcionar mediante recarga inducida caudales suficientes como para completar dotaciones deficitarias o resolver problemas puntuales de abastecimiento, como en el cuaternario del Urumea, en donde se han

llegado a extraer del orden de 10 $Hm^3$/año. Un ejemplo de la explotación en este acuífero son los pozos Karabel, que permiten bombeos de hasta 100 l/s, para abastecimiento de Hernani. Otro caso es el del cuaternario del Urola donde se han explotado, con un caudal de 15 l/s, los pozos de Oikina para abastecimiento a Zumaia.

Un factor a considerar para la explotación es la elevada vulnerabilidad del acuífero, no sólo a procesos de infiltración superficial, sino también a episodios de polución de los cursos superficiales.

Las facies hidroquímicas de este tipo de acuíferos suelen ser bicarbonatadas cálcicas, de media mineralización, si bien localmente, y como consecuencia de la presencia de sustratos evaporíticos, pueden darse facies sulfatadas o cloruradas (Unidad Gernika).

Las aguas de los cuaternarios costeros y estuarinos presentan en ocasiones contenidos indicativos de contaminación por actividades industriales y por aguas residuales. Tal es el caso del humedal de Bolue, en el cuaternario de Gobelas, y del sondeo Barbadun. Sin embargo, los niveles de limos y arcillas que confinan la formación cuaternaria en los depósitos de estuario permiten una protección eficaz del sistema ante eventuales agentes contaminantes. Tal es el caso de la Unidad Gernika.

**Tipo 2. Cuaternarios fluvio-aluviales interiores**

Los cuaternarios fluvio-aluviales interiores se articulan en un complejo sistema de terrazas entre las que destacan por su importancia hidrogeológica la terraza actual o llanura de inundación (0-5 m sobre el río) y la terraza baja (5-10 m sobre el río). Las terrazas superiores dan acuíferos colgados, siempre de poca importancia. Pueden dividirse en dos grandes grupos: grupo de la cuenca cantábrica y grupo de la cuenca mediterránea.

Los cuaternarios de la cuenca cantábrica se caracterizan, por lo general, por un limitado desarrollo, tanto en lo que se refiere a su extensión (hasta 13 $km^2$, en el cuaternario de Durango) como a su espesor (la potencia media no suele superar 10 m). Localmente, sin embargo, y en relación con la presencia de un sustrato rocoso triásico, se pueden dar potencias superiores a 30 m (Mungia). Por otro lado, predominan en ellos las facies finas. En consecuencia, las transmisividades que se obtienen suelen ser reducidas (4-10 $m^2$/día).

El escaso espesor de cuaternario provoca que el curso superficial discurra generalmente sobre el sustrato rocoso. Este hecho, combinado con la relativa baja permeabilidad de los depósitos, impide la subordinación de estos acuíferos a los cursos de agua.

El funcionamiento de estos acuíferos es libre, si bien todos ellos presentan fenómenos locales de confinamiento.

La composición de las aguas es bicarbonatada cálcica, de mineralización media. La calidad se ve afectada con frecuencia por contaminación de origen industrial (cuaternarios de Durango y Zalla).

Los recursos propios de estos acuíferos son muy escasos y no son susceptibles de ser aumentados sensiblemente mediante recarga inducida. Los pozos existentes son por lo general de gran diámetro, de antiguo uso doméstico y en desuso hoy en día. Su productividad es muy baja, inferior a 1 l/s y, por tanto, el interés desde un punto de vista hidrogeológico es muy reducido.

Los cuaternarios de la cuenca mediterránea se caracterizan por una mayor extensión (hasta 90 $km^2$, en la Unidad Vitoria), y por una menor proporción de materiales finos. Las potencias, sin embargo, son igualmente bajas, inferiores a 15 m. Destaca el amplio desarrollo de las terrazas, como en el cuaternario del Ebro en Oion (figura 2).

Las transmisividades oscilan entre 4 y 1.100 $m^2$/día y el funcionamiento es libre, con zonas de confinamiento. La conexión con los cursos superficiales es clara.

En cuanto a la composición química, las aguas son de facies bicarbonatada cálcica, con contenidos elevados en ocasiones en sulfatos (cuaternario de Oion). Otra característica es el elevado contenido en nitratos. El uso agrícola que

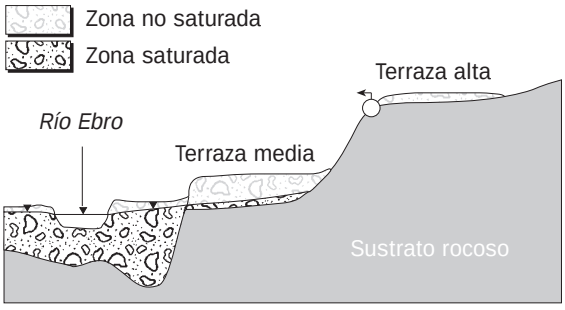



Figura 2. Terrazas del Ebro en Oion.

posee el suelo de esta zona implica que una cantidad muy importante de los productos utilizados con fines agronómicos (fertilizantes, pesticidas, etc.) se infiltren y lleguen al acuífero (Unidad Vitoria y cuaternario de Oion, pozos Infema y La Serna).

Los recursos propios de estos acuíferos son más altos que los que presentan los de la vertiente cantábrica y susceptibles de ser aumentados mediante recarga inducida. En el caso de la Unidad Vitoria, por ejemplo, los recursos medios anuales propios y los procedentes de la recarga inducida son del orden de 45 $Hm^3$ en los últimos años.

Los pozos existentes se destinan en la actualidad, de manera fundamental, a regadío, si bien hay casos de captaciones, sobre todo en los cuaternarios del Ebro, destinados a abastecimiento.

**Tipo 3. Cuaternarios en depresiones interiores**

Los cuaternarios asociados a depresiones interiores se pueden clasificar en depósitos en depresiones kársticas y depósitos en depresiones tectónicas. Su interés no reside en sus recursos propios, sino en el papel hidrogeológico que desempeñan en relación a los acuíferos adyacentes.

Las depresiones kársticas constituyen cubetas cerradas, colmatadas en mayor o menor grado por arcillas de descalcificación y depósitos aluviales. Las más importantes son las las de Berastegi y Aintzerga (Unidad Hidrogeológica Elduain); Bidania, Albiztur y Santutxu (Unidad Hidrogeológica Albiztur); Aizarna y Akua (Unidad Hidrogeológica Gatzume). Las potencias son muy variables debido al carácter accidentado del sustrato rocoso, llegándose a alcanzar en ocasiones espesores de 70 m.

El drenaje de estos cuaternarios se produce prácticamente en su totalidad hacia las calizas subyacentes, de manera que constituyen un área de recarga de las unidades hidrogeológicas carbonatadas a las que se encuentran asociados (hecho comprobado en determinados casos mediante trazados entre sumideros asociados a las depresiones y surgencias kársticas). La importancia de los cuaternarios reside en proporcionar un efecto de regulación de las unidades carbonatadas, al transmitir la inercia de los materiales detríticos de la depresión a la función de recarga. El efecto regulador dependerá, en cada caso, del espesor de cuaternario, de sus parámetros hidráulicos, y de la diferencia de cota entre los niveles piezométricos de la depresión y del sistema carbonatado.

El ejemplo más representativo de cuaternario asociado a depresión tectónica lo constituyen los depósitos de la depresión Bernedo-Campezo. En ella existen acúmulos básicamente arcillosos de origen fluvial, con un espesor que no suele superar 20 m, dispuestos en concordancia sobre un potente sustrato mioceno de carácter también arcilloso. Los datos referentes a su funcionamiento son muy escasos. No obstante, las características litológicas y disposición de los depósitos limitan, probablemente, su interés hidrogeológico.

Cabe destacar, por último, la potencia constatada en el cuaternario de Orduña mediante sondeos de investigación, superior a 80 m y sin que se haya cortado en ellos el muro de los depósitos cuaternarios. La explotación actual del acuífero se reduce al bombeo del manantial Santa Clara (unos 2 l/s). Si bien la potencia del cuaternario es considerable, sus características litológicas (básicamente arcillosa) impiden explotaciones de interés.

**Tipo 4. Cuaternarios coluviales y eluviales**

El interés hidrogeológico de los cuaternarios coluviales es, desde el punto de vista del volumen de sus recursos y de las posibilidades de aprovechamiento, prácticamente nulo. Cabe destacar los de Opakua y Urkilla, con amplio desarrollo espacial y espesores que pueden superar los 5 m, y Matxitxako, con potencias máximas del orden de la decena de metros. Los manantiales asociados a estos depósitos son de muy bajo caudal (inferior a 1 l/s) y suelen secarse durante los estiajes.

Cabe señalar la peculiaridad de las surgencias de Matxitxako (por ejemplo Galdiz) con un contenido en sales reducido (100-190 mg/l de residuo seco) predominando los aniones cloruro y sulfato, y una marcada acidez (pH en torno a 4,5-7). Las causas de estas particularidades hay que buscarlas respectivamente en la superficialidad y rapidez de los flujos, en el lavado de partículas salinas depositadas en la superficie a partir de aerosoles marinos, y en la oxidación de sulfuros diseminados en los materiales.

**RECURSOS**

El establecimiento de los recursos en el Dominio Cuaternario entraña algunas dificultades, ligadas a la falta de un conocimiento detallado de algunos de los acuíferos que lo integran:

- La evaluación de la *recarga* basada en balances de agua en el suelo, sin datos fiables de permeabilidad de los niveles superiores de limos y arcillas, puede dar lugar a importantes errores en la cuantificación de la infiltración de la lluvia. A este hecho hay que añadir, en su caso, la dificultad inherente a la evaluación de recargas subterráneas laterales, de entradas ligadas a relaciones de influencia de los cursos superficiales y de la proporción de realimentación inducida, la cual puede ser muy superior a la de los recursos subterráneos propios.

- Los principales mecanismos de *descarga* natural de estos acuíferos son de tipo difuso, ya sea hacia zonas húmedas, cursos superficiales, o incluso hacia el mar. Es por ello que, en ausencia de estudios de detalle, resulta complicada y sujeta a grandes errores la evaluación precisa de la descarga.

No obstante, se ha efectuado un balance estimativo basado en el área que ocupan y considerando que los parámetros hidrológicos varían entre márgenes tan amplios como lluvia útil entre 0 y 2.000 mm y porcentajes de infiltración entre el 100% y próximos al 0% en aquellos casos en los que la cobertera limoarcillosa así lo condiciona.

Para un área de 476 $km^2$, excluidas las unidades diferenciadas, resulta un recurso renovable de 29 $Hm^3$/año, entendiendo que es un valor mínimo, en régimen no influenciado y susceptible, por tanto, de variaciones muy significativas.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

En las últimas décadas los acuíferos cuaternarios han ido perdiendo progresivamente su papel en el abastecimiento doméstico, basado en pozos excavados de gran diámetro. A pesar de ello, algunos pequeños núcleos aislados todavía basan su abastecimiento en este tipo de captaciones.

Simultaneamente, se han perforado un gran número de nuevos sondeos que, en algunos casos, han ofrecido resultados muy satisfactorios, bien sea para completar dotaciones de determinadas poblaciones, bien para uso industrial, agrícola, ganadero, etc.

Destacan, en este sentido, las productividades de los sondeos realizados en los acuíferos costeros y de estuario. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Sondeos Lastaola (Bidasoa), usados como complemento en estiaje para abastecimiento de Irun y Hendaia. Su caudal de explotación es de 30 l/s.

- Sondeos del Urumea, de uso fundamentalmente industrial, presentan unas extracciones anuales superiores a 10 $Hm^3$. Entre ellos destacan los pozos Karabel, destinados al abastecimiento de Hernani.

- Sondeos Oikina (Urola), que han abastecido a Zumaia.

- Sondeo Vega (Unidad Hidrogeológica Gernika).

Por el contrario, en los cuaternarios fluvio-aluviales interiores de la vertiente cantábrica la productividad de los sondeos realizados es muy reducida, siendo inusuales caudales superiores a 1 l/s. Su explotación actual, destinada a uso doméstico e industrial, riego de pequeñas parcelas de huerta, etc., se puede considerar insignificante.

Más importante es el papel de los cuaternarios fluvio-aluviales interiores de la vertiente mediterránea, que posibilitan el regadío estival de extensas y ricas áreas agrícolas. Tal es el caso de la Unidad Vitoria, en la que se han bombeado hasta fechas recientes más de 6 $Hm^3$/año, y el cuaternario de Zambrana. Por otro lado, determinadas perforaciones realizadas en estos acuíferos permiten el complemento de las dotaciones de algunas poblaciones y abastecimiento de ciertas industrias. Así, en el cuaternario de Oion, se encuentran, entre otros, pozos como La Serna, que abastece a la población del mismo nombre, y los sondeos Infema, de uso industrial. Su productividad se puede considerar baja, con caudales de explotación que no suelen superar unos pocos litros por segundo.

En lo que se refiere a los cuaternarios coluviales, su interés de cara al abastecimiento es muy limitado. Su aprovechamiento se reduce a la captación de los pequeños manantiales que los drenan, en general de caudal inferior a 1 l/s, para uso generalmente doméstico.

En conjunto, el aprovechamiento actual del recurso asociado a los depósitos cuaternarios, excluyendo el inducido de las corrientes superficiales, puede estimarse en un mínimo de 6 $Hm^3$/año, equivalente al 20% aproximadamente del renovable en un año medio.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

DFA (1983). Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de Oion con aguas subterráneas. (CGS).

DFG-SGOP (1985). Estudio de evaluación de los recursos hidráulicos subterráneos del Territorio Histórico de Gipuzkoa. (EUROESTUDIOS-INGEMISA).

EVE (1985). Estudio hidrogeológico de Oion (GEOTHEKNIKA).

ARRIZABALAGA, I. (1986). Contribución al estudio hidrogeológico de los materiales cuaternarios de Gernika y Durango. (Tesis de Licenciatura, UPV-EHU).

DFB (1986). Estudio hidrogeológico de Vizcaya. (UPV-EHU).

EVE (1986). Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua al TM de Orduña (Bizkaia). (INGEMISA).

EVE-DFG (1987). Estudio hidrogeológico de la unidad Gatzume-Zestoa. (GIGSA).

EVE-DFG (1987). Estudio hidrogeológico del área de Tolosa Occidental. (INGEMISA).

EVE-DFG (1987). Estudio hidrogeológico del área de Tolosa Oriental. (EUROESTUDIOS).

EVE (1989). Investigación hidrogeológica del Area Ocio-Berganzo. (GIGSA).

EVE (1990). Estudio de demandas de abastecimiento de agua. Área de Leza (Álava) (GIGSA).

EVE (1992). Estudio hidrogeológico del Área de Lagran. (GIGSA).

LLANOS, H.J. (1992). Estudio hidrogeológico de la Unidad de Urbasa-Montes de Vitoria-Treviño y sus sectores adyacentes. (Tesis de Doctorado, UPV-EHU).

MORALES, T. (1992). Estudio hidrogeológico de la zona norte de Vizcaya. (Tesis de Doctorado, UPV-EHU).

EVE-DFG-GV (1992). Sondeos de control piezométrico Orduña.

EVE (1994). Control de la evolución de la unidad hidrogeológica Gernika.

ARRATE, I. (1994). Estudio Hidrogeológico del Acuífero Cuaternario de Vitoria-Gasteiz (Araba). (Tesis de Doctorado, UPV-EHU).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Santa Clara | 489900 | 4760025 | 280 | 1-10 | Abastecimiento de Orduña. Zona de descarga difusa |
| Galdiz | 520400 | 4810200 | 40 | 1-10 | Abastecimiento de caseríos |
| Bolue | 500650 | 4799400 | 15 | 1-10 | Captado antiguamente por Getxo. Descarga difusa |

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Lastaola | 602400 | 4798700 | 7 | >30 | 2 sondeos. Abastecimiento Mancomunidad de Txingudi |
| Sanatorio | 504780 | 4807210 | 8 | 5 | 2 pozos. Abastecimiento Sanatorio de Gorliz |
| San Pelayo | 568475 | 4792775 | 5 | 6 | Abastecimiento Zarauz. Destinado a riego |
| Karabel | 583625 | 4790870 | 9 | 70 | Abastecimiento a Hernani. Uso temporal |
| Oikina | 562835 | 4792285 | 12 | - | 2 sondeos. Abastecimiento de Zumaia |
| Barbadun | 490400 | 4796375 | 20 | >5 | Calidad del agua deficiente |
| Infema | 546400 | 4704750 | 410 | 7 | 2 pozos |
| La Serna | 540750 | 4706010 | 410 | - | 4 sondeos. Abastecimiento La Serna |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA VITORIA

## GENERALIDADES

Está localizada en el sector más occidental de la Llanada Alavesa, integrada en el Dominio Hidrogeológico Plataforma Alavesa (figura 1). Se dispone en un corredor de suaves topografías elongado en dirección E-O y atravesado por el río Zadorra y sus afluentes (Alegria y Zubialde-Zaia fundamentalmente). Es el más extenso de los acuíferos cuaternarios de la Comunidad Autónoma del País Vasco, ocupando una superficie de unos 90 km$^2$.




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

La superficie del acuífero se caracteriza por la existencia de prácticas agrícolas intensivas y por la presencia de pequeños núcleos aislados de población, exceptuando Vitoria-Gasteiz que se dispone aproximadamente en el centro de la unidad. Su privilegiada situación y la facilidad de aprovechamiento hizo que la explotación del acuífero se remontase, cuando menos, a la ocupación romana, tal y como se observa en las ruinas que existen en la localidad de Arkaia. Durante la Edad Media, las actuaciones del hombre sobre el medio natural y sobre el acuífero se han sucedido paulatinamente: tala del bosque de ribera que ocupaba la práctica totalidad de la superficie, roturación de nuevas tierras, modificación del trazado de determinados cursos superficiales, captación del acuífero para usos domésticos en las localidades dispuestas sobre el cuaternario, etc. Sin embargo, es a partir de mediados de este siglo cuando las consecuencias de la intervención humana sobre el medio natural se hacen más patentes, coincidiendo con un cambio en el régimen de explotación agraria de secano a regadío:

- Por una parte, las prácticas agrícolas intensivas desarrolladas desde esta fecha, que conllevan la aplicación de grandes volúmenes de fertilizantes, han conducido a una intensa contaminación de las aguas subterráneas por compuestos nitrogenados.

- Por otra parte, el incremento de la densidad de la red de acequias de drenaje provoca una importante disminución de la capacidad de regulación del acuífero y la desaparición parcial de las extensas zonas húmedas existentes en el sector, denominadas “Balsas de Zurbano y Betoño”, que constituían un entorno de alto interés ecológico y paisajístico, único en el territorio alavés.

La pluviosidad anual media en la zona es del orden de 850 mm, con los valores más elevados en el periodo noviembre-enero. Respecto a la temperatura, los valores medios anuales alcanzan 11-12°C aproximadamente.

## GEOLOGIA

Los depósitos cuaternarios de esta unidad pueden ser clasificados en (figura 2):

**Depósitos aluviales.** Constituidos por gravas heterométricas (1-10 cm) y angulosas, incluidas en una matriz arcillo-arenosa. Están formadas fundamentalmente por cantos de calizas y lentejones irregulares de arenas y arcillas. Han sido distinguidos tres niveles de acumulación, todos ellos con características muy similares: $A_2$ (198, situado a 20-25 m sobre el nivel de base actual), $A_1$ (197, dispuesto a 5-10 m sobre el nivel de acumulación actual), y $A_0$ (200, que conecta con los depósitos fluviales actuales de fondo de valle).

Estos depósitos se corresponden con el relleno multiepisódico de una superficie de erosión previa a partir de antiguos ríos de canales entrecruzados estructurados en varios

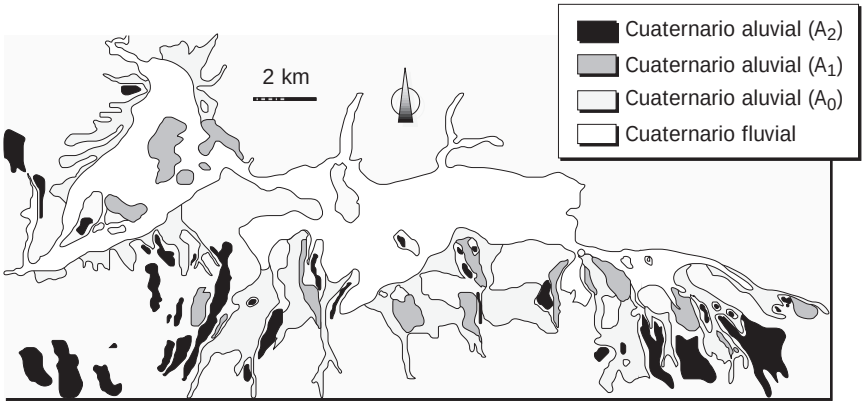



Figura 2. Tipología de depósitos cuaternarios.

abanicos aluviales, y con dos áreas madres: Montes de Vitoria (al Sur) y Macizo de Gorbea (al Norte). La posición de las áreas madre condiciona por completo la granulometría de los depósitos: las facies más gruesas (facies proximales) se suelen encontrar a lo largo de una banda que recorre el borde Sur del cuaternario, y también en el extremo Noroeste. Estas facies son sustituidas progresivamente por granulometrías más finas (facies distales) a medida que aumenta la distancia a las áreas fuente.

**Depósitos fluviales** (200). Estos depósitos se sitúan estratigráficamente por encima de los anteriores. Están constituidos fundamentalmente por arcillas de color oscuro, ricas en ocasiones en materia orgánica, cuyo espesor oscila entre 0,1 y 3 m. En la base de estas arcillas suele existir un nivel de arenas de grano grueso y, ocasionalmente, gravas relativamente homométricas y bien rodadas. La litología de los clastos es idéntica a la existente en la formación aluvial. Estos materiales se identifican con depósitos actuales asociados a ríos de tipo meandriforme, los cuales atraviesan hoy en día el área de estudio.

El muro de la unidad está constituido por una serie del Cretácico superior que comienza al Noroeste con los materiales carbonatados del Karst de Apodaka (Subunidad Huetos-Apodaka, Unidad Hidrogeológica Subijana, 72 a 74) y por encima se disponen materiales margosos, más o menos calcáreos (75 a 84).

En lo que respecta a las características estructurales del sustrato, únicamente cabe destacar el Sinclinorio de Vitoria. Esta estructura se compone de diversos plegamientos menores, muy suaves, de dirección N110E-N120E y cuyo eje buza hacia el Este. Los buzamientos de los flancos son muy tendidos, de 5 a 10° como media. Las estructuras se amortiguan hacia el Sur y hacia el Este. Las fallas son de desarrollo fundamentalmente vertical y longitud variable. Adquieren mayor importancia en el sector más occidental del área, con máximos de frecuencias en N30E, N80E y N115E, y otros de menor importancia en N10E, N50E y N135E.

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

A la vista de sus características litológicas, la permeabilidad de las formaciones cuaternarias (197, 198, 200) puede ser muy variable. El carácter anisótropo de estos depósitos, con frecuentes y bruscos cambios laterales de facies, da lugar a las consiguientes variaciones espaciales de este parámetro. En este sentido, las facies proximales de la formación de origen aluvial presentan una permeabilidad notablemente superior a la que proporcionan las facies distales y la formación de origen fluvial. Las dos últimas facies, localmente, se pueden considerar incluso de muy baja permeabilidad. A pesar de este hecho, y de manera general, se pueden considerar a los materiales cuaternarios de alta permeabilidad.

En lo que se refiere al sustrato, se consideran de permeabilidad alta los materiales cretácicos de carácter carbonatado (72). La permeabilidad en esta formación está relacionada fundamentalmente con procesos de fracturación. De manera localizada, pero con gran desarrollo longitudinal, se produce karstificación a favor de la intersección entre planos de estratificación y

fracturas. Esta karstificación es la responsable de la circulación subterránea del río Zubialde y sus afluentes desde Murua (varios km al Norte de la unidad) hasta las surgencias que se disponen en la zona noroccidental del Cuaternario de Vitoria.

Se consideran de permeabilidad media los materiales carbonatados con presencia de terrígenos (73, 82). De permeabilidad baja, secuencias alternantes de margas y margocalizas (74, 75, 76, 81, 83). En todas estas formaciones la permeabilidad está relacionada con fenómenos de fracturación.

El resto de las formaciones, de carácter fundamentalmente margoso, se consideran de muy baja permeabilidad.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

La unidad se articula geométricamente en tres grandes sectores, individualizados por acusados estrechamientos de los afloramientos cuaternarios (figura 3):

**- Sector Occidental.** Posee un extensión de unos 27 km$^2$, incluidas terrazas. El espesor de los depósitos fluviales y aluviales es por lo general despreciable, inferior a 1 m. Cabe destacar únicamente el estrecho Surco de Foronda, en el cual existen potencias máximas de unos 7 m.

**- Sector Oriental.** Ocupa un superficie de 45 km$^2$, incluidas terrazas. Unicamente tienen interés los materiales aluviales del nivel inferior ($A_0$) y los depósitos fluviales, con una potencia media de unos 4 m y máxima de 11 m (Surco de Elorriaga). El mapa de espesores muestra la existencia de diversos altos o umbrales en el sustrato que tienen la misma significación que los retazos cretácicos no solapados por el cuaternario.

**- Sector Dulantzi.** Posee una extensión de unos 18 km$^2$, incluidas terrazas. En algunos puntos se constatan potencias superiores a 5 m.

A la vista del mapa de espesores podría parecer que el muro del acuífero cuaternario adopta morfologías en forma de cubetas cerradas. Sin embargo, las curvas que definen la cota del sustrato no llegan nunca a cerrarse. Los depósitos sellan una red de drenaje previa y las aparentes cubetas están motivadas por la relación entre la pendiente topográfica y la pendiente del muro del acuífero.

*MECANISMOS DE RECARGA Y DESCARGA*

El acuífero se **recarga** mediante los siguientes mecanismos:

**Recarga superficial**

- Infiltración eficaz de la precipitación caída sobre los depósitos cuaternarios. El carácter arcilloso de la mayor parte de la superficie del acuífero podría sugerir la posibilidad de que una proporción de la lluvia útil se transformase en escorrentía superficial. No obstante, la existencia de amplias áreas roturadas y de grietas de

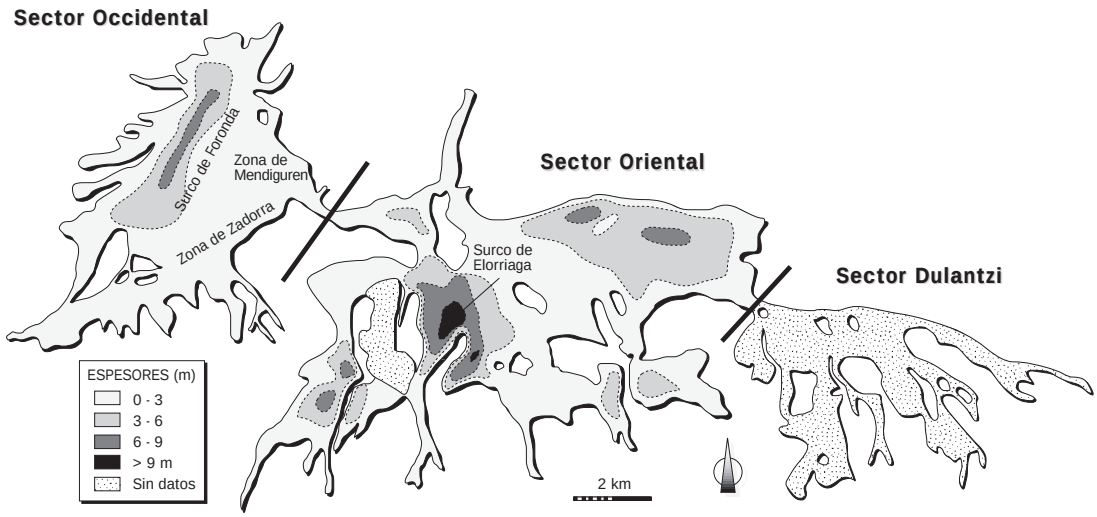



Figura 3. Esquema de sectores.

desecación y tubificaciones (piping) da lugar a una rápida y total infiltración de la lluvia útil a favor de estas estructuras.

- Excedentes de riegos en las zonas de cultivos de regadío.

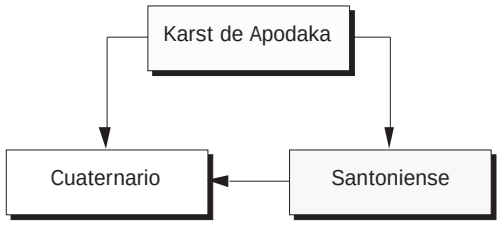
- Infiltración puntual de aguas residuales de diversas poblaciones sin red de saneamiento situadas sobre los depósitos cuaternarios.

**Recarga lateral**

- Infiltración de escorrentías superficiales difusas procedentes de cuencas laterales, en los bordes del cuaternario.

**Recarga subterránea**

- Aportes subterráneos al Sector Occidental procedentes del Karst de Apodaka (72, 73, 74) y del Santoniense (75). Este hecho ha sido comprobado mediante trazados y es apoyado por datos hidroquímicos.




**Recarga desde la red de drenaje**

- Comportamiento influente de arroyos en periodos de estiaje. Esta situación es particularmente observable en las zonas del borde Sur del Sector Oriental, caracterizadas por facies proximales de depósitos aluviales. El caudal de estos cursos se infiltra a veces por completo y el cauce permanece seco durante varios meses. Esta situación se aprecia incluso en la toponimia, como en el caso del Errekaleor ("río seco").

- Comportamiento influente de los cursos superficiales en periodos de crecida. La inmediata respuesta de los niveles ante la precipitación (siguiente apartado) sugiere que este mecanismo no debe ser importante en lo que se refiere a volúmenes de recarga.

La **descarga** se realiza fundamentalmente mediante los siguientes mecanismos:

**Descarga a la red de drenaje**

- Descarga difusa hacia la red de drenaje. La densa red fluvial y de acequias existente en la actualidad (figura 4) posibilita un rápido drenaje del acuífero una vez que el nivel piezométrico supera la cota de los cauces.

- Descarga difusa a favor de zonas húmedas, producto de la intersección del nivel piezométrico con la superficie topográfica. El rebose de los antiguos humedales del cuaternario constituyó el mecanismo de descarga natural de los sectores occidental y oriental. Estos humedales son los siguientes:

Laguna de Otaza, que constituye la zona de descarga del Surco de Foronda (Sector Occidental). Este humedal poseía una extensión de aproximadamente 5 Ha. Actualmente su superficie se reduce a una pequeña charca cuyo rebose medio es de unos 2 l/s, con valores mínimos y máximos del orden de 0,25 y 350 l/s respectivamente.

Balsas de Zurbano. Representaba la zona de descarga del Sector Oriental, exceptuando el Surco de Elorriaga. En la actualidad, como consecuencia de la presencia de profundos drenes que la atraviesan longitudinal y transversalmente, únicamente presenta superficie de agua libre, y en un lapso de tiempo de pocas horas, en épocas de precipitación muy intensa. En estas condiciones su extensión es de 47 Ha. Su caudal medio es actualmente de unos 4 l/s, con valores mínimos y máximos del orden de 1,5 y 200 l/s respectivamente.

Balsas de Betoño, zona de descarga del Surco de Elorriaga (Sector Oriental). Su extensión máxima es de 26 Ha. Su caudal medio es actualmente de unos 1,5 l/s, con valores mínimos y máximos del orden de 0,5 y 100 l/s respectivamente. Este humedal ha sido recuperado en 1995.

Estas zonas húmedas se localizan en las zonas más bajas topográficamente, frecuentemente limitadas por los diques naturales de los cursos superficiales. Se disponen en zonas de convergencia de flujo subterráneo, con acusado carácter arcilloso (facies fluviales y aluviales distales), y en relación con la presencia de una barrera al flujo subterráneo (afloramientos cretácicos). Se trata, por tanto, de áreas con dificultad de drenaje superficial y subterráneo.

- Descarga localizada a favor de manantiales. Su origen es la intersección del nivel

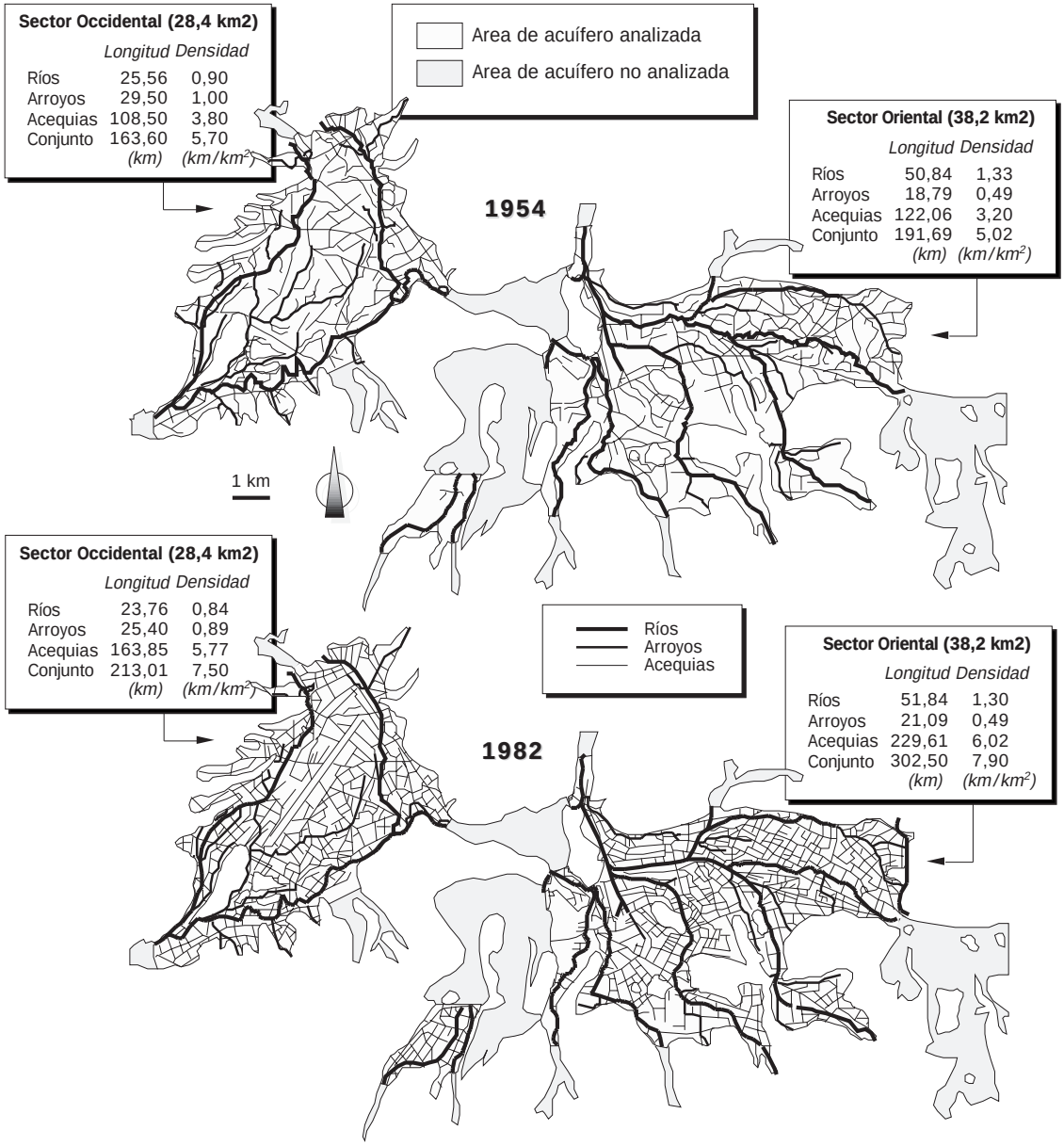



Figura 4. Evolución de la red de drenaje.

piezométrico con la superficie topográfica. Se trata de surgencias de escaso caudal (inferior a 1 l/s), pero relativamente constante a lo largo del tiempo. En estiaje se suelen secar como consecuencia del descenso del nivel freático.

**Bombeos**

Los bombeos realizados en el acuífero obedecen a tres objetivos distintos:

- Completar las necesidades de regadío estival de los cultivos intensivos existentes sobre los depósitos cuaternarios. Los pozos utilizados a tal fin son de grandes dimensiones (de 3 a 20 m de longitud) realizados con retro-excavadora, y sin revestir. Son particularmente abundantes en el Sector Oriental. En este sector, durante las décadas de los setenta y ochenta, la mayor parte de la demanda fue satisfecha mediante estos pozos. En el Sector Occidental, sin embargo, el regadío se efectuó fundamentalmente a partir del

bombeo de cursos superficiales próximos al campo de labor, debido al escaso rendimiento de los pozos contruidos en este sector.

A partir de 1992 la mayor parte de estos pozos se han ido abandonando en el Sector Oriental, debido a la construcción de una red de distribución para regadío basada en grandes balsas. De la misma manera, en 1995 se han abandonado los pozos y captaciones del Sector Occidental, ante la puesta en marcha del Plan de Riego Arrato, basado en la reutilización de las aguas residuales de la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

- Necesidades domésticas de las diversas poblaciones dispuestas sobre los depósitos cuaternarios. Los pozos utilizados a tal fin son de gran diámetro (40-100 cm de diámetro), revestidos de piedra. Hasta hace pocos años se empleaban como suministro de agua potable. Actualmente, dado que la práctica totalidad de las localidades están conectadas con la red de abastecimiento de Aguas Municipales de Vitoria (AMVISA), se emplean fundamentalmente para el regadío estival de pequeñas parcelas de huerta.

- Usos industriales (generalmente refrigeración). Los sondeos destinados a tal fin suelen ser de pequeño diámetro, y se encuentran situados en los polígonos industriales que rodean el casco urbano de Vitoria-Gasteiz.

Si bien estos pozos superan un número total de quinientos, en el mapa se señalan tan solo dos de las zonas más productivas, Elorriaga y Arbulo, ambas situadas en el Sector Oriental.

**Evapotranspiración**

Teniendo en cuenta que el nivel piezométrico se encuentra por lo general a una profundidad comprendida entre 0 y 2-3 m (tal como se describe en el siguiente apartado), es lógico suponer que en determinados periodos y zonas pueda existir evapotranspiración directa en la zona saturada.

*PIEZOMETRIA*

**Sector Occidental**

En este sector el flujo subterráneo (expresado en el mapa) está condicionado por completo por la existencia de barreras longitudinales y transversales al flujo subterráneo, en forma de afloramientos cretácicos. Estas barreras en algunos casos están solapadas por terrazas $A_1$, las cuales se encuentran desconectadas del acuífero principal o secas en la mayor parte de los periodos del año. Las barreras individualizan tres zonas: Surco de Foronda, Zona de Mendiguren y Zona de Zadorra. Las dos últimas, dado que el espesor de cuaternario existente no supera en ningún caso 1,5 m, no tienen ningún interés hidrogeológico (figura 3).

En el Surco de Foronda el nivel piezométrico se encuentra a una profundidad comprendida entre los 0-0,5 m (laguna de Otaza, zona de descarga) y 2,5-3 m (Foronda). El flujo subterráneo se realiza de Norte a Sur y es, por tanto, congruente con el sentido de flujo en los cursos superficiales. El gradiente hidráulico oscila entre $1,8 \times 10^{-3}$ y $7,5 \times 10^{-3}$. Las oscilaciones estacionales del nivel piezométrico apenas inciden en las características geométricas de la superficie piezométrica.

**Sector Oriental**

El contorno irregular de este sector posibilita la existencia de acusados estrechamientos del acuífero, que incluso individualizan determinadas zonas, y en los que el flujo de agua debe realizarse fundamentalmente en forma de escorrentía superficial, a favor de los arroyos que unen dichas zonas.

En este sector, al igual que en el Occidental, las direcciones de flujo subterráneo son congruentes con las de los cursos superficiales, es decir, de Este a Oeste en la mitad septentrional y de Sur a Norte en la meridional. El nivel piezométrico se encuentra a una profundidad comprendida entre los 0-0,5 m (Balsa de Betoño) y 6 m (condiciones de estiaje, Surco de Elorriaga). El gradiente hidráulico oscila entre $2,8 \times 10^{-3}$ y $8,8 \times 10^{-3}$.

**Sector Dulantzi**

En el Sector Dulantzi el flujo subterráneo se produce de Este a Oeste en la mitad septentrional y de Sur a Norte en la meridional. El nivel piezométrico se encuentra a una profundidad comprendida entre 0,5-1 m (Elburgo, zona de descarga) y 2-3 m (Alegría). El gradiente hidráulico oscila, en términos medios, entre $4,0 \times 10^{-3}$ y $9,6 \times 10^{-3}$.

Cabe señalar la existencia de una barrera al flujo, de origen antrópico, constituida por el canal del río Alegria. Este canal de hormigón, excavado unos 2,5 m en el acuífero, fue construido a

principios de los 70 con el fin de derivar hacia el sistema de embalses del Zadorra el río Alegría y sus afluentes en las proximidades de la localidad de Elburgo. Puede constituir en ocasiones, teniendo en cuenta los espesores de los depósitos cuaternarios en la zona (de 1 a 5 m) una importante barrera al flujo subterráneo, si bien no existen datos de niveles que puedan apoyar esta hipótesis.

Se han distinguido en la unidad cuatro grandes grupos de registros de nivel piezométrico, controlados por factores tales como: espesor de los depósitos, permeabilidad, potencia de zona no saturada, proximidad a una acequia de drenaje y bombeos. Algunos ejemplos se muestran en la figura 5.

- El grupo 1 corresponde a las zonas de menor espesor saturado y no saturado, próximos a acequias de drenaje.

- Los correspondientes al grupo 2 se sitúan en zonas con espesor de cuaternario comprendido entre 2 y 4 m, permeabilidad baja a media, y próximos a canales de drenaje.

- Al grupo 3 pertenecen los registros en zonas con permeabilidad media-alta y potencia de cuaternario entre 2 y 5 m.

- El grupo 4 lo constituyen los registros en zonas de máximo espesor (saturado y no saturado) y transmisividad, de forma que las acequias de drenaje no afectan directamente al nivel piezométrico. En este grupo se incluyen las zonas de Elorriaga y Arbulo.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. PARAMETROS*

Los datos de parámetros hidráulicos existentes se han basado en ensayos de bombeo y recuperación (cuadro 1) y en un modelo matemático de flujo del Sector Oriental.

| Area | Fecha | T ($m^2$/día) | S |
|---|---|---|---|
| Elorriaga (2) | 1971 | 185 - 305 | 0,003 - 0,004 |
| Zapardiel (2) | 1971 | 125 | 0,2 |
| Alegría (3) | 1987 | 15 | - |
| Zurbano (2) | 1987 | 2 | - |
| Antezana (1) | 1987 | 70 | - |
| Durana (2) | 1987 | 670 - 1.100 | - |

Cuadro 1. Resumen de los resultados de los ensayos de bombeo y recuperación existentes. (1) Sector Occidental. (2) Sector Oriental. (3) Sector Dulantzi.

Destacan los bajos valores de transmisividady permeabilidad en las zonas de borde (Zurbano),

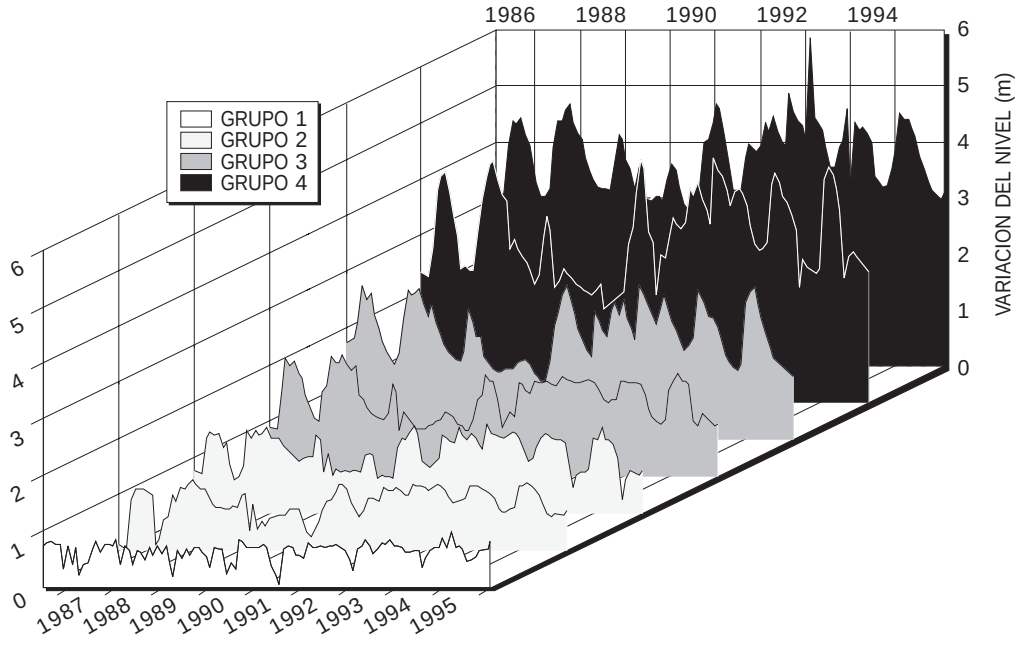



Figura 5. Registros de nivel piezométrico.

caracterizadas por materiales limo-arcillosos de llanura de inundación, y los altos valores en Durana, si bien éstos últimos probablemente no son representativos de la formación cuaternaria. En las zonas más potentes del Sector Oriental, las transmisividades obtenidas son superiores a 125 $m^2$/día, con permeabilidades de conjunto del orden de 20 m/día. En el Sector Occidental, estos parámetros presentan valores más reducidos, como consecuencia de la existencia de una mayor fracción arcillosa en la matriz. Los valores de T y K en estas zonas son del orden de 70 $m^2$/día y 15 m/día respectivamente.

En lo que se refiere al coeficiente de almacenamiento (S), en la zona de Elorriaga el valor de este parámetro (0,003-0,004) y la magnitud del radio de influencia (60-200 m), indican condiciones de confinamiento. Este hecho ha sido comprobado en las Balsas de Betoño y Zurbano, zonas con una cobertera arcillosa de espesor superior a 2 m, en donde en época de intensas precipitaciones los piezómetros construidos son surgentes, con el nivel hasta 0,5 m por encima de la superficie topográfica. Sin embargo, en la zona de Zapardiel, el coeficiente de almacenamiento es sensiblemente superior (0,2), a la vez que se reduce el radio de influencia (20 m). Ello indica condiciones libres para el manto.

Los datos obtenidos del modelo matemático son congruentes con los procedentes de los ensayos de bombeo: las máximas transmisividades se encuentran en el Surco de Elorriaga, con valores próximos a 220 $m^2$/día. En zonas de borde, este parámetro presenta magnitudes del orden de 5 a 20 $m^2$/día. Los valores medios del Sector Oriental oscilan entre 30 y 70 $m^2$/día. En lo que respecta al coeficiente de almacenamiento, el modelo indica que el funcionamiento general del Sector Oriental es libre, con un valor general del parámetro de 0,21.

En consecuencia, esta unidad constituye un acuífero de porosidad intergranular, por lo general de carácter libre. Sin embargo, en las zonas de descarga (antiguas zonas húmedas), caracterizadas por la presencia de facies fundamentalmente arcillosas, se dan fenómenos de confinamiento.

En el funcionamiento del acuífero destaca el importante papel de los arroyos y de las acequias. La recarga producida por la lluvia es drenada en un corto periodo de tiempo por la densa red de drenaje. En estas condiciones, y teniendo en cuenta el reducido espesor de la formación se puede extraer como conclusión la poca capacidad de regulación del acuífero y, por tanto, un escaso potencial de reservas para periodos superiores al año hidrológico.

El propio origen de los depósitos confiere al acuífero una elevada anisotropía, con rápidos cambios de permeabilidad. Por otro lado, el grado de compartimentación es acusado. Esto es debido, por un lado, a los frecuentes estrechamientos que presenta el contorno del cuaternario, y por otro, a la reprofundización de determinados cauces superficiales hasta el sustrato margoso, lo que puede individualizar determinadas zonas dentro de cada uno de los sectores.

*BALANCE HIDRICO*

A la hora de cuantificar las entradas y salidas se han tenido en cuenta:

- **Balances hidrometeorológicos** mensuales específicos en zonas cultivadas y no cultivadas, para el cálculo de recarga superficial y lateral. En zonas cultivadas (la práctica totalidad de la superficie del cuaternario) se ha considerado una precipitación anual de 843 mm, una dotación de riego de 248 mm, repartidos de Junio a Septiembre, y una evapotranspiración de 673 mm. La lluvia útil anual resultante del balance para esta zona es de 418 mm. Se ha utilizado una capacidad de campo de 30 mm, ya que es la que mejor se ha ajustado a los tiempos de respuesta de los niveles ante las precipitaciones.

Los porcentajes de infiltración de lluvia útil han sido tomados del modelo matemático: 100% para la recarga superficial y 30% para la recarga lateral (en el campo se ha observado un porcentaje de infiltración en este último caso muy variable según las condiciones hidrológicas; sin embargo, se ha utilizado este porcentaje constante con el fin de simplificar los cálculos).

No se ha considerado la infiltración de aguas residuales, debido a la imposibilidad de estimarlas fiablemente, y a que su valor va a ser menor, probablemente, que el error cometido en el cálculo de la lluvia útil. De la misma manera, no se incluyen en el balance las salidas por evapotranspiración en zona saturada.

- Los resultados obtenidos en la **modelación del flujo** del Sector Oriental mediante TRANSIN II, programa que permite resolver y estimar los parámetros de las ecuaciones de flujo y transporte mediante elementos triangulares de tres nudos.

En el modelo se han estimado la recarga lateral, bombeos y relaciones acuífero río (todos ellos implementados en los nudos), así como recarga superficial, transmisividades y coeficiente de almacenamiento (implementados en los elementos). El modelo ha simulado el flujo en el acuífero en régimen transitorio desde Julio de 1990 hasta Octubre de 1991, a partir de quince puntos de observación, con el fin de comprobar el modelo conceptual de funcionamiento propuesto. El modelo numérico resultante reproduce de forma satisfactoria las respuestas del sistema (figura 6).

- **Datos de aforos** en arroyos y manantiales de los Sectores Occidental y Oriental tomados en el año hidrológico 1990-1991.

- Los **balances hídricos y ensayos con trazadores en la Subunidad Huetos-Apodaka (Unidad Hidrogeológica Subijana)** con el fin de cuantificar la recarga subterránea por parte de este sistema al Sector Occidental.

El balance hídrico de la unidad se recoge en el cuadro 2.

| **Entradas** | **Hm³ / año** | **Salidas** | **Hm³ / año** |
|---|---|---|---|
| SECTOR OCCIDENTAL | | | |
| Recarga superficial | 5,10 | Bombeos | 0,70 |
| Recarga lateral | 3,18 | Red de drenaje | 9,48 |
| Recarga subterránea | 1,90 | | |
| *Total Sector* | *10,18* | *Total Sector* | *10,18* |
| SECTOR ORIENTAL | | | |
| Recarga superficial | 18,84 | Bombeos | 5,29 |
| Recarga lateral | 5,21 | Red de drenaje | 20,82 |
| Arroyos | 2,06 | | |
| *Total Sector* | *26,11* | *Total Sector* | *26,11* |
| SECTOR DULANTZI | | | |
| Recarga superficial | 7,42 | Bombeos | 0,50 |
| Recarga lateral | 1,75 | Red de drenaje | 8,73 |
| Arroyos | 0,06 | | |
| *Total Sector* | *9,23* | *Total Sector* | *9,23* |
| **TOTAL** | **45,52** | **TOTAL** | **45,52** |

Cuadro 2. Balance de la Unidad Vitoria.

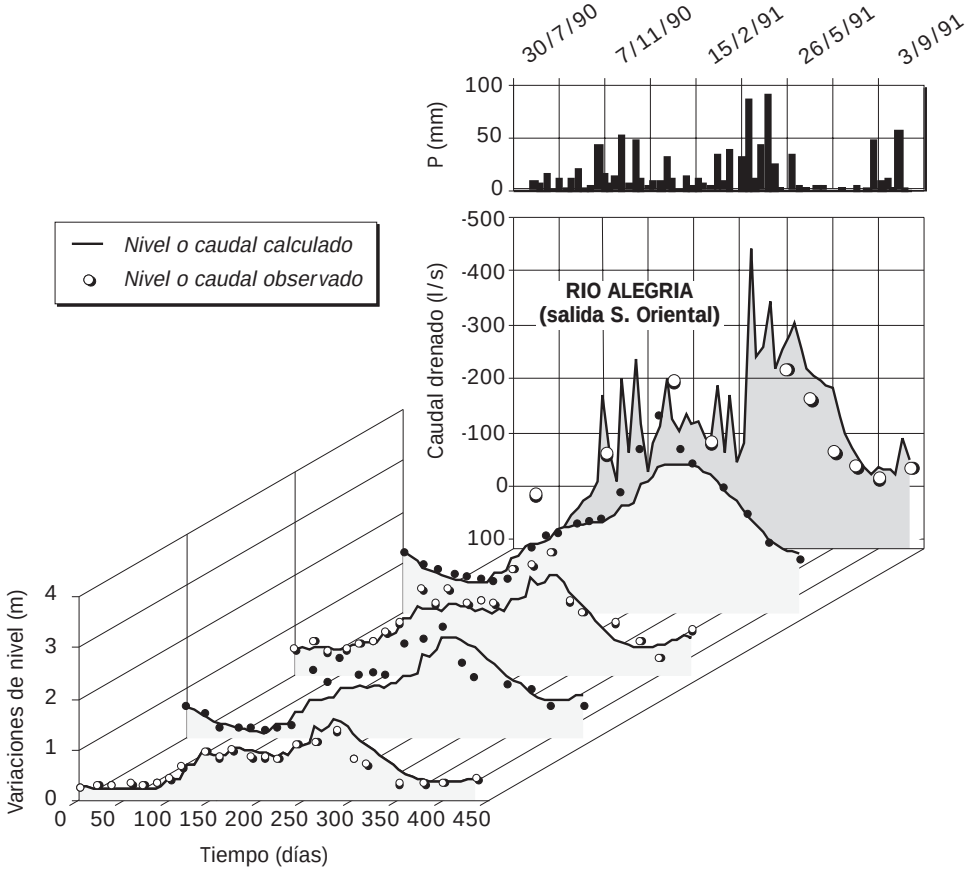



Figura 6. Niveles y caudales generados por el modelo matemático frente a los observados.

*CAPACIDAD DEL ACUIFERO*

Para el cálculo de la capacidad de embalsamiento del acuífero se ha partido del mapa de espesores de la figura 3, suponiendo 3 m el espesor medio de la formación cuaternaria no incluida en éste, y excluyendo las terrazas $A_1$, como en el cálculo del balance. Se ha tomado como porosidad eficaz el valor de 20% procedente del modelo matemático. La cifra resultante es de 41 $Hm^3$ de capacidad máxima del acuífero.

**HIDROQUIMICA. CALIDAD**

Las aguas del acuífero cuaternario son de facies bicarbonatada cálcica, duras, y de mineralización media-alta (cuadro 3). La principal característica es el rápido incremento de las concentraciones en nitrato que se ha dado en la década de los 80 y a principios de los 90. En el acuífero, el 75% de las muestras analizadas desde 1990 superan los límites tolerables en $NO_3^-$ (50 mg/l) para aguas potables, con puntas que superan en ocasiones los 600 mg/l.

Los procesos que parecen condicionar las distribuciones espaciales y evoluciones temporales del quimismo en las aguas subterráneas y superficiales de la unidad son los siguientes:

**Procesos de contaminación directa**

**Prácticas agrícolas. Abonado**. El lixiviado de los abonos relacionados con las prácticas agrícolas que se desarrollan actualmente es el principal responsable, combinado con la infiltración de aguas residuales, del aumento de las concentraciones de $NO_3^-$.

La escasa potencia de la zona no saturada, y la gran extensión del acuífero con respecto al espesor saturado hacen de esta unidad un sistema extremadamente vulnerable a la contaminación difusa. Se ha estimado que en la superficie de este acuífero las dosis anuales medias de abonado y de aplicación de pesticidas son, aproximadamente, de 200 kg N/ha y 2 kg/ha respectivamente.

El área ocupada por los cultivos de regadío ha pasado sucesivamente de menos del 1% (1954) de la superficie del acuífero a 11,5% (1968) y a 67,5% (1982), en detrimento de las zonas de secano que han pasado de representar el 78,9% (1954) a 11,4% (1982). La situación de 1982 se puede considerar similar a la actual.

Las prácticas agrícolas han conllevado también un claro incremento de la mineralización de las aguas subterráneas, y especialmente en las concentraciones en $Ca^{+2}$. Las correlaciones positivas significativas que casi siempre se encuentran entre $Ca^{+2}$, $HCO_3^-$ y $NO_3^-$ sugieren que su origen guarda relación. La ganancia en calcio puede atribuirse al empleado en los abonos químicos, al aumento de la agresividad del agua debido a la utilización de abonos orgánicos y a fenómenos de intercambio iónico entre $K^+$ y $Ca^{+2}$, de manera que aquél queda retenido en el complejo arcillo-húmico. El $HCO_3^-$ se incorporaría para equilibrar el balance iónico.

| Sector | Estad. | Cond. | $Na^+$ | $K^+$ | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $Cl^-$ | $SO_4^=$ | $HCO_3^-$ | $NO_3^-$ | $NO_2^-$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Occidental** | Mediana | 515 | 22,86 | 3,99 | 94,66 | 6,11 | 34,73 | 55,21 | 243,68 | 30,80 | 0,18 |
| *Pozos y* | Desv. Est. | 343 | 20,74 | 29,04 | 47,77 | 4,87 | 31,66 | 36,54 | 105,88 | 66,44 | 0,29 |
| *manantiales* | Datos | 59 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 27 | 30 | 56 | 13 |
| **Oriental** | Mediana | 705 | 13,12 | 1,33 | 147,03 | 7,77 | 39,40 | 79,17 | 267,91 | 101,60 | 0,09 |
| *Pozos y* | Desv. Est. | 217 | 9,88 | 9,61 | 62,98 | 5,45 | 24,44 | 55,96 | 64,74 | 82,95 | 35,98 |
| *manantiales* | Datos | 198 | 150 | 150 | 150 | 150 | 149 | 147 | 138 | 202 | 74 |
| **Oriental** | Mediana | 565 | 11,88 | 1,20 | 114,93 | 8,02 | 33,64 | 54,04 | 259,70 | 45,90 | 0,22 |
| *Ríos* | Desv. Est. | 271 | 123,30 | 36,17 | 71,36 | 5,80 | 164,41 | 25,45 | 286,93 | 61,17 | 50,69 |
| | Datos | 137 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 62 | 61 | 122 | 51 |
| **Dulantzi** | Mediana | 685 | 11,10 | 1,20 | 109,90 | 7,98 | 33,00 | 12,50 | 262,00 | 70,00 | 0,18 |
| *Pozos y* | Desv. Est. | 119 | 3,16 | 1,92 | 24,28 | 3,08 | 15,25 | 7,60 | 48,57 | 54,30 | 0,16 |
| *manantiales* | Datos | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 20 | 21 | 21 | 16 |
| **Lluvia** | Mediana | 57 | 0,40 | 0,00 | 1,88 | 0,13 | 1,07 | 6,68 | - | 2,86 | 0,10 |
| | Desv. Est. | 20 | 0,56 | 0,49 | 1,71 | 0,16 | 2,15 | 2,99 | - | 0,95 | 0,06 |
| | Datos | 27 | 28 | 28 | 28 | 28 | 89 | 28 | - | 28 | 26 |

Cuadro 3. Resumen de las características hidroquímicas de las aguas subterráneas y superficiales de la Unidad Vitoria. Valores en mg/l salvo conductividad (µS/cm).

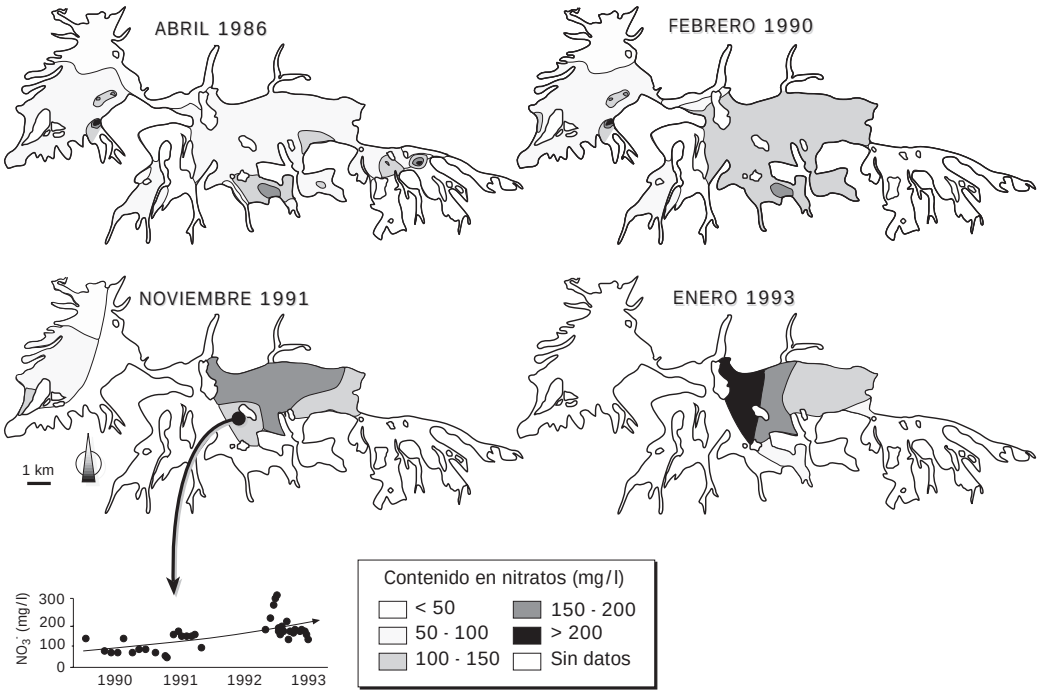



Figura 7. Evolución del contenido en nitratos.

**Contaminación por aguas residuales y/o contaminación ganadera**. La importancia de la contaminación por aguas residuales se pone de manifiesto en las concentraciones de $NO_3^-$, $Cl^-$ y $Na^+$, que alcanzan los máximos valores en pozos situados en localidades con deficiente o inexistente sistema de saneamiento y no en zonas caracterizadas exclusivamente por contaminación agraria. Este tipo de contaminación se manifiesta más claramente en zonas poco potentes y de escasa permeabilidad. La influencia de estos focos de contaminación se manifiesta en casi todos los registros temporales analizados.

**Contaminación industrial y urbana**. Este tipo de contaminación puede condicionar notablemente el carácter del quimismo de las aguas en las proximidades del foco polucionante. Los focos más importantes identificados están relacionados con el saneamiento de Vitoria-Gasteiz, con determinadas industrias de los polígonos cercanos a la capital alavesa, y ciertas gasolineras dispuestas sobre el cuaternario.

**Recirculación por retorno de riegos**. En el Sector Oriental, y en el periodo 1986-93, las concentraciones en nitrato sufren un progresivo aumento, del orden de 20-40 mg/l/año (figura 7). Esto es debido probablemente a los efectos de los retornos de los riegos, que en este sector se realizan en gran medida a partir de las propias aguas del acuífero. El incremento continuado no se ha observado en el Sector Occidental, en donde el regadío se ha efectuado hasta 1995 a partir de aguas superficiales de buena calidad.

**Procesos de contaminación indirecta**

**Tala del bosque autóctono.** La tala de extensas zonas de bosque aluvial ha contribuido de manera indirecta al deterioro de la calidad de las aguas. La desaparición prácticamente total de estos bosques ya en los años setenta ha impedido una autodepuración de la contaminación por elementos nitrogenados en el seno de la unidad.

**Derivación y captación de cursos superficiales**. La captación del río Zubialde durante los años 1990 y 1991 redujo drásticamente la recarga del Karst de Apodaka y, de manera indirecta, la del Sector Occidental. Este hecho limita la dilución de la carga contaminante en la zona Norte de este sector. Las mismas consecuencias produce la derivación prácticamente total del río Alegría y sus afluentes a la entrada del Sector Oriental, desde el principio de los setenta al reducir el volumen de infiltración por

parte de este curso superficial.

**Régimen de precipitaciones**. Las lluvias producen en las aguas del acuífero una disminución generalizada de las concentraciones en compuestos nitrogenados. Sin embargo, las precipitaciones que se dan en los períodos de estiaje tras el abonado de cobertera son las responsables de la mayor parte de los volúmenes de nitrato lixiviados. Como mejor ejemplo del volumen de $NO_3^-$ lavado en un cierto periodo de tiempo, se cuenta con los datos de la parcela de zona no saturada de Arkaute. En ella, desde verano hasta principios de otoño de 1993 se perdieron del orden de 260 kg/ha, lo que viene a suponer el 40% de la cantidad de abono aplicado (figura 8).

**Procesos de autodepuración y dilución**

**Diluciones relacionadas con la recarga.** En épocas de importante recarga (ya sea superficial, lateral, subterránea, o relaciones de influencia de los arroyos) se suelen producir importantes diluciones de las cargas contaminantes. En este sentido, parece clara la importancia de la recarga procedente del Karst de Apodaka en el mantenimiento de la calidad de las aguas en el Sector Occidental. Es lógico suponer que una derivación del río Zubialde hacia los embalses del Sistema Zadorra incidiría negativamente en la preservación de la calidad de estas aguas.

**Procesos de desnitrificación en las zonas de descarga.** Análisis efectuados en aguas de piezómetros construidos recientemente en los humedales, han ofrecido concentraciones en nitrato de 1-20 mg/l, notablemente más bajas que las existentes aguas arriba (450-100 mg/l durante este mismo periodo), en una misma línea de flujo. Este hecho hay que relacionarlo con procesos de desnitrificación en las zonas de descarga favorecidos por la ralentización del flujo provocada por la presencia de una mayor fracción arcillosa.

**Consumo de compuestos nitrogenados por**

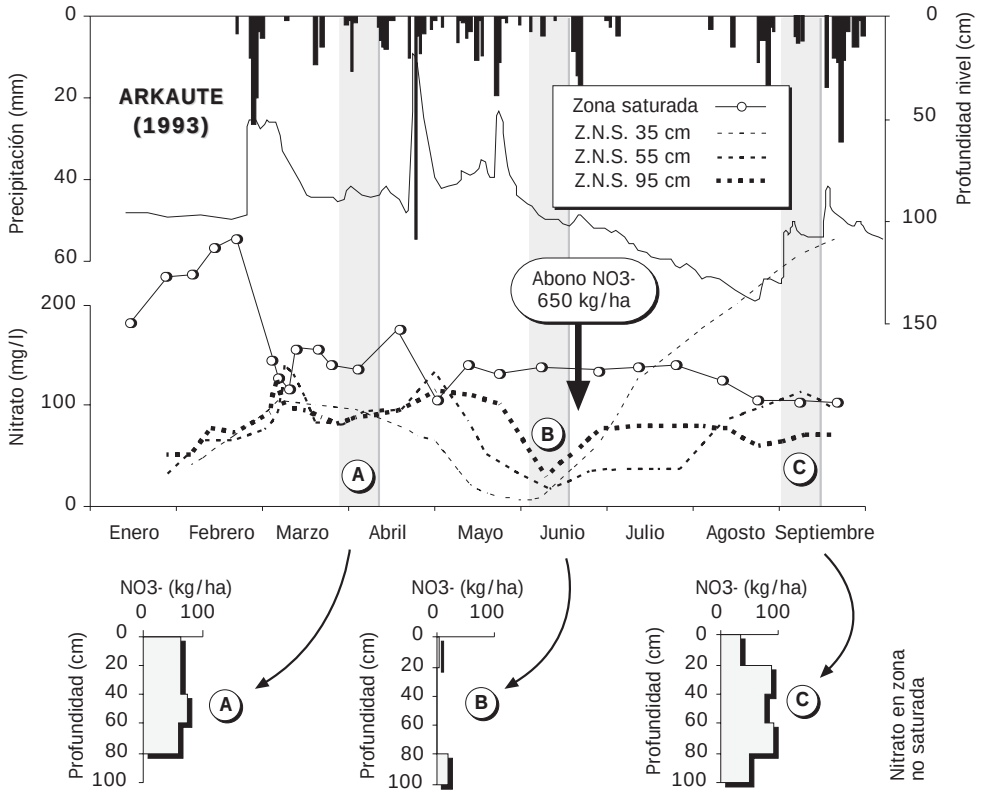



Figura 8. Evolución del contenido en nitratos en las zonas saturada y no saturada de la parcela experimental de Arkaute.

**plantas acuáticas estacionales.** Las concentraciones de $NO_3^-$ en los ríos a la salida del Sector Oriental son, en periodo de estiaje, netamente inferiores a las de la entrada, lo que supone una perdida de $NO_3^-$.

Los procesos de desnitrificación deben contribuir en parte a las bajas concentraciones que se observan en los cursos superficiales a la salida de la unidad. Así, durante los periodos de estiaje se produce un acusado descenso en la velocidad de flujo en los cursos superficiales lo que permite que el cauce se cubra, en algunos puntos totalmente, de vegetación acuática emergida y flotante. Estos organismos podrían ser los responsables de la pérdida de la mayor parte del $NO_3^-$ a lo largo de esos cursos.

La magnitud de esa pérdida, obtenida mediante balance de masas, es realmente alta: aproximadamente 180 kg/día de $NO_3^-$.

**APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION**

Desde la década de los 80 hasta principios de los 90 se explotaron en la unidad unos 6,5 $Hm^3$/año: 0,7, 5,3 y 0,5 $Hm^3$/año en los Sectores Occidental, Oriental y Dulantzi respectivamente, lo que supone el 7, 20 y 5% de los recursos renovables de dichos sectores. Las extracciones se concentraron prácticamente en su totalidad en los tres meses estivales.

En la actualidad únicamente persisten bombeos en los polígonos industriales situados al NE de Vitoria-Gasteiz (que suponen aproximadamente unos 0,2 $Hm^3$/año), y determinadas extracciones con fines domésticos (despreciables en términos de volumen). Las extracciones agrícolas prácticamente han desaparecido como consecuencia de los planes de regadío basados en balsas (Sectores Oriental y Dulantzi) y aguas residuales urbanas (Sector Occidental).

La escasa capacidad de regulación que posee el acuífero, originada por el rápido drenaje de la recarga por parte de los drenes superficiales, dificulta la obtención de unos porcentajes de regulación superiores al 25% de los recursos renovables, lo que supondría una explotación del acuífero del orden de 13 $Hm^3$/año. Sin embargo, la obtención de estos volúmenes mediante la construcción de un pequeño número de pozos de explotación no es posible debido a las propias características del acuífero.

Por otro lado, la calidad actual de las aguas no las hace, hoy en día, aptas para el consumo humano. Sin embargo, la desaparición a partir de comienzos de los 90 de los procesos de recirculación, las mejoras iniciadas en las redes de saneamiento, y el corto periodo de tiempo de renovación del agua en el acuífero (probablemente inferior a 5 años), permiten suponer una mejoría de la calidad en los próximos años.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

DFA-IGME (1971). Estudio hidrogeológico del Cuaternario de Vitoria.

EVE-IGME (1987). Proyecto para el análisis de focos de contaminación, evolución y efectos en la Unidad Cuaternaria de Vitoria. (CGS).

SANCHEZ-PEREZ, J.M.; ANTIGUEDAD, I.; ARRATE, I.; LLANOS, H.J. y RUIZ, M. (1993). La zona no saturada y la contaminación por nitratos en el acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz. I Jornadas sobre medio no saturado. Castellón.

ARRATE, I. (1994). Estudio Hidrogeológico del Acuífero Cuaternario de Vitoria-Gasteiz (Araba, País Vasco). (Tesis de Doctorado. UPV-EHU).

AYTO. VITORIA-GASTEIZ (1995). Estudio hidrogeológico del área de Salburua para la recuperación de sus zonas húmedas. (UPV-EHU).

| **Manantiales** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Betoño | 528575 | 4745500 | 510 | 1 | Descarga difusa que da lugar a un humedal |
| Zurbano | 529980 | 4745180 | 510 | 4 | Descarga difusa que da lugar a un humedal |
| Otaza | 521485 | 4746380 | 505 | 2 | Descarga difusa que da lugar a un humedal |

# UNIDAD HIDROGEOLOGICA GERNIKA

## GENERALIDADES

Se encuentra en la cuenca vertiente del río Oka e incluye los afloramientos de depósitos cuaternarios desarrollados sobre y en contacto lateral con términos permeables en el entorno del núcleo de Gernika (figura 1). La descripción se limita al área de acuífero situada al Sur de la confluencia del río Oka y su afluente Golako, zona en la que se ubican las obras de extracción y que, en principio, se encuentra libre de las afecciones mareales.




Figura 1. Situación de la unidad hidrogeológica en el dominio.

El aprovechamiento del agua subterránea del acuífero de Gernika se ha venido realizando desde hace varias décadas como abastecimiento de agua potable al Consorcio de Aguas de Busturialdea y por las industrias afincadas en la Vega.

## GEOLOGIA

La unidad está constituida, fundamentalmente, por un depósito aluvial instalado sobre uno o varios enclaves calizo-dolomíticos jurásicos y en contacto con masas ofíticas triásicas y el complejo volcánico cretácico. Los materiales calizo-dolomíticos jurásicos afloran in situ en sendas bandas paralelas en ambos flancos del diapiro de Gernika y en enclaves visibles en el área Arteaga-Barrutia. Su presencia bajo el depósito aluvial se ha puesto de manifiesto en unas veinte perforaciones.

A continuación se comentan las características locales más sobresalientes de las unidades litoestratigráficas diferenciadas.

**Trías arcilloso** (10). Constituido por arcillas abigarradas rojas, violáceas, verdes o claras. Contienen yesos, pirita, oligisto y cuarzos.

**Ofitas** (11). En forma de grandes masas dentro de las arcillas triásicas, aparecen rocas básicas subvolcánicas con textura ofítica. Presentan un fuerte diaclasado a favor del cual ha progresado la intensa meteorización sufrida por la roca, que supera en algunos puntos los 10 m.

**Enclaves calizo-dolomíticos jurásicos** (98-99). Se agrupan dentro de este término masas que adquieren una escasa representación en superficie pero que en profundidad han sido detectadas con potencias superiores a 70 metros. La litología dominante corresponde a carniolas, calizas grises y dolomías laminadas (98). Aparecen también margas y margocalizas grises (99) atribuibles al Lías, como las anteriores. Asociados a estos enclaves y en zonas de borde de los mismos se encuentran brechas de composición diversa, con cantos jurásicos variados, volcánicos (cretácico superior), ofíticos, etc., generalmente de carácter más arcilloso.

**Alternancia de margas y margocalizas; Flysch calcáreo (Cretácico superior)** (141). El Cretácico superior está formado por un conjunto de rocas sedimentarias de carácter carbonatado o detrítico-carbonatado en el que se instala un complejo de rocas volcánicas de carácter básico. Los afloramientos situados a techo y muro de la masa volcánica corresponden básicamente a margas. Presentan algunos nivelillos interestratificados de areniscas, lutitas, margocalizas y micritas.

**Coladas volcánicas (Cretácico superior)** (143). Aparecen coladas masivas concordantes, de textura porfidítica o microcristalina, con

vacuolas frecuentes e intensamente fracturadas (diaclasado decimétrico), junto a coladas almohadilladas, diques básicos y cuerpos granudos muy alterados en general.

**Alternancia de margas y calizas arenosas; Flysch detrítico-calcáreo (Cretácico superior)** (147). Los términos que aparecen al Sur corresponden a una serie muy potente de carácter turbidítico en la que alternan margas, areniscas calcáreas, margocalizas, calizas micríticas y calcarenitas.

**Depósitos cuaternarios** (200). La sección más frecuente que presentan está constituida, de abajo a arriba, por: cantos rodados, gravas y arenas de origen probablemente fluvial de alta energía, aunque localmente tengan rasgos coluviales, por otra parte, no se puede descartar cierta influencia marina; arcillas y limos mayoritarios**,** con esporádicas intercalaciones de niveles de gravas y/o arenas, más frecuentes a muro, presentan potencias variables según zonas, pero en general superiores a 10 m.

La estructura más importante del área, con una orientación N-S, es el diapiro de Gernika. Hacia el Norte constituye un anticlinal diapírico, puesto que la perforación es muy limitada, apareciendo la serie jurásica casi completa en sus flancos.

Los efectos tectónicos en sus bordes han sido muy importantes, desarrollándose en los términos jurásicos una esquistosidad neta paralela a la estratificación. Incluye numerosas masas ofíticas y bloques de materiales suprayacentes (enclaves calizo-dolomíticos jurásicos), totalmente aislados dentro de la masa triásica. Estos bloques pueden corresponder a trozos de la bóveda desmantelada por la erosión, o a fragmentos arrancados durante el ascenso diapírico.

## HIDROGEOLOGIA

*ASIGNACION DE PERMEABILIDADES*

De los materiales descritos, el término de mayor interés son las carniolas y dolomías (98). Origina un acuífero de tipo kárstico de flujo difuso, de permeabilidad alta debida a una elevada porosidad primaria incrementada por la fracturación que afecta los enclaves. Los términos margosos (99) englobados, de permeabilidad baja, reducen localmente la permeabilidad del conjunto.

La asignación global de permeabilidad alta a los depósitos cuaternarios (200) requiere matización cuando se procede a su análisis en detalle. Así, mientras los niveles inferiores, de cantos rodados, gravas y arenas, se comportan como depósitos no consolidados de permeabilidad alta, la cobertera de arcillas y limos reducen la permeabilidad del medio al punto de confinar el acuífero infrayacente.

De las otras litologías descritas, juegan un papel significativo en el funcionamiento hidrogeológico de la unidad las ofitas (11) y coladas volcánicas (143), ambas de permeabilidad media, en el primer caso coincidiendo con las zonas de intensa meteorización y en el segundo a favor de los niveles porosos y las zonas afectadas por fracturación. El resto de los materiales (10, 141, 147) se consideran de muy baja y baja permeabilidad.

*CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

Por Unidad Gernika se entiende el sector de vega del río Oka que se extiende por el Norte hasta el estrechamiento del aluvial en la zona de Renteria (confluencia Oka-Golako), por el Sur hasta el entorno de Arabieta (confluencia Oka-Mikiene) y hasta los afloramientos de rocas ofíticas y volcánicas al Este y al Oeste. No se considera su prolongación hacia el Norte por la dificultad en la definición de sus límites y por el incremento de la mineralización del agua.

Así definida, la unidad tiene una extensión superficial de 1,5 $km^2$ aproximadamente. Sin embargo es el acuífero jurásico infrayacente el elemento de mayor interés. Sus dimensiones se han estimado a través de columnas de sondeos, en un mínimo de 0,7 $km^2$ de extensión (1,5 km de longitud y 250-500 m de anchura) y una potencia media de 35 m. En definitiva, configura un cuerpo de 24,5 $Hm^3$ de roca.

*ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA*

La recarga se produce por pérdida de caudal del río Oka y afluentes a su entrada en el cuaternario, donde la capa de limos es más reducida o no existe. Son diversos los estudios que han constatado la existencia de estas pérdidas mediante aforos diferenciales, tanto en el río Oka como en los afluentes Mikiene, Berrakondo, etc.

Como segundo aporte importante figura la recarga lateral subterránea desde los materiales ofíticos y del complejo volcánico, cuya permeabi-

lidad ha sido puesta de manifiesto en sondeos en las zonas de Baldatika, Metxikas, Arrieta, Errigoiti, etc.

La recarga lateral de las rocas volcánicas por la margen derecha, área de Burgoa, se supone que debe ser poco significativa por tener las cotas topográficas más bajas en el río Golako, al Norte. Sin embargo, el afloramiento que se extiende al Oeste, hacia Lumo, está en una situación diferente: drena mayoritariamente hacia Gernika por ser la zona de cotas más bajas, unos 10 m, y estar los otros puntos de descarga posibles considerablemente más altos: Mikiene 50 m, Baldatika 80 m, Magdalena 140 m, tal como se describe en el Sector Metxika incluido en Dominio Hidrogeológico Complejo Volcánico.

Una vez en el acuífero, los flujos se dirigen en dirección Norte hacia la salida natural bajo el nivel de limos y arcillas cuaternarios, en tanto estos perduren. Su desarrollo es conocido desde el límite Sur del cuaternario, donde los espesores son mínimos o no está presente, hasta Forua, situado al Norte, donde un sondeo de investigación de petróleo emplazado en el cuaternario cortó una potencia de al menos 30 m. De acuerdo con el modelo convencional de evolución de los depósitos estuarinos, este espesor irá dando lugar, en tránsito gradual y sometido a la dinámica mareal, a los depósitos arenosos situados al final de la ría. Depósitos que ya no actúan de límite confinante, dada su elevada permeabilidad.

Como zonas de descarga ocasionales para aguas altas, dado el carácter confinado del acuífero, actúan los pozos de abastecimiento municipales, que llegan a ser surgentes. También se observan aportes difusos de pequeño caudal en los márgenes de la ría que drenan niveles superficiales permeables del aluvial.

Los puntos de agua inventariados en la unidad son, por lo tanto, sondeos, tanto de explotación como de control piezométrico.

De los más de 100 sondeos inventariados, únicamente se tendrán en cuenta 16 puntos (cuadro 1), 12 de control piezométrico y 4 de explotación. De estos últimos, tan sólo se bombea regularmente el sondeo Vega.

*PIEZOMETRIA*

El nivel piezométrico se encuentra muy próximo a la superficie, siendo surgente en algunos puntos en épocas de aguas altas. Para aguas bajas y con fuertes bombeos (superiores a 70 l/s) las profundidades de nivel medidas han sido de 11-12 m.

| Sondeo | Tipo | Caudal (l/s) | Prof. (m) |
|---|---|---|---|
| Vega | Sondeo explotación | 45 | 40 |
| Tole | Sondeo explotación | 21 | 21 |
| ET | Sondeo explotación | 30 | 55 |
| Ajangiz-A | Sondeo explotación | 10 | 44 |
| Renteria | Piezómetro | - | 58 |
| Txarterina | Piezómetro | - | 47 |
| ET | Piezómetro | - | 55 |
| Marcos Ormaetxea | Piezómetro | - | 83 |
| Estación | Piezómetro | - | 59 |
| Malta | Piezómetro | - | 69 |
| Ajangiz-1 | Piezómetro | - | 52 |
| Ajangiz-2 | Piezómetro | - | 63 |
| Ajangiz-3 | Piezómetro | - | 40 |
| Chopera-1 | Piezómetro | - | 35 |
| Chopera-2 | Piezómetro | - | 23 |
| Nissan | Piezómetro | - | 18 |

Cuadro 1. Puntos de agua considerados.

La evolución de los niveles controlados durante un ciclo anual (1994), junto con los datos de precipitación en Gernika y de la explotación del sondeo Vega permiten realizar las siguientes observaciones (figura 2):

- Situación muy superficial del nivel; varía entre 0 y 7 m de profundidad, correspondiente en cota a +6 y -1 m sobre el nivel del mar.

- La evolución general muestra dos máximos y un mínimo, coincidentes con los períodos de aguas altas y estiaje controlados, lo que refleja un sistema con una importante inercia y buena regulación natural; aún así, se aprecian determinadas respuestas relativamente rápidas a determinadas precipitaciones.

- La afección por el bombeo en el sondeo Vega se transmite con toda fidelidad a los puntos controlados, aunque con diferente amplitud en función de la distancia.

- Esta afección tiende a amortiguarse al aumentar la profundidad del nivel; para tiempos iguales o incluso superiores de bombeo los descensos son menores.

- La rapidez de la recuperación de los niveles al parar los bombeos es igual a la rapidez de los descensos.

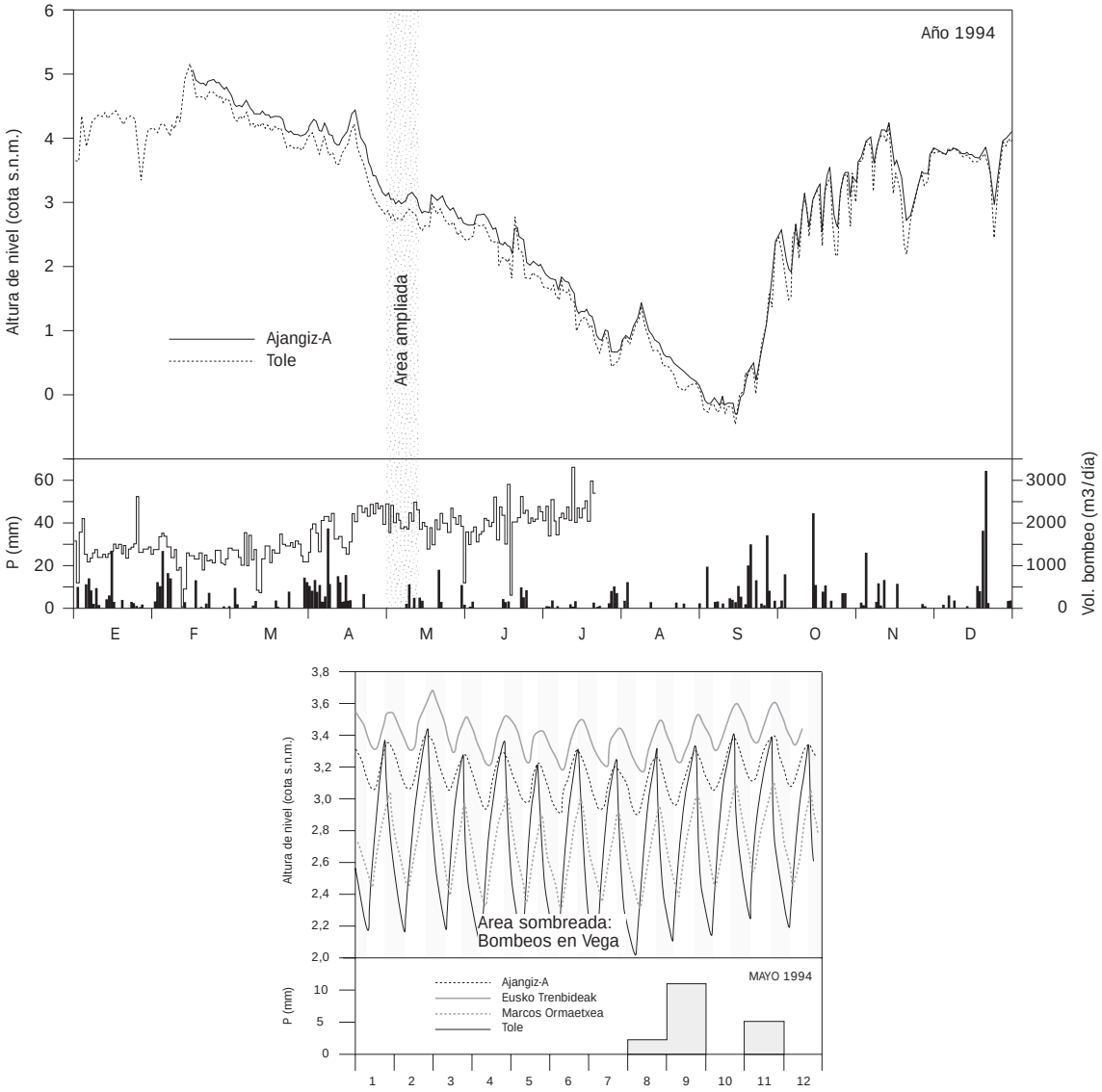



Figura 2. Evolución del nivel piezométrico en puntos representativos durante el año 1994. La figura inferior representa un detalle de la gráfica superior, mostrando la afección de los bombeos en el sondeo Vega al resto de puntos controlados.

- Existe una relación neta y prácticamente idéntica en la evolución de los niveles en los puntos controlados; resulta clara su conexión y su pertenencia al mismo sistema hidrodinámico, aunque algunos estén ubicados en el acuífero principal y otros queden fuera (piezómetros Nissan y Chopera-2). El elemento de unión debe estar constituido por materiales cuaternarios, cuyos términos más altos actúan efectivamente de confinantes pero los basales tienen suficiente permeabilidad para garantizar la conexión.

- No se aprecian afecciones mareales, excepto en Txarterina. Las mareas sólo producen afección durante los periodos de mareas más vivas, siendo inferior a 0,5 m. El piezómetro Txarterina (al igual que Renteria) se encuentra ubicado en un punto en que en los depósitos cuaternarios se puede encontrar mayor porcentaje de granulometría gruesa, por lo que la conexión con la ría es más factible. Este fenómeno parece estar ligado a la zona de estrechamiento del cuaternario, ya que algo más al Norte, en el sondeo de investigación petrolífera mencionado, el espesor de limos alcanza más de 30 m de potencia. La relación con los movimientos de la ría no alcanza, sin embargo, a las peculiaridades hidroquímicas de los sondeos. Este hecho, junto con lo reducido de la

variación piezométrica, parece demostrar que la relación es muy escasa y el confinamiento del acuífero principal apenas se modifica.

A partir del control piezométrico, se han elaborado mapas de isopiezas para los diferentes momentos hidrológicos registrados durante el año de seguimiento. Diferentes situaciones encontradas se describen a continuación (figura 3):

**Máximos niveles.** Se aprecia una tendencia general de gradientes en sentido S-N, congruente con la dirección de flujo supuesta para el acuífero. Un análisis detallado revela, sin embargo, algunas peculiaridades:

- Parece confirmarse la existencia de, al menos, dos fuentes de recarga: la proveniente del Sur, posiblemente del borde del acuífero cuaternario, y la que tiene su origen en el contacto con las ofitas y el complejo volcánico en el flanco Oeste de la estructura diapírica.

- Los niveles en la zona donde no se extiende el acuífero jurásico (Nissan, Chopera) siguen la tendencia general, pero definiendo altos y bajos relativos que sólo pueden explicarse por la mayor inercia de los términos poco permeables del cuaternario.

**Mínimos niveles.** El hecho más destacable es la inversión del sentido de flujo en la mitad septentrional del sector de acuífero descrito, no así en la mitad Sur donde se mantiene el sentido de flujo. El motivo de la inversión del sentido de flujo no es otro que la demanda producida por las extracciones desde el sondeo Vega.

*FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. PARAMETROS*

A través del control piezométrico de las afecciones provocadas en otros sondeos por el bombeo desde el actual pozo de abastecimiento municipal (sondeo Vega) se han determinado los parámetros hidráulicos que definen el acuífero. Calculados en diferentes condiciones hidrológicas y con distintos tiempos de bombeo, los resultados obtenidos (T=1.000 $m^2$/día y S=1-2 x $10^{-3}$) confirman el carácter próximo al confinamiento de los materiales jurásicos.

Para el cálculo de la porosidad se puede recurrir a unas circunstancias en las que el acuífero se encuentre funcionando en condiciones de libre, al menos parcialmente. En un bombeo, realizado en 1992 y con un caudal de extracción conjunto ET-Vega de 70 l/s, se alcanzaron depresiones en todos los puntos de control al menos por debajo de los materiales menos permeables de la cobertera aluvial. Los coeficientes de almacenamiento (porosidad) entonces medidos en la zona central oscilaron entre 6,1 x $10^{-2}$ y 9,1 x $10^{-2}$.

*BALANCE HIDRICO*

La recarga de la unidad procedente de la infiltración de los ríos Oka, Golako, Berrakondo y Mikiene a su paso por el aluvial es estimativa. A partir de las pérdidas de caudal en el río determinadas por aforos diferenciales, se ha evaluado

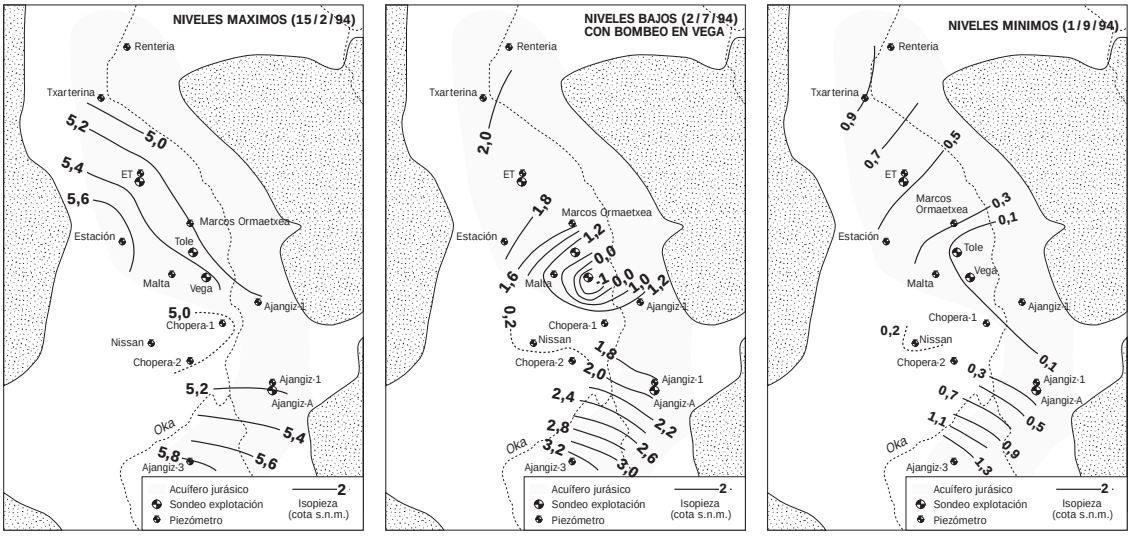



Figura 3. Mapas de isopiezas.

este concepto en un 5 % del caudal medio circulante. Considerando que la cuenca vertiente tiene 61 km² y que la lluvia útil es de 970 mm (60 % de la precipitación, media, 1.650 mm, isoterma media 13°C), la aportación alcanza 3 Hm³/año en un año medio.

La recarga procedente del Sector Metxikas del Complejo Volcánico (descrito en el capítulo correspondiente), se evalúa en 2,5 Hm³/año.

En definitiva, contabilizando los dos aportes a la unidad detectados se establece el recurso renovable en 5,5 Hm³ en un año medio.

Considerando la información procedente de los bombeos y admitiendo, como se ha señalado, una porosidad variable entre el 6 y 9 % en un cuerpo de 24,5 Hm³, el volumen de agua almacenada, o reserva, puede estimarse en 2 Hm³.

## HIDROQUIMICA. CALIDAD

Por su importancia en el abastecimiento urbano e industrial y debido a algunos problemas de contaminación detectados, se ha realizado en el último decenio una abundante y diversa labor analítica (se dispone de más de 400 análisis) de las aguas del acuífero de Gernika.

Han sido efectuados análisis en la mayoría de los puntos inventariados, pero con distinta intensidad (entre uno y más de quince análisis completos), distinto método de muestreo (bombeo o tomamuestras de agua), distintos laboratorios, distinto grado de representatividad de las muestras (puntos superficiales, puntos de vertido, etc.).

El estudio más riguroso por su número de análisis y método de muestreo (bombeo) corresponde al control realizado durante un año (1994), básicamente de los piezómetros, y con periodicidad mensual (once puntos controlados). También se realizaron en este periodo registros de las características físico-químicas (perfiles de conductividad y temperatura).

*CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS*

Como rasgos más significativos, destacan la importante variación espacial y la reducida variación temporal que presentan los parámetros registrados (conductividad y temperatura). El rango de temperaturas medidas en el acuífero jurásico ha sido de 13,5 a 16,5°C y el de conductividad de 350 a 1.200 µS/cm.

A partir de la integración de los diferentes valores obtenidos en los registros, se puede asignar un valor medio de temperatura y conductividad a cada sondeo, obteniendo de esta manera un mapa de distribución espacial con las siguientes características (figura 4):

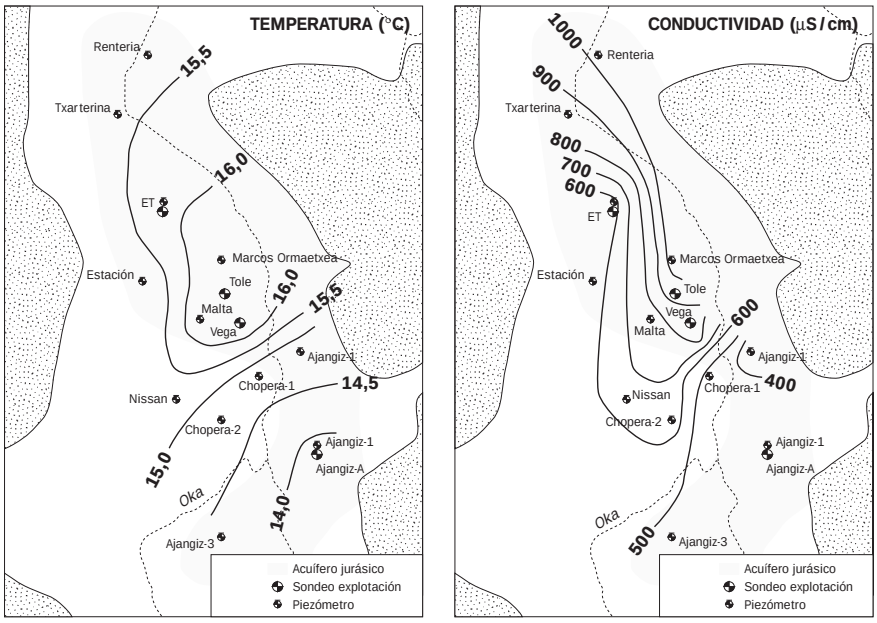



Figura 4. Isovalores de conductividad y temperatura (valores medios).

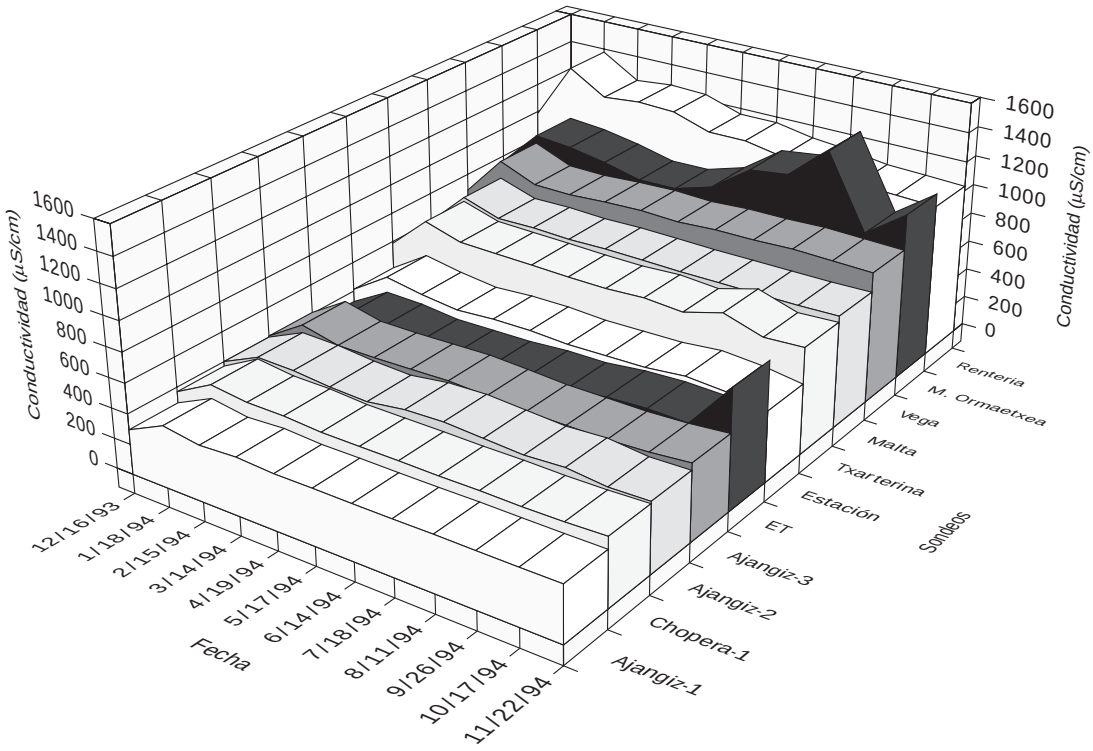



Figura 5. Evolución temporal de la conductividad.

- Las temperaturas más bajas se localizan en el entorno de Ajangiz-Chopera con valores entre 13,5 y 15°C, aumentan hasta 15,5-16°C en la franja Nissan-Estación-Renteria, alcanzando un máximo de 16,5°C en la zona central.

- Las conductividades siguen una distribución hasta cierto punto semejante, con valores bajos en la zonas de Ajangiz, Chopera-1 y Estación (350-500 µS/cm), aumentando progresivamente hasta cifras del orden de 1.000 µS/cm en Renteria.

Es decir, se confirma la existencia de un gradiente generalizado en sentido Sur-Norte, con la existencia de dos zonas de aporte al acuífero, Sur y Oeste, y la existencia de un foco en la zona central en la que se produce un cambio en el quimismo, con aumento de la mineralización y de la temperatura.

*FACIES HIDROQUIMICAS*

En referencia al mismo control anual (1994) el hecho más notable a destacar es que la variación temporal es, al menos comparativamente, muy inferior a la espacial. Así en la figura 5, se presenta como muestra la evolución de la conductividad (como representativa de la mineralización global).

La figura 6 refleja claramente la diversidad de facies hidroquímicas presentes en la unidad. Su recarga, tanto por el Sur como por el Oeste, se lleva a cabo con aguas bicarbonatadas cálcicas de baja mineralización. A favor del sentido de flujo natural, Sur-Norte, el agua gana en temperatura y mineralización, pasando a facies sulfatada cálcica. Este tránsito se produce, aparentemente, de forma brusca y coincidiendo con la presencia, ya apuntada, de un posible aporte de origen profundo de aguas más calientes y de mineralización en consonancia con el sustrato diapírico.

Esta hipótesis, basada fundamentalmente en un mapa de isotermas que se define con precisión pero que no deja de manifestar diferencias muy pequeñas, podría verse desmentida por otras alternativas igualmente posibles.

Una tercera facies presente, bicarbonatada sódica, aparece en un contexto de borde del acuífero, en zonas de predominio de ofitas, rocas del complejo volcánico, brecha indiferenciada, etc. Su influencia en el resto del acuífero no se ha dejado notar en ninguno de los muestreos efectuados, lo cual es congruente con los mapas de isopiezas, al menos en la zona de Nissan-Chopera.

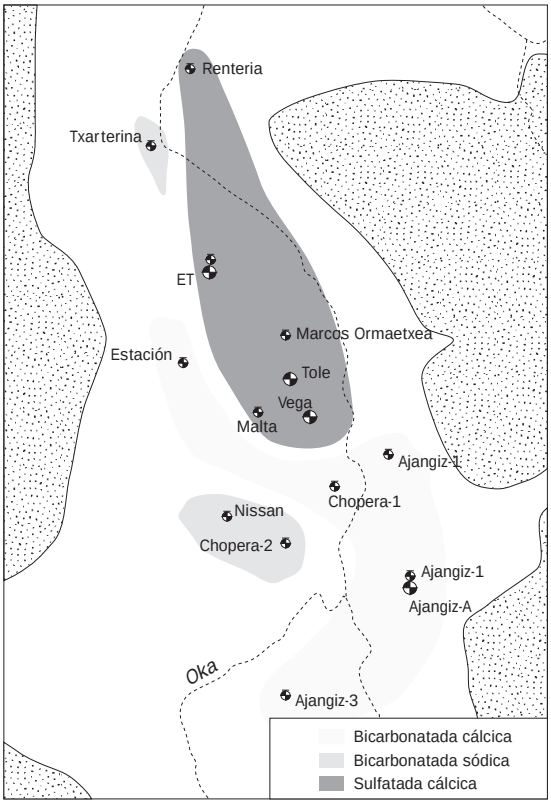



Figura 6. Mapa de facies hidroquímicas.

*CALIDAD DEL AGUA*

Para considerar la calidad de los recursos asociados a la unidad y su vulnerabilidad a la contaminación es preciso separar los distintos elementos integrantes:

- El acuífero principal, constituido por los materiales jurásicos asociados a la estructura diapírica.

- La cobertera cuaternaria constituida, a su vez, por unos términos basales en conexión con el acuífero infrayacente y los términos superiores de muy baja permeabilidad y que actúan de elementos confinantes del conjunto.

- El agua asociada al acuífero principal.

- El agua asociada a los depósitos aluviales cuaternarios.

Con respecto a la vulnerabilidad, los distintos muestreos, analíticas de aguas, rocas y suelos y controles efectuados han puesto de manifiesto un medio de una complejidad geológica importante en lo que respecta al sustrato, con mineralizaciones que implican la presencia en concentraciones significativas de varios elementos metálicos, y una cobertera afectada por procesos de contaminación que incluyen los mismos elementos metálicos, además de otras sustancias no deseables.

La diferencia se establece en que las mineralizaciones pueden justificar la presencia en el agua del acuífero principal de determinados elementos (sulfatos, Fe, Mn, etc.) sin que presuponga contaminación antrópica, pero no es extensible a todos los parámetros detectados. Casos como el Hg, Cd, compuestos orgánicos, etc., deben tener forzosamente un origen externo.

Con respecto a la calidad, considerando la analítica disponible, tratada selectivamente en función de la representatividad de la muestra y tomando como referencia la normativa vigente sobre aguas potables (BOE, 28 julio 1994, y en su defecto BOE, 20 setiembre 1990), se obtienen los resultados expuestos a continuación.

Se han clasificado los elementos cuya concentración sobrepasa los límites exigidos por la ley en dos grupos: de origen interno o externo, así como por su frecuencia de aparición: sistemática u ocasional, en función del número de muestras disponibles y la representatividad del punto como control del acuífero.

**Elementos de origen interno,** propios de la hidroquímica del acuífero jurásico: sulfatos, sodio, hierro, manganeso.

Los contenidos en sulfatos, en claro incremento hacia el Norte, varían entre los valores extremos representados por Ajangiz-3 (20 mg/l) y Renteria (400 mg/l). El sodio sigue una pauta semejante con valores extremos representados esta vez por Ajangiz-1 y Txarterina de 12 y 200 mg/l respectivamente.

Con respecto al Fe y Mn, sólo es superado con frecuencia el límite de potabilidad en el piezómetro Ajangiz-2, además de en otros puntos con presencia más esporádica y raramente por encima del límite.

**Elementos de origen externo** procedentes de contaminación agrícola, urbana y/o industrial. Así, de origen agrícola (sin excluir tampoco los otros factores) pueden aparecer amoniaco, potasio, nitritos. De origen claramente industrial

son: mercurio, cadmio, zinc, plomo, níquel, cromo, cianuros, aluminio y fenoles.

La presencia de estos elementos es en todos los casos ocasional y arbitraria en cuanto a su localización excepto en el mercurio cuya aparición además de en algún otro punto, se da de forma sistemática en Ajangiz-3 y en concentraciones de hasta 0,1 mg/l.

La contaminación del acuífero principal es, por tanto, un hecho. Sin embargo, el recurso que actualmente se explota, proveniente todo él de este acuífero principal, está exento de problemas de contaminación, entendiendo como tal la entrada de sustancias indeseables desde el exterior.

No puede decirse lo mismo del agua asociada a los depósitos aluviales, especialmente a la cobertera superior, soporte de la gran mayoría de los pequeños sondeos explotados tradicionalmente y actualmente sujeta a problemas de contaminación por vertido e inyección. Las determinaciones de los elementos hasta ahora citados alcanzan valores muy superiores, no comparables con los presentes en el acuífero infrayacente.

En conclusión, la calidad del recurso asociado al acuífero principal no puede catalogarse como buena, pero no porque haya sufrido daños por contaminación antrópica que invaliden su explotación, sino por unas características litológicas particulares.

Esto no implica, en absoluto, que la vulnerabilidad de la unidad a la contaminación sea baja. Hay indicios de contaminación de un origen no determinado con precisión, pero hay, sobre todo, un importante riesgo de contaminación potencial. Bien es verdad que la carga contaminante externa va disminuyendo progresivamente, incluso parece detectarse menor presencia de elementos no deseables en aquellos puntos de los que se tiene mayor registro histórico (sondeo Tole), pero el volumen de residuos sólidos y líquidos involucrados en la cobertera es tal que cualquier actuación que permita su entrada al acuífero infrayacente puede desencadenar un proceso irreparable.

## APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION

En la actualidad se explota regularmente para abastecimiento municipal el sondeo Vega. El tiempo de bombeo no es constante y varía según el aporte procedente de captaciones de aguas superficiales, aumentando en épocas de estiaje y disminuyendo en aguas altas, salvo en épocas de fuertes lluvias en las que el enturbiamiento reduce los volúmenes captados y origina un incremento en el bombeo del pozo.

El volumen de recurso aprovechado se estima en 0,5 $Hm^3$/año, inferior por tanto al 10 % del renovable en un año medio, incluyendo los abastecimientos urbano e industrial.

La posibilidad de incrementar el aprovechamiento cuenta con el inconveniente de la posible atracción a los sondeos de agua de mayor mineralización, dada la inversión de líneas de flujo que se produce en el período de aguas bajas. No se trata, en ningún caso, de aguas de origen marino, lo cual es coherente con el esquema de funcionamiento hidrogeológico definido.

En cualquier caso, se considera viable un incremento moderado de la explotación, como de hecho se ha producido en periodos concretos.

## ESTUDIOS CONSULTADOS

ARRIZABALAGA, I. (1986). Contribución al Estudio Hidrogeológico de los Materiales Cuaternarios de Gernika y Durango. (Tesis de Licenciatura. UPV-EHU).

EVE (1988). Sondeos de investigación hidrogeológica en la Vega de Gernika.

EVE (1989). Control del bombeo de ensayo en el sondeo Vega-3. (INGEMISA).

EVE-DFB-GV (1994). Evaluación y Regulación de los Recursos Hídricos Subterráneos de las Unidades Hidrogeológicas de Bizkaia.

EVE-DFB-GV (1995). Control de la Evolución de la Unidad Hidrogeológica Gernika.

| **Sondeos** | *UTM X* | *UTM Y* | *Cota (m)* | *Caudal (l/s)* | *Observaciones* |
|---|---|---|---|---|---|
| Vega | 526667 | 4795761 | 5,6 | 45 | Abastecimiento |
| | | | | | Consorcio de Aguas de Busturialdea |
| Tole | 526625 | 4795857 | 4,8 | 21 | En desuso |
| ET | 526449 | 4796113 | 6,8 | 30 | Abastecimiento |
| | | | | | Consorcio de Aguas de Busturialdea |
| Ajangiz-A | 526893 | 4795390 | 6,3 | 10 | |
| Renteria | 526404 | 4796556 | 5,2 | | Piezómetro. Control de calidad |
| Txarterina | 526311 | 4796379 | 5,2 | | Piezómetro. Control de calidad |
| ET | 526451 | 4796126 | 6 | | Piezómetro. Control de calidad |
| Marcos Ormaetxea | 526610 | 4795956 | 5,4 | | Piezómetro. Control de calidad |
| Estación | 526382 | 4795892 | 6,8 | | Piezómetro. Control de calidad |
| Malta | 526547 | 4795789 | 5,8 | | Piezómetro. Control de calidad |
| Ajangiz-1 | 526838 | 4795688 | 5,8 | | Piezómetro. Control de calidad |
| Ajangiz-2 | 526890 | 4795412 | 6 | | Piezómetro. Control de calidad |
| Ajangiz-3 | 526617 | 4795147 | 6,8 | | Piezómetro. Control de calidad |
| Chopera-1 | 526721 | 4795615 | 5,7 | | Piezómetro. Control de calidad |
| Chopera-2 | 526615 | 4795495 | 5,9 | | Piezómetro. Control de calidad |
| Nissan | 526478 | 4795549 | 8 | | Piezómetro. Control de calidad |

# HIDROQUIMICA. CALIDAD

## HIDROQUIMICA

La hidroquímica es la parte de la hidrología que estudia la composición química y el origen de las substancias presentes en el agua, así como su transporte y los cambios que ocurren conjuntamente con la circulación del agua en la Tierra.

Los estudios hidroquímicos presentan un doble interés:

- Por un lado, informan sobre la calidad del agua con respecto a su uso, aspecto imprescindible en el caso de abastecimiento urbano, industrial y agrícola, y su capacidad para el mantenimiento de los ecosistemas.

- Por otro lado, partiendo de que el flujo de agua es el vehículo de transporte de las características físico-químicas, la hidroquímica puede informar sobre el funcionamiento hidrogeológico del sistema acuífero (áreas y mecanismos de recarga y descarga, modalidades de flujo, etc.), mediante el estudio de las distribuciones espaciales y de las evoluciones temporales del quimismo.

Los factores que inciden en el quimismo de las aguas subterráneas, tanto en lo que se refiere a su distribución espacial como a la evolución temporal, son muy numerosos, y sus efectos se encuentran sobreimpuestos. A menudo procesos diferentes tienen resultados similares en las características hidroquímicas.

Por estas razones, todo estudio hidroquímico precisa un conocimiento de los procesos mediante los cuales las aguas adquieren sus características físicas y químicas.

Estos procesos se pueden agrupar básicamente en cuatro grandes epígrafes: Marca climático-edafológica, Marca litológica, Factores antrópicos y Fenómenos modificadores (figura 1).

Las aguas continentales (superficiales y subterráneas) comienzan a adquirir sus características químicas en el momento en que se origina la precipitación, cuando la lluvia disuelve gases y partículas sólidas que se encuentran presentes en la atmósfera. Posteriormente, el quimismo del agua puede ir cambiando, en primer lugar en el suelo y en la zona no saturada y luego en la zona saturada. Una vez que el agua llega al suelo, disuelve gases que se encuentran en este medio (principalmente $CO_2$), lo que hace que el agua se vuelva más reactiva, originando cambios adicionales en su composición por interacción con los minerales del medio. Estos cambios se producen por disolución, hidrólisis y transformaciones minerales. Finalmente, cuando el agua subterránea aflora de nuevo a la superficie a través de manantiales y ríos, o es extraída mediante sondeos, la composición química puede cambiar debido a las nuevas condiciones de equilibrio de los gases disueltos en el agua.

En los apartados siguientes se describen las características hidroquímicas de las aguas subterráneas de la Comunidad Autónoma del País Vasco, señalando los principales fenómenos que condicionan su quimismo. Por otra parte, se hace referencia a otros aspectos, como la existencia de manantiales de características especiales o anómalas, contenidos isotópicos y calidad de las aguas.

En los capítulos correspondientes a las distintas unidades y dominios hidrogeológicos se

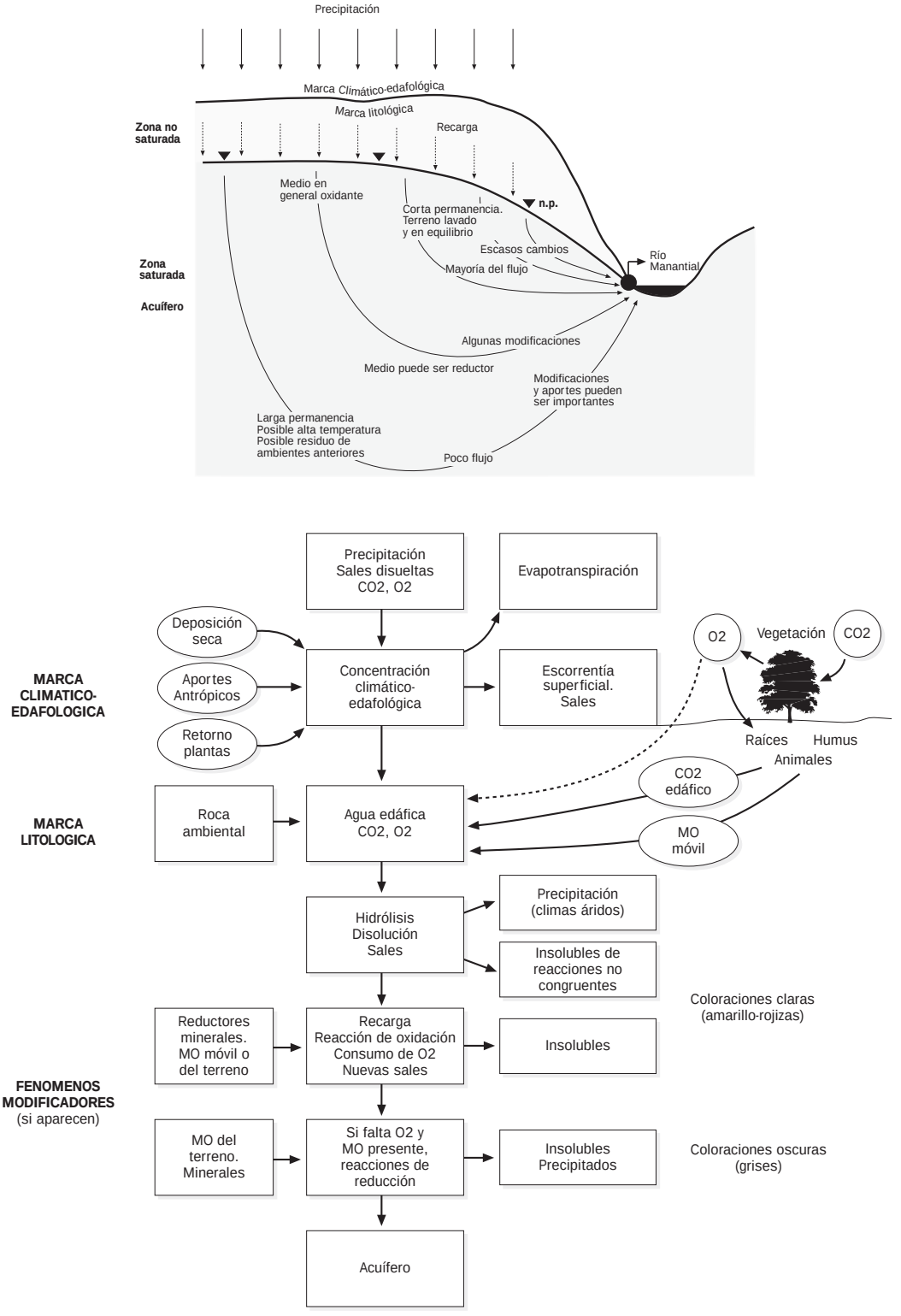



Figura 1. Representación esquemática de un sistema simple con indicación de los posibles cambios hidroquímicos esperables (superior). Esquema simplificado de las modificaciones hidrogeoquímicas en el medio no saturado (inferior).

puede encontrar una descripción específica y más detallada de las características hidroquímicas de sus aguas subterráneas.

*ORIGEN DE LA INFORMACION*

Los datos en los que se basa este capítulo se han tomado del inventario de puntos de agua del EVE. Esta base de datos relacional procede de la consulta, revisión e integración de los datos existentes en un número aproximado de 400 estudios hidrogeológicos y/o inventarios previos en el ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Recoge toda la información disponible (situación, usos, datos de nivel/caudal, características constructivas, características físico-químicas del agua, etc.) en unos 4.000 puntos de agua, incluyendo manantiales, sondeos de diverso tipo y captaciones superficiales, los cuales han sido seleccionado del total de puntos presentes en los informes siguiendo criterios diversos (caudal, uso, interés hidrogeológico, etc.).

En la base se cuenta con más de 5.500 registros de análisis físico-químico y/o bacteriológico, cada uno de los cuales comprende, al menos, las determinaciones correspondientes a los iones mayoritarios ($Na^+$, $K^+$, $Ca^{+2}$, $Mg^{+2}$, $Cl^-$, $SO_4^=$, $HCO_3^-$, $CO_3^=$, $NO_3^-$), así como otros parámetros tales como conductividad, temperatura, dureza, etc. Además de esta información se incluyen, en su caso, otros parámetros físico-químicos y bacteriológicos, iones minoritarios y traza, etc., hasta un máximo de 62 posibles variables.

Tal y como corresponde al origen diverso de la información de partida, los laboratorios responsables de los análisis y, consiguientemente, las técnicas analíticas utilizadas, son numerosas. Este hecho debe ser tenido en cuenta a la hora de definir el detalle de la interpretación de los datos. No obstante, hay que señalar que la calidad de los análisis introducidos es en todos los casos aceptable, con errores en los balances iónicos que no suelen superar el 10 %.

Para la selección de registros a considerar se ha procedido a:

- La eliminación de los registros de análisis correspondientes a captaciones superficiales, ya que pueden distorsionar la visualización de la distribución espacial del quimismo.

- La asignación a cada punto de agua de un análisis al que se ha denominado *medio*. Teniendo en cuenta que en determinados puntos de agua existe un seguimiento detallado de las características hidroquímicas, y en otros puntos existe un solo muestreo, se hace necesario anular el peso de aquellos en las representaciones a efectuar. En los diagramas de representación espacial, es preciso asignar a cada punto de agua un valor significativo de cada una de las variables. Por esta razón se ha procedido, en cada punto, al cálculo de las medianas (dado que este parámetro de tendencia central está menos influenciado que otros por valores extremos) de los registros correspondientes.

En la figura 2 se muestran, agrupados por tipos de punto de agua:

- El número total de puntos de agua existente en la base, con o sin análisis químicos (4.000 puntos).

- El número total de registros de análisis físico-químicos (5.500).

- El número de registros de análisis físico-químicos tras el cálculo de la mediana en cada uno de los puntos (1.710).

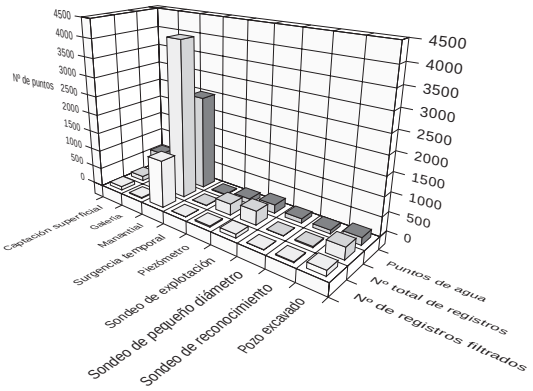



Figura 2. Datos hidroquímicos empleados.

*MARCA CLIMATICO-EDAFOLOGICA*

El factor climático-edafológico es uno de los principales condicionantes del quimismo de las aguas subterráneas, debido a que caracteriza inicialmente el agua de recarga de los distintos acuíferos. Su importancia se refleja tanto en la distribución espacial como en la evolución temporal de la hidroquímica:

- El quimismo del agua de lluvia, que constituye el origen último de la recarga, está fuerte-

mente condicionado por la distancia a la costa, y por otros factores, tal y como se expone con posterioridad.

- En el suelo existen procesos de concentración de iones por evaporación-evapotranspiración del agua de lluvia.

- El suelo es un elemento especialmente activo desde un punto de vista geoquímico, siendo especialmente importantes las consecuencias del incremento de la presión parcial de $CO_2$.

- El quimismo del agua subterránea sufre, por la general, variaciones temporales debidas en su mayor parte a las condiciones hidrológicas existentes en cada momento.

**Influencia de las características químicas de la precipitación**

Los principales elementos disueltos en el agua de lluvia y en la nieve son también los constituyentes normales de las aguas superficiales y subterráneas: $Na^+$, $K^+$, $Mg^{+2}$, $Cl^-$, etc., aunque las proporciones relativas y la concentración de estos elementos son variables tanto en la lluvia como en las aguas continentales. El agua de lluvia también puede disolver $CO_2$ (a baja presión parcial), $O_2$ y $NH_3$ durante su caída desde la atmósfera al suelo. En el cuadro 1 puede verse la composición química del agua de lluvia en Vitoria-Gasteiz.

| Parámetro | Media | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|
| Conductividad | 22,9 | 4,4 | 69,6 |
| pH | 4,90 | 3,90 | 8,70 |
| $F^-$ | 0,03 | 0,00 | 0,41 |
| $Cl^-$ | 1,06 | 0,07 | 5,10 |
| $NO_3^-$ | 1,61 | 0,00 | 11,90 |
| $SO_4^{2-}$ | 2,75 | 0,10 | 11,59 |
| $Na^+$ | 0,48 | 0,00 | 3,00 |
| $K^+$ | 0,09 | 0,00 | 0,43 |
| $Ca^{2+}$ | 1,10 | 0,14 | 5,18 |
| $Mg^{2+}$ | 0,14 | 0,00 | 0,40 |
| $NH_4^+$ | 0,68 | 0,00 | 3,49 |
| $Pb^{2+}$ | 0,01 | 0,00 | 0,12 |

Cuadro 1. Composición química del agua de lluvia en Vitoria-Gasteiz entre Enero de 1986 y Enero de 1988. 89 muestras. Valores en mg/l. Conductividad en µS/cm.

Existen tres fuentes distintas que aportan estos elementos químicos al agua de lluvia. La primera fuente son las **sales procedentes de zonas marinas** por disolución del aerosol marino (figura 3). Este aporte consta principalmente de $Cl^-$ y $Na^+$. De esta manera, es usual observar un decrecimiento de las concentraciones de estos compuestos en las precipitaciones a medida que aumenta la distancia a la costa (cuadro 2).

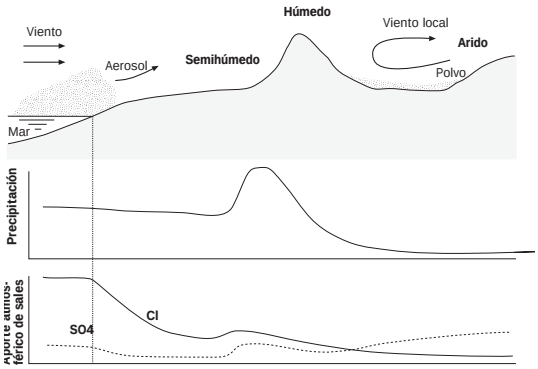



Figura 3. Variación del aporte salino con la distancia a la costa.

| Estación | D | N | Media | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| Vitoria | 65 | 89 | 1,06 | 0,07 | 5,10 |
| Araia | 45 | 39 | 2,36 | 0,03 | 8,20 |
| Llodio | 22 | 63 | 3,74 | 0,10 | 15,14 |
| Mundaka | 0,5 | 49 | 4,55 | 0,09 | 16,30 |
| Igeldo | 0,4 | 32 | 5,01 | 0,70 | 22,40 |

Cuadro 2. Contenido en $Cl^-$ (mg/l) del agua de lluvia en varias estaciones de la Comunidad Autónoma del País Vasco entre Enero de 1986 y Enero de 1988. D: distancia aproximada a la costa (km). N: nº de muestras.

Esta variación del quimismo de la precipitación con la distancia a la costa tiene un fiel reflejo en la composición de las aguas subterráneas. Así, la banda paralela a la costa, de anchura variable, y caracterizada por elevadas concentraciones en Cl, mostrada en los mapas del Anexo Mapas Hidroquímicos tiene su origen, precisamente, en este fenómeno.

La segunda fuente de elementos presentes en el agua de lluvia son las áreas continentales, mayoritariamente las **zonas áridas**, que aportan principalmente $Ca^{2+}$. Este proceso, podría tener reflejo en las aguas del Dominio Hidrogeológico Cuenca del Ebro, pero queda enmascarado por otros factores.

Finalmente hay **aportes antropogénicos** a la atmósfera: productos de combustión, compuestos de nitrógeno en áreas agrícolas, etc., que aportan al agua de lluvia compuestos de S, N, Pb, F y $H^+$.

Además de las sustancias disueltas, la lluvia y la nieve contienen partículas sólidas de origen terrestre así como productos de combustión insolubles, tales como cenizas y fragmentos de materia orgánica. Algunas de estas partículas pueden llegar a disolverse, sobre todo en las zonas en las que el aporte de compuestos de S procedentes de combustión es alto.

Por otra parte, la concentración de iones disueltos en el agua de lluvia es muy variable, en función de la situación meteorológica que origina la lluvia. También se ha comprobado que las primeras fracciones de una lluvia son las que tienen mayor concentración de iones disueltos, debido a los procesos de lavado atmosférico.

**Influencia del incremento de la presión parcial de $CO_2$ en el suelo**

Las aguas subterráneas en la Comunidad Autónoma del País Vasco son generalmente bicarbonatadas cálcicas. Ello obedece a la incorporación del los iones bicarbonato y calcio cuando el agua de precipitación disuelve el $CO_2$ del suelo.

Este $CO_2$ se origina cuando la materia orgánica del suelo (principalmente raíces) se descompone. De este modo, la presión parcial del $CO_2$ en el suelo llega a ser unas 20 veces superior a la presión parcial de este gas en la atmósfera. El agua con $CO_2$ disuelto tiene entonces capacidad de producir la hidrólisis y disolución de carbonatos, que están presentes en la mayoría de rocas y suelos de la zona, con lo que aumenta el contenido en $HCO_3^-$. Al mismo tiempo se incorpora el calcio presente en la roca, así como otros cationes, para equilibrar el balance iónico.

Por tanto, la capacidad de disolución de carbonatos, dependerá, en buena medida, de la cubierta vegetal existente. De esta manera, las surgencias asociadas a un macizo carbonatado recubierto de vegetación presentarán, en igualdad de condiciones, una mineralización muy superior (en forma de iones $HCO_3^-$ y $Ca^{+2}$ fundamentalmente) a la presente en manantiales ligados a macizos sin cubierta vegetal. Este hecho queda reflejado en las aguas subterráneas de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Como ejemplo, el menor valor que alcanza la conductividad de las aguas de la Unidad Hidrogeológica Aramotz (300-350 µS/cm) con respecto a las de Ereñozar (350-400 µS/cm), hay que relacionarlo, al menos en parte, con este proceso.

**Influencia de la concentración por evapotranspiración**

El efecto de este proceso se reduce al incremento de las concentraciones en el agua precipitada. Lógicamente, el incremento de las concentraciones guarda relación directa con el valor del cociente evapotranspiración/precipitación, el cual se puede deducir de los planos de los mapas climáticos del anexo.

Este proceso queda reflejado probablemente (si bien se combina con otros factores de tipo geológico de más peso y que se comentan en apartados posteriores) en el mapa de conductividades incluido en los Mapas Hidroquímicos.

Este plano indica la importancia de las barreras motañosas de la divisoria cantábrico-mediterránea y de la alineación de la Sierra de Cantabria (dos de los elementos que condicionan en mayor medida la relación evapotranspiración/precipitación). Así, pocos km al sur de la primera, no existen manantiales con conductividad media inferior a 300 µS/cm. Las conductividades medias tras la segunda barrera citada superan, en la mayor parte de los casos, los 900 µS/cm.

Por otro lado, es frecuente encontrar en las zonas altas del territorio (zonas de Gorbea, Aizkorri, Oiz, etc.), caracterizadas generalmente por mayor precipitación y menor evapotranspiración, los valores mímimos en la conductividad de las aguas subterráneas. No obstante, como se ha apuntado anteriormente, existen factores geológicos que inciden en el mismo sentido y, probablemente, con más peso.

**Influencia de las condiciones hidrológicas**

El quimismo de las aguas subterráneas no es un carácter invariante. De hecho, los diferentes puntos de agua, a la vez que presentan fluctuaciones estacionales en su nivel o caudal a lo largo del año hidrológico, sufren modificaciones más o menos acusadas en las características hidroquímicas.

Estas modificaciones se deben básicamente el régimen de precipitaciones. Así, por lo general, los periodos de lluvias intensas dan lugar a un descenso de la mineralización de las aguas subterráneas, como consecuencia de un proceso de *dilución*. En otros casos, las lluvias producen el empuje de aguas con más tiempo de permanencia acumuladas en el acuífero hasta las surgencias, originanado un incremento puntual

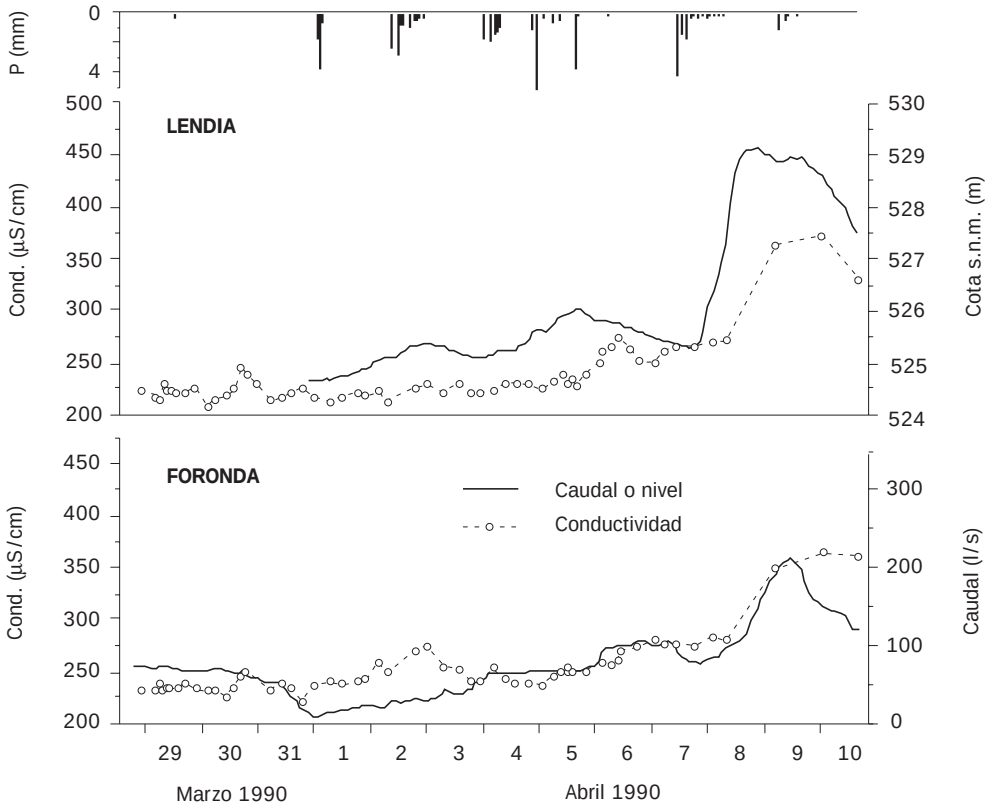



Figura 4. Ejemplos de efecto pistón en el Karst de Apodaka.

de la mineralización. Es lo que se conoce como efecto *pistón* (figura 4).

Inversamente, en condiciones de estiaje se suelen dar los mayores contenidos en los diferentes iones.

*MARCA LITOLOGICA*

Una vez que el agua de recarga atraviesa el suelo, tras haber adquirido los caracteres que le ha proporcionado la marca climático-edafológica, comienza la influencia de la marca litológica.

Esta influencia presenta una doble vertiente:

- Por un lado, una estrictamente litológica, en relación a la composición química de la roca en contacto con el agua subterránea.

- Por otro lado, una de carácter geológico más amplio, relacionada con características tales como grado de fracturación, grado de cementación de los materiales, procesos de karstificación, etc.

**Marca litológica**

Como ya se ha comentado, la facies hidroquímica predominante en las aguas subterráneas en la Comunidad Autónoma del País Vasco, es la bicarbonatada cálcica. Sin embargo, este carácter se ve modificado en determinados casos en los que las aguas atraviesan rocas que contienen minerales fácilmente solubles.

Uno de los ejemplos más claros es la disolución de sales (fundamentalmente yeso y cloruro sódico) incluidas en los materiales del Trías-Keuper. Así, los manantiales que drenan aguas en contacto con esta litología presentan facies cloruradas o sulfatadas, con altas concentraciones en $SO_4^{=}$, $Cl^-$ y $Na^+$, entre otros iones, y una elevada conductividad (>1.000 µS/cm). Tal es el caso de los manantiales (Santa Engracia, La Muera, etc.) asociados a los diapiros. Otras surgencias (Molinar), si bien no están asociadas en superficie a este tipo de materiales, presentan características que sugieren el contacto de sus aguas con un Trías no aflorante.

Estas mismas sales también se encuentran presentes, aunque en menor proporción, en los materiales detríticos del Terciario de la Cuenca del Ebro, con lo que algunos manantiales de la zona suelen tener altos contenidos en $SO_4^=$, $Cl^-$ y $Na^+$, tal y como se observa en los planos incluidos en los Mapas Hidroquímicos.

Las carniolas jurásicas también suelen presentar contenidos altos en sulfatos. Su origen es doble. Por un lado, el Trías Keuper, que se encuentra frecuentemente en contacto con estos materiales. Tal es el caso, probablemente, de las altas concentraciones de $SO_4^=$ que se encuentran en numerosos manantiales de la Unidad Hidrogeológica Elduain. Por otro lado, las carniolas suelen tener huecos que corresponden a cristales de yeso disuelto.

Otras anomalías positivas en las concentraciones de sulfatos no se deben a la presencia de yesos sino a la oxidación de sulfuros, ya sean masivos o diseminados en la roca. El ejemplo más espectacular se encuentra en los puntos de agua del Sector Troya (Dominio Hidrogeológico Anticlinorio Sur), con una oxidación ligada a la explotación de Mina Troya. Situaciones similares se encuentran en la mayor parte de las antiguas explotaciones mineras, como la Zona Minera del entorno de Bilbao.

Otro caso a destacar en este apartado es el de las aguas del Dominio Hidrogeológico Paleozoico y Granitoides, de mineralización muy baja (media inferior a 100 µS/cm) y muy blandas. Estas características están motivadas por la combinación de tres factores:

- el carácter poco permeable del sustrato, que favorece las componentes superficiales e hipodérmica de la escorrentía (siempre menos mineralizadas, como se expone en el siguiente apartado), en detrimento de la subterránea.

- la escasa solubilidad del sustrato rocoso.

- la elevada magnitud de la lluvia útil (1.200-1.600 mm).

**Marca geológica**

Uno de los factores que condiciona en mayor medida el grado de mineralización de las aguas es el tiempo de residencia en el acuífero. De esta manera, los manantiales relacionados con flujos hipodérmicos suelen presentar concentraciones muy bajas en la mayor parte de los compuestos. Tal es el caso de las surgencias asociadas a depósitos coluviales. Por el contrario, los flujos más profundos suelen dar lugar a surgencias de mineralización superior, debido al mayor tiempo de contacto del agua con la roca.

Por otro lado, aún dentro de una misma formación, el grado de mineralización de las aguas está condicionado frecuentemente por la presencia de estructuras más transmisivas que permitan un flujo rápido desde la zona de recarga hasta los puntos de descarga. En el ámbito del territorio descrito, este tipo de estructuras están relacionadas, en su mayor parte, con la karstificación, ya sea en los macizos carbonatados, ya sea en formaciones detríticas (Unidades Hidrogeológicas Oiz y Jaizkibel) por disolución de cemento carbonatado.

Así, la escasa conductividad de manantiales como Aldabide (y en general los presentes en la Unidad Hidrogeológica Itxina) debe estar motivada (además de por la escasa cubierta vegetal de la superficie, como se ha comentado previamente), por el gran desarrollo de los conductos kársticos reponsables del tránsito subterráneo.

En un macizo carbonatado es frecuente la existencia de manantiales muy próximos en la distancia, cuya recarga es la misma, pero de muy diferente grado de mineralización y magnitud de caudales. Un caso bien conocido son determinadas surgencias del Karst de Apodaka (Unidad Hidrogeológica Subijana).

Con el fin de ofrecer una visión general de la inflluencia de la marca litológica (entendida ésta en su término más amplio) en las aguas subterráneas de la Comunidad Autónoma País Vasco se ha elaborado el cuadro 3. En él se muestran las medianas de compuestos mayoritarios en las distintas categorías en las que se han agrupado, siguiendo criterios geológicos, las diversas formaciones aflorantes. Así mismo, se indican los principales factores que condicionan el quimismo en cada una de estas categorías.

*FACTORES ANTROPICOS*

La composición química de las aguas subterráneas puede verse afectada por las acciones humanas. La consecuencia más clara y más grave de estas acciones es la contaminación de

| Edad | Categoría | Cond. | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $Cl^{-}$ | $SO_4^{=}$ | $HCO_3^{-}$ | $NO_3^{-}$ | **Características / Observaciones** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P* | Areniscas, pizarras y granitoides | 75 | 4,50 | 0,50 | 7,60 | 3,30 | 9,60 | 8,20 | 23,90 | 0,10 | Baja mineralización. Aguas blandas, debido a combinación de factores litológicos y climáticos |
| Tr | Keuper (arcillas, sales) | 1446 | 12,52 | 3,10 | 324,08 | 51,33 | 70,17 | 820,44 | 273,79 | 8,04 | Facies cloruradas o sulfatadas. Disolución de sales |
| Tr | Ofitas | 508 | 11,88 | 1,34 | 76,35 | 18,47 | 20,30 | 34,55 | 197,38 | 4,93 | Contenidos altos en Cl y $Na^{+}$. Contacto con Keuper |
| J | Calizas, carniolas, margocalizas, margas | 394 | 5,25 | 1,01 | 72,10 | 8,07 | 10,31 | 46,10 | 187,76 | 3,43 | Concentraciones altas en $SO_4^{=}$, debido a disolución de yesos (carniolas o Keuper) |
| Cl | Calizas (complejo Urgoniano) | 323 | 6,18 | 0,67 | 60,10 | 3,33 | 12,10 | 18,66 | 172,14 | 3,60 | Mayor contenido meteórico que otras calizas: menor distancia a la costa. Baja mineralización (escasa capacidad de regulación) |
| Cl | Margocalizas | 310 | 5,20 | 0,60 | 46,51 | 4,90 | 11,42 | 30,00 | 151,15 | 1,20 | |
| Cl | Areniscas, conglomerados (c. Supraurgoniano) | 294 | 6,65 | 0,52 | 48,30 | 4,63 | 12,10 | 22,61 | 157,36 | 2,70 | Frecuentemente ferruginosas: oxidación de $Fe^{+2}$ a $Fe^{+3}$ en la surgencia y precipitación |
| Cl | Flysch, lutitas, margas | 286 | 7,30 | 0,60 | 44,55 | 4,99 | 12,05 | 22,83 | 148,63 | 0,85 | Características muy variables (diferentes litologías, tránsitos, clima, etc.) |
| CS | Calizas y dolomías (área meridional) | 429 | 3,79 | 0,61 | 78,40 | 8,45 | 6,68 | 19,38 | 251,20 | 3,57 | Menor contenido en meteóricos que Urgoniano. Mayor concentración en $HCO_3^{-}$ y $Ca^{+2}$. Mayor capacidad de regulación y cubierta vegetal |
| CS | Margocalizas (área meriodional) | 494 | 5,50 | 0,72 | 94,93 | 5,52 | 11,47 | 25,45 | 242,94 | 6,63 | Mayor mineralización que categoría anterior |
| CS | Areniscas (Campaniense) | 402 | 3,45 | 0,60 | 64,00 | 15,10 | 5,34 | 28,00 | 282,00 | 1,00 | Características influenciadas por el Terciario marino, al vehiculizar parte de sus aguas |
| CS | Flysch, lutitas, margas | 494 | 8,00 | 0,70 | 94,21 | 6,05 | 12,46 | 29,40 | 228,90 | 4,90 | Características muy variables (diferentes litologías, tránsitos, clima, etc.) |
| CS | Complejo Volcánico | 281 | 8,66 | 0,78 | 38,04 | 3,04 | 15,98 | 11,30 | 147,78 | 3,48 | Baja mineralización. Altos contenidos en sodio |
| Te | Calizas y dolomías Terciario marino | 440 | 2,88 | 0,40 | 70,00 | 18,48 | 5,00 | 17,65 | 260,00 | 2,53 | Alto contenido en magnesio: carácter dolomítico de la roca. Mayor mineralización que resto de calizas |
| Te | Conglomerados (área meridional) | 492 | 2,00 | 0,53 | 76,98 | 19,17 | 4,88 | 30,00 | 267,31 | 1,33 | Similar a Terciario marino |
| Te | Areniscas Cadena Costera | 344 | 10,35 | 1,10 | 33,50 | 2,90 | 18,70 | 8,25 | 117,10 | 2,18 | Altos contenidos en meteóricos (aerosol marino) |
| Te | Areniscas Sinclinal de Oiz | 327 | 7,00 | 0,50 | 53,30 | 6,60 | 12,80 | 9,80 | 209,30 | 4,21 | Menores concentraciones en meteóricos que Cadena Costera (mayor distancia a costa) |
| Te | Terciario continental | 575 | 5,86 | 0,90 | 84,20 | 22,30 | 11,70 | 27,90 | 272,50 | 10,00 | Características muy variables. Mineralización alta Contenidos altos en nitratos (origen agrícola) |
| Q | Aluvial | 668 | 17,80 | 3,00 | 104,00 | 9,62 | 31,08 | 50,42 | 261,37 | 14,82 | Mineralización alta. Características muy variables, modificadas a menudo por contaminación diversa |
| Q | Coluvial | 296 | 3,95 | 0,21 | 55,14 | 7,30 | 9,65 | 21,40 | 160,37 | 2,35 | Escasa mineralización. Flujos superficiales |

Cuadro 3. Concentraciones medias de compuestos mayoritarios en las aguas subterráneas del País Vasco, agrupadas en función de las características geológicas de los materiales. Valores en mg/l, salvo conductividad (µS/cm). P*: Paleozoico, incluyendo los materiales del Buntsandstein. Tr: Triásico. J: Jurásico. Cl: Cretácico inferior. CS: Cretácico superior. Te: Terciario. Q: Cuaternario.

las aguas, debida a la presencia de focos de polución, ya sean puntuales, difusos o semidifusos. Este aspecto se trata con detalle en el capítulo correspondiente a la Contaminación de Aguas subterráneas y Vulnerabilidad a la Contaminación.

Sin embargo, existen otras actuaciones que pueden modificar sustancialmente la composición de las aguas, y que no están relacionadas con la existencia de focos de contaminación.

Se trata de las actuaciones que causan alteraciones en el funcionamiento hidrogeológico natural de los acuíferos, especialmente en lo que se refiere a su recarga.

Un ejemplo es la Unidad Hidrogeológica Vitoria, donde la recirculación por retorno de riegos, combinada con otros factores, ha modificado las características hidroquímicas del agua.

*FENOMENOS MODIFICADORES*

Las sustancias disueltas en el agua pueden ser conservativas o no conservativas.

Los compuestos conservativos no se separan de la fase líquida (salvo circunstancias extremas) y sólo crecen por aporte desde la fase sólida o por concentración evaporítica. Tal es el caso del ion cloruro.

No obstante, la mayor parte de las sustancias no son conservativas, apareciendo o desapareciendo a causa de procesos físicos y reacciones químicas. Este conjunto de procesos y reacciones constituyen los fenómenos modificadores.

Entre estos fenómenos se pueden destacar, por su importancia, los siguientes:

- Procesos red-ox. En medio aerobio se produce la oxidación de amonio, nitritos y nitrógeno a nitrato, el paso de especies ferrosas a férricas y la oxidación de sulfuros a sulfatos, entre otros procesos. Por el contrario, en medio anaerobio, se producen las reacciones inversas.

- Intercambio iónico, que afecta de forma fundamental a las especies catiónicas.

- Adsorción.

- Fijación; importante en el caso del potasio.

Los efectos de estos procesos en las zonas de descarga pueden ser a veces espectaculares. Tal es el caso de los potentes espesores de travertinos en las surgencias de algunos acuíferos carbonatados, consecuencia de la repentina pérdida de parte del $CO_2$ que las aguas tomaron durante la infiltración, con la consiguiente precipitación del carbonato cálcico. En la Comunidad Autónoma del País Vasco se encuentran algunos ejemplos, como el de Ocio, asociado a la Unidad Hidrogeológica Sierra de Cantabria.

Otro caso de fenómeno modificador en zona de descarga es el que da lugar a los manantiales ferruginosos, y que se describe en el apartado siguiente.

*MANANTIALES DE CARACTERISTICAS ESPECIALES*

En este apartado se incluyen aquellas surgencias que presentan un quimismo *anómalo* o alguna característica *especial*, que las diferencia del resto de manantiales. Se pueden clasificar en cuatro epígrafes:

- salinos
- ferruginosos
- sulfurosos
- termales

Los **manantiales salinos** se caracterizan por su elevadísima conductividad, consecuencia de las altas concentraciones en iones cloruro y sodio, fundamentalmente. Presentan facies cloruradas sódicas y están relacionados con la disolución de sales por parte de aguas en contacto directo con las facies evaporíticas del Trías Keuper. Los ejemplos más claros son los manantiales situados en el diapiro de Salinas de Añana.

Los **manantiales ferruginosos** (metalurak, burdinurak) son habituales en las formaciones geológicas de permeabilidad media a baja, ricas en sulfuros de hierro diseminados. El más claro ejemplo son las surgencias, de pequeño caudal, asociadas al complejo Supraurgoniano. El medio reductor presente en estas formaciones posibilita la existencia de altas concentraciones en especie ferrosa en las aguas subterráneas. Inmediatamente tras la surgencia, las condiciones oxidantes provocan la oxidación del hierro a la especie férrrica, insoluble, y su precipitación inmediata. Ello origina el característico color rojizo.

Los **manantiales sulfurosos** (atsurak, uratsak) se encuentran diseminados por todo el

territorio. Son también de escaso caudal y se caracterizan por un fuerte olor a huevos podridos. Se relacionan con procesos de reducción de sulfuros diseminados en la roca, los cuales originan liberación de ácido sulfhídrico, causante de su olor característico. Su facies suele ser sulfatada cálcica.

Los **manantiales termales**, debido a su especial interés, se describen en el capítulo correspondiente a Aguas Termo-Minerales. Geotermia.

ISOTOPOS AMBIENTALES

Los isótopos de un elemento en particular tienen el mismo número de protones en el núcleo atómico pero diferente número de neutrones. Pueden ser estables o inestables, es decir, radiactivos. En hidroquímica se estudian tanto los de la molécula del agua, H y O, como los de los elementos de los iones disueltos en ella (C, N, S, etc.). El estudio de estos últimos es útil para conocer su origen y, en el caso de los isótopos del C, para datar aguas antiguas. Sin embargo, en la Comunidad Autónoma del País Vasco sólo se han analizado los isótopos del H y del O del agua.

El hidrógeno natural contiene los isótopos $^{1}H$, $^{2}H$ o deuterio (D) que son estables, y $^{3}H$ o tritio (T) que es radioactivo. El oxígeno contiene los isótopos $^{16}O$, $^{17}O$ y $^{18}O$, todos ellos estables. Los isótopos $^{1}H$ y $^{16}O$ son los componentes mayoritarios, por lo que la especie molecular más abundante del agua es la que corresponde a la fórmula $^{1}H_2{}^{16}O$. Además de esta especie molecular, existen otras más pesadas que incorporan un átomo de D, T, $^{17}O$, $^{18}O$ u otras combinaciones de estos isótopos. Las moléculas con un átomo de $^{17}O$ o las que incorporan dos componentes minoritarios (por ejemplo, $D_2O$, $HD^{18}O$, etc.) no tienen interés por encontrarse en una proporción despreciable en comparación con las moléculas DHO y $H_2{}^{18}O$.

Las proporciones medias en el agua del mar de las tres especies moleculares más importantes son las siguientes:

| | |
|---|---|
| $H_2O$: | 997.680 partes por millón |
| HDO: | 320 partes por millón |
| $H_2{}^{18}O$: | 2.000 partes por millón |

La especie molecular $H_2O$ es del orden de $10^{16}$ - $10^{18}$ veces más abundante que la HTO, pero el estudio de esta última es muy interesante en hidroquímica ya que permite conocer la presencia de aguas recientes y evaluar tiempos de renovación del agua subterránea. Es importante destacar que los isótopos estables deuterio ($^{2}H$) y oxígeno-18 ($^{18}O$) y el radioactivo tritio ($^{3}H$), forman parte de la molécula del agua y, por lo tanto, son transportados conjuntamente con la misma y no en forma disuelta.

**Oxígeno 18 y Deuterio**

Normalmente, la composición isotópica de una muestra de agua suele expresarse en forma de desviación isotópica (δ) e indica la abundancia relativa en relación con una muestra patrón, habitualmente el SMOW (Standard Mean Ocean Water):

$$\delta(‰) = (R_{muestra} - R_{SMOW}) / R_{SMOW} \times 10^3$$

donde R es la relación isotópica

$$R = \frac{\text{(Número de moléculas del tipo } {}^{1}HD^{16}O \text{ o } {}^{1}H_2{}^{18}O)}{\text{(Número de moléculas del tipo } {}^{1}H_2{}^{16}O)}$$

El valor de δ puede ser positivo o negativo según que la muestra tenga una relación isotópica mayor o menor que el patrón SMOW. Un δ positivo indica, por tanto, mayor concentración que el SMOW en el isótopo pesado correspondiente (D u $^{18}O$) y a la inversa.

La distribución de las tres especies moleculares del agua $H_2O$, HDO y $H_2{}^{18}O$ en las fases de un sistema binario tal como líquido-vapor, líquido-hielo, etc., es siempre diferente. A esta desigual distribución se le denomina fraccionamiento isotópico. La razón para este fraccionamiento es que dichas especies moleculares presentan pequeñas diferencias en sus características físicas y químicas como consecuencia de sus diferencias de masa. Las moléculas ligeras se evaporan más de prisa y se condensan más lentamente que las moléculas pesadas, es decir, presentan una tendencia mayor a permanecer en la fase vapor durante el cambio de estado. Por tanto, a medida que progresa la evaporación, la fase líquida se concentra en los isótopos pesados D y $^{18}O$.

Estos isótopos presentan su mayor valor interpretativo para identificar aguas del mismo origen. Su valor discriminador de áreas de recarga en lugares con notables cambios de altitud es importante.

A continuación se describen las características isotópicas de la precipitación en la

Comunidad Autónoma del País Vasco y las diferencias observadas en las aguas subterráneas.

**Características isotópicas de la precipitación**

En la figura 5 se muestra, a modo de ejemplo, la evolución temporal del $^{18}O$ y D en dos pluviógrafos, Aramotz y Berastegi, junto con la precipitación en uno de ellos y la temperatura medida en Orozko.

Como se puede observar, existe una variación temporal, asimilable a los cambios estacionales. En general, la precipitación es isotópicamente más ligera en los meses de invierno.

Esta relación del contenido isotópico de la precipitación con la temperatura (figura 6) permite definir los gradientes originados por la disminución de temperatura en función de la altitud.

Los valores calculados para la Comunidad Autónoma del País Vasco son del orden de -0,21 $\delta^{18}O$(‰) y -1,3 $\delta D$(‰) por cada 100 m. Este fenómeno es utilizado para diferenciar las aportaciones de los manantiales en función de la altitud de la zona en la que se produce su recarga.

**$^{18}O$ y D en aguas subterráneas**

Para ilustrar el fenómeno mencionado anteriormente, en la figura 7 y en el cuadro 4 se muestra el contenido isotópico de varios manantiales y un sondeo, todos ellos ubicados en acuíferos kársticos.

| Manantial | nº muestras | media | mediana | rango |
|---|---|---|---|---|
| Orue | 47 | -6,79 | -6,78 | 1,08 |
| Mahala | 14 | -7,30 | -7,32 | 0,28 |
| Irabaneta | 14 | -7,53 | -7,47 | 0,43 |
| Marijan | 22 | -7,63 | -7,62 | 0,32 |
| Urbeltza | 21 | -7,72 | -7,70 | 0,37 |
| Salubita | 22 | -7,73 | -7,72 | 0,47 |
| Sondeo R-7 (Aralar) | 24 | -8,21 | -8,22 | 0,33 |
| Arkaka Txiki | 13 | -8,48 | -8,50 | 0,66 |
| Bonbatxulo | 14 | -8,53 | -8,43 | 1,01 |
| Osinberde | 24 | -8,67 | -8,56 | 1,42 |
| Araia | 20 | -8,88 | -8,88 | 0,71 |

Cuadro 4. Valores medios del $^{18}O$ en diversos puntos de agua.

En las unidades hidrogeológicas con varios puntos de descarga muestreados puede deducirse cuáles son los que han sido recargados a cota más alta. Es el caso de Mahala e Irabaneta en la Unidad Hidrogeológica Izarraitz, o Marijan y Urbeltza en Elduaien y los manantiales y sondeo de Aralar. En todos ellos, los menores valores de $^{18}O$ se localizan en los puntos cuya área de recarga, de acuerdo con el modelo de funcionamiento hidráulico deducido, se encuentra a cota más baja.

Si se considera el conjunto de datos de manantiales, excluyendo Orue debido a que sus

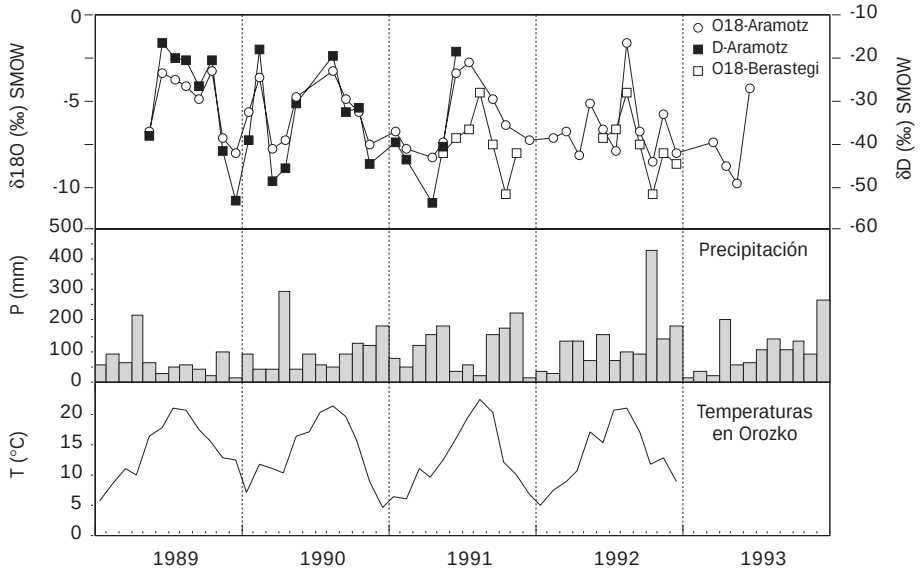



Figura 5. Evolución temporal del $^{18}O$ y D.

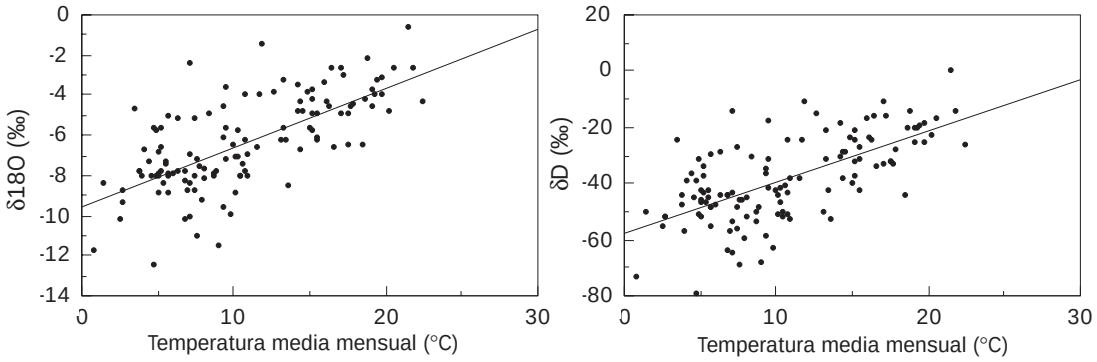



Figura 6. Relación del contenido isotópico y la temperatura media del aire.

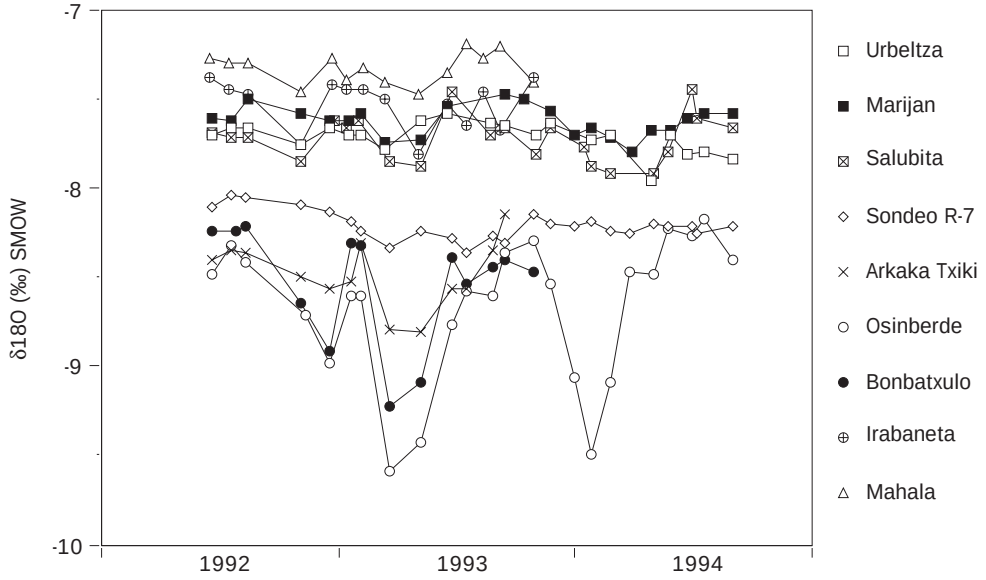



Figura 7. Contenido isotópico de algunas aguas subterráneas.

muestras han sido analizadas en un laboratorio diferente, hay un rango en el contenido en $^{18}O$ de 1,58 ‰ entre el manantial con zona de recarga más alta (Araia) y el manantial con zona de recarga más baja (Mahala).

Admitiendo un gradiente altimétrico de -0,20‰ ($\delta^{18}O$)/100 m, la diferencia de altura en las zonas de recarga resulta ser de 790 m, que puede considerarse lógica.

**Tritio**

El tritio se produce por la interacción entre la atmósfera y la radiación cósmica. Sin embargo, en el período 1952-63 el tritio producido por las pruebas atmosféricas de armas termonucleares sobrepasó la producción natural en varios órdenes de magnitud. A partir de 1963 el contenido en tritio ha ido descendiendo progresivamente, su período de semidesintegración es de 12,3 años, de modo que actualmente apenas hay tritio de origen termonuclear en la atmósfera. La unidad usada para medir niveles de concentración es la unidad de tritio (UT); 1 UT corresponde a una relación de 1 átomo de tritio entre $10^{18}$ átomos de hidrógeno.

**Reconstrucción histórica del tritio en la precipitación local**

La interpretación de los datos de tritio para datación de aguas subterráneas requiere que

previamente se conozca cuál ha sido el contenido histórico del tritio en la precipitación. En la figura 8 se recogen algunos de los pocos datos disponibles referidos a la Comunidad Autónoma del País Vasco.

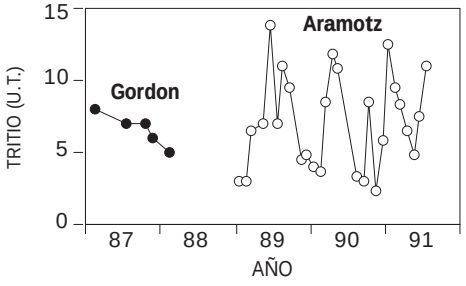



Figura 8. Valores de tritio en la precipitación.

**Tritio en aguas subterráneas**

El análisis del contenido en tritio del agua subterránea permite su datación, con relativa precisión, si su antigüedad queda comprendida en el período transcurrido desde 1952. Se entiende por datación la medida del tiempo desde que se produjo la precipitación y posterior infiltración hasta la toma de muestra.

A modo de ejemplo, la figura 9 recoge las determinaciones de tritio en los manantiales Urbeltza y Marijan (Unidad Hidrogeológica Elduain) sobre un gráfico que expresa el valor teórico del tritio en aguas subterráneas con varios tiempos de permanencia. Se deduce que la aguas que aporta el manantial Urbeltza tienen un tiempo de permanencia en el terreno de entre 3 y 7 años, mientras que las de Marijan no sobrepasan el año.

**CALIDAD**

El concepto de calidad es relativo, en la medida en que una misma agua es calificable como apta o no apta según el uso al que se destine o según la legislación vigente que se le aplique.

En este sentido es preciso, en primer lugar, delimitar el concepto de *composición* físico-química y bacteriológica propia del agua del de *calidad*.

El primero hace referencia al resultado de los procesos modificadores a los que se ve sometida en su transformación de agua de precipitación, como caso más general, a agua subterránea captada en su emergencia, sea ésta natural o artificial.

El segundo es un criterio impuesto, cambiante a lo largo del tiempo y diferente según la ley que se aplique, a fin de garantizar la inocuidad del recurso en la utilización prevista.

La diversidad en la composición del agua, una muestra de la cual se ha descrito en los capítulos precedentes, abarca varias facies, un

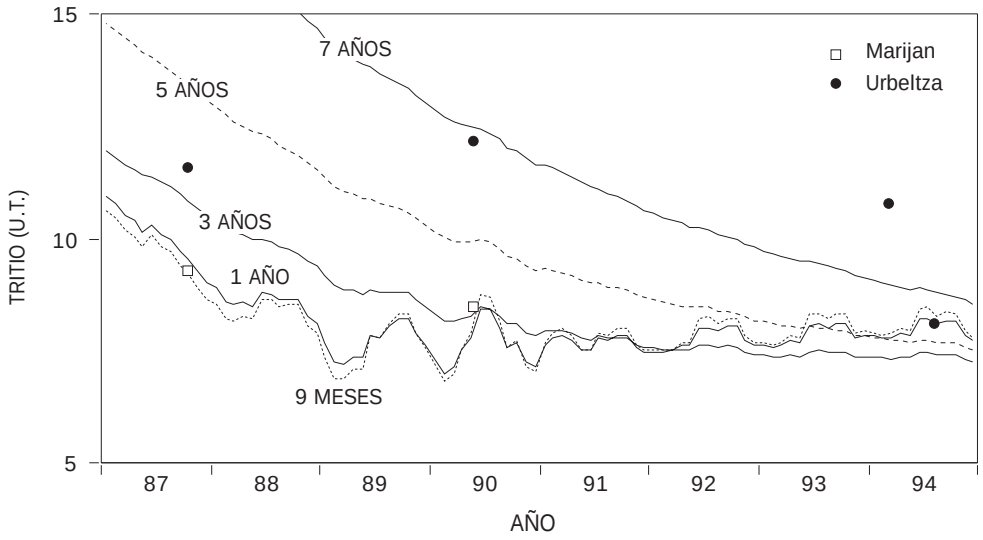



Figura 9. Tritio en los manantiales Urbeltza y Marijan.

amplísimo rango en el contenido en materiales disueltos (de <100 a >250.000 mg/l) y una larga lista de puntos con contenidos apreciables en elementos poco frecuentes, reveladores de su particular historia. Resulta, así, una clasificación en tipos de aguas que puede resultar simple, si se atiene a los contenidos mayoritarios (bicarbonatada, sulfatada, etc.), más prolija, si se pretende destacar algún elemento (magnésica, ferruginosa, sulfurosa, arsenical, etc.) o alguna característica (gaseosa, radiactiva, etc.), o incluso exótica, cuando se cataloga en función de diversos factores y determinado tipo de usos, como las acratopegas oligometálicas, que no es otra cosa que aguas con menos de 0,5 mg/l de mineralización y sin predominio significativo de ningún ion.

No es sorprendente, pues, que su encaje con los patrones de calidad resulte a veces conflictivo, debido a la connotación de permiso o negación de uso que llevan implícitos.

Son comunes las aguas minerales comercializadas que sobrepasan en algunos elementos los límites establecidos por la legislación de aguas potables, diferente de la que rige a las minerales, mineromedicinales y termales.

El problema se acentúa cuando entran en la composición de un agua elementos derivados de la actividad antrópica, especialmente desde el momento en que no se discriminan de los de origen endógeno, propios del medio.

Esto ha derivado en un mal uso ocasional del término contaminación, al equivocar ambos orígenes. Asimismo, se aplica a aguas cuyo uso potencial es otro, diferente del que se pretende, y sin que ello presuponga ningún tipo de contaminación.

Posiblemente uno de los componentes que mayor confusión ha introducido en la determinación de la calidad de las aguas es el bacteriológico.

El agua, el suelo y el aire son medios que contienen una gran variedad de microorganismos, adaptados a vivir en condiciones muy diferentes y algunas extremas (bacterias psicrófilas, termófilas, halófilas, etc.), la mayoría de las cuales no son patógenas. Estas últimas pueden estar presentes en aguas contaminadas directamente por aportes de tipo residual.

El contenido en microorganismos llega a ser constante en las aguas con mayor tiempo de tránsito y, por tanto, mayores posibilidades de equilibrio con el medio geológico y de homogeneización en las características del agua que llega a la surgencia. Es el caso de las aguas termales y minerales. Por el contrario, es más aleatorio en las aguas subterráneas someras.

Se trata, pues, de un elemento constituyente del agua con la misma razón de ser que los bicarbonatos, sulfatos, calcio, magnesio, etc.

En cualquier caso, la existencia de las bacterias patógenas es un hecho y, por lo tanto, un riesgo a evitar. Sin embargo, su determinación analítica sistemática no es viable, de ahí que se recurra a la búsqueda de indicadores que anuncian la posibilidad, que no la certeza, de la presencia de microorganismos patógenos.

Por consiguiente, la tantas veces repetida declaración de *no potable*, especialmente en las clásicas fuentes distribuidas a lo largo de todo el territorio, no se debe interpretar en el sentido de que el agua contiene microorganismos, porque es lo suyo que los contenga, ni que entre dichos microorganismos haya algunos patógenos ni, tan siquiera, de que haya sufrido algún tipo de contaminación. Significa, tan sólo, que esa agua contiene indicadores de riesgo potencial; indicadores que, en la mayoría de los casos, son fruto de la vida animal desarrollada en el entorno de la fuente o manantial.

En definitiva, no es acertado hablar de aguas subterráneas como de buena o mala calidad, como catalogación general. Tan buena es el agua del manantial Santa Engracia en Salinas de Añana, con más de 250 g/l de sales disueltas, como otras de muy baja mineralización y más adecuadas para su uso como agua de bebida.

Los múltiples índices o clasificaciones en tipos que existen se deben entender como indicadores del grado de adaptabilidad de un agua a un uso concreto, no de su calidad intrínseca. Otro tema muy diferente es el de las aguas que han sufrido contaminación. Al margen del riesgo implícito, representa una alteración del medio que invalida en cierta medida lo expuesto hasta ahora.

Tal como se ha descrito a lo largo del texto, las aguas subterráneas de la Comunidad Autónoma del País Vasco, especialmente las de las unidades y sectores hidrogeológicos, son aptas para los usos más comunes, abastecimiento y regadío, y están exentas, salvo los casos específicos comentados, de problemas significativos de contaminación.

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

DURANA, N.; EZCURRA, A.; CASADO, H.; LACAUX, J. P.; GARCIA, C. (1990). Resultados sobre deposición húmeda en el País Vasco español. Rev. de Geofísica 46, pp. 97-108.

CUSTODIO, E. (1991): La interpretación hidrogeoquímica como herramienta de estudio y valoración de sistemas acuíferos: aspectos metodológicos generales. Hidrogeología, estado Actual y Prospectiva. CIMNE, Barcelona. pp. 121-162.

# AGUAS TERMO-MINERALES. GEOTERMIA

## INTRODUCCION

Las aguas con alguna peculiaridad en su temperatura o en su quimismo deben su origen a un proceso de adquisición de las características físicas e hidroquímicas que se aleja del convencional, descrito en el capítulo anterior.

Por su significación, se procede en este capítulo a una descripción algo más detallada de los puntos que destacan por su temperatura y por las características químicas que hacen del agua merecedora de su calificación como agua mineral.

## AGUAS TERMALES

En su tránsito por los sistemas de circulación subterránea, el agua adquiere una características propias que guardan relación con las del medio geológico. Las transformaciones afectan fundamentalmente al quimismo del agua desde que se infiltra, de acuerdo con los procesos ya descritos, y a la temperatura. El agua alcanza la temperatura del medio permeable por el que circula, cediendo o ganando calor en función de la situación de partida.

El efecto habitual es el de incremento de temperatura del agua infiltrada, normalmente agua de precipitación, a medida que progresa en profundidad y merced al gradiente geotérmico propio de la zona.

Los dispositivos geológicos más frecuentes permiten una progresión del agua en profundidad suficiente como para que se alcance un equilibrio relativo, sujeto a pequeñas oscilaciones de carácter estacional. Se alcanzan así, en la Comunidad Autónoma del País Vasco, temperaturas medias en el rango 10-14°C.

Dado que el requisito formal para la calificación de un agua como termal es que la temperatura en la surgencia sea de 5°C superior a la media del entorno, basta con una pequeña modificación en el esquema general para que se de el caso.

La situación más repetida es la del acuífero cuya continuidad geológica y porosidad permiten al agua llegar a cotas en las que, a favor del gradiente geotérmico, alcanza una temperatura superior a lo habitual. Con un gradiente medio en la Comunidad Autónoma del País Vasco de 0,025°C/m, son suficientes tres o cuatro centenares de metros para que el agua adquiera una temperatura con la calificación de termal.

Sin embargo, se requiere de otro condicionante para que esa agua conserve en la salida la característica adquirida. Es necesaria una vía de salida al exterior lo suficientemente rápida como para que no se establezca un nuevo equilibrio con las condiciones imperantes en la superficie.

Las manifestaciones termales más conocidas de la Comunidad Autónoma del País Vasco, el Molinar de Karrantza, Urberuaga de Ubilla, Altzola, Zestoa, Bolen, etc., responden al esquema definido. Se trata de aguas ligadas a acuíferos carbonatados, afectados por estructuras geológicas que permiten su continuación en profundidad y por fracturas de la entidad necesaria para que se de la conjunción de circunstancias que propician su llegada a la superficie como aguas termales.

Otro mecanismo de generación de aguas con temperatura por encima de la media es el constituido por rocas cuya conductividad térmica es superior a las del entorno, dando lugar a puntos con un gradiente térmico ligeramente más alto. Es el caso de las facies evaporíticas y las arcillas del Trías las cuales, al estar en la mayor parte de los casos presentes en el territorio asociadas a estructuras de carácter diapírico o a fracturas importantes, conforman el dispositivo necesario.

A este esquema responden las surgencias La Muera, Larrauri y Santa Engracia, las dos primeras con temperaturas cercanas a 18°C y la última a 16°C, además de otras de menor entidad pero características similares.

Para completar el resumen de los principales mecanismos que originan las manifestaciones termales de la Comunidad Autónoma del País Vasco (figura 1) resta por citar el causado por la intervención humana. El acceso mediante obras de perforación o excavación a acuíferos en los que el agua se encuentra caliente por alguno de los mecanismos citados permite su extracción o, como en algunos de los recogidos en la figura, su salida libre. Entre los pertenecientes a esta categoría merecen ser destacados los sondeos Sobrón-1, Itxaspe-31 o la Rampa Norte, actual punto de descarga del Sector Troya. Aunque para su extracción es necesario el bombeo, el recurso que se obtiene desde el sondeo Gaztelu-1 también participa de las características de los termales e incluso de los mineromedicinales, como lo atestigua la declaración correspondiente.

Además de la temperatura, son otros los indicadores que revelan la diferente historia de estas aguas. Son característicos una mayor mineralización, aunque raramente se superan los 2.000 µS/cm de conductividad, y la presencia de $SiO_2$, B, Li, Sr, etc., en concentraciones superiores a los de las aguas frías comunes.

Estos mismos elementos son utilizados como geotermómetros, es decir, indicadores de

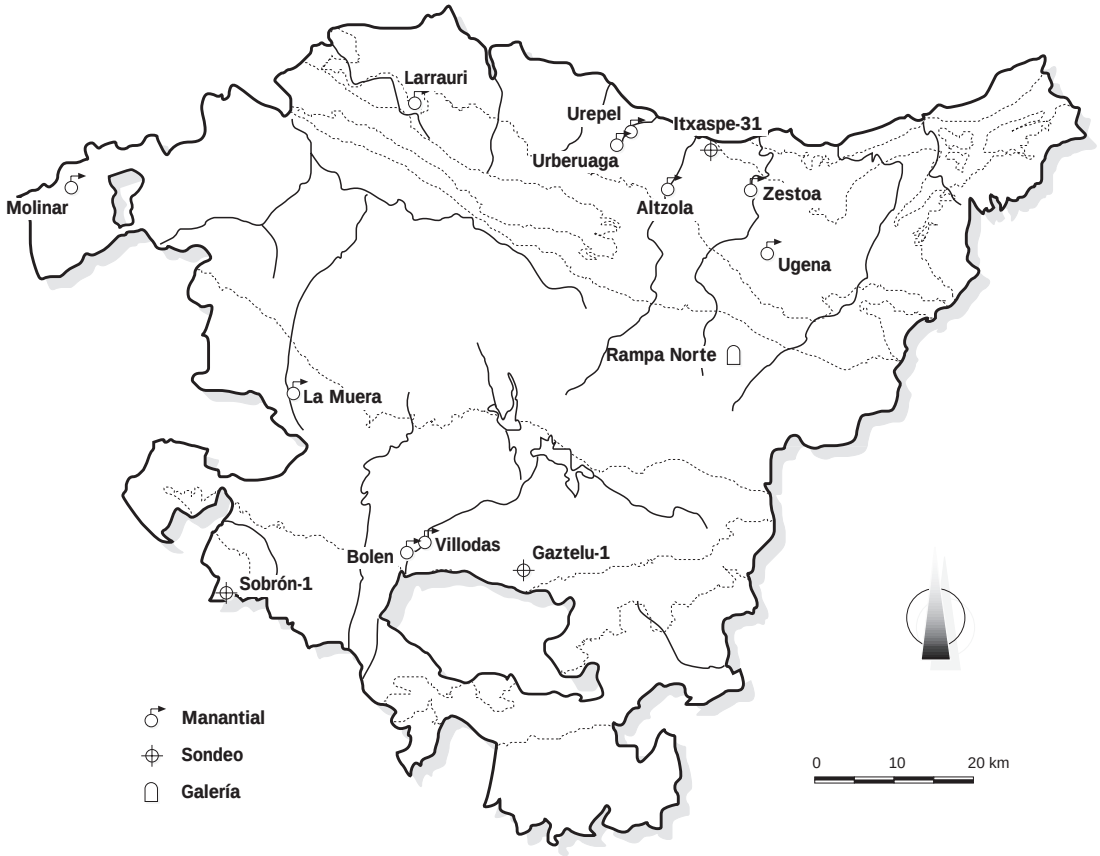



Figura 1. Situación de las principales manifestaciones termales.

las temperaturas máximas alcanzadas por el agua en su tránsito desde la infiltración hasta la salida. Algunos de los casos en que han podido ser aplicados con mayor fiabilidad estiman temperaturas de 62, 40 y 48°C en el Molinar de Karrantza, Urberuaga de Ubilla y Altzola. Las temperaturas de surgencia son 33, 25 y 28°C respectivamente.

En cuanto al gas contenido en el agua, presente de forma ostensible en algunos casos, muestra una composición característica de aire atmosférico reducido, de naturaleza nitrogenada (92-98% $N_2$) y pequeños porcentajes de oxígeno (1-7%) y $CO_2$ (0,3-10%) además de otros componentes de origen endógeno. En el caso de Gaztelu-1, el porcentaje de este último componente modifica el análisis hasta la siguiente composición: $N_2$ 37%, $CO_2$ 8,6%, $O_2$ 0,5%, $CH_4$ 53,5%, junto a otros gases representados en menores proporciones.

Por último, los análisis de tritio revelan unas aguas con tiempos de tránsito en su circulación subterránea que superan el límite de validez de esta técnica, establecido en algo más de 40 años, al menos en los manantiales Molinar, Urberuaga y Altzola. Otros casos en los que los análisis implican menores tiempos, son posibles modelos de mezcla de aguas de circulación profunda con aguas superficiales en su aproximación a la surgencia.

**AGUAS MINERALES**

Bajo esta denominación se comenta el colectivo de las aguas que por sus características pueden ser envasadas para su utilización, sin haber sufrido otras modificaciones que las permitidas por la legislación vigente a las que define como aguas minerales naturales y aguas de manantial.

El denominador común de las aguas que históricamente han sido consideradas y utilizadas como aguas minerales puede sintetizarse en los siguientes puntos:

- se trata de aguas naturales, no preparadas artificialmente

- contienen elementos disueltos o en suspensión caracterizados, en unas ocasiones, por su excesiva cantidad y, en otras, por presentarse raramente en los manantiales de aguas potables

- en muchas ocasiones son termales

- están dotadas de, o se le suponen, propiedades medicinales

Desde el punto de vista hidrogeológico, se trata, en general, de aguas asociadas a esquemas de circulación profunda y lenta, capaces de proporcionar la necesaria homogeneidad de caudal y quimismo del agua en la surgencia, en todo momento hidrológico.

Para ello, no es necesaria la existencia de un acuífero de gran envergadura sino de un medio capaz de modular las entradas, o recarga del sistema, y proporcionar al agua el tiempo necesario para que adquiera unas características constantes e independientes de las propias de origen.

El efecto de filtro alcanza a los organismos presentes en las aguas superficiales y subterráneas someras, aunque no por ello las aguas minerales están exentas de microorganismos. Contienen aquellos cuyo hábitat requiere las condiciones de presión y temperatura a las que circula el agua. No es sorprendente, por tanto, que varias de las aguas termales citadas anteriormente sean también conocidas como aguas minerales. Así mismo, se da el caso de aguas minerales, como Insalus, que cumplen los requisitos exigidos a estas aguas pero no contienen indicadores de haber sufrido procesos de calentamiento.

El contenido *excesivo* de determinados elementos o la presencia de otros no habituales en los manantiales normales, se justifica por las peculiaridades de los medios geológicos a los que se asocian. Son comunes las aguas con contenidos elevados en cloruros o sulfatos, con declaración de agua mineral y comercializadas como tales, o aquellas en las que se valora positivamente su radioactividad o su contenido en flúor, hierro, etc.

Este hecho, consustancial a la dinámica del agua subterránea, provoca situaciones cuando menos sorprendentes cuando de lo que se trata es de establecer su potabilidad. La diferente legislación aplicable según se asigne el calificativo de *mineral* o *normal* al agua aportada por un manantial o una obra de captación puede condicionar que sea posible o no su utilización.

**GEOTERMIA**

Bajo este epígrafe se pretende dar una visión del potencial geotérmico de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Descritos los principales mecanismos que provocan la presencia de manifestaciones termales en este territorio, y descartados otros posibles en diferentes contextos geológicos, la delimitación de áreas con potencial geotérmico se simplifica notablemente.

A la vista de la distribución geográfica de los puntos señalados en la figura 1 y de sus características de caudal y temperatura, es posible establecer una división en dos grandes grupos: las manifestaciones situadas en la mitad septentrional, asociadas mayoritariamente a los acuíferos de calizas urgonianas, y las situadas en la mitad meridional.

Las primeras constituyen salidas de acuíferos más o menos profundos, calentados por efecto de unos gradientes geotérmicos normales, o incluso bajos, y que alcanzan la superficie a favor de las importantes fracturas que recorren la zona.

Aunque las temperaturas de base deducidas pueden llegar a hacer atractivo el recurso, las características hidráulicas de estos acuíferos, expuestas repetidamente en la descripción de las unidades hidrogeológicas que originan, no permiten suponer volúmenes de recurso cuantiosos y, especialmente, fáciles de localizar. La anisotropía en la distribución de la porosidad y su más que probable disminución con la profundidad, al menos en términos generales, convierte al recurso geotérmico potencial de casi imposible predicción.

La mitad meridional ofrece otras expectativas debido a la diferente configuración geológica e hidrogeológica. Aunque las manifestaciones termales representan también fugas de los acuíferos profundos, estos están asociados a estructuras de otra envergadura y geometría. La amplia extensión y continuidad lateral de las plataformas carbonatadas del Cretácico superior, especialmente de la que se ha descrito como calizas de Subijana, origina acuíferos que pueden albergar, en profundidad, recursos geotérmicos de interés.

Tal como se ha comentado en el contexto de la Unidad Hidrogeológica Subijana, la investigación llevada a cabo a fin de avaluar el potencial como recurso geotérmico de este acuífero arroja unos resultados que no, por negativos, desmienten las hipótesis establecidas. La extensión del acuífero, confirmada por la intensa actividad de investigación petrolera llevada a cabo en territorio alavés en la década de los años 60, y el mantenimiento de los parámetros hidráulicos, aunque con anisotropías como las observables en superficie, configuran un recurso geotérmico explotable.

Se trata, en todos los casos mencionados, de recursos geotérmicos de baja entalpía, utilizables principalmente en calefacción y usos agropecuarios. En este sentido, un condicionante característico de este recurso es la necesidad de su aprovechamiento en las inmediaciones de la captación. El agua caliente no admite, desde el punto de vista de la rentabilidad del aprovechamiento, desplazamientos a grandes distancias.

# CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEAS VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION

## INTRODUCCION

La protección de las aguas subterráneas frente a su degradación es en la actualidad, y será en el futuro, uno de los retos más importantes que deberán ser afrontados por nuestra sociedad. En este sentido, la utilización del territorio como receptor, en distintas formas, de una amplia gama de residuos ha dado lugar, en numerosas ocasiones, a una notable contaminación de las aguas subterráneas, no sólo de las asociadas a acuíferos de interés, sino también de aguas que cumplen su función dinámica en el medio, aunque no sean objeto de captación. Esta situación podría, incluso, agravarse en el futuro, dado que el número y cantidad de productos químicos que se utilizan continúa creciendo, con lo que aumenta el riesgo potencial de contaminación.

En concreto, las sustancias contaminantes más peligrosas desde un punto de vista hidrogeológico son aquéllas que, resistentes a los procesos de degradación o retención, se terminan incorporando, tarde o temprano, a los flujos naturales de agua y llegan a resultar nocivas para los seres vivos que las utilizan. Esta situación conlleva consecuencias graves, por caminos diversos, para la salud humana y cuestiona la supervivencia de los ecosistemas que se sustentan de estos recursos. Por ello, en la mayor parte de países, a la tradicional preocupación por los problemas de abastecimiento de agua se ha incorporado la preocupación por la calidad de este recurso, que es absolutamente esencial, dado que no tiene sustituto alguno.

En cualquier caso, la problemática que se deriva de la contaminación de las aguas superficiales (ríos, lagos y embalses), dado lo evidente de sus efectos, ha sido objeto de control en los últimos tiempos y, de hecho, la mayor parte de países han desarrollado las oportunas legislaciones para su protección y control. Por el contrario, la degradación de aguas subterráneas es mucho menos evidente y, en general, sólo es detectada cuando pozos de abastecimiento son afectados por la contaminación. Esta situación puede tener lugar mucho tiempo después de originado el foco contaminante y la extensión de la zona contaminada puede ser de tal magnitud que la rehabilitación del acuífero, cuando es posible, requiere muchos años, e incluso en muchas ocasiones varias generaciones de cuidados, además de un fuerte esfuerzo económico.

Resulta, por tanto, indispensable proteger las aguas subterráneas del impacto que puedan ocasionar las actividades industriales, agrícolas o urbanas existentes o en proyecto. Para que esta protección sea realmente efectiva deberá basarse en el conocimiento de la dinámica del agua en el medio y de los procesos que condicionan la propagación de los contaminantes en el subsuelo. Es, así, fundamental identificar las áreas y mecanismos por los que el contaminante puede entrar en los sistemas de flujo subterráneo y reconocer los aspectos que condicionan su mayor o menor vulnerabilidad.

La utilización de aguas subterráneas en la Comunidad Autónoma del País Vasco para abastecimiento, urbano e industrial, y para regadío es más importante de lo que a priori pudiera parecer. Actualmente hay numerosas poblaciones que son abastecidas total o parcialmente con aguas subterráneas, y hay proyectos en marcha para la mejora del abastecimiento en otras a partir de recursos subterráneos, lo que es

significativo del cada vez mayor papel que están tomando estos recursos.

Este interés por las aguas subterráneas hace que su protección ante los distintos tipos de contaminación deba ser, sin lugar a dudas, un objetivo prioritario de la política hidráulica, evitando errores de actuación cometidos en regiones con una mayor tradición histórica de uso, y abuso, de las aguas subterráneas. Además, no hay que olvidar que el interés de la protección de estas aguas no se centra exclusivamente en conservar la adecuada calidad del recurso para el abastecimiento, objetivo esencial de por sí, sino también en mantener las funciones ambientales que, por propia dinámica, cumplen estas aguas. Así, las medidas de protección deben afectar a todo el territorio y no sólo a las áreas más potencialmente utilizables, los acuíferos en sentido estricto, ya que la presencia de las aguas subterráneas abarca todo tipo de terrenos y situaciones.

Teniendo en cuenta los condicionantes del relieve en la Comunidad Autónoma del País Vasco, son sobre todo las partes bajas de los valles las que presentan un mayor riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas, ya que en ellas se asientan los principales focos susceptibles de provocar ese tipo de impactos: polígonos industriales, núcleos urbanos, infraestructuras de transporte y servicios, etc. Presentan igualmente alto riesgo potencial las zonas llanas, en las que se llevan a cabo prácticas agrícolas intensivas. Las zonas medias y, sobre todo, las altas del relieve presentan, en general, un menor riesgo debido a su dificultad de acceso, aunque son numerosos los lugares de estas zonas que han venido siendo utilizados como vertederos de diversos tipos de residuos.

Los datos disponibles sobre la calidad de las aguas subterráneas de la Comunidad Autónoma del País Vasco se refieren sobre todo a las zonas de mayor interés (unidades hidrogeológicas) ya que es en ellas donde se ha venido centrando la investigación. En general, se puede señalar que la calidad de estas aguas es apta para los usos más frecuentes, mejor que la de las aguas superficiales, debido a la situación que ocupan las áreas de recarga. Sin embargo, al margen ya de la generalidad, hay zonas en las que la calidad de las aguas subterráneas ha venido deteriorándose por el efecto negativo de diversos focos de contaminación. Los casos concretos han sido tratados en los capítulos correspondientes a los dominios y unidades.

En consecuencia, es necesario establecer las medidas oportunas de protección que, aunque tendentes a abarcar todo el territorio, prioricen las intervenciones en las zonas de mayor riesgo, potencial o verificado.

## CONTAMINANTES Y FOCOS DE CONTAMINACION

Conviene, en primer lugar, recordar que un contaminante es todo soluto que es introducido en las aguas del subsuelo como consecuencia de actividades antrópicas, independientemente de si las concentraciones alcanzan niveles indicativos de una degradación significativa de la calidad del agua. No hay que olvidar, no obstante, que las aguas subterráneas también pueden estar contaminadas por fluidos inmiscibles, que se combinan con ellas, pero no se comportan como solutos. El término polución se reserva para aquellas situaciones en que las concentraciones de contaminantes alcanzan niveles preocupantes.

Hay tres aspectos fundamentales que deben ser considerados en la caracterización de un foco contaminante que afecte al medio subterráneo:

- su grado de localización: función del espacio
- su historia: función del tiempo
- el tipo de contaminantes emitidos: función de la sustancia contaminante y, en su caso, su origen

### Caracterización en función del espacio

Respecto a la función espacio, existe una amplia variedad de tamaños y formas de focos contaminantes, desde un foco individual hasta focos que se extienden por superficies de varias decenas de kilómetros cuadrados. En la práctica se suelen utilizar las expresiones “puntual” y “no puntual” o “difuso” para describir el grado de localización espacial del foco considerado. Así, un foco puntual se caracteriza por la presencia de un foco identificable de pequeña extensión, tal como un tanque de almacenamiento, una balsa de líquidos, o un vertedero. En la Comunidad Autónoma del País Vasco este tipo de focos son abundantes y frecuentemente en relación con actividades industriales, presentes o pasadas. Usualmente, este tipo de focos producen un penacho contaminante relativamente fácil de definir (figura 1).

Un foco no puntual, por el contrario, afecta a una mayor superficie de terreno y puede considerarse como el conjunto de muchos focos de exten-

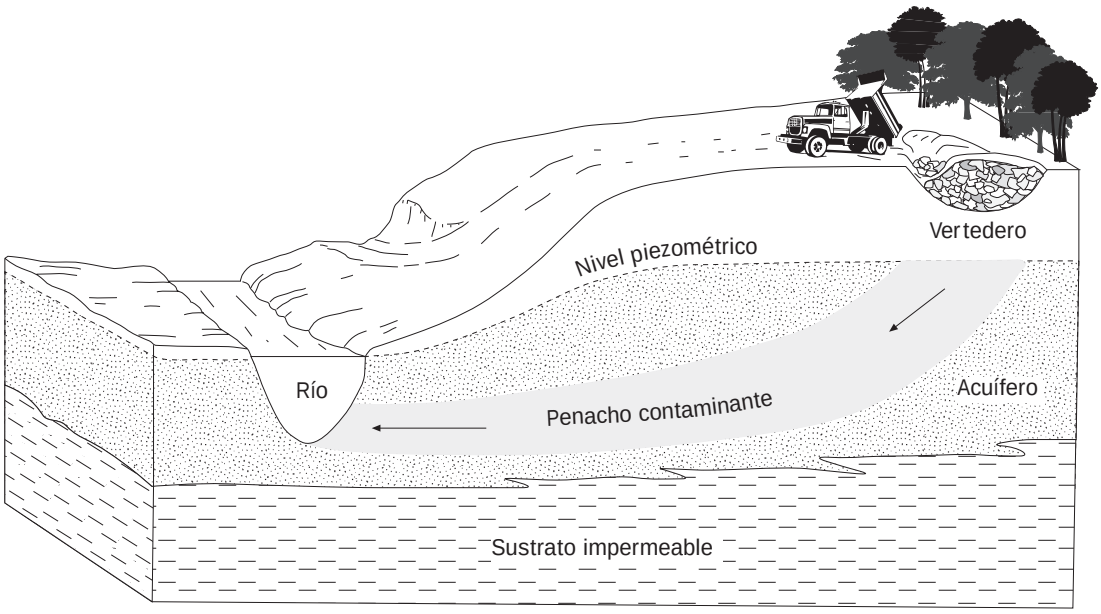



Figura 1. Ejemplo de penacho contaminante.

sión más restringida; la contaminación originada es relativamente difusa. Ejemplos de contaminación no puntual son la relativa a la aplicación de herbicidas o pesticidas en las prácticas agrícolas, la originada por la fuga generalizada de efluentes domésticos en redes de distribución en malas condiciones, la debida a la aplicación invernal de sal como descongelante en las carreteras, la causada por la lluvia ácida. En estos casos no se origina un penacho contaminante claramente definido sino una contaminación dispersa, difusa, generalizada, con concentraciones espacialmente muy variadas en elementos contaminantes.

**Caracterización en función del tiempo**

En lo referente a la función tiempo o historia temporal del foco, se trata de describir cómo ha ido variando en el tiempo la emisión del contaminante. Así, se puede considerar el caso de contaminación por un derrame de concentración constante de contaminante durante un espacio de tiempo breve; es lo que usualmente se conoce como una "pulsación" de carga contaminante. Puede ser el caso de una fuga repentina, momentánea, en un tanque o balsa.

Si la emisión se mantiene durante un tiempo prolongado puede darse el caso de una emisión que mantiene constante la concentración del contaminante; un ejemplo podría ser la fuga de pequeñas cantidades de contaminante, durante un largo periodo, a partir de un tanque de almacenamiento de gran volumen. Sin embargo, muchas fugas, vertidos o derrames varían a lo largo del tiempo debido a cambios en el proceso productivo o a la mezcla con otro tipo de residuos. Otro ejemplo puede ser el relativo al comportamiento de un vertedero clausurado, en el cual los lixiviados que se siguen generando cabe esperar que, por lo general, presenten concentraciones progresivamente menores en la carga contaminante.

**Caracterización en función de las sustancias contaminantes**

A modo de breve resumen, los contaminantes pueden agruparse por tipos de reacciones en los que participan y por la forma en la que se presentan. Los grupos prioritarios a considerar en la Comunidad Autónoma del País Vasco son: metales pesados, nutrientes y compuestos orgánicos. Los compuestos no acuosos en fase líquida, mezclas de hidrocarburos, conocidos en la literatura como NAPL (Non Aqueous Phase Liquids) se incluyen en el último grupo.

**Metales pesados**

Este grupo contiene buena parte de los elementos de la tabla periódica. Entre los más frecuentes están el aluminio, arsénico, boro, cadmio, cromo, cobre, plomo, manganeso, mercurio, níquel, zinc. Los focos más habituales de emisión a las aguas de estos elementos son:

efluentes de actividad minera, vertidos líquidos industriales, lixiviación de vertederos de residuos tóxicos, determinadas actividades agrícolas, combustibles fósiles, etc. En buena parte de los casos, los focos a considerar tienen la caracterización de ser focos puntuales. Los metales pesados pueden llegar a ser muy tóxicos para la salud debido a la tendencia que presentan a la acumulación en el organismo y en la cadena trófica.

En el cuadro 1 se presenta, a modo de síntesis, la composición química de lixiviados de residuos sólidos urbanos y de residuos industriales basada en la recopilación de los correspondientes datos efectuada en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Aunque en algunos casos estos lixiviados son objeto de canalización hacia la red de saneamiento, en otros, sobre todo en vertederos en los que la gestión y el control no es lo riguroso que debiera, es más que posible que haya impacto sobre las aguas subterráneas del medio. Los datos del cuadro tienen valor de referencia y pueden distar mucho de los datos reales en vertederos concretos.

En cuanto al impacto que originan las actividades mineras, el caso de la mina Troya (descrito en el Sector Troya, perteneciente al Dominio Hidrogeológico Anticlinorio Sur) con extracción de sulfuros de una formación carbonatada es, sin lugar a dudas, el más conocido. El cese en 1993 de las labores de extracción, con el consiguiente cese de los bombeos que anteriormente se efectuaban para deprimir el nivel piezométrico por debajo del nivel de laboreo, trajo como consecuencia un progresivo ascenso del nivel de agua subterránea alcanzando, a comienzos de 1995, la cota de la bocamina norte y originando un punto de descarga permanente del acuífero.

El agua presentaba al comienzo de la descarga altos contenidos en sulfatos, hierro, zinc y, consiguientemente, altos valores de conductividad. A pesar de la desaparición progresiva de estos elementos, el impacto sobre el entorno es aún notable. Las tareas de abandono de las actividades mineras, extractivas en general, deben de tomar en consideración los previsibles impactos posteriores a la calidad de las aguas.

**Nutrientes**

Este grupo incluye aquéllos iones o compuestos orgánicos que contienen nitrógeno o fósforo. El compuesto nitrogenado dominante en las aguas subterráneas es el nitrato ($NO_3^-$), y en

| | | Vertederos de Residuos Urbanos | | | Vertederos industriales | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nº análsis | Mínimo | Máximo | Media | Mínimo | Máximo | Media |
| pH | 257 | 6,2 | 8,5 | 7,6 | | | |
| Cond (µS/cm) | 256 | 582 | 21200 | 5561 | | | |
| Turbidez (UNF) | 251 | 0,3 | 550 | 46 | | | |
| SS (mg/l) | 242 | 2 | 7610 | 174 | | | |
| Cl (mg/l) | 254 | 12 | 4360 | 781 | 372 | 25960 | 4748 |
| $NH_4$ (mg/l) | 256 | 0,17 | 1840 | 340 | | | |
| Ortofosf. (mg/l) | 235 | 0,03 | 136 | 4,4 | | | |
| DQO (mg/l) | 256 | 77 | 9730 | 1675 | | | |
| CN (mg/l) | 237 | 0,03 | 0,38 | 0,045 | | | |
| Al (mg/l) | 203 | 0,10 | 80 | 2,5 | | | |
| Fe (mg/l) | 254 | 0,01 | 73 | 10,6 | 0,02 | 16,6 | 4,7 |
| Mn (mg/l) | 257 | 0,01 | 31 | 2,5 | | | |
| Cr (mg/l) | 255 | 0,00 | 0,64 | 0,085 | 0,01 | 0,26 | 0,10 |
| C.a.e. ($m^{-1}$) | 183 | 9,3 | 1520 | 327 | | | |
| Hg (µg/l) | 61 | 0,5 | 319 | 11 | | | |
| DBO5 (mgO2/l) | 97 | 12 | 3400 | 381 | | | |
| NTK (mg/l) | 42 | 72 | 1000 | 294 | | | |
| $NO_3$ (mg/l) | 43 | 0,03 | 184 | 20 | 0,5 | 20,8 | 5,06 |
| $SO_4$ (mg/l) | 47 | 7,3 | 465 | 78 | 95 | 2670 | 1032 |
| Cu (mg/l) | 15 | 0,01 | 0,21 | 0,035 | 0,01 | 1,00 | 0,30 |
| Cd (mg/l) | 23 | 0,00 | 0,08 | 0,025 | 0,01 | 0,16 | 0,09 |
| Pb (mg/l) | 25 | 0,01 | 0,76 | 0,145 | 0,07 | 5,20 | 1,30 |
| Ni (mg/l) | 10 | 0,02 | 0,44 | 0,135 | 0,10 | 1,50 | 0,59 |

Cuadro 1. Composición química de lixiviados de vertederos en el País Vasco.

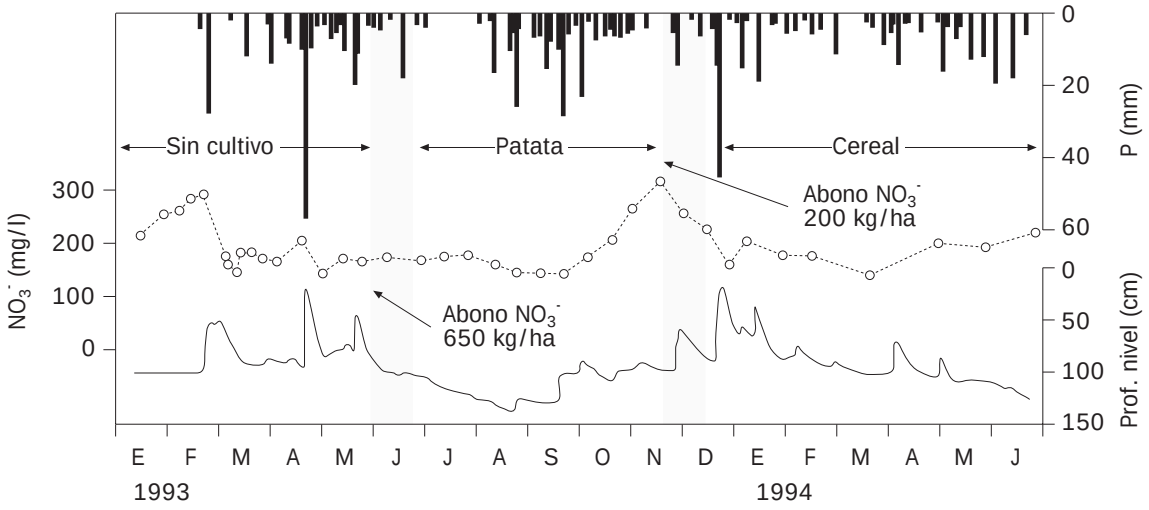



Figura 2. Contaminación por nitratos en la Unidad Hidrogeológica Vitoria.

menor proporción el amonio ($NH_4^+$). Los focos más importantes de esta contaminación son el uso de fertilizantes nitrogenados en las prácticas agrícolas, las operaciones de alimentación del ganado, el cultivo de suelos vírgenes que conducen a la oxidación de cantidades importantes de nitrógeno existente en la materia orgánica del suelo. Otros focos a considerar son las aguas residuales, bien por fugas en las redes de alcantarillado, bien por regadío con estas aguas. En efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales se han llegado a determinar cantidades importantes de nitrógeno orgánico en forma de nitrobenceno y nitrotolueno. En general, los focos ahora mencionados se pueden considerar como focos de contaminación no puntual o difusa.

Un ejemplo de contaminación por nitratos se puede observar en la figura 2, donde se muestra la evolución de las concentraciones en nitratos en un pozo de Arkaute (Unidad Hidrogeológica Vitoria) en comparación con la fluctuación del nivel piezométrico, el régimen de lluvias y las prácticas de abonado.

**Contaminantes orgánicos**

La contaminación por compuestos orgánicos, sean disueltos en el agua o presentes como líquidos separados (NAPL), es en la actualidad un grave problema. Una gran cantidad y variedad de compuestos orgánicos son producidos y utilizados hoy en día, además de los productos petrolíferos sin refinar que también contienen compuestos orgánicos solubles.

En cualquier caso, algunos tipos de contaminantes orgánicos tienen una presencia más frecuente que otros. Es el caso del grupo de los *hidrocarburos aromáticos solubles*, usual en los derrames y fugas de productos petrolíferos, que incluye benceno, tolueno, etilbenzeno y xileno. Este grupo es conocido con el nombre de BTX o BTEX, en consideración a los compuestos que incluye.

Aunque muy pocos de los depósitos que contienen estos productos (caso de las estaciones de servicio) son objeto de control en la Comunidad Autónoma del País Vasco, se han llevado a cabo algunos estudios para la detección de fugas. En el caso de los hidrocarburos, las vías de migración son complejas (volatilización, contaminación del suelo, fase móvil inmiscible con el agua, contaminación por compuestos disueltos) lo que dificulta aún más la investigación. La figura 3 corresponde a un ejemplo del impacto originado en el medio por fugas de un tanque de gasolina, evidenciándose los distintos caminos de propagación citados.

Otro tipo de compuestos orgánicos a citar es el constituido por el grupo de los pesticidas, cuyo impacto al dominio de las aguas subterráneas no se deriva tanto de su utilización agrícola (de acuerdo con la información disponible) como del vertido incontrolado de los residuos de su producción, es el caso del lindano cuya presencia es habitual en determinadas zonas de la Comunidad Autónoma del País Vasco. El contacto del agua con el residuo y su posterior infiltración, aún en materiales de muy baja permeabilidad, genera una importante contaminación del medio.

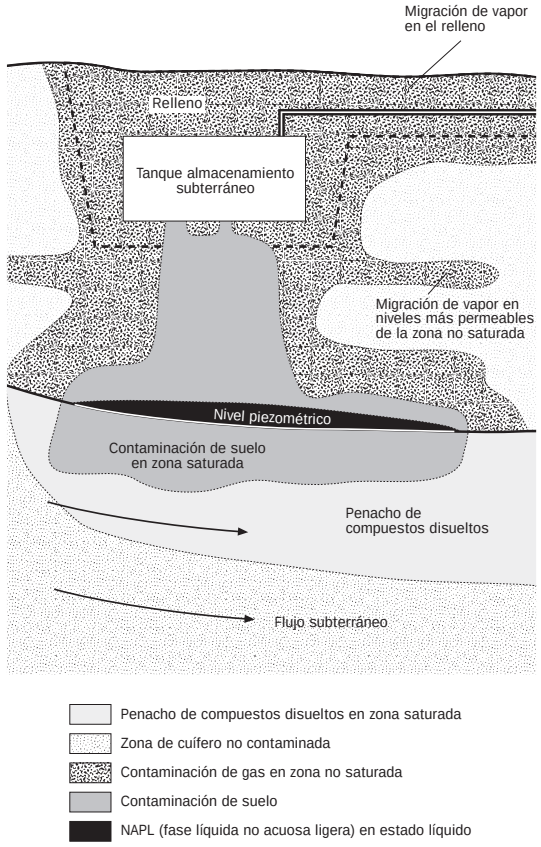



Figura 3. Vías de propagación de la contaminación.

Los efectos a la salud derivados de la presencia de este tipo de contaminantes en el agua de consumo son importantes. Algunos autores apuntan que es difícil establecer cuales compuestos son más tóxicos, debido a que no todos ellos han sido estudiados con garantías (muchos son de uso reciente) y debido también a las lagunas actuales existentes en el conocimiento de las consecuencias originadas por la combinación de efectos de compuestos particulares. En cualquier caso, hoy en día son bien conocidos algunos, al menos, de esos efectos sobre la salud, tales como procesos cancerígenos, deterioro de las funciones cardiovasculares, afección al sistema nervioso, etc.

## VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION

El desplazamiento por el terreno de una sustancia contaminante concreta está condicionada por su propia movilidad en condiciones ambientales y por las características de los materiales de su entorno, fundamentalmente aquellas características relacionadas con aspectos hidrodinámicos y con su capacidad para retener o liberar dichas sustancias.

El vehículo que favorece el desplazamiento de sustancias contaminantes desde los vertidos hacia los acuíferos (migración) es, fundamentalmente, el agua; en algunos casos, cuando la sustancia es susceptible de volatilizarse parcial o totalmente, puede desplazarse también a favor de la fase gaseosa del terreno. El término migración hace referencia a aquellos *procesos de transporte, almacenamiento, intercambio y transformación, que por causas físicas, químicas y/o biológicas afectan a los solutos y al calor, tanto en la zona del suelo como en la zona de las aguas subterráneas*. El mayor o menor desarrollo de estos procesos favorece una cierta depuración natural del agua, aunque ciertas sustancias no son eliminables, otras sólo son retenidas temporalmente y otras se pueden degradar (en general cuando el medio es anaerobio) a sustancias aún mas peligrosas. Esta depuración, de naturaleza compleja, depende en gran medida, además, de las condiciones hidrogeológicas del terreno. En este sentido, los distintos medios presentan un mayor o menor grado de protección contra actuaciones externas que pueden favorecer la pérdida de calidad de sus aguas. La vulnerabilidad de un terreno está determinada por:

- el tipo de medio hidrogeológico (poroso, fisurado o kárstico)

- su relación con el entorno hidrogeológico y la posición del vertido

- la naturaleza del suelo

### Vulnerabilidad en función del medio

El medio hidrogeológico más desfavorable es probablemente el medio kárstico, considerando la escasa capacidad de autodepuración del agua en conductos de flujo con cortos tiempos de residencia, en comparación con los medios porosos y fisurados. En este sentido, los procesos de intensa karstificación (que ocasionan el desarrollo de importantes conductos de flujo subterráneo por disolución) hacen que las velocidades de infiltración y flujo en este medio puedan ser relativamente elevadas.

En la Comunidad Autónoma del País Vasco este tipo de medio ocupa importantes extensiones del territorio y a él se asocian acuíferos con notable potencialidad en cuanto a la extracción de recursos. Aunque su situación, en general, en las zonas más altas y menos accesi-

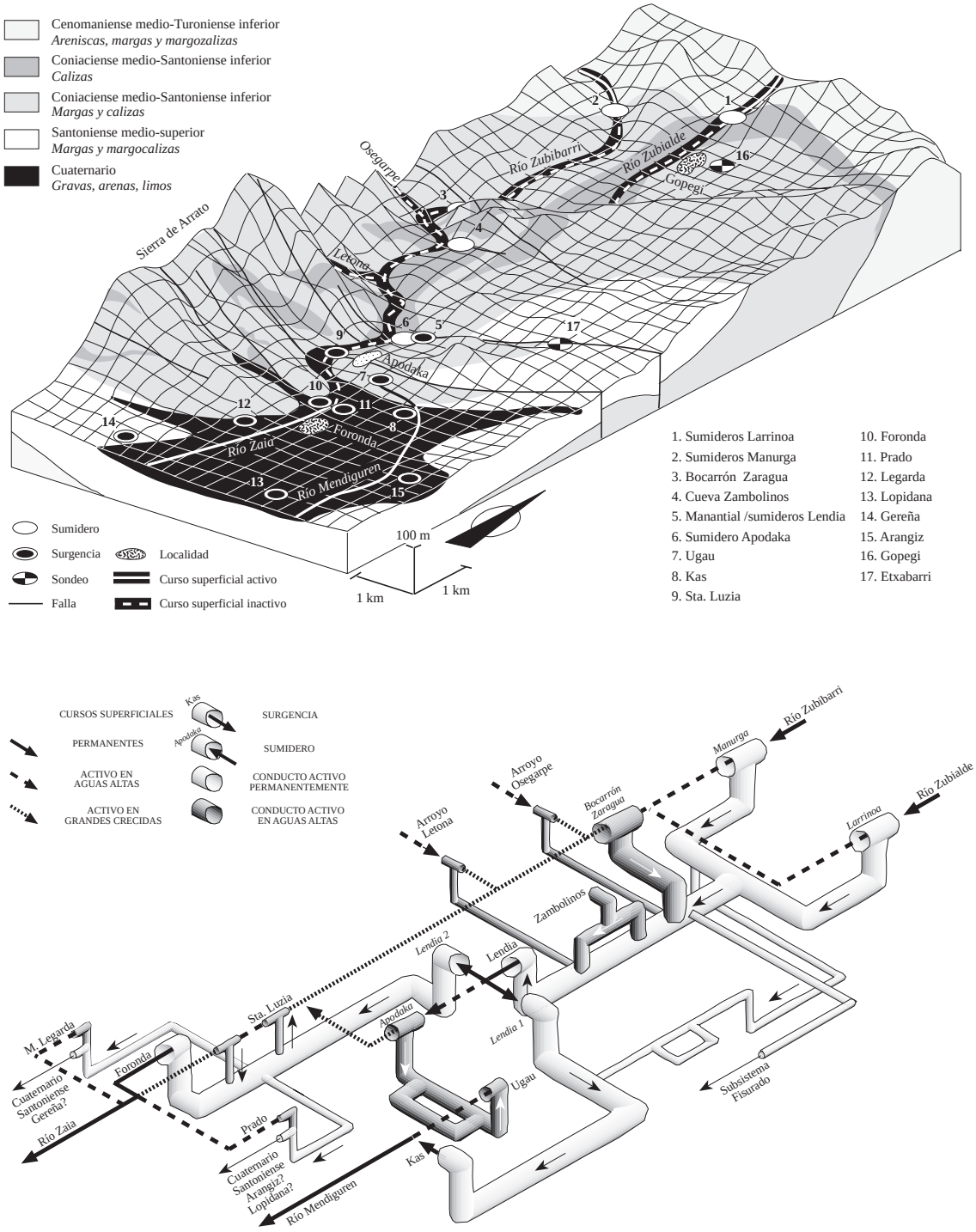



Figura 4. Morfología y esquema estructural de los conductos en el Karst de Apodaka (Unidad Subijana).

bles del relieve es un factor de garantía ante los impactos, hay casos preocupantes debido a la presencia de focos potenciales de contaminación (vertederos, canteras, minería) o al paso de infraestructuras de transporte. Así, en la figura 4 se aprecia la morfología y el esquema estructural del flujo rápido, deducido mediante ensayos con trazadores, del medio kárstico en el área de Apodaka (Unidad Hidrogeológica Subijana). Se evidencia la complejidad hidrogeológica del medio y la de las relaciones aguas superficiales - aguas subterráneas.

A continuación se recogen algunos de los principales aspectos que hacen que el medio kárstico sea particularmente vulnerable. Por contraposición, pueden deducirse a partir de ellos características de interés de los medios fisurado y poroso:

- la superficie disponible para colonización de microorganismos y desarrollo de procesos de adsorción y cambio iónico es inferior a la de medios fisurados y muy inferior a la de medios porosos

- la rápida infiltración de aguas en el medio kárstico reduce las pérdidas de sustancias susceptibles de volatilizarse, lo que es importante especialmente en el caso de muchos compuestos orgánicos, como disolventes y muchos pesticidas

- la filtración física es relativamente inefectiva en muchos karst, con conductos de flujo bien desarrollados; de esta forma, arrastres de sedimentos y microorganismos, que podrían ser filtrados en su migración a través de medios fisurados y porosos, son rápidamente transportados

- la rapidez del flujo en el interior de estos sistemas favorece la transmisión de materia particulada y contaminantes en general; este hecho es aún más preocupante si se considera que en los terrenos kársticos es usual la infiltración puntual de cursos de agua superficiales

- los mecanismos de depuración tiempo-dependientes (de bacterias y virus, por ejemplo) están minimizados y llegan a resultar inefectivos debido al rápido flujo en el sistema.

Hay, además, otros medios, no kársticos, que pueden presentar en determinadas situaciones una importante vulnerabilidad a la contaminación. Es el caso de los depósitos cuaternarios relacionados con la red hidrográfica que se extienden, a veces en grandes superficies, en los fondos de valle. Estos depósitos, que en ocasiones pueden llegar a tener un interés potencial como alternativa de uso, tienen características específicas que aumentan su grado de vulnerabilidad, a pesar de ser considerados como medio poroso.

Así, la por lo general escasa potencia de los depósitos y su ubicación en relación a los cauces superficiales hace que en ellos el nivel piezométrico esté muy próximo a la superficie y en relación estrecha de intercambio de aguas con los ríos y arroyos cercanos lo cual, por su parte, los hace más vulnerables teniendo en cuenta la calidad de, al menos, algunas aguas superficiales. Por otra parte, estas superficies suelen ser el asentamiento habitual de diversas actividades humanas (urbanas, industriales o agrícolas) con todos los riesgos potenciales de contaminación que ellas conllevan.

En consecuencia, no tiene demasiado interés una clasificación simple de grados de vulnerabilidad en función del medio; se puede tener un medio poroso más vulnerable que un medio kárstico. Lo realmente importante es establecer en cada caso los factores que condicionan la dinámica hidrogeológica del medio y, por tanto, su vulnerabilidad.

Por último, cabe señalar que, puesto que el agua es el principal agente de transporte de contaminantes en el terreno, la vulnerabilidad de un medio estará, de forma general, directamente relacionada con la permeabilidad de los materiales que lo constituyen. Por el contrario, y en igualdad de otros factores, cuanto menos permeable sea el material, mayor será el tiempo que persista un contaminante en su interior.

**Vulnerabilidad en función del contexto hidrogeológico y posición del vertido**

Además de las propias características del terreno (poroso, fisurado o kárstico), es su relación con el entorno hidrogeológico y la posición del vertido lo que condiciona su mayor o menor impacto (figura 5).

En este sentido, la forma menos grave de contaminación directa es, en general, la que se produce desde la superficie del terreno, de manera dispersa a través de un espeso medio no saturado bien aireado, y la más grave es la que supone la entrada directa y concentrada de contaminantes (mediante pozos o excavaciones profundas) en el medio saturado, en especial si el medio está poco oxigenado.

Del mismo modo, un acuífero libre, en el que no existe un nivel de material superior limitante, resulta notablemente mas vulnerable que uno cautivo, en el que un nivel superior de material netamente menos permeable lo limita y evita, en gran medida, la entrada del contaminante en el acuífero. En el caso de acuíferos semicautivos, limitados por capas que a pesar de su baja permeabilidad permiten el paso de agua

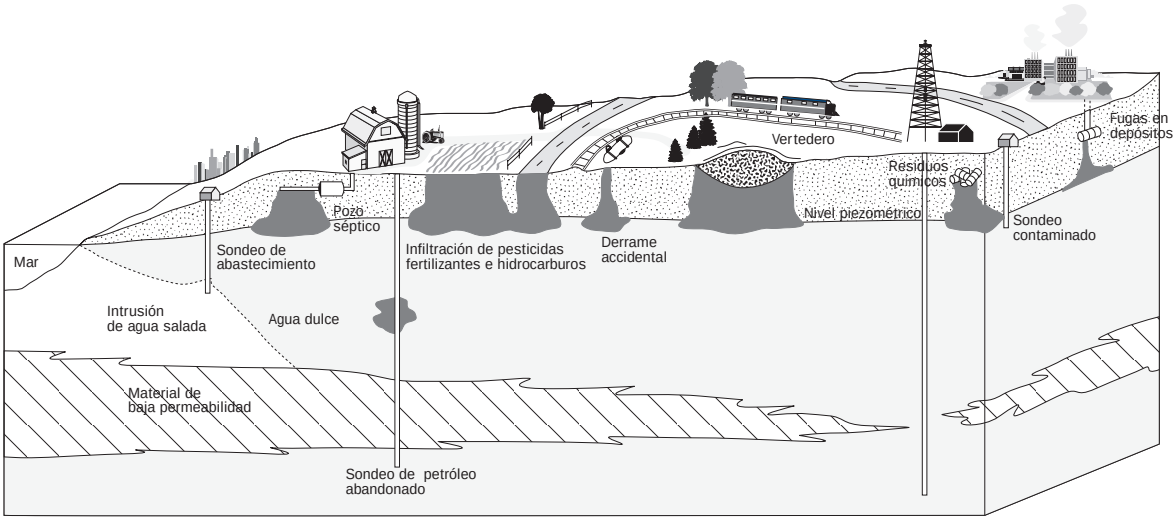



Figura 5. Mecanismos de contaminación del agua subterránea.

(rezume), acuíferos multicapa, en los que distintos niveles bien diferenciados controlan el flujo de agua, y acuíferos heterogéneos, las características y relaciones entre niveles y capas llegan a ser de gran complejidad, condicionando de forma fundamental la migración de contaminantes en el medio.

En el caso de medios kársticos, una forma especialmente grave de contaminación es la que se realiza a favor de dolinas y otras formas de depresión superficial. Estos lugares son habitualmente utilizados para el vertido de residuos, aprovechando que en este contexto no dan lugar a una contaminación superficial evidente y la contaminación subterránea que generan es, por desgracia, habitualmente olvidada. Estos terrenos, además de ser los más vulnerables, su limpieza y restauración llega a requerir relativamente más sofisticados y costosos esfuerzos técnicos y metodológicos que los acuíferos detríticos. En estas condiciones resulta evidente el elevado riesgo potencial de contaminación de los medios kársticos, por lo que el control de la calidad del agua en sumideros y manantiales debe estar asegurada.

Conviene recordar, por último, que en el caso de sistemas hidrogeológicos de dimensiones regionales se pueden llegar a desarrollar flujos más o menos complejos, a veces de gran profundidad, que implican un notable tiempo de estancia del agua en su interior, y que deberán ser considerados en detalle en vistas a determinar su funcionamiento hidrodinámico y el comportamiento en caso de contaminación.

**Importancia de los suelos en problemas de contaminación**

Aunque la migración de contaminantes a través de un terreno depende de sus propias características, no puede dejar de considerarse el papel que en aspectos de contaminación ejercen los suelos. En este sentido, el suelo, entendido como la parte más superficial de la zona no saturada, en la que los procesos físicos, químicos y biológicos actúan de manera más activa, constituye la primera barrera que se encuentran los contaminantes en su paso hacia las aguas subterráneas. La migración de los contaminantes en estos niveles es un problema hidrológico de capital importancia en la investigación de materiales contaminados y de aquí la importancia del conocimiento de su dinámica, hasta el punto de poder considerarlo como uno de los factores principales de la protección de las aguas subterráneas.

Una visión integrada y esquemática de la importancia de los procesos y factores que se desarrollan en el suelo y pueden afectar al transporte y evolución de contaminantes se refleja en la figura 6. En síntesis, si el agua de infiltración, sea cual sea su origen, lleva consigo una carga contaminante a través de la zona vadosa puede incorporarla después a la zona saturada, en la cual esta carga puede ser transportada a grandes distancias y afectar a un notable volumen de recursos. Los procesos que ocurren en la zona no saturada (volatilización, adsorción, degradación, etc.) son de gran importancia, ya que pueden incluso impedir que la carga contaminante llegue a la zona saturada, reduciendo enormemente el impacto generado.

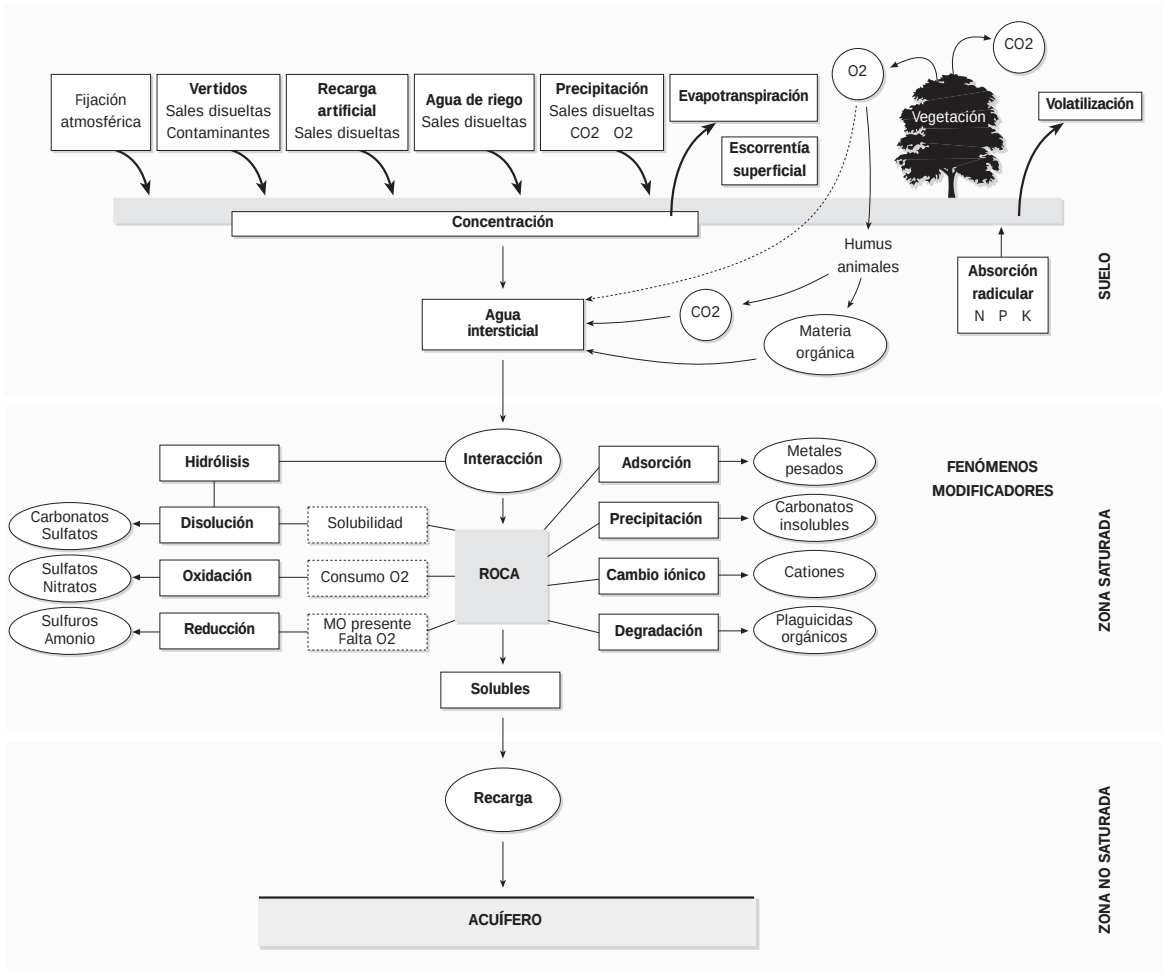



Figura 6. Modificaciones hidrogeoquímicas en el suelo y en la zona no saturada.

## MAPAS DE VULNERABILIDAD

Partiendo del hecho de que es más conveniente, fácil y barato evitar la contaminación de las aguas subterráneas mediante medidas preventivas que proceder a su descontaminación mediante técnicas correctoras, la elaboración, para su uso, de mapas de vulnerabilidad debe considerarse como un paso preventivo necesario.

En la Comunidad Autónoma del País Vasco se ha llevado cabo, por parte del Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente, la cartografía 1:25.000 de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas, como instrumento que permita condicionar o desechar el emplazamiento de actividades potencialmente contaminantes en zonas en la que el recurso agua puede verse afectado, tratando así de materializar el objetivo de una correcta ordenación del territorio, cual es la ubicación de usos en función de la aptitud del medio. Esta cartografía cubre todo el área de la Comunidad Autónoma del Paĺs Vasco.

Esta zonación del territorio, según cinco grados cualitativos de vulnerabilidad (muy baja, baja, media, alta, muy alta) relacionados con la permeabilidad de los materiales y con las zonas de recarga, se ha planteado como elemento de partida y como cartografía de referencia para otros instrumentos urbanísticos de planeamiento, de manera que favorezca la no ubicación de actividades potencialmente contaminantes en áreas previsiblemente vulnerables, tratando así de disminuir el riesgo de aparición de casos de deterioro de la calidad de las aguas.

De todas maneras, la determinación del grado de vulnerabilidad de un medio está condicionada por el grado de conocimiento que se va adquiriendo sobre su dinámica hidrogeológica

(influencia del suelo, de la zona no saturada, del esquema de flujos), del tipo de contaminantes puestos en juego y de la escala correspondiente al problema planteado, de forma que los mapas actuales deben ser considerados como instrumentos de oportunidad del momento, sometidos a incertidumbres y dispuestos siempre a las modificaciones necesarias que en cada momento mejor ayuden al objetivo último: la protección del recurso.

Esta cartografía de vulnerabilidad no define perímetros de protección. Por otra parte, nunca puede ser sustitutoria de los estudios de detalle específicos de cada caso. La advertencia que se hace en la edición es clara al respecto: *Este mapa tiene como objetivo presentar una cartografía orientativa que constituya una herramienta para la Ordenación Territorial. La ubicación de actividades concretas potencialmente contaminantes precisará, en todo caso, estudios específicos de su posible afección, incluso aunque se ubiquen en áreas de previsible baja o muy baja vulnerabilidad.*

**ESTUDIOS CONSULTADOS**

IHOBE (1994). Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos en la estación de servicio Ortiz de Zarate. (LABEIN).

ARRATE, I. (1994). Estudio Hidrogeológico del Acuífero Cuaternario de Vitoria-Gasteiz (Araba, País Vasco). (Tesis de Doctorado. UPV-EHU).

SANCHEZ PEREZ, J.M.: ANTIGUEDAD, I.; ARRATE, I.; RUIZ, M. y MORELL, I. (1995). Influencia del lavado de nitratos del suelo sobre la contaminación de las aguas subterráneas del acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (País Vasco). En *Avances de la Investigación en Zona no Saturada*. (Eds. J.M. Gonzalo e I. Antiguedad). Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

MORELL, I. (1995). Algunas consideraciones sobre la zona no saturada. En *Avances de la Investigación en Zona no Saturada*. (Eds. J.M. Gonzalo e I. Antiguedad). Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

GV (1995). Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente.

# RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA

## CUANTIFICACION DEL RECURSO

La evaluación de recursos, capítulo ineludible en toda descripción hidrogeológica de un área, ha sido realizada siguiendo diversas metodologías en función del grado de conocimiento de la zona en cuestión y de la infraestructura hidrometeorológica disponible.

Las unidades hidrogeológicas bien delimitadas y con puntos de agua señalados, bien por su caudal, grado de aprovechamiento o alguna otra peculiaridad, han sido, por lo general, objeto de control de los parámetros que intervienen en el balance. En estos casos, las cifras de recursos que se manejan han contado con los necesarios contrastes de los balances obtenidos por métodos empíricos con la información foronómica de las salidas, por lo que gozan de un alto grado de fiabilidad.

La información sobre lo que se han denominado sectores hidrogeológicos, es decir, áreas a las que por diversas razones no se les ha prestado la misma atención que a las unidades hidrogeológicas pero que han sido objeto de un tratamiento específico, es menos homogénea. Se da el caso de sectores cuyo grado de conocimiento y, por tanto, de bagaje de información alcanza el nivel de las unidades pero que no han sido definidas como tales, básicamente por razón de la escala a la que se presenta el mapa. Es más común, sin embargo, el caso del sector hidrogeológico cuya evaluación del recurso se limita a la aplicación de fórmulas empíricas y a la estimación de los parámetros necesarios.

Asimismo, en el resto del territorio o, tal como se ha definido a lo largo de los distintos capítulos, resto del dominio, el procedimiento seguido ha sido fundamentalmente el de estimación apoyada en datos relativamente puntuales e indirectos, tales como aforos en cuencas ocupadas por litologías concretas, cálculo de caudales específicos en diferentes condiciones hidrológicas, etc.

La cuantificación de recursos así obtenida puede considerarse precisa en las áreas mejor conocidas y aproximada en el resto, si bien basada en estimaciones cautelosas que permiten suponer que los resultados se sitúan en el rango de los valores mínimos.

Los recursos evaluados totalizan 1.452 $Hm^3$/año, siempre referidos a años medios, de los cuales 829 $Hm^3$/año corresponden a los 1.668 $km^2$ ocupados por las unidades y sectores hidrogeológicos y 623 $Hm^3$/año a los 5.566 $km^2$ restantes. El desglose de estas cifras y su correspondencia geográfica se ha expresado en el mapa del anexo Recursos de Agua Subterránea.

## APROVECHAMIENTO ACTUAL. REGULACION

El uso del recurso de agua subterránea se extiende a todo el territorio de la Comunidad Autónoma del País Vasco, si bien en porcentajes muy variables respecto al disponible y que no guardan necesariamente correspondencia con las áreas de mayor potencialidad.

Algunos casos significativos son los constituidos por las Unidades Hidrogeológicas Subijana y Urbasa, donde el aprovechamiento no supera el 2-3% de los recursos disponibles en un año medio, o Elduain en la que, por el contrario, se alcanza el 70%.

Diferencias semejantes se aprecian en las áreas no ocupadas por unidades hidrogeológicas; es el caso de los Dominios Hidrogeológicos Paleozoico o Ebro, en los que el aprovechamiento de los recursos supone el 5 y el 50% respectivamente.

Las causas de esta diversidad deben buscarse en la demanda, tanto en su distribución geográfica como en su naturaleza, y en el grado de regulación de los recursos.

La demanda no concentrada ha encontrado más fácil solución en la captación de recursos próximos, de escasa entidad en muchos casos pero dotados de la constancia necesaria. Se superan con creces los 2.000 manantiales, y un número no muy inferior de pequeños sondeos, captados para la satisfacción de demandas de todo tipo.

La demanda concentrada, necesitada de un volumen de recurso que por lo general ha implicado algún tipo de regulación del mismo, ha optado, salvo las excepciones comentadas a lo largo del texto, por la construcción de infraestructuras adecuadas a las características de las aguas superficiales.

Aún así, el aprovechamiento de aguas subterráneas alcanza un total de 152 $Hm^3$/año, en usos consuntivos y referido a un año medio, lo cual representa un porcentaje ligeramente superior al 10% de los recursos renovables totales. Esta última cifra expresa que, a modo de generalización, el aprovechamiento de agua que actualmente se practica consiste en la captación de las aportaciones naturales, con mayor incidencia en los caudales de estiaje, y sin que medie la necesaria regulación artificial que permita una optimización en la disponibilidad de recursos.

**APROVECHAMIENTO POTENCIAL**

El aprovechamiento de un recurso de esta naturaleza está condicionado, además de por los factores sociológicos del entorno, por las características geológicas del medio al que está ligado.

Las posibilidades de uso guardan una estrecha relación con las dimensiones y naturaleza de los acuíferos, de modo que a mayor continuidad lateral y mayor grado de regulación natural de las descargas mayor es su disponibilidad. Se da la circunstancia, además, de que es en tales condiciones cuando el incremento de recurso mediante regulación artificial es más factible.

Sin embargo, la realidad muestra que es en las zonas de mayor demanda donde se concentran las obras de captación. Así, no es sorprendente que exista mayor densidad de sondeos de extracción de agua subterránea fuera del ámbito de las unidades hidrogeológicas, ubicados en materiales de baja permeabilidad que, sin embargo, son el soporte de un elevado porcentaje de los asentamientos. Se ha mencionado en varias ocasiones a lo largo del texto que, en general, son los materiales más competentes los que constituyen los acuíferos y al mismo tiempo los relieves más característicos de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Este esquema puede verse modificado en el momento en que los recursos de la zona no satisfacen la demanda o es necesaria una regulación capaz de ajustar a la demanda las fluctuaciones estacionales de los recursos. De las alternativas posibles, han sido las aguas superficiales, salvo en contadas ocasiones, las que han ocupado este papel.

Un incremento apreciable en el porcentaje del aprovechamiento actual, evaluado en el 10% del recurso renovable en un año medio, implica un cambio en el concepto de aprovechamiento integral de los recursos y una comprensión del origen, naturaleza y papel de las aguas subterráneas.

El esfuerzo realizado a lo largo de la obra en la descripción de todos los materiales presentes en la Comunidad Autónoma del País Vasco, o diferenciados en la cartografía geológica utilizada, y la evaluación, siquiera estimativa, de sus recursos asociados ha tenido como objeto mostrar la presencia y distribución geográfica del agua subterránea. La conclusión más importante que se ha querido hacer patente es que el agua subterránea es un elemento presente en todos los puntos del territorio y que es únicamente su cantidad la que varía en función de los factores geológicos. Dado que su origen no es otro que la precipitación, su infiltración está condicionada por la permeabilidad de la superficie sobre la que cae y que no hay un material totalmente impermeable, siempre hay una fracción de la misma que pasa a formar parte del recurso subterráneo.

La entidad del volumen de agua infiltrada en las áreas no consideradas tradicionalmente como de interés hidrogeológico, 623 $Hm^3$/año, resulta más imponente si se compara con el correspondiente a los acuíferos, 829 $Hm^3$/año, por su similar entidad. Del mismo orden de

magnitud es el volumen anual utilizado en las primeras, 66 $Hm^3$, frente a las últimas, 86 $Hm^3$.

Sin embargo, este hecho no debe llevar a pensar que las posibilidades de incremento en el aprovechamiento, especialmente a través de los sistemas de regulación artificial, son semejantes en ambas zonas. En este sentido, puede confundir el hecho de que la densidad de sondeos de extracción de agua subterránea sea muy superior fuera del ámbito de los acuíferos importantes, del mismo modo que lo es el del número de manantiales. La diferencia estriba en el volumen de agua movilizado.

El uso del agua contenida en los terrenos de baja permeabilidad tiene como objetivo el de la satisfacción de pequeñas demandas, sin olvidar que es el soporte del mantenimiento de los ecosistemas y del caudal de base de las corrientes superficiales. Puede admitir un incremento en su utilización, que será tanto más significativo cuanto que se realicen las captaciones con criterios hidrogeológicos. En cualquier caso, no es esperable una variación importante con respecto a la situación actual.

Es el agua asociada a las unidades y sectores hidrogeológicos la que puede desempeñar un papel relevante en la creación de nuevas infraestructuras o mediante su incorporación a las existentes. El volumen de recurso actualmente utilizado, cuantificado en el 10,4% del renovable en un año medio, es bajo en sí mismo y revelador de su trascendencia cuando se constata que es prácticamente idéntico al que se obtiene en las áreas menos favorables, 10,6%.

El grado de conocimiento del agua subterránea en todos sus aspectos, mecanismos implicados en su génesis y evolución, cuantificación de recursos, calidad de los mismos, etc., es suficiente, en términos generales, para que se de el cambio que conduzca a su incorporación definitiva al contexto de los recursos hídricos disponibles y a su gestión integral.

La estimación global del incremento potencial del recurso actualmente utilizado puede resultar ociosa, máxime cuando se refiere a un territorio con la diversidad geológica e hidrogeológica como el de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Baste decir que este incremento es potencialmente muy alto en algunas unidades hidrogeológicas, más discretro en otras, de modo que en conjunto le cabe al agua subterránea la posibilidad de ocupar la posición que le corresponde en la gestión de los recursos hídricos.

# ANEXOS

# ESTACIONES METEOROLOGICAS

| Estación | UTMX | UTMY | Cota (m) | Tipo | Sensores | Instalación | Organismo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abadiño | 531468 | 4776706 | 160 | Manual | TL | 1967 | INM |
| Aia | 567630 | 4788847 | 320 | Manual | TL | 1916 | INM |
| Aixola | 540641 | 4778112 | 320 | Automática | TL | 1989 | DFG |
| Alaiza | 547753 | 4741447 | 650 | Manual | L | 1973 | INM |
| Albina | 530186 | 4760134 | 600 | Manual | L | 1966 | INM |
| Alegria | 538992 | 4743676 | 545 | Automática | VTHLI | 1993 | SVM |
| Altube | 510880 | 4757063 | 618 | Automática | VTHLIPE | 1990 | SVM |
| Amurrio Instituto | 499502 | 4766607 | 219 | Manual | THL | 1955 | INM |
| Anda | 508525 | 4751868 | 606 | Manual | L | 1961 | IB |
| Andoain (Leitzaran) | 580075 | 4784680 | 52 | Automática | THL | 1995 | SVM |
| AndoaiN | 580649 | 4782664 | 106 | Manual | L | 1985 | IB |
| Araka | 526721 | 4748613 | 563 | Manual | LT | 1977 | AM |
| Aramaio | 533430 | 4768232 | 619 | Manual | VTHL | 1977 | DFA |
| Aranguren (Zalla) | 489716 | 4784562 | 92 | Automática | THL | 1993 | DFB |
| Arantzazu | 549210 | 4758888 | 770 | Automática | VTHL | 1992 | INM |
| Aranzazu | 516745 | 4725516 | 98 | Manual | TL | 1967 | INM |
| Arcentales | 482019 | 4785541 | 300 | Manual | TL | 1967 | INM |
| Arditurri | 596661 | 4792984 | 155 | Automática | TL | 1990 | DFG |
| Aretxabaleta Urkulu | 543094 | 4763751 | 335 | Manual | VTHLE | 1979 | INM |
| Arkaute I | 530608 | 4744631 | 517 | Automática | VTHLIE | 1992 | SVM |
| Arkaute II | 530608 | 4744630 | 517 | Automática | Especiales | 1992 | SVM |
| Arluzea | 537366 | 4730679 | 774 | Manual | L | 1965 | IB |
| Armiñon | 510417 | 4730154 | 467 | Manual | L | 1961 | IB |
| Arrasate | 540807 | 4767747 | 246 | Manual | TL | 1983 | INM |
| Arrasate | 541400 | 4769000 | 250 | Automática | VTHL | 1989 | SVM |
| Arriaran | 562034 | 4769264 | 255 | Automática | TL | 1994 | DFG |
| Arrigorriaga | 509275 | 4783642 | 100 | Manual | L | 1986 | IB |
| Arriola | 549566 | 4751332 | 638 | Manual | L | 1965 | IB |
| Arteaga | 529463 | 4801531 | 160 | Manual | PVT | 1991 | INM |
| Artxua | 502042 | 4748408 | 710 | Manual | L | 1965 | IB |
| Artziniega | 489334 | 4774328 | 210 | Manual | L | 1986 | IB |
| Audikana | 541900 | 4747980 | 580 | Manual | TL | 1973 | IB |
| Azkoitia | 556904 | 4779647 | 210 | Manual | L | 1985 | IB |
| Azkoitia | 554463 | 4779905 | 114 | Manual | L | 1977 | INM |
| Azpeitia | 558883 | 4780796 | 90 | Automática | VTHL | 1990 | SVM |
| Bajo Deba (Altzola) | 548997 | 4787833 | 17 | Automática | THL | 1995 | SVM |
| Bakio | 514908 | 4807961 | 30 | Manual | L | 1986 | IB |
| Balmaseda | 482283 | 4780452 | 178 | Automática | VTHLI | 1993 | DFB |
| Balmaseda | 484609 | 4783437 | 320 | Manual | TL | 1972 | INM |
| Baranbio | 506787 | 4766457 | 250 | Manual | L | 1985 | IB |
| Barazar | 523572 | 4768446 | 608 | Automática | VTHLI | 1992 | SVM |
| Barrendiola | 554101 | 4762687 | 500 | Automática | TLE | 1989 | DFG |
| Barron | 500522 | 4743780 | 674 | Manual | L | 1965 | IB |
| Basurto | 503956 | 4789896 | 47 | Automática | VTHL | 1990 | SVM |
| Beizama | 563017 | 4775567 | 180 | Manual | L | 1990 | INM |
| Berastegi | 582966 | 4775171 | 380 | Automática | VTHLI | 1989 | SVM |
| Berastegi | 582932 | 4775040 | 390 | Manual | VTHL | 1989 | SVM |
| Bergara | 546680 | 4775559 | 205 | Manual | PVTHL | 1983 | INM |

| Estación | UTMX | UTMY | Cota (m) | Tipo | Sensores | Instalación | Organismo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bermeo | 522938 | 4807213 | 15 | Manual | THL | 1985 | IB |
| Berna | 526737 | 4781623 | 95 | Automática | THL | 1992 | DFB |
| Bernedo | 541344 | 4719473 | 740 | Manual | L | 1929 | INM |
| Betolaza | 527198 | 4754168 | 546 | Manual | L | 1965 | IB |
| Bidania | 568815 | 4777366 | 592 | Automática | VTHLI | 1992 | SVM |
| Burceña | 501848 | 4792551 | 30 | Manual | L | 1986 | IB |
| Campezo | 553379 | 4724460 | 570 | Manual | LT | 1977 | DFA |
| Delika | 502719 | 4755349 | 320 | Manual | L | 1985 | IB |
| Derio | 510793 | 4794318 | 67 | Automática | VTHLI | 1996 | SVM |
| Derio | 510793 | 4794318 | 67 | Manual | VTHLE | 1986 | SVM |
| Donostia | 583285 | 4797284 | 8 | Automática | VTHL | 1989 | INM |
| Donostia | 580340 | 4797316 | 122 | Manual | VTL | 1987 | INM |
| Donostia Ategorrieta | 585094 | 4797220 | 8 | Manual | TL | 1959 | INM |
| Durana | 529732 | 4749860 | 540 | Manual | L | 1914 | INM |
| Eibar | 543026 | 4781643 | 121 | Manual | TL | 1945 | INM |
| Elciego | 531262 | 4707298 | 460 | Manual | L | 1985 | DFA |
| Elduain | 581170 | 4776808 | 256 | Manual | L | 1944 | INM |
| Elgeta Aixola | 540060 | 4779219 | 262 | Manual | THL | 1983 | INM |
| Elgoibar | 547247 | 4785034 | 50 | Manual | L | 1987 | IB |
| Elgoibar | 547756 | 4784420 | 122 | Automática | VTHLP | 1989 | INM |
| Endara | 599800 | 4792576 | 200 | Automática | TL | 1989 | DFG |
| Erdoizta | 567300 | 4782918 | 515 | Automática | TL | 1990 | DFG |
| Ermua | 539975 | 4782242 | 240 | Manual | PVTHLE | 1982 | INM |
| Eskalmendi | 529198 | 4747421 | 515 | Manual | LT | 1986 | |
| Eskoriatza | 538505 | 4762705 | 279 | Manual | L | 1955 | INM |
| Espejo | 496003 | 4739710 | 500 | Manual | L | 1965 | IB |
| Espejo | 496244 | 4740769 | 520 | Automática | VTHLE | 1990 | SVM |
| Etxebarria | 542459 | 4789260 | 100 | Manual | THLE | 1961 | INM |
| Etxegarate | 563111 | 4755778 | 660 | Automática | VTHLI | 1990 | SVM |
| Foronda | 521888 | 4748136 | 509 | Automática | VTHLP | 1990 | INM |
| Gamiz | 531179 | 4740828 | 575 | Manual | L | 1965 | IB |
| Garai | 531665 | 4782876 | 300 | Manual | L | 1986 | IB |
| Gardea | 501650 | 4774800 | 150 | Automática | THL | 1995 | SVM |
| Gasteiz | 525491 | 4745317 | 546 | Automática | VTHLIP | 1992 | SVM |
| Gatika | 510803 | 4801629 | 80 | Manual | PVTHLI | 1985 | IB |
| Gauna | 540866 | 4742513 | 599 | Manual | TL | 1987 | INM |
| Gernika | 526473 | 4797271 | 3 | Automática | VTHL | 1989 | SVM |
| Gorbea (embalses) | 521688 | 4760787 | 662 | Automática | THL | 1992 | SVM |
| Gordexola | 491871 | 4779414 | 100 | Manual | L | 1985 | IB |
| Güeñes | 491578 | 4783627 | 190 | Automática | VTHLP | 1990 | INM |
| Hernani Santiago | 589348 | 4785550 | 40 | Manual | L | 1973 | |
| Hernani Zikuñaga | 583761 | 4790261 | 30 | Manual | TL | 1945 | INM |
| Herrera | 526685 | 4716204 | 1188 | Automática | VTHL | 1992 | SVM |
| Hondarribia | 596276 | 4799838 | 24 | Manual | TL | 1985 | DFG |
| Hondarribia | 597743 | 4801155 | 5 | Automática | VTHLP | 1989 | INM |
| Hueto Arriba | 516036 | 4748827 | 550 | Manual | L | 1965 | IB |
| Ibaieder | 560589 | 4780461 | 90 | Automática | L | 1996 | DFG |
| Igorre | 517659 | 4779523 | 150 | Automática | VTHLI | 1990 | SVM |
| Inoso | 506795 | 4759053 | 420 | Manual | L | 1985 | IB |
| Iturrieta | 553614 | 4738189 | 987 | Automática | VTHLIPE | 1989 | SVM |
| Iurreta | 529245 | 4781174 | 127 | Automática | VTHLIE | 1990 | SVM |
| Izarra | 508722 | 4757513 | 680 | Manual | VTHLIE | 1977 | DFA |
| Izarra | 507682 | 4755722 | 620 | Manual | L | 1930 | IB |
| Jaizkibel | 592538 | 4799711 | 220 | Automática | VTHLI | 1994 | SVM |
| Jugo | 515796 | 4754688 | 650 | Manual | L | 1988 | IB |

| Estación | UTMX | UTMY | Cota (m) | Tipo | Sensores | Instalación | Organismo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kapildui | 537916 | 4735162 | 1173 | Automática | VTHL | 1991 | SVM |
| Karranza | 470217 | 4785027 | 157 | Manual | L | 1985 | IB |
| Karranza | 471424 | 4787490 | 239 | Manual | TL | 1956 | INM |
| Krispixana | 521674 | 4744956 | 500 | Manual | L | 1988 | AM |
| La Garbea | 484275 | 4784986 | 717 | Automática | VTHLI | 1992 | SVM |
| La Peña | 507116 | 4788295 | 23 | Automática | L | 1992 | DFB |
| Labein | 502773 | 4790361 | 25 | Manual | LT | 1986 | |
| Lagran | 533987 | 4719341 | 756 | Manual | L | 1916 | IB |
| Laguardia | 534254 | 4711476 | 620 | Manual | VTHLIE | 1980 | DFA |
| Laguardia | 534491 | 4710518 | 566 | Automática | VTHLIE | 1990 | SVM |
| Lalastra | 481215 | 4747415 | 911 | Manual | LT | 911 | |
| Lareo | 572065 | 4758919 | 745 | Automática | TL | 1989 | DFG |
| Lareo II | 572597 | 4758601 | 745 | Manual | THLE | 1989 | INM |
| Larraskitu | 505412 | 4788666 | 130 | Manual | L | 1985 | IB |
| Larrea | 521654 | 4786848 | 88 | Manual | L | 1985 | IB |
| Lasarte | 579232 | 4791903 | 25 | Manual | THL | 1945 | INM |
| Laurgain | 568736 | 4789289 | 210 | Automática | TL | 1990 | DFG |
| Legazpia | 554200 | 4767594 | 402 | Manual | TLE | 1946 | INM |
| Legazpia Barrendiola | 553561 | 4762498 | 501 | Manual | THL | 1983 | INM |
| Legorreta | 569344 | 4771093 | 205 | Manual | L | 1987 | IB |
| Leitzaran | 585392 | 4777054 | 285 | Automática | THL | 1992 | SVM |
| Lekeitio | 540020 | 4801431 | 15 | Manual | L | 1986 | IB |
| Lekeitio | 539785 | 4803000 | 52 | Automática | VTHL | 1989 | INM |
| Lendoño | 495925 | 4762753 | 440 | Manual | L | 1985 | IB |
| Leza | 529823 | 4712936 | 450 | Manual | VTHLIE | 1990 | DFA |
| Lezama | 502716 | 4764603 | 370 | Manual | L | 1985 | IB |
| LLodio | 504100 | 4776607 | 207 | Automática | VTHLIE | 1989 | SVM |
| Martioda | 517923 | 4747135 | 521 | Manual | L | 1985 | |
| Matxitxako | 520099 | 4811489 | 115 | Automática | VTHL | 1989 | INM |
| Menagarai | 494009 | 4771546 | 300 | Manual | L | 1986 | IB |
| Mendaro | 550674 | 4788494 | 45 | Automática | TL | 1989 | DFG |
| Mendiguren | 524244 | 4749715 | 516 | Manual | L | 1987 | IB |
| Mungia | 512568 | 4801183 | 22 | Automática | VTHLI | 1993 | SVM |
| Murgia | 513957 | 4756103 | 618 | Manual | L | 1965 | IB |
| Murua | 521428 | 4758374 | 618 | Manual | L | 1977 | AM |
| Navarrete | 539174 | 4720716 | 689 | Automática | VTHLIE | 1992 | SVM |
| Oiz | 532960 | 4786472 | 980 | Automática | VTHL | 1991 | SVM |
| Okondo | 497696 | 4777867 | 150 | Manual | L | 1986 | IB |
| Ollerías | 526882 | 4759534 | 550 | Manual | LT | 550 | |
| Oñati | 547366 | 4764643 | 260 | Manual | L | 1986 | IB |
| Opakua | 552382 | 4741882 | 674 | Manual | L | 1965 | IB |
| Ordizia | 566304 | 4767484 | 195 | Manual | TL | 1988 | INM |
| Ordizia | 567064 | 4766005 | 243 | Automática | VTHLI | 1992 | SVM |
| Orduña | 498256 | 4760130 | 320 | Manual | L | 1917 | IB |
| Ormaiztegi | 561920 | 4766188 | 40 | Automática | VTHLP | 1989 | INM |
| Orozko | 506844 | 4769797 | 200 | Automática | VTHL | 1992 | DFB |
| Osma de Alava | 494738 | 4748780 | 575 | Manual | L | 1960 | IB |
| Otxandio | 528013 | 4765462 | 559 | Manual | L | 1947 | IB |
| Otxandio | 528001 | 4765557 | 556 | Automática | VTHLI | 1992 | SVM |
| Ozaeta | 541332 | 4751832 | 560 | Manual | TL | 1943 | IB |
| Ozaeta | 541428 | 4751265 | 548 | Automática | VTHLI | 1993 | SVM |
| Pasaia | 587024 | 4797799 | 30 | Manual | PTHLE | 1986 | INM |
| Peñacerrada | 523433 | 4721395 | 754 | Manual | L | 1929 | INM |
| Puebla de la Barca | 535108 | 4704756 | 400 | Manual | L | 1986 | DFA |
| Puentelarrá | 496135 | 4733139 | 473 | Manual | L | 1929 | IB |

| Estación | UTMX | UTMY | Cota (m) | Tipo | Sensores | Instalación | Organismo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Punta Galea | 497270 | 4802310 | 61 | Automática | VTHL | 1992 | SVM |
| Punta Galea Golf | 498425 | 4802546 | 90 | Manual | LT | 1993 | |
| Renteria Añarbe | 591003 | 4784954 | 120 | Manual | LT | 1971 | |
| Respaldiza | 495929 | 4768305 | 300 | Manual | L | 1985 | IB |
| Retana | 528506 | 4750132 | 527 | Manual | L | 1978 | |
| Salinas de Añana | 501340 | 4738444 | 620 | Manual | L | 1961 | IB |
| Salinas de Añana | 500977 | 4738907 | 566 | Manual | L | 1929 | INM |
| Salvatierra | 550249 | 4744827 | 605 | Manual | LT | 1953 | IB |
| Salvatierra | 549518 | 4745236 | 589 | Automática | VTHLE | 1990 | SVM |
| Salvatierra Claret | 549591 | 4744823 | 590 | Manual | VTHL | 1913 | INM |
| Santurtzi | 495946 | 4797920 | 100 | Manual | VL | 1985 | IB |
| Saratxo | 499947 | 4764668 | 230 | Automática | VTHLI | 1992 | SVM |
| Sendadiano | 507395 | 4748627 | 604 | Manual | 1965 | IB | |
| Sondika | 505881 | 4794480 | 37 | Automática | VTHLP | 1989 | INM |
| Subijana | 508819 | 4740785 | 537 | Automática | THL | 1992 | SVM |
| Ullivarri Gamboa | 531849 | 4753170 | 570 | Manual | VTHLE | 1943 | INM |
| Urkiola | 529839 | 4772071 | 737 | Manual | THL | 1985 | IB |
| Urkiola | 528749 | 4772086 | 695 | Automática | VTHLI | 1989 | SVM |
| Urkizu(Igorre) | 518614 | 4781377 | 75 | Automática | THL | 1992 | DFB |
| Urkulu | 543060 | 4762420 | 340 | Automática | TL | 1989 | DFG |
| Urnieta Vivero | 581788 | 4787460 | 187 | Manual | THLE | 1986 | DFG |
| Urrunaga | 528481 | 4756333 | 540 | Manual | VTHLE | 1943 | IB |
| Valdegobia | 491602 | 4744094 | 590 | Manual | VTHLIE | 1977 | INM |
| Vitoria | 532281 | 4747897 | 503 | Manual | L | 1982 | IB |
| Zaldiaran | 521690 | 4738250 | 980 | Automática | VTHL | 1994 | SVM |
| Zambrana | 509366 | 4724739 | 470 | Automática | VTHLI | 1992 | SVM |
| Zaratamo | 509930 | 4785225 | 55 | Automática | THL | 1992 | DFB |
| Zarautz | 570305 | 4794088 | 80 | Automática | VTHLI | 1993 | SVM |
| Zeberio | 512197 | 4777569 | 200 | Manual | L | 1985 | IB |
| Zizurkil | 576347 | 4782337 | 150 | Automática | VTHLIE | 1990 | SVM |
| Zumaia | 560163 | 4794175 | 200 | Manual | L | 1987 | IB |
| Zumaia | 560870 | 4794848 | 25 | Automática | VTHL | 1989 | INM |
| Zumarraga | 555867 | 4771155 | 400 | Manual | L | 1987 | INM |

**Siglas de sensores:**

V - Viento
T - Temperatura aire
H - Humedad relativa
L - Precipitación
I - Irradiación solar
P - Presión atmosférica
E - Evaporación

**Siglas de organismos:**

AM - AMVISA
DFA - Diputación Foral de Alava
DFB - Diputación Foral de Bizkaia
DFG - Diputación Foral de Gipuzkoa
IB - Iberdrola
INM - Instituto Nacional de Meteorología
SVM - Servicio Vasco de Meteorología

# ESTACIONES FORONOMICAS

| Estación | UTMX | UTMY | Cota (m) | RÍo/Manantial | Tipo Estación | Período | Organismo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abalotz | 577130 | 4788495 | 125 | R. Abalotz | Azud | 1991-1993 | DFG |
| Agauntza | 567130 | 4763150 | 180 | R. Agauntza | Crump modificado | 1987- | DFG |
| Agüera | 479265 | 4793845 | 120 | R. Agüera | Sección natural | 1983-1988 | DFB |
| Aiaiturrieta | 569880 | 4757348 | 385 | M. Aiaiturrieta | Venturi | 1984- | DFG/EVE |
| Aixola | 540678 | 4778023 | 280 | R. Ego | Crump modificado | 1986- | DFG |
| Albina | 530300 | 4760320 | 600 | R. Albina | | | IB |
| Aldaba | 570818 | 4771982 | 105 | R. Aldaba | Lámina delgada | 1990- | DFG |
| Aldabide | 514575 | 4770112 | 705 | M. Aldabide | Lámina delgada rectangular | 1982-1992 | DFB |
| Alegia | 573009 | 4772505 | 90 | R. Oria | Crump modificado | 1994- | DFG |
| Ameraun (Canal) | 585430 | 4777080 | 295 | R. Leitzaran | Canal | 1987- | DFG/EVE |
| Ameraun (Río) | 585355 | 4777080 | 295 | R. Leitzaran | Sección natural | 1987- | DFG/EVE |
| Amundarain | 569320 | 4764215 | 185 | R. Amundarain | Azud | 1985- | DFG |
| Anarri (Canal) | 556816 | 4754014 | 840 | M. Anarri | Canal rectangular | 1986-1989 | DFG/EVE |
| Anarri (Puente) | 557691 | 4753989 | 800 | M. Anarri | Pared gruesa | 1986-1989 | DFG/EVE |
| Anda | 508300 | 4751646 | 568 | R. Bayas | Azud | | IB |
| Andoain | 579140 | 4786843 | 35 | R. Oria | Sección natural | 1952- | CHN |
| Antoñana | 550070 | 4725520 | 575 | R. Berron | Doble canal | 1976-1987 | DFA |
| Aprikano | 508520 | 4744470 | 545 | R. Bayas | Sección natural | 1985- | EVE |
| Araia | 556180 | 4749764 | 615 | M. Araia | Sección natural | 1987-1994 | EVE |
| Araia | 556220 | 4749854 | 617 | R. Araia | Sección natural | 1984-1985 | UPV |
| Aranguren (Zalla) | 489716 | 4784562 | 92 | R. Kadagua | Canal | 1991 | DFB |
| Arantzazu (Pasarela) | 545835 | 4763665 | 255 | R. Arantzazu | Sección natural | 1986-1987 | DFG |
| Arantzazu (Zuazola) | 546349 | 4765260 | 228 | R. Arantzazu | Azud | | DFG |
| Arbina | 540860 | 4798135 | 20 | R. Zulueta | Rectangular autolimpiable | 1987- | DFB |
| Arce | 508470 | 4725200 | 455 | R. Zadorra | Doble canal lámina delgada | 1933- | CHE |
| Argatxa | 527800 | 4800863 | 14 | M. Argatxa | Sección natural | 1985-1989 | EVE |
| Argin | 534480 | 4801365 | 90 | M. Argin | Lámina delgada triangular | 1982- | UPV |
| Arrazola | 533800 | 4773600 | 190 | R. Arrazola | Azud | 1984-1985 | UPV |
| Arria | 532238 | 4782563 | 223 | M. Urzulu | Canal | 1990- | EVE |
| Artziniega | 485325 | 4772575 | 300 | R. Herrerías | Doble canal | 1975-1985 | DFA |
| Audikana | 542140 | 4748300 | 555 | R. Zadorra | Doble canal pared gruesa | 1973- | IB |
| Aulestia | 535910 | 4794275 | 74 | R. Lea | Azud | 1987-1989 | DFB |
| Axpe-Busturia | 524350 | 4803525 | 28 | M. Axpe | Lámina delgada triangular | 1982-1983 | UPV |
| Balmaseda | 482300 | 4780525 | 174 | R. Kadagua | Autolimpiable | 1993- | DFB |
| Barrendiola | 552950 | 4761230 | 580 | R. Barrendiola | Trapezoidal pared gruesa | 1989- | DFG |
| Bedaio | 574800 | 4768945 | 140 | R. Bedaio | Sección natural | 1992- | DFG |
| Berantevilla | 509600 | 4725590 | 457 | R. Ayuda | Lámina gruesa rectangular | 1934- | CHE |
| Berastegi | 577480 | 4777080 | 105 | R. Berastegi | Crump modificado | 1990- | DFG |
| Berganzo (Central) | 517260 | 4722360 | 544 | R. Inglares | Canal | | |
| Berganzo | 518420 | 4722160 | 575 | R. Inglares | Sección natural modificada | 1986-1988 | DFA |
| Bergüenda | 496460 | 4736980 | 479 | R. Omecillo | Sección natural | | CHE |
| Bernega | 539870 | 4719820 | 677 | R. Ega | Sección natural | 1988-1992 | EVE |
| Berriatua A | 542700 | 4794100 | 40 | R. Artibai | Azud | 1970-1984 | CHN |
| Betoño | 528410 | 4745970 | 510 | R. Betoño | Canal | 1990- | AV |
| Bolibar | 542310 | 4763465 | 340 | R. Bolibar | Vertedero triangular | 1988- | DFG |
| Bollar | 531180 | 4800075 | 205 | M. Bollar | Lámina delgada rectangular | 1985-1989 | EVE |
| Butron | 508750 | 4802825 | 6 | R. Butron | Sección natural | 1982-1983 | UPV |
| Canal Del Alegria | 537040 | 4747170 | 548 | Canal Alegria | Canal trapezoidal | 1984- | IB |
| Contrasta | 557720 | 4737110 | 795 | M. Zarpia | Sección natural | 1982-1987 | UPV |
| Contrasta | 557720 | 4737110 | 795 | M. Zarpia | Sección natural | 1992-1993 | EVE |

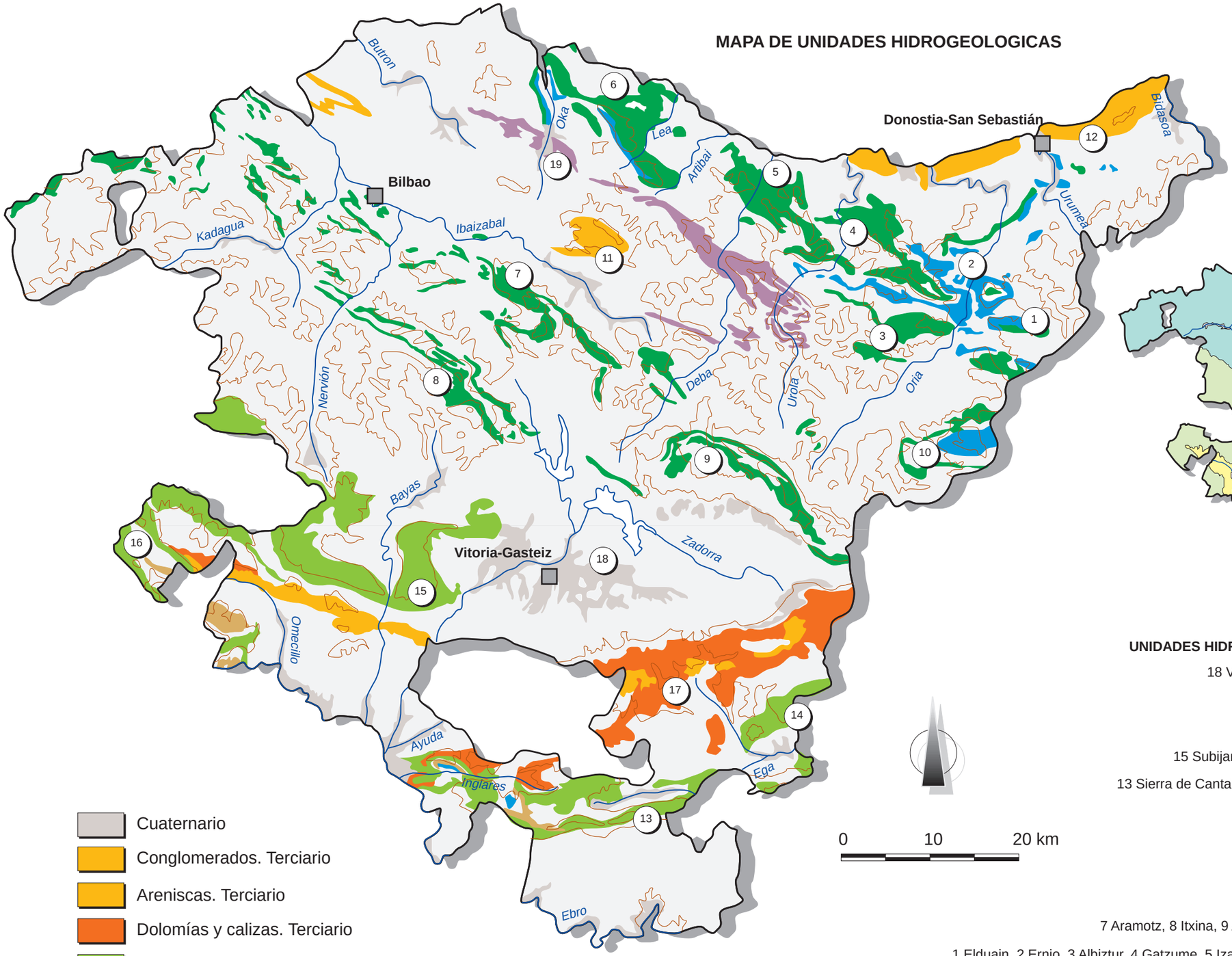
| Estación | UTMX | UTMY | Cota (m) | RÍo/Manantial | Tipo Estación | Período | Organismo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cueva La Mora | 479188 | 4793250 | 121 | M. la Mora | Lámina delgada rectangular | 1985-1986 | UPV |
| Deba | 548725 | 4786675 | 20 | R. Deba | Sección natural | 1969- | CHN |
| Dima | 520930 | 4775270 | 125 | R. Indusi | Doble canal | 1982-1988 | DFB |
| Durango | 526737 | 4781623 | 95 | R. Ibaizabal | Sección natural | 1987- | DFB |
| Endarlaza | 603054 | 4794606 | 17 | R. Bidasoa | Sección natural | 1969- | CHN |
| Ereñozu (Can) | 586090 | 4788612 | 22 | R. Urumea | Sección natural | 1969- | CHN |
| Ereñozu (Canal) | 586315 | 4788230 | 25 | R. Urumea | Canal | 1991- | DFG |
| Ereñozu (Río) | 586315 | 4788230 | 25 | R. Urumea | Crump modificado | 1991- | DFG |
| Eskalmendi | 529260 | 4747370 | 513 | R. Alegria | Sección natural | 1993-1995 | UPV |
| Estanda | 563810 | 4766700 | 190 | R. Estanda | Crump modificado | 1990- | DFG |
| Etxabe | 562310 | 4791023 | 17 | R. Urola | Sección natural canalizada | 1970- | CHN |
| Etxebarri | 508688 | 4788575 | 24 | R. Nerbioi | Sección natural | 1978- | CHN |
| Gaiartu | 511940 | 4772095 | 249 | R. Gaiartu | Doble canal pared gruesa | 1982- | DFB |
| Garai | 531725 | 4782880 | 300 | M. Garai | Lámina delgada triangular | 1983-1985 | UPV |
| Gopegi-1 | 521140 | 4755070 | 566 | R. Zubialde | Canal | 1943- | CHE |
| Gopegi-2 | 520960 | 4755220 | 567 | R. Zubibarri | Doble canal | 1943- | CHE |
| Granadaerreka | 567665 | 4783250 | 350 | M. Granadaerreka | Lámina delgada rectangular | 1986- | DFG/EVE |
| Güeñes | 596395 | 4783400 | 50 | R. Herrerías | Sección natural | 1970- | CHN |
| Hamabiturri | 560585 | 4787500 | 50 | M. Hamabiturri | Lámina delgada rectangular | 1986-1993 | DFG/EVE |
| Ibai-Eder | 560600 | 4780430 | 95 | R. Ibai-Eder | Crump modificado | 1991- | DFG |
| Irabaneta | 550960 | 4788255 | 45 | M. Irabaneta | Canal | 1985-1987 | DFG/EVE |
| Iritegi | 548170 | 4759481 | 575 | M. Iritegi | Canal | 1986-1989 | DFG/EVE |
| Iruzubieta | 538590 | 4789620 | 110 | R. Artibai | Autolimpiable rectangular | 1992- | DFB |
| Iturriotz | 479700 | 4791338 | 165 | M. Iturriotz | Lámina delgada rectangular | 1983-1985 | UPV |
| Izkiz | 549000 | 4725310 | 590 | R. Izkiz | Doble canal lámina delgada | 1976-1987 | DFA |
| Karrantza | 469980 | 4788870 | 125 | R. Karrantza | Azud | 1987-1989 | DFB |
| Kilimon | 550030 | 4789294 | 15 | M. Kilimon | Canal | 1985-1990 | DFG/EVE |
| La Lece | 559276 | 4747820 | 602 | M. La Lece | Sección natural | 1988-1990 | EVE |
| La Peña | 507120 | 4787310 | 24 | R. Nerbioi | Sección natural | 1987- | DFB |
| Lanestosa | 464932 | 4783460 | 320 | R. Kalera | Doble canal lámina delgada | 1987-1988 | DFB |
| Lanestosa | 469400 | 4788625 | 115 | M. Lanestosa | Azud | 1989-1990 | EVE |
| Larrabetzu | 516740 | 4790138 | 75 | R. Aretxabalaga | Azud | 1984-1985 | UPV |
| Larrinoa A | 521960 | 4757780 | 595 | R. Zubialde | Doble canal pared gruesa | 1943- | CHE |
| Larrinoa B | 521940 | 4757780 | 595 | R. Zubialde | Canal rectangular | 1943- | CHE |
| Las Barrietas | 484538 | 4789742 | 125 | R. Goritza | Sección natural | 1985-1986 | UPV |
| Leizaran (Puente) | 584610 | 4780340 | 225 | R. Leizaran | Sección natural | 1987- | DFG/EVE |
| Lemoa (Arratia) | 518700 | 4783375 | 63 | R. Arratia | Sección natural | 1970-1985 | CHN |
| Lemoa (Ibaizabal) | 520012 | 4784500 | 68 | R. Ibaizabal | Sección natural | 1970-1985 | CHN |
| Lendia | 522160 | 4752340 | 530 | M. Lendia | Sección natural | 1989-1991 | UPV |
| Lepasoro-1 | 575450 | 4785150 | 125 | R. Antzibar | Sección natural | 1986- | DFG/EVE |
| Lepasoro-2 | 575500 | 4785000 | 125 | M. Lepasoro | Sección natural | 1986- | DFG/EVE |
| Maeztu | 546420 | 4731920 | 647 | R. Ega | Lámina delgada rectangular | 1990- | IB |
| Manurga | 520860 | 4757310 | 595 | R. Zubibarri | Sección natural | 1949-1962 | CHE |
| Mañaria | 528855 | 4776830 | 165 | R. Mañaria | Autolimpiable rectangular | 1982- | DFB |
| Mape | 520050 | 4801500 | 450 | R. Mape | Azud | | DFB |
| Marañon | 545400 | 4719850 | 640 | R. Ega | Pared gruesa | 1947- | CHE |
| Maroño | 495375 | 4766350 | 290 | R. Izoria | Doble canal | 1975-1985 | DFA |
| Matauko | 532320 | 4746080 | 513 | R. Alegria | Pared gruesa | | AM |
| Mendiguren | 524220 | 4749700 | 510 | R. Mendiguren | Canal | 1989-1991 | UPV |
| Mijancas | 515310 | 4727160 | 508 | R. Rojo | Doble canal lámina delgada | 1976-1985 | DFA |
| Molino Payueta | 521900 | 4721460 | 709 | R. Payueta | Pared delgada | 1972-1975 | IB |
| Montoria | 522340 | 4721460 | 709 | R. Montoria | Lámina delgada rectangular | 1976-1987 | DFA |
| Muxika | 525325 | 4793010 | 20 | R. Oka | Canal | 1987-1990 | UPV |
| Nacedero Zadorra | 555300 | 4741930 | 700 | M. Zadorra | Lámina delgada | | DFA |
| Nanclares | 515660 | 4740530 | 493 | M. Nanclares | Sección natural | 1985- | EVE |
| Ocio | 513576 | 4722500 | 508 | R. Inglares | Sección natural modificada | 1988-1992 | EVE |

| Estación | UTMX | UTMY | Cota (m) | RÍo / Manantial | Tipo Estación | Período | Organismo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ocio | 514680 | 4722840 | 526 | R. Inglares | Sección natural canalizada | 1982-1987 | DFA |
| Oiartzun | 591193 | 4794770 | 19 | R. Oiartzun | Sección natural | 1970- | CHN |
| Olalde | 528840 | 4798729 | 15 | M. Olalde | Lámina contracción lateral | 1982- | UPV |
| Oleta | 539940 | 4799225 | 11 | R. Lea | Doble canal | 1984- | DFB |
| Oñati | 545890 | 4767890 | 195 | R. Deba | Crump modificado | 1989- | DFG |
| Orobios | 526355 | 4782390 | 97 | R. Orobio | Azud | 1985-1989 | DFB |
| Orozko | 506998 | 4770425 | 195 | R. Altube | Autolimpiable rectangular | | DFB |
| Orue | 520200 | 4779400 | 230 | M. Orue | Canal lámina delgada | 1982- | UPV |
| Osinberde | 571555 | 4762050 | 465 | M. Osinberde | Canal | 1989- | DFG |
| Osma-1 | 494844 | 4748960 | 571 | M. Osma | Sección natural | 1986- | EVE |
| Osma-2 | 494990 | 4750120 | 574 | M. Osma | Sección natural | 1986- | EVE |
| Otxandio | 527925 | 4765525 | 550 | R. Urkiola | Tramo canalizado rectangular | 1983- | SVM |
| Ozaeta | 541460 | 4751260 | 551 | R. Barrundia | Rectangular de pared gruesa | 1984- | SVM |
| Pando | 479125 | 4791675 | 136 | R. Aguera | Sección natural | 1984-1986 | UPV |
| Pariza | 530700 | 4726800 | 595 | R. Ayuda | Doble canal | 1976-1987 | DFA |
| Patala | 532200 | 4782575 | 229 | M. Urzulu | Canal | 1990- | EVE |
| Payueta | 521540 | 4721900 | 707 | R. Inglares | Sección natural | 1969-1984 | IB |
| Peñacerrada | 523656 | 4721840 | 715 | R. Inglares | Sección natural | 1986-1991 | EVE |
| Peñacerrada | 524120 | 4721700 | 716 | M. Peñacerrada | Sección natural | 1976-1987 | DFA |
| Pobes | 507896 | 4739960 | 527 | R. Bayas | Sección natural | 1985- | EVE |
| Puente Payueta | 522220 | 4721540 | 708 | R. Inglares | Sección natural | 1972-1984 | IB |
| Puentelarrá | 496080 | 4733960 | 470 | R. Ebro | Azud | | IB |
| Puentelarrá | 496120 | 4733540 | 464 | R. Ebro | Sección natural | 1965-1985 | IB |
| Putxeta | 493138 | 4795868 | 70 | M. Casablanco | Lámina delgada rectangular | 1984-1986 | UPV |
| Sabando | 548984 | 4733580 | 783 | M. Irazulo | Sección natural | 1982-1987 | UPV |
| Salubita | 573305 | 4775075 | 125 | R. Salubita | Azud | 1985-1990 | DFG / EVE |
| Saratxo | 499788 | 4764643 | 227 | R. Nerbioi | Trapezoidal autolimpiable | 1986- | DFB |
| Sopuerta | 487765 | 4789350 | 90 | R. Mercadillo | Lámina delgada rectangular | 1984-1989 | DFB |
| Sotoerrota | 539800 | 4719630 | 682 | M. El Soto | Lámina delgada rectangular | 1987-1992 | EVE |
| Traslaviña | 483400 | 4788580 | 188 | R. Goritza | Sección natural | 1985-1986 | UPV |
| Trespuentes | 518330 | 4743860 | 500 | R. Oka | Sección natural | 1995- | EVE |
| Ubao | 548895 | 4763106 | 312 | M. Ubao | Canal | 1986-1992 | DFG / EVE |
| Ubegi (Azoleta) | 519900 | 4765920 | 950 | M. Ubegi | Sección natural | | DFB |
| Ubilla | 541075 | 4793000 | 59 | R. Artibai | Azud | 1987-1989 | DFB |
| Ullibarri | 531400 | 4753240 | 548 | R. Zadorra | Canal | 1943- | IB |
| Ullibarri B | 531340 | 4753194 | 522 | R. Zadorra | Canal | | IB |
| Undurraga | 521195 | 4769535 | 226 | R. Arratia | Doble canal lámina delgada | 1985- | CAASGB |
| Undurraga B | 520457 | 4771150 | 186 | R. Arratia | Azud | | CAASGB |
| Undurraga C | 520375 | 4771150 | 200 | R. Arratia | Canal rectangular | | CAASGB |
| Undurraga D | 520400 | 4771075 | 195 | R. Arratia | Lámina delgada rectangular | | CAASGB |
| Urbeltza | 580900 | 4776535 | 250 | M. Urbeltza, Marijan | Canal | 1984- | DFG |
| Urgitxi | 538338 | 4798668 | 33 | M. Urgitxi | Sección natural | 1986-1989 | UPV |
| Urkizu | 518614 | 4781377 | 76 | R. Arratia | Autolimpiable rectangular | | DFB |
| Urkulu | 543525 | 4763050 | 360 | M. Urkulu | Crump modificado | 1988- | DFG |
| Urrunaga | 528320 | 4756410 | 541 | R. Sta. Engracia | Canal | 1943- | IB |
| Zalla | 589725 | 4784625 | 98 | R. Kadagua | Trapezoidal pared gruesa | | DFB |
| Zaratamo | 509930 | 4785225 | 55 | R. Nerbioi | Trapezoidal pared gruesa | 1987- | DFB |
| Zazpiturrieta | 474630 | 4766335 | 210 | M. Zazpiturrieta | Canal trapezoidal | 1988- | DFG |

**Siglas de Organismos**

EVE - Ente Vasco de la Energía
DFA - Diputación Foral de Alava
DFB - Diputación Foral de Bizkaia
DFG - Diputación Foral de Gipuzkoa
UPV - Universidad del País Vasco
CHN - Confederación Hidrográfica del Norte
CHE - Confederación Hidrográfica del Ebro
AM - Aguas Municipales de Vitoria S.A. (AMVISA)
SVM - Servicio Vasco de Meteorología
IB - Iberdrola
AV - Ayuntamiento de Vitoria
CAAS - Consorcio de Aguas Abastecimiento y Saneamiento del Gran Bilbao

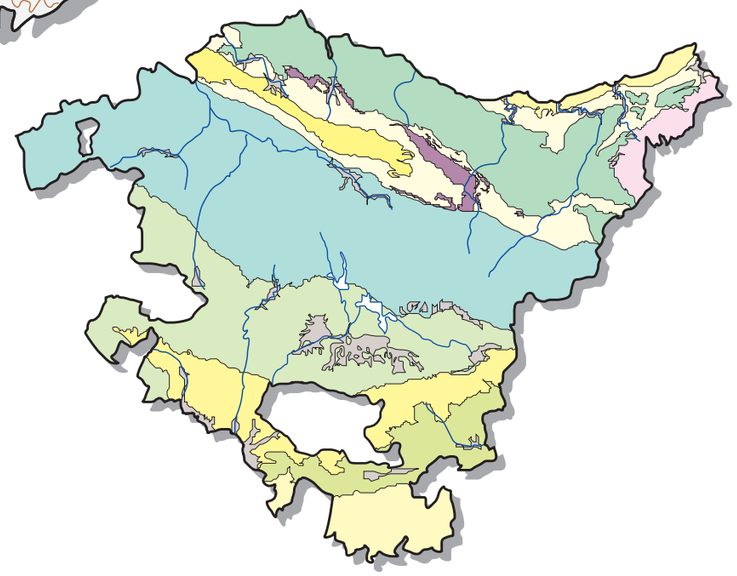
## MAPA DE UNIDADES HIDROGEOLOGICAS




Cuaternario
Conglomerados. Terciario
Areniscas. Terciario
Dolomías y calizas. Terciario
Calizas y dolomías. Cretácico superior
Complejo Volcánico. Cretácico superior
Arenas y areniscas. Facies Utrillas. Cretácico inferior
Calizas. Facies Urgoniano. Cretácico inferior
Carniolas y calizas. Jurásico

0 10 20 km

## MAPA DE DOMINIOS HIDROGEOLOGICOS



**UNIDADES HIDROGEOLOGICAS**

18 Vitoria, 19 Gernika

17 Urbasa

15 Subijana, 16 Valdegobia

13 Sierra de Cantabria, 14 Campezo

12 Jaizkibel

11 Oiz

7 Aramotz, 8 Itxina, 9 Aizkorri, 10 Aralar

1 Elduain, 2 Ernio, 3 Albiztur, 4 Gatzume, 5 Izarraitz, 6 Ereñozar

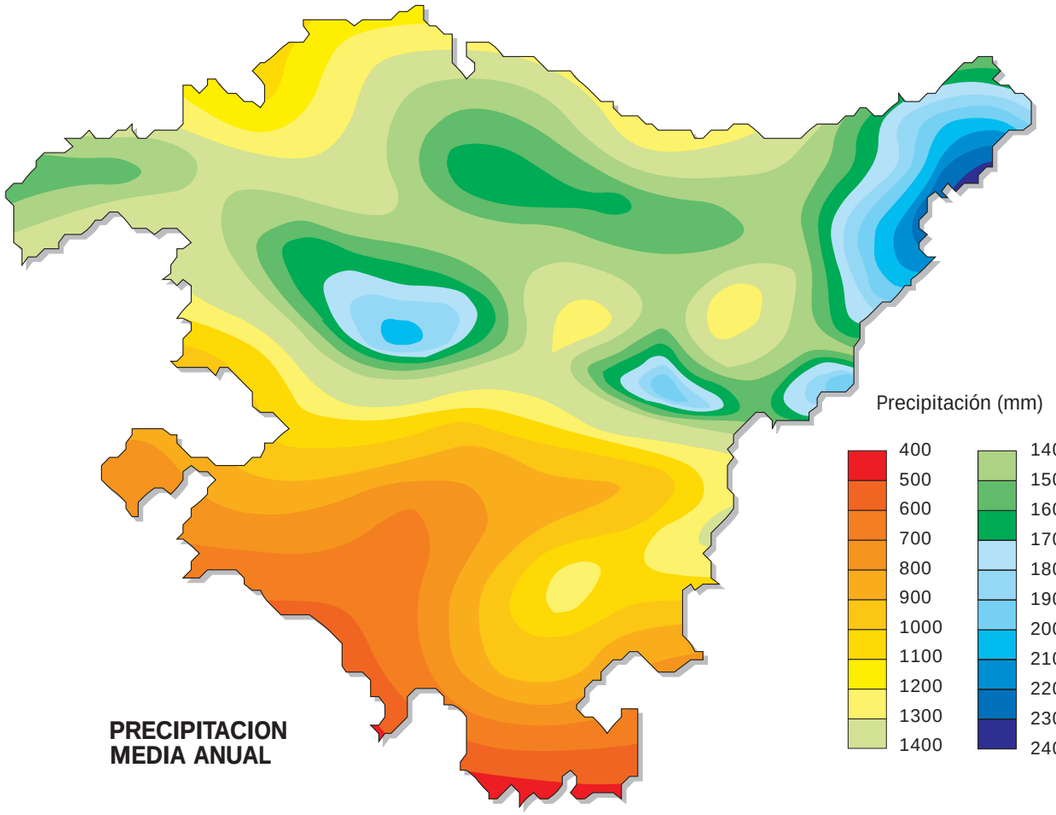
**DOMINIOS HIDROGEOLOGICOS**

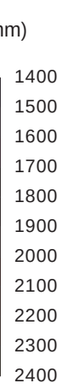
CUATERNARIO
CUENCA DEL EBRO
SINCLINAL DE URBASA-TREVIÑO
PLATAFORMA ALAVESA
SIERRA DE CANTABRIA
CADENA COSTERA
SINCLINAL DE OIZ
COMPLEJO VOLCANICO
CRETACICO SUPERIOR
ANTICLINORIO SUR
ANTICLINORIO NORTE
PALEOZOICO Y GRANITOIDES

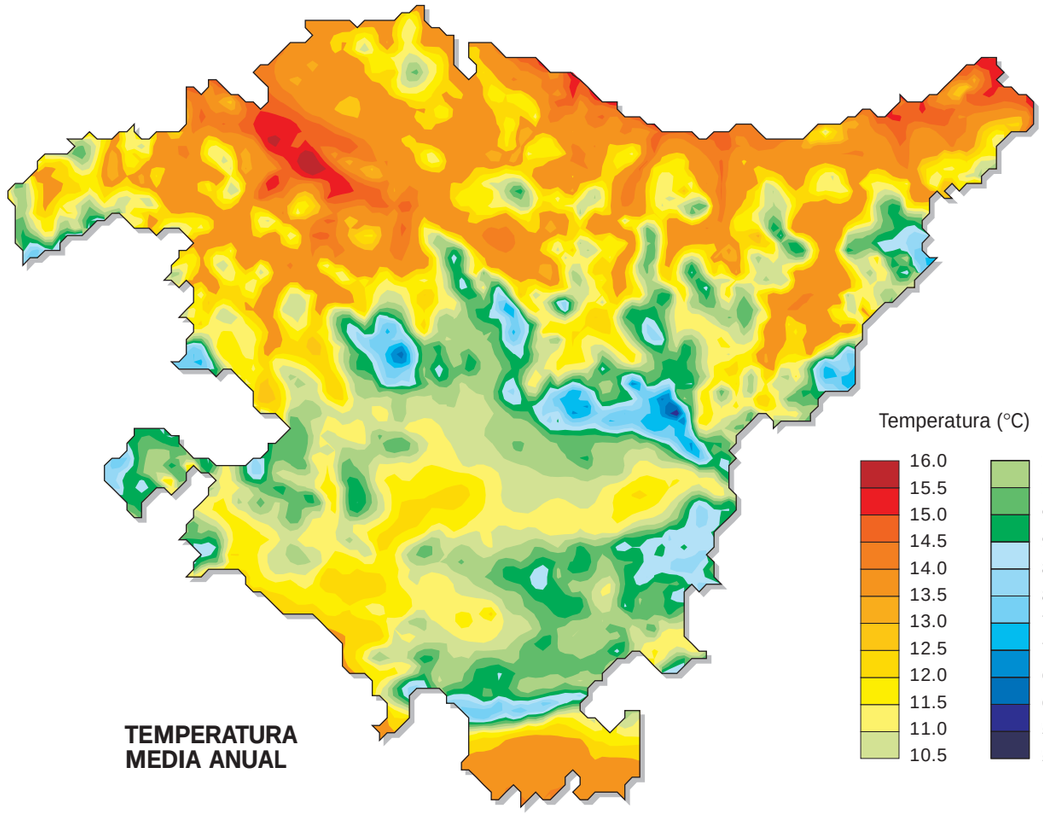
EVE

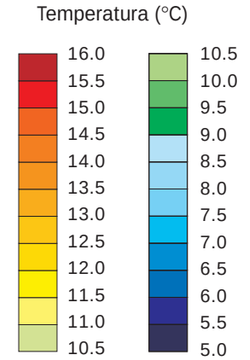
# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## MAPA DE DOMINIOS Y UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

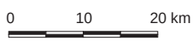


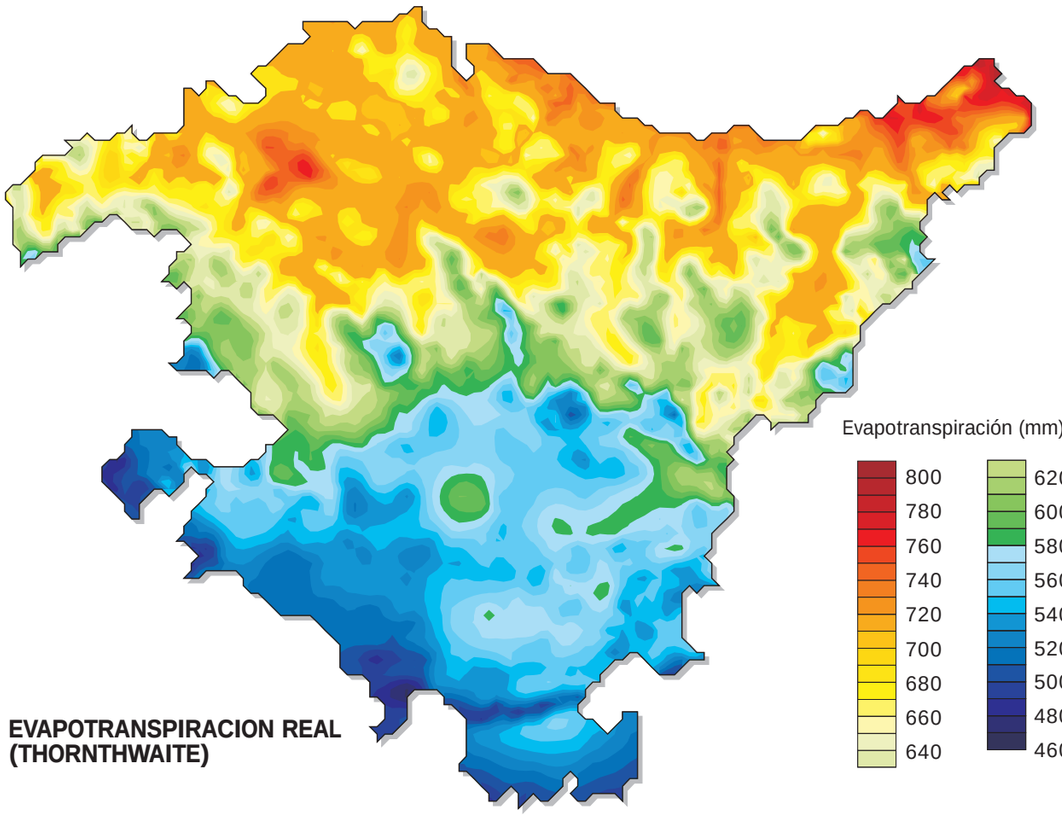



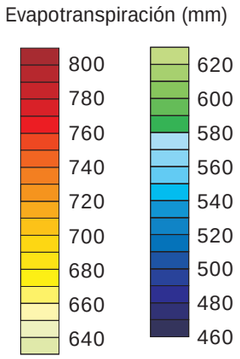



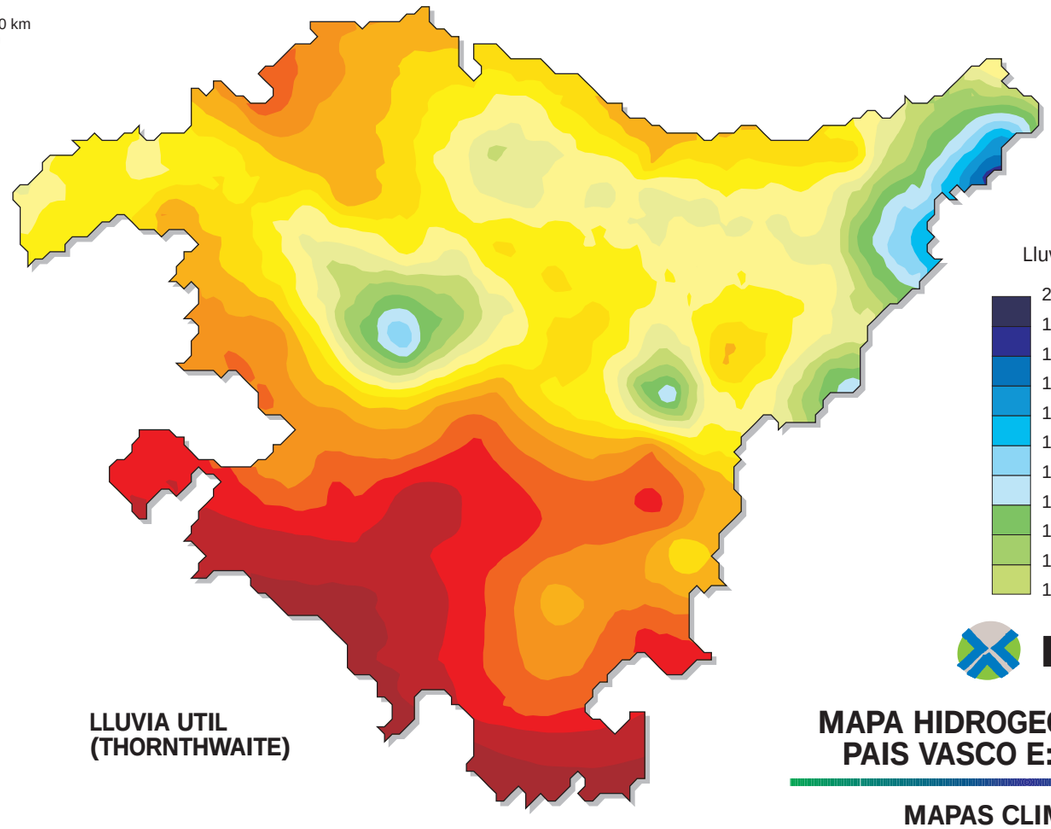



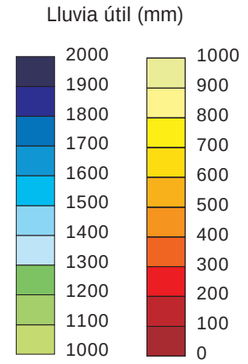



EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## MAPAS CLIMATICOS

## LEYENDA GEOLOGICA

| | | |
|---|---|---|
| 200 | Aluviales |
| 147 | Margas y calizas |
| 141 | Margas y margocalizas |
| 139 | Lutitas calcáreas |
| 116 | Margas y limolitas |
| 109 | Calizas arrecifales |
| 108 | Limolitas |
| 106 | Calizas de Sérpulas |
| 105 | Margas y margocalizas |
| 102 | Calizas bioclásticas |
| 101 | Margas y limolitas |
| 100 | Calizas |
| 99 | Margas |
| 98 | Carniolas |
| 96 | Ofitas |
| 95 | Arcillas y yesos |
| 94 | Areniscas y limolita |
| 3 | Alternancia de pizarras y grauwacas |

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Falla inversa
- Cabalgamiento
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Estratificación horizontal
- Estratificación vertical
- Dirección y buzamiento de la esquistosidad
- Anticlinal de fase I alpina
- Sinclinal de fase I alpina

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

1-Nombre
2-Profundidad
3-Nivel Estático
s-Surgente
4-Caudal

- sondeo de explotación.
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- Galería / 1 Caudal

## SUBUNIDAD UZTURRE

Superficie : 15,4 Km²
Precipitación Anual : 1.750 mm
Lluvia útil : 1.100 mm
Recursos Medios : 6,8 Hm³/año

## SUBUNIDAD ESCAMAS INFERIORES

Superficie : 3,1 Km²
Precipitación Anual : 1.986 mm
Lluvia útil : 1.300 mm
Recursos Medios : 3,7 Hm³/año

## SUBUNIDAD OTSABIO

Superficie : 12 Km²
Precipitación Anual : 1.800 mm
Lluvia útil : 1.200 mm
Recursos Medios : 7,2 Hm³/año

## SUBUNIDAD URBELTZA

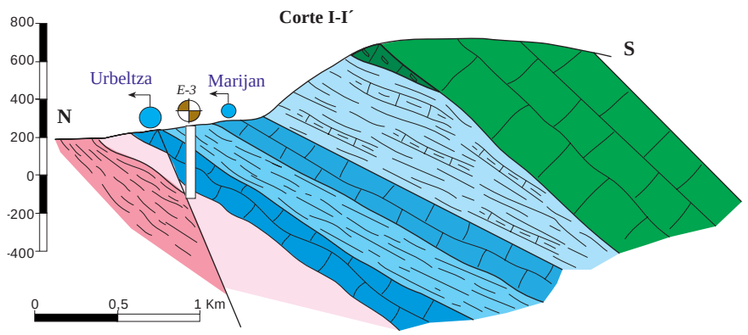
Superficie : 15,5 Km²
Precipitación Anual : 1.986 mm
Lluvia útil : 1.300 mm
Recursos Medios : 14,3 Hm³/año

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

0 1 2 3 Km

### Corte I-I´




EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA ELDUAIN

## LEYENDA GEOLOGICA

| | | |
|---|---|---|
| 200 | Aluviales |
| 141 | Margas y margocalizas |
| 121 | Areniscas y lutitas |
| 120 | Lutitas y areniscas |
| 112 | Grauvacas y limos |
| 109 | Calizas arrecifales |
| 108 | Limolitas |
| 106 | Calizas de Sérpulas |
| 101 | Margas y limolitas |
| 100 | Calizas |
| 99 | Margas |
| 98 | Carniolas |
| 97 | Rocas volcanoclásticas |
| 96 | Ofitas |
| 95 | Arcillas y yesos |
| 94 | Areniscas y limolitas |

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

sondeo de explotación. (1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal)

sondeo de reconocimiento.

piezómetro.

Galería / 1 Caudal

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Falla inversa
- Cabalgamiento
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Dirección y buzamiento de capas invertidas
- Dirección y buzamiento de la esquistosidad
- Sinclinal de fase I alpina
- Sinclinal volcado de fase I alpina
- Anticlinal post fase I alpina
- Sinclinal post fase I alpina

### SECTOR LEPASORO

Superficie : 5,8 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 920 mm
Recursos Medios : 3,3 Hm³/año

### SECTOR ALDAIA

Superficie : 5,2 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 920 mm
Recursos Medios : 2,6 Hm³/año

### SECTOR MATXINZULO

Superficie : 7,7 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 920 mm
Recursos Medios : 2,8 Hm³/año

### SECTOR BURUNTZA

Superficie : 2,7 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 920 mm
Recursos Medios : 2,1 Hm³/año

### SECTOR ADUNA

Superficie : 3,2 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 920 mm
Recursos Medios : 0,7 Hm³/año

### SECTOR ANOETA

Superficie : 3,5 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 920 mm
Recursos Medios : 1,7 Hm³/año

### SECTOR ERNIO

Superficie : 15,9 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 1.000 mm
Recursos Medios : 11,1 Hm³/año

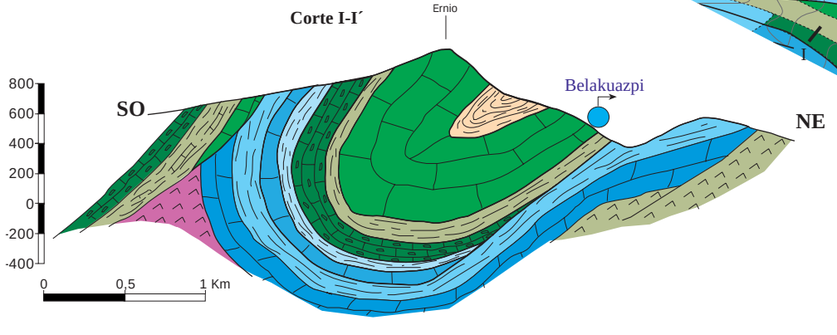
### SECTOR HERNIALDE

Superficie : 3,8 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 920 mm
Recursos Medios : 1,7 Hm³/año

### SECTOR TOLOSA

Superficie : 4,9 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 920 mm
Recursos Medios : 2,9 Hm³/año

**Corte I-I´**




## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

0 1 2 3 Km

EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA ERNIO

## LEYENDA GEOLOGICA

| | | |
|---|---|---|
| | 206 | Antropogénicos |
| | 200 | Aluviales |
| | 141 | Margas y margocalizas |
| | 120 | Lutitas y areniscas |
| | 110 | Calcarenitas bioclásticas |
| | 109 | Calizas arrecifales |
| | 108 | Limolitas |
| | 106 | Calizas de Sérpulas |
| | 105 | Margas y margocalizas |
| | 101 | Margas y limolitas |
| | 100 | Calizas |
| | 99 | Margas |
| | 98 | Carniolas |
| | 96 | Ofitas |
| | 95 | Arcillas y yesos |
| | 94 | Areniscas y limolitas |
| | 3 | Pizarras y grauvacas |

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Dirección y buzamiento de capas invertidas
- Anticlinal volcado de fase I alpina
- Sinclinal de fase I alpina

**SUBUNIDAD UGENA**

| | |
|---|---|
| Superficie : | 10 Km$^2$ |
| Precipitación Anual : | 1.500 mm |
| Lluvia útil : | 920 mm |
| Recursos Medios : | 3,4 Hm$^3$/año |

**SUBUNIDAD IGARAN-URRESTILLA**

| | |
|---|---|
| Superficie : | 13,5 Km$^2$ |
| Precipitación Anual : | 1.500 mm |
| Lluvia útil : | 920 mm |
| Recursos Medios : | 6 Hm$^3$/año |

**SUBUNIDAD ALBIZTUR**

| | |
|---|---|
| Superficie : | 18,9 Km$^2$ |
| Precipitación Anual : | 1.500 mm |
| Lluvia útil : | 920 mm |
| Recursos Medios : | 20,5 Hm$^3$/año |

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

0 1 2 3 Km

Ugena
Lavadero
Oial
Urrestilla
Río Ibaieder
Río Urrestilla
Río Errezil
Errezil
Ituribe
Aranguren
Río Albiztur
Urraki 821
Goiaz
Bidania
Igaran
Arkasin
Albiztur
Albiztur-II
Etxeberri
Salubita
Beizama
707
Santutxu
Intxurre 737
I
I'

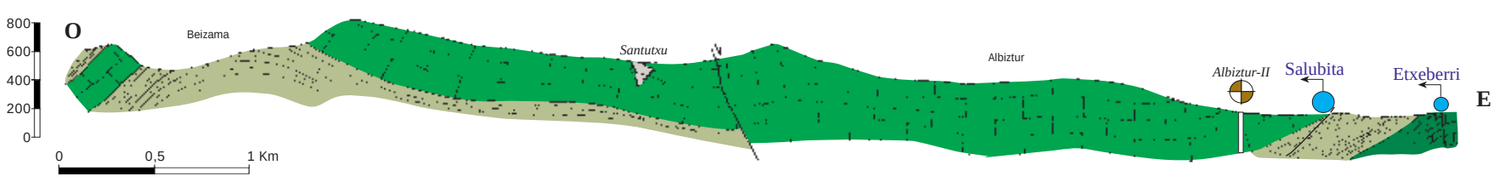
## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

- sondeo de explotación. (*1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal*)
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- Galería / 1 Caudal

**Corte I-I´**




EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA ALBIZTUR

## LEYENDA GEOLOGICA

- 200 Aluviales
- 147 Margas y calizas
- 141 Margas y margocalizas
- 123 Microconglomerados y areniscas
- 121 Areniscas y lutitas
- 120 Lutitas y areniscas
- 114 Margas
- 113 Areniscas y lutitas
- 111 Calizas margosas
- 109 Calizas arrecifales
- 108 Limolitas
- 106 Calizas de Sérpulas
- 105 Margas y margocalizas
- 101 Margas y limolitas
- 100 Calizas
- 99 Margas
- 98 Carniolas
- 96 Ofitas
- 95 Arcillas y yesos

## SIGNOS CONVENCIONALES

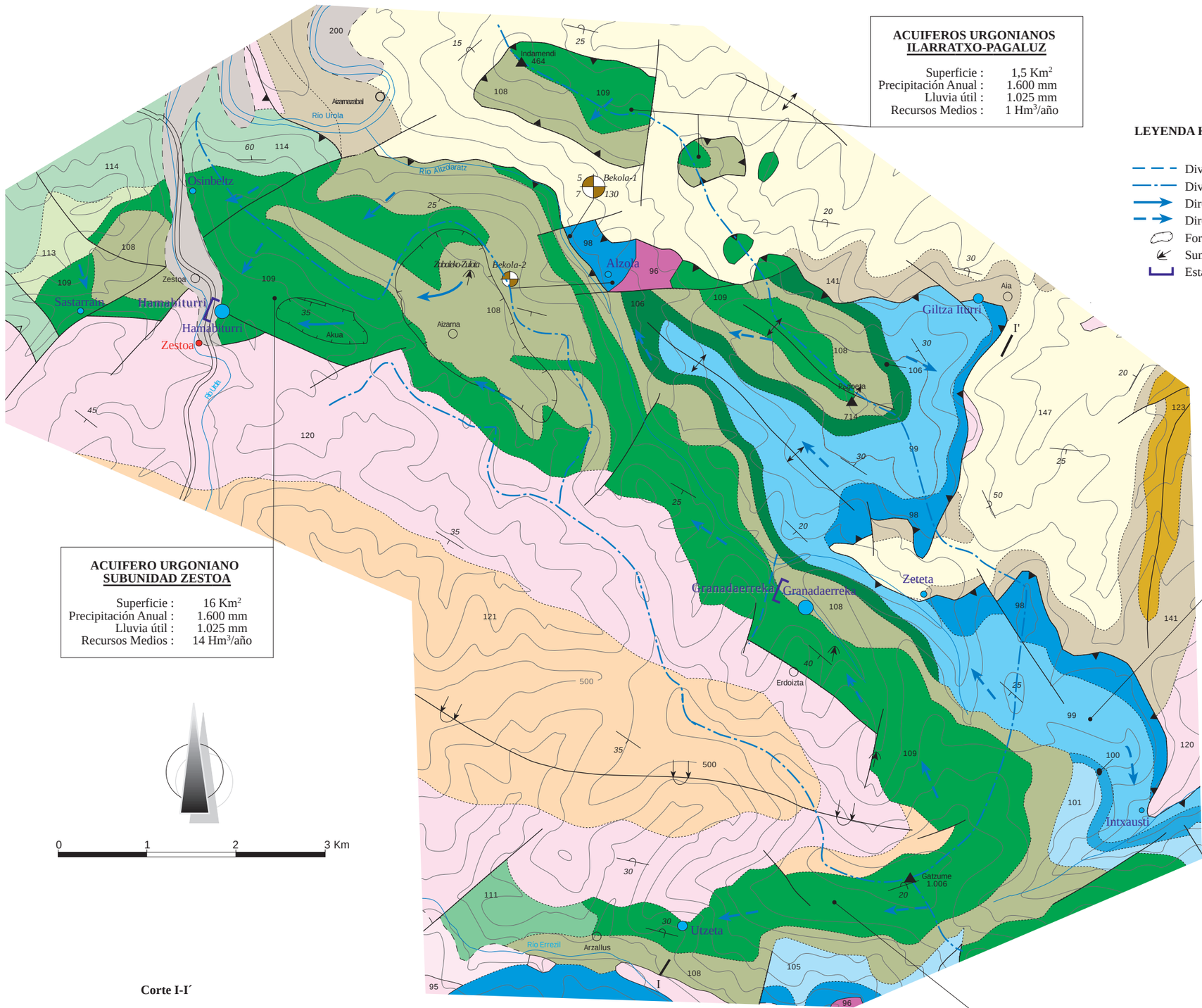
- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Cabalgamiento
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Dirección y buzamiento de capas invertidas
- Estratificación horizontal
- Estratificación vertical
- Línea de capa
- Anticlinal de fase I alpina
- Sinclinal volcado de fase I alpina

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

- sondeo de explotación. (*1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal*)
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- 1 Galería / 1 Caudal




### ACUIFEROS URGONIANOS ILARRATXO-PAGALUZ

| | |
|---|---|
| Superficie : | 1,5 Km² |
| Precipitación Anual : | 1.600 mm |
| Lluvia útil : | 1.025 mm |
| Recursos Medios : | 1 Hm³/año |

### ACUIFERO URGONIANO SUBUNIDAD ZESTOA

| | |
|---|---|
| Superficie : | 16 Km² |
| Precipitación Anual : | 1.600 mm |
| Lluvia útil : | 1.025 mm |
| Recursos Medios : | 14 Hm³/año |

### ACUIFERO JURASICO

| | |
|---|---|
| Superficie : | 10 Km² |
| Precipitación Anual : | 1.600 mm |
| Lluvia útil : | 1.025 mm |
| Recursos Medios : | 3 Hm³/año |

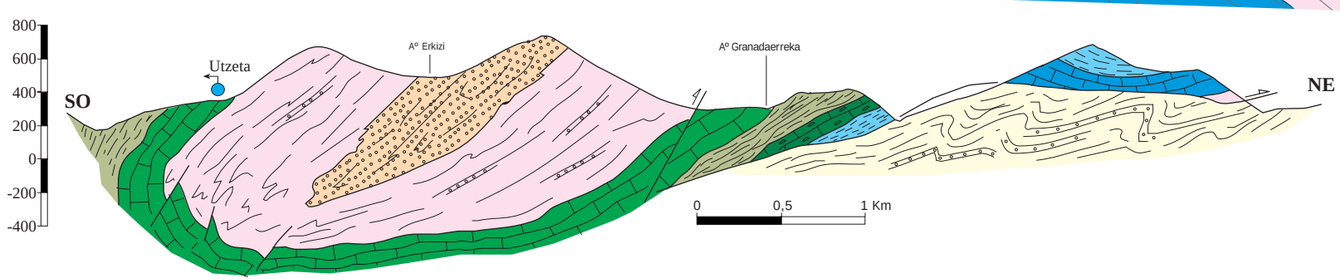
### ACUIFERO URGONIANO SUBUNIDAD GATZUME

| | |
|---|---|
| Superficie : | 9 Km² |
| Precipitación Anual : | 1.600 mm |
| Lluvia útil : | 1.025 mm |
| Recursos Medios : | 7 Hm³/año |

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

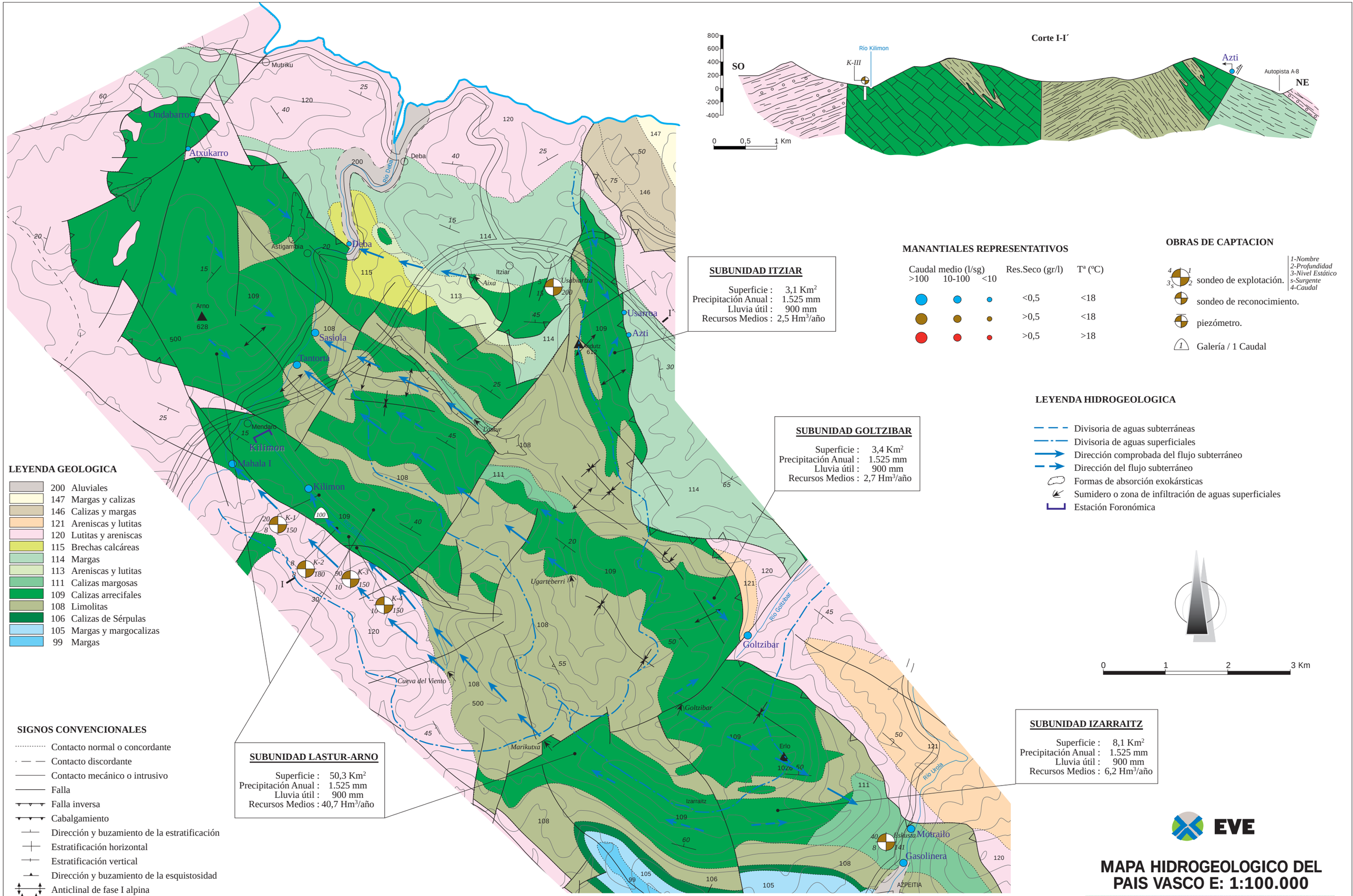
**Corte I-I´**




EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA GATZUME




## Corte I-I´




## SUBUNIDAD ITZIAR

Superficie : 3,1 Km²
Precipitación Anual : 1.525 mm
Lluvia útil : 900 mm
Recursos Medios : 2,5 Hm³/año

## SUBUNIDAD GOLTZIBAR

Superficie : 3,4 Km²
Precipitación Anual : 1.525 mm
Lluvia útil : 900 mm
Recursos Medios : 2,7 Hm³/año

## SUBUNIDAD LASTUR-ARNO

Superficie : 50,3 Km²
Precipitación Anual : 1.525 mm
Lluvia útil : 900 mm
Recursos Medios : 40,7 Hm³/año

## SUBUNIDAD IZARRAITZ

Superficie : 8,1 Km²
Precipitación Anual : 1.525 mm
Lluvia útil : 900 mm
Recursos Medios : 6,2 Hm³/año

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

1-Nombre
2-Profundidad
3-Nivel Estático
s-Surgente
4-Caudal

- sondeo de explotación.
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- Galería / 1 Caudal

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

## LEYENDA GEOLOGICA

- 200 Aluviales
- 147 Margas y calizas
- 146 Calizas y margas
- 121 Areniscas y lutitas
- 120 Lutitas y areniscas
- 115 Brechas calcáreas
- 114 Margas
- 113 Areniscas y lutitas
- 111 Calizas margosas
- 109 Calizas arrecifales
- 108 Limolitas
- 106 Calizas de Sérpulas
- 105 Margas y margocalizas
- 99 Margas

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Falla inversa
- Cabalgamiento
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Estratificación horizontal
- Estratificación vertical
- Dirección y buzamiento de la esquistosidad
- Anticlinal de fase I alpina
- Sinclinal de fase I alpina
- Anticlinal volcado de fase I alpina

EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA IZARRAITZ

## LEYENDA GEOLOGICA

- 206 Antropogénicos
- 204 Playas y dunas
- 205 Fangos estuarinos
- 201 Coluviales
- 200 Aluviales
- 124 Margas y calcarenitas
- 122 Areniscas
- 121 Areniscas y lutitas
- 120 Lutitas y areniscas
- 118 Areniscas y margas
- 116 Margas y limolitas
- 115 Brechas calcáreas
- 114 Margas
- 113 Areniscas y lutitas
- 111 Calizas margosas
- 110 Calcarenitas bioclásticas
- 109 Calizas arrecifales
- 108 Limolitas
- 107 Calizas
- 105 Margas y margocalizas
- 98 Carniolas
- 11 Ofitas
- 10 Arcillas y yesos

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Falla inversa
- Cabalgamiento
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Anticlinal de fase I alpina
- Sinclinal de fase I alpina

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

- sondeo de explotación. (1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal)
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- 1 Galería / 1 Caudal

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

**SUBUNIDAD CABO OGOÑO**

Superficie : 1 Km²
Precipitación Anual : 1.300 mm
Lluvia útil : 600 mm
Recursos Medios : 0,6 Hm³/año

**SUBUNIDAD ATXERRE**

Superficie : 10,5 Km²
Precipitación Anual : 1.400 mm
Lluvia útil : 750 mm
Recursos Medios : 8 Hm³/año

**SUBUNIDAD EREÑO-IPAZTER**

Superficie : 11,5 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 800 mm
Recursos Medios : 9,5 Hm³/año

**SUBUNIDAD ARBINA**

Superficie : 4 Km²
Precipitación Anual : 1.400 mm
Lluvia útil : 750 mm
Recursos Medios : 3 Hm³/año

**SUBUNIDAD ATXAPUNTA-PEÑA ATXONDO**

Superficie : 8 Km²
Precipitación Anual : 1.400 mm
Lluvia útil : 750 mm
Recursos Medios : 6 Hm³/año

**SUBUNIDAD EREÑOZAR**

Superficie : 14 Km²
Precipitación Anual : 1.550 mm
Lluvia útil : 850 mm
Recursos Medios : 12 Hm³/año

**SUBUNIDAD ILUNTZAR-LEKEITIO**

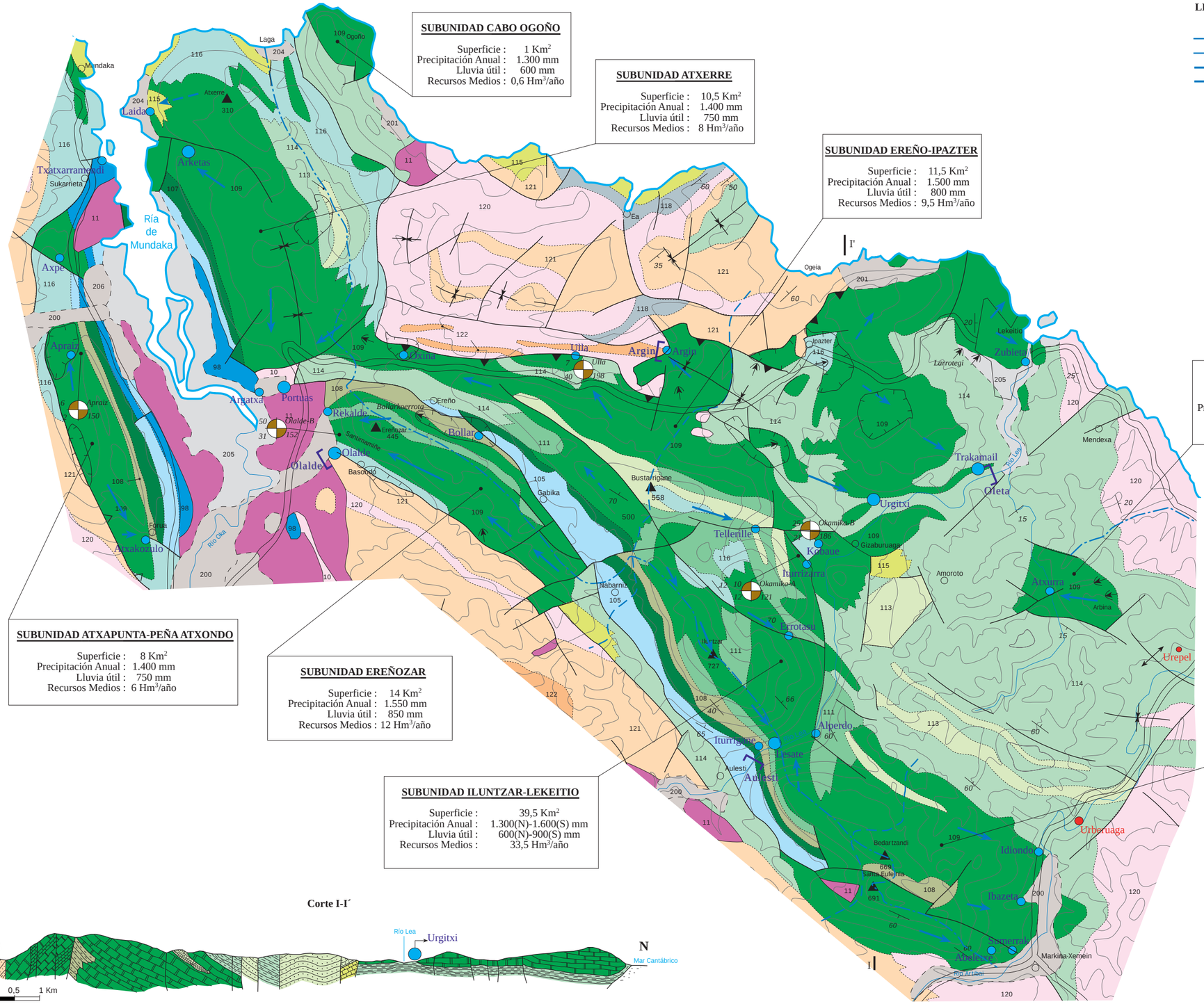
Superficie : 39,5 Km²
Precipitación Anual : 1.300(N)-1.600(S) mm
Lluvia útil : 600(N)-900(S) mm
Recursos Medios : 33,5 Hm³/año

**SUBUNIDAD BEDARTZANDI-SANTA EUFEMIA**

Superficie : 9 Km²
Precipitación Anual : 1.550 mm
Lluvia útil : 900 mm
Recursos Medios : 8 Hm³/año

**Corte I-I´**




0 1 2 3 Km

# EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA EREÑOZAR

## SUBUNIDAD ARAMOTZ-ANBOTO
## SECTOR ARAMOTZ

Superficie : 19 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 800 mm
Recursos Medios : 15 Hm³/año

## SUBUNIDAD ARAMOTZ-ANBOTO
## SECTOR ANBOTO

Superficie : 7 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 800 mm
Recursos Medios : 5 Hm³/año

## SUBUNIDAD UDALAITZ

Superficie : 8 Km²
Precipitación Anual : 1.600 mm
Lluvia útil : 850 mm
Recursos Medios : 7 Hm³/año

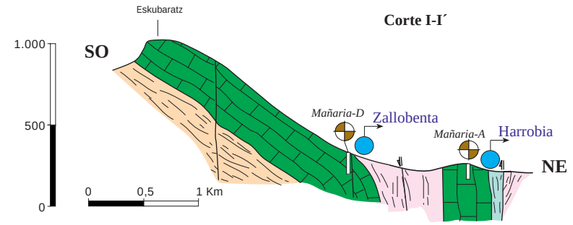
## SUBUNIDAD ILUNBE-INDUSI

Superficie : 4 Km²
Precipitación Anual : 1.400 mm
Lluvia útil : 750 mm
Recursos Medios : 2,5 Hm³/año

## SUBUNIDAD ESKUBARATZ

Superficie : 5 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 800 mm
Recursos Medios : 3,5 Hm³/año

**Corte I-I´**




**MANANTIALES REPRESENTATIVOS**

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

**OBRAS DE CAPTACION**

- sondeo de explotación. (1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal)
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- 1 Galería / 1 Caudal

**LEYENDA HIDROGEOLOGICA**

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

**LEYENDA GEOLOGICA**

| | |
|---|---|
| 201 | Coluviales |
| 200 | Aluviales |
| 134 | Lutitas y areniscas |
| 133 | Areniscas y lutitas |
| 128 | Lutitas y areniscas |
| 57 | Areniscas y lutitas |
| 56 | Lutitas |
| 55 | Lutitas y areniscas |
| 53 | Lutitas |
| 51 | Orto y parabrechas calcáreas |
| 50 | Calcarenitas |
| 49 | Calcarenitas y margocalizas |
| 47 | Margas y calcarenitas |
| 45 | Calcarenitas y calizas |
| 43 | Lutitas y areniscas |
| 40 | Calizas arrecifales |
| 38 | Areniscas de grano fino |
| 34 | Calizas negras |
| 31 | Lutitas y areniscas |

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Falla inversa
- Cabalgamiento
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Dirección y buzamiento de capas invertidas
- Estratificación vertical
- Dirección y buzamiento de la esquistosidad
- Anticlinal de fase I alpina
- Sinclinal de fase I alpina

0 1 2 3 Km

EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA ARAMOTZ

## LEYENDA GEOLOGICA

- 201 Coluviales
- 58 Areniscas, conglomerados y lutitas
- 57 Areniscas y lutitas
- 56 Lutitas
- 54 Areniscas
- 51 Orto y parabrechas calcáreas
- 50 Calcarenitas
- 49 Calcarenitas y margocalizas
- 47 Margas y calcarenitas
- 46 Areniscas y lutitas
- 45 Calcarenitas y calizas
- 43 Lutitas y areniscas
- 42 Margas y brechas calcáreas
- 41 Calizas impuras
- 40 Calizas arrecifales
- 39 Areniscas y lutitas
- 38 Areniscas de grano fino
- 31 Lutitas y areniscas

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

**SECTOR ITXINA**

Superficie : 6 Km²
Precipitación Anual : 1.900 mm
Lluvia útil : 1.300 mm
Recursos Medios : 7,8 Hm³/año

**SECTOR ARRALDE**

Superficie : 4 Km²
Precipitación Anual : 1.900 mm
Lluvia útil : 1.300 mm
Recursos Medios : 2,6 Hm³/año

**SECTOR ZUBIALDE**

Superficie : 3,2 Km²
Precipitación Anual : 1.700 mm
Lluvia útil : 1.020 mm
Recursos Medios : 2,3 Hm³/año

**SECTOR ALDAMIN**

Superficie : 5,8 Km²
Precipitación Anual : 2.000 mm
Lluvia útil : 1.370 mm
Recursos Medios : 6,7 Hm³/año

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Falla
- Dirección y buzamiento de la estratificación

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

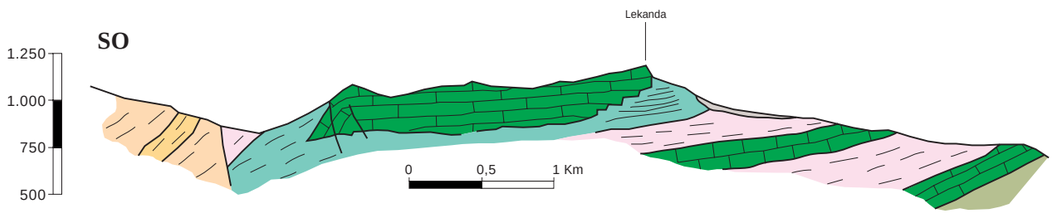
| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

- sondeo de explotación. (1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal)
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- Galería / 1 Caudal

0 1 2 3 Km

**Corte I-I´**




EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA ITXINA

## SUBUNIDAD URBALTZA

Superficie : 6 Km²
Precipitación Anual : 1.750 mm
Lluvia útil : 1.000 mm
Recursos Medios : 6 Hm³/año

## SUBUNIDAD ARANTZAZU

Superficie : 2 Km²
Precipitación Anual : 1.700 mm
Lluvia útil : 960 mm
Recursos Medios : 2 Hm³/año

## SUBUNIDAD UBAO

Superficie : 5,5 Km²
Precipitación Anual : 1.850 mm
Lluvia útil : 1.100 mm
Recursos Medios : 6 Hm³/año

## SUBUNIDAD ANARRI

Superficie : 2 Km²
Precipitación Anual : 1.800 mm
Lluvia útil : 1.050 mm
Recursos Medios : 2 Hm³/año

## SUBUNIDAD SARATXO

Superficie : 9 Km²
Precipitación Anual : 1.800 mm
Lluvia útil : 1.050 mm
Recursos Medios : 10 Hm³/año

## SUBUNIDAD JATURABE

Superficie : 27 Km²
Precipitación Anual : 1.750 mm
Lluvia útil : 1.000 mm
Recursos Medios : 16 Hm³/año

## SUBUNIDAD IRITEGI

Superficie : 16 Km²
Precipitación Anual : 1.750 mm
Lluvia útil : 1.000 mm
Recursos Medios : 12 Hm³/año

## SUBUNIDAD ARAIA

Superficie : 16 Km²
Precipitación Anual : 1.800 mm
Lluvia útil : 1.050 mm
Recursos Medios : 17 Hm³/año

## SUBUNIDAD LA LECE

Superficie : 9 Km²
Precipitación Anual : 1.300 mm
Lluvia útil : 700 mm
Recursos Medios : 6 Hm³/año

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

1-Nombre
2-Profundidad
3-Nivel Estático
s-Surgente
4-Caudal

- sondeo de explotación.
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- Galería / 1 Caudal

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

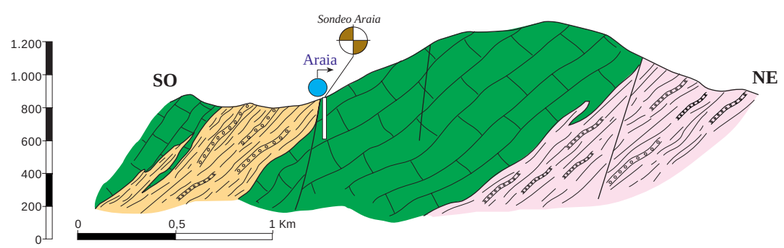
## LEYENDA GEOLOGICA

- 201 Coluviales
- 200 Aluviales
- 131 Megabrechas
- 130 Areniscas y lutitas
- 128 Lutitas y areniscas
- 95 Arcillas y yesos
- 63 Limolitas
- 62 Margocalizas
- 60 Margas y margocalizas
- 58 Areniscas, conglomerados y lutitas
- 57 Areniscas y lutitas
- 56 Lutitas
- 54 Areniscas
- 51 Orto y parabrechas calcáreas
- 47 Margas y calcarenitas
- 41 Calizas impuras
- 40 Calizas arrecifales
- 38 Areniscas de grano fino
- 31 Lutitas y areniscas

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Falla inversa
- Cabalgamiento
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Dirección y buzamiento de la esquistosidad
- Anticlinal volcado de fase I alpina
- Sinclinal de fase I alpina

**Corte I-I´**

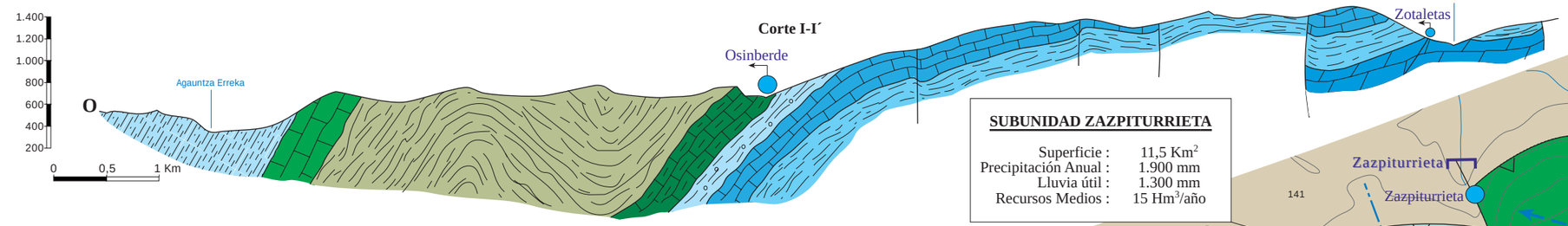



0 1 2 3 Km

EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA AIZKORRI




## LEYENDA GEOLOGICA

- 201 Coluviales
- 141 Margas y margocalizas
- 139 Lutitas calcáreas
- 138 Areniscas y lutitas
- 137 Areniscas silíceas
- 116 Margas y limolitas
- 115 Brechas calcáreas
- 109 Calizas arrecifales
- 108 Limolitas
- 107 Calizas
- 101 Margas y limolitas
- 100 Calizas
- 99 Margas
- 98 Carniolas y dolomías

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Falla inversa
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Dirección y buzamiento de capas invertidas
- Estratificación vertical
- Dirección y buzamiento de la esquistosidad
- Esquistosidad vertical
- Anticlinal de fase I alpina
- Anticlinal post fase I alpina
- Sinclinal post fase I alpina
- Bloque deslizado

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

- sondeo de explotación. (1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal)
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- 1 Galería / 1 Caudal

**SUBUNIDAD ZAZPITURRIETA**

| | |
|---|---|
| Superficie : | 11,5 Km² |
| Precipitación Anual : | 1.900 mm |
| Lluvia útil : | 1.300 mm |
| Recursos Medios : | 15 Hm³/año |

**SUBUNIDAD OSINBELTZ**

| | |
|---|---|
| Superficie : | 2 Km² |
| Precipitación Anual : | 1.600 mm |
| Lluvia útil : | 1.000 mm |
| Recursos Medios : | 2 Hm³/año |

**SUBUNIDAD BEATZA**

| | |
|---|---|
| Superficie : | 1,8 Km² |
| Precipitación Anual : | 1.600 mm |
| Lluvia útil : | 1.100 mm |
| Recursos Medios : | 2 Hm³/año |

**SUBUNIDAD OSINBERDE**

| | |
|---|---|
| Superficie : | 16,5 Km² |
| Precipitación Anual : | 1.900 mm |
| Lluvia útil : | 1.300 mm |
| Recursos Medios : | 21,4 Hm³/año |

**SUBUNIDAD AIAITURRIETA**

| | |
|---|---|
| Superficie : | 10,4 Km² |
| Precipitación Anual : | 1.600 mm |
| Lluvia útil : | 1.000 mm |
| Recursos Medios : | 8,9 Hm³/año |

**SUBUNIDAD URZULOA**

| | |
|---|---|
| Superficie : | 2,2 Km² |
| Precipitación Anual : | 1.600 mm |
| Lluvia útil : | 1.100 mm |
| Recursos Medios : | 2,4 Hm³/año |

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA ARALAR

## LEYENDA GEOLOGICA

- 201 Coluviales
- 200 Aluviales
- 161 Calizas micríticas
- 160 Lutitas y margas
- 159 Areniscas y microconglomerados
- 158 Areniscas
- 157 Calizas arenosas y lutitas
- 149 Margocalizas y margas grises
- 148 Margas
- 147 Margas y calizas
- 143 Coladas volcánicas
- 141 Margas y margocalizas
- 133 Areniscas y lutitas

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Falla
- Falla inversa
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Anticlinal de fase I alpina
- Sinclinal de fase I alpina

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

1-Nombre
2-Profundidad
3-Nivel Estático
s-Surgente
4-Caudal

- sondeo de explotación.
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- Galería / 1 Caudal

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

### SUBUNIDAD IBARRURI

Superficie : 9,5 Km²
Precipitación Anual : 1.600 mm
Lluvia útil : 960 mm
Recursos Medios : 5,8 Hm³/año

### SUBUNIDAD ETXANO

Superficie : 11 Km²
Precipitación Anual : 1.500 mm
Lluvia útil : 900 mm
Recursos Medios : 3 Hm³/año

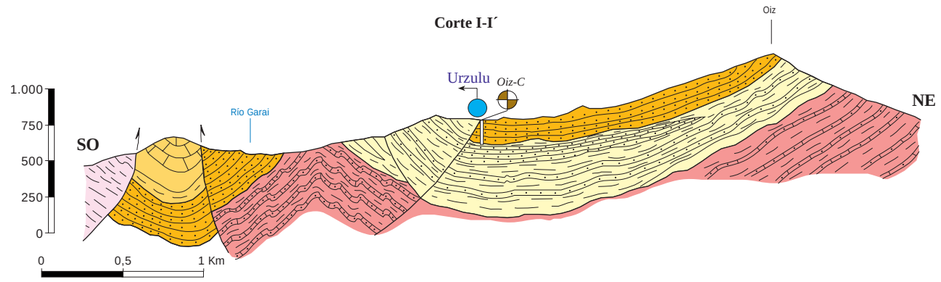
### SUBUNIDAD OIZETXEBARRIETA

Superficie : 6,5 Km²
Precipitación Anual : 1.600 mm
Lluvia útil : 960 mm
Recursos Medios : 4,7 Hm³/año

### SUBUNIDAD ARRIA

Superficie : 4,7 Km²
Precipitación Anual : 1.600 mm
Lluvia útil : 960 mm
Recursos Medios : 2,6 Hm³/año

**Corte I-I´**




0 1 2 3 Km

EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA OIZ

## LEYENDA GEOLOGICA

- 204 Playas y dunas.
- 200 Aluviales
- 158 Areniscas
- 157 Calizas arenosas, areniscas y lutitas
- 156 Margas y margocalizas
- 152 Margocalizas
- 147 Margas y calizas

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Dirección y buzamiento de la estratificación

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

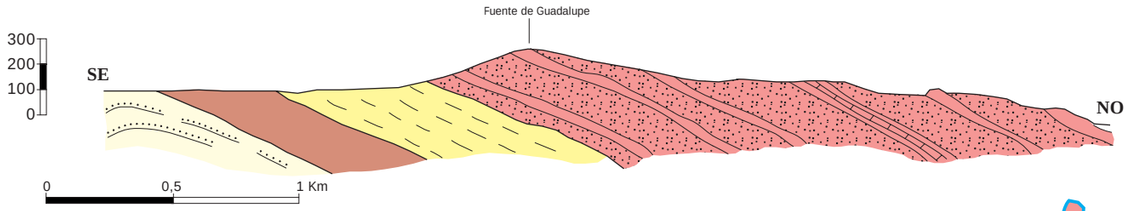
## OBRAS DE CAPTACION

- sondeo de explotación. (*1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal*)
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- 1 Galería / 1 Caudal

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

### Corte I-I´




**SECTOR NORTE**

Superficie : 20 Km²
Precipitación Anual : 1.700 mm
Lluvia útil : 970 mm
Recursos Medios : 10,6 Hm³/año

**SECTOR SUR**

Superficie : 6 Km²
Precipitación Anual : 1.700 mm
Lluvia útil : 970 mm
Recursos Medios : 3,2 Hm³/año

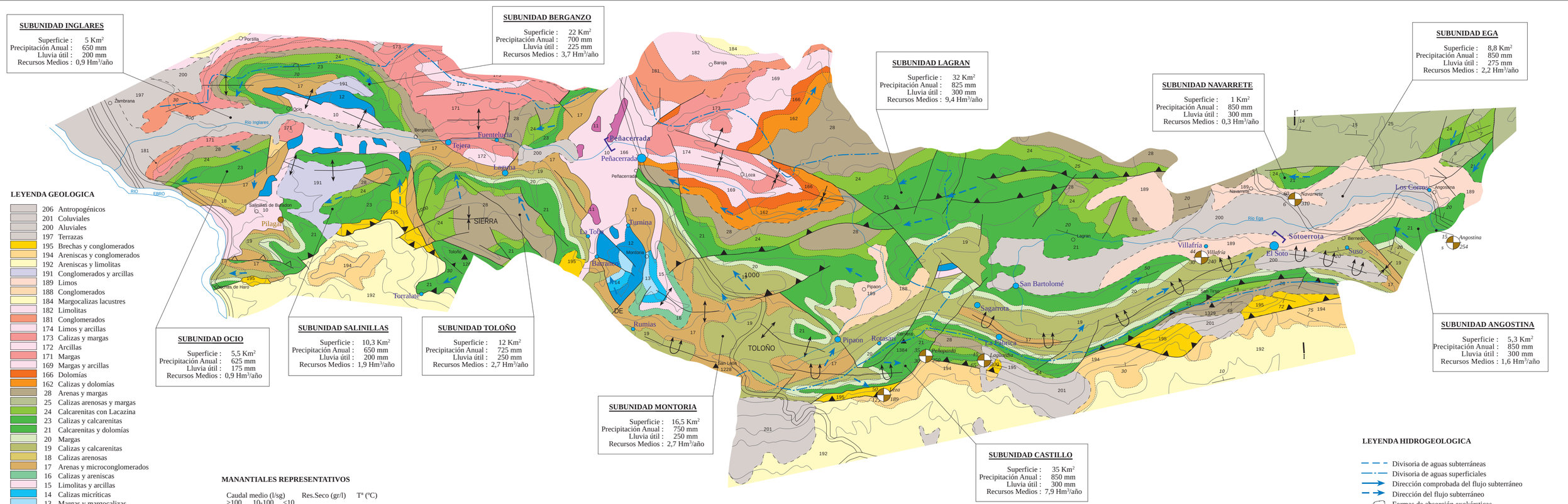
Artzu
Jaizkibel-1
Errota
Justiz
Jaizkibel-4
Jaizkibel-2
Jaizkibel-3
I´
I
204
Hondarribia
147
157
158
156
152
200
Goikoerrota
Esteutz
Manantial Monatxo
Jaizkibel
546
Lete
Mar Cantábrico
Galería Monatxo
Galería Pasaia
Bustinzulo
Lezo
Pasaia
Río Oiartzun
17
25
20
500
50
24
55
30

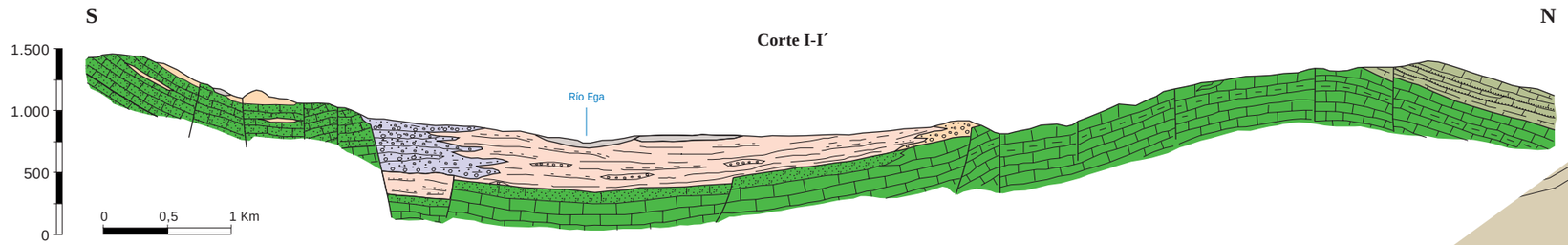
0 1 2 3 Km

EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA JAIZKIBEL


SUBUNIDAD INGLARES
Superficie : 5 Km2
Precipitación Anual : 650 mm
Lluvia útil : 200 mm
Recursos Medios : 0,9 Hm3/año
SUBUNIDAD BERGANZO
Superficie : 22 Km2
Precipitación Anual : 700 mm
Lluvia útil : 225 mm
Recursos Medios : 3,7 Hm3/año
SUBUNIDAD LAGRAN
Superficie : 32 Km2
Precipitación Anual : 825 mm
Lluvia útil : 300 mm
Recursos Medios : 9,4 Hm3/año
SUBUNIDAD NAVARRETE
Superficie : 1 Km2
Precipitación Anual : 850 mm
Lluvia útil : 300 mm
Recursos Medios : 0,3 Hm3/año
SUBUNIDAD EGA
Superficie : 8,8 Km2
Precipitación Anual : 850 mm
Lluvia útil : 275 mm
Recursos Medios : 2,2 Hm3/año
SUBUNIDAD OCIO
Superficie : 5,5 Km2
Precipitación Anual : 625 mm
Lluvia útil : 175 mm
Recursos Medios : 0,9 Hm3/año
SUBUNIDAD SALINILLAS
Superficie : 10,3 Km2
Precipitación Anual : 650 mm
Lluvia útil : 200 mm
Recursos Medios : 1,9 Hm3/año
SUBUNIDAD TOLOÑO
Superficie : 12 Km2
Precipitación Anual : 725 mm
Lluvia útil : 250 mm
Recursos Medios : 2,7 Hm3/año
SUBUNIDAD MONTORIA
Superficie : 16,5 Km2
Precipitación Anual : 750 mm
Lluvia útil : 250 mm
Recursos Medios : 2,7 Hm3/año
SUBUNIDAD CASTILLO
Superficie : 35 Km2
Precipitación Anual : 850 mm
Lluvia útil : 300 mm
Recursos Medios : 7,9 Hm3/año
SUBUNIDAD ANGOSTINA
Superficie : 5,3 Km2
Precipitación Anual : 850 mm
Lluvia útil : 300 mm
Recursos Medios : 1,6 Hm3/año
Portilla
Zambrana
Ocio
Rio Inglares
Berganzo
Tejera
Fuentelluña
Laguna
Peñacerrada
Baroja
Loza
Turruna
La Tobera
Montoria
Barahona
Rumias
Pipaon
Rotsaro
Pipaon
Sagarrota
San Bartolomé
La Puebla
Villafría
El Soto
Sotoerrota
Los Corros
Angostina
Navarrete
Lagran
Rio Ega
Pilagan
Salinillas de Buradon
Forralate
Toloño
Peñacerrada
Montoria
Pipaon
Perkaundi
Lagiordia
Loza
San Vicente
Bernedo
SUSO
SIERRA
TOLOÑO
DE
1000
1329
1220
1384
1000
LEYENDA GEOLOGICA
206 Antropogénicos
201 Coluviales
200 Aluviales
197 Terrazas
195 Brechas y conglomerados
194 Areniscas y conglomerados
192 Areniscas y limolitas
191 Conglomerados y arcillas
189 Limos
188 Conglomerados
184 Margocalizas lacustres
182 Limolitas
181 Conglomerados
174 Limos y arcillas
173 Calizas y margas
172 Arcillas
171 Margas
169 Margas y arcillas
166 Dolomías
162 Calizas y dolomías
28 Arenas y margas
25 Calizas arenosas y margas
24 Calcarenitas con Lacazina
23 Calizas y calcarenitas
21 Calcarenitas y dolomías
20 Margas
19 Calizas y calcarenitas
18 Calizas arenosas
17 Arenas y microconglomerados
16 Calizas y areniscas
15 Limolitas y arcillas
14 Calizas micríticas
13 Margas y margocalizas
12 Carniolas
11 Ofitas
10 Arcillas y yesos
MANANTIALES REPRESENTATIVOS
Caudal medio (l/sg) >100 10-100 <10
Res.Seco (gr/l)
Tª (ºC)
<0,5 <18
>0,5 <18
>0,5 >18
OBRAS DE CAPTACION
sondeo de explotación.
1-Nombre
2-Profundidad
3-Nivel Estático
s-Surgente
4-Caudal
sondeo de reconocimiento.
piezómetro.
Galería / 1 Caudal
SIGNOS CONVENCIONALES
Contacto normal o concordante
Contacto discordante
Contacto mecánico o intrusivo
Falla
Falla inversa
Cabalgamiento
Dirección y buzamiento de la estratificación
Dirección y buzamiento de capas invertidas
Dirección y buzamiento de la esquistosidad
Anticlinal de fase I alpina
Anticlinal volcado de fase I alpina
Sinclinal de fase I alpina
Corte I-I´
N
S
Sondeo Navarrete
Rio Ega
El Soto
1250
1000
750
500
250
0
0 0,5 1 Km
0 1 2 3 Km
LEYENDA HIDROGEOLOGICA
Divisoria de aguas subterráneas
Divisoria de aguas superficiales
Dirección comprobada del flujo subterráneo
Dirección del flujo subterráneo
Formas de absorción exokársticas
Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
Estación Foronómica
EVE
MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000
UNIDAD HIDROGEOLOGICA SIERRA DE CANTABRIA




## LEYENDA GEOLOGICA

- 201 Coluviales
- 200 Aluviales
- 197 Terrazas
- 191 Conglomerados y arcillas
- 190 Conglomerados
- 189 Limos
- 188 Conglomerados
- 26 Margas y margocalizas
- 25 Calizas arenosas y margas
- 24 Calcarenitas con Lacazina
- 22 Calcarenitas
- 21 Calcarenitas y dolomías
- 20 Margas

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Falla
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Anticlinal post fase I alpina
- Sinclinal post fase I alpina

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

- sondeo de explotación. (*1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal*)
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- Galería / 1 Caudal

0 1 2 3 Km

VALLE DE ARANA
Fuente Orbiso
Orbiso
Orbiso-1
Orbiso-2
Río Isiora
Río Rosario
Río Ega
Antoñana
Bujanda
Santa Cruz de Campezo
Fuente Santa Cruz
Castañal
Hornillo
996
Yoar
1416
Oteo

**UNIDAD CAMPEZO**

| | |
|---|---|
| Superficie : | 38 Km² |
| Precipitación Anual : | 750 mm |
| Lluvia útil : | 350 mm |
| Recursos Medios : | 10 Hm³/año |

EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA CAMPEZO

## LEYENDA GEOLOGICA

| | | |
|---|---|---|
| 201 | Coluviales |
| 200 | Aluviales |
| 198 | Abanicos aluviales |
| 197 | Terrazas |
| 75 | Margas y calizas |
| 74 | Margocalizas y margas |
| 73 | Calizas y margas |
| 72 | Calizas |
| 70 | Calizas y margas |
| 69 | Margocalizas y margas |
| 68 | Margas y calizas arcillosas |
| 66 | Calizas y margocalizas |
| 65 | Calcarenitas |
| 64 | Margocalizas y margas |
| 63 | Limolitas |
| 62 | Margocalizas |
| 57 | Areniscas y lutitas |
| 56 | Lutitas |
| 40 | Calizas arrecifales |
| 29 | Carniolas |
| 11 | Ofitas |
| 10 | Arcillas y yesos |

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Dirección y buzamiento de capas invertidas
- Estratificación horizontal
- Estratificación vertical
- Anticlinal de fase I alpina
- Sinclinal de fase I alpina
- Anticlinal post fase I alpina
- Sinclinal post fase I alpina

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

**SUBUNIDAD ABECIA**

Superficie : 15 Km2
Precipitación Anual : 900 mm
Lluvia útil : 450 mm
Recursos Medios : 6,4 Hm3/año

**SUBUNIDAD OSMA**

Superficie : 24 Km$^2$
Precipitación Anual : 900 mm
Lluvia útil : 450 mm
Recursos Medios : 10,3 Hm$^3$/año

**SUBUNIDAD HUETOS-APODAKA**

Superficie : 65 Km$^2$
Precipitación Anual : 900 mm
Lluvia útil : 450 mm
Recursos Medios : 27,7 Hm$^3$/año

**SUBUNIDAD SUBIJANA**

Superficie : 32 Km$^2$
Precipitación Anual : 900 mm
Lluvia útil : 450 mm
Recursos Medios : 13,6 Hm$^3$/año

**SUBUNIDAD NANCLARES**

Superficie : 34 Km$^2$
Precipitación Anual : 900 mm
Lluvia útil : 450 mm
Recursos Medios : 14,5 Hm$^3$/año

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

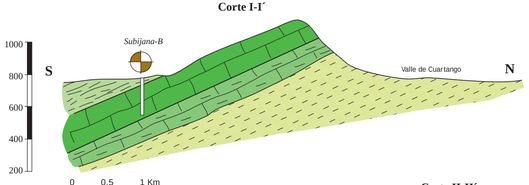
- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subteráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica
- Surgencia temporal

## OBRAS DE CAPTACION

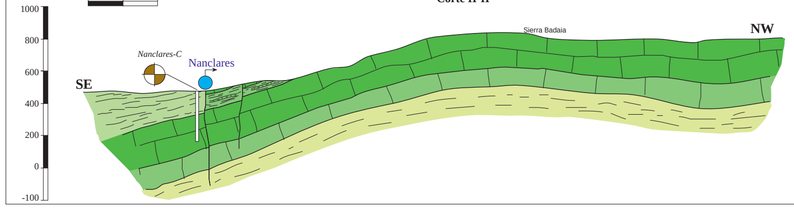
1-Nombre
2-Profundidad
3-Nivel Estático
s-Surgente
4-Caudal

- sondeo de explotación.
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- Galería / 1 Caudal

## Corte I-I´




## Corte II-II´




**EVE**

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA SUBIJANA

## LEYENDA GEOLOGICA

- 200 Aluviales
- 197 Terrazas
- 187 Margas
- 183 Areniscas y limolitas
- 182 Limolitas
- 181 Conglomerados
- 180 Calizas y dolomías
- 164 Areniscas y calcarenitas
- 87 Areniscas y microconglomerados
- 86 Margas
- 77 Calcarenitas con Lacazinas
- 75 Margas y calizas
- 71 Dolomías y calizas
- 68 Margas y calizas arcillosas
- 61 Calizas bioclásticas
- 37 Areniscas y microconglomerados
- 36 Areniscas
- 35 Areniscas y conglomerados
- 29 Carniolas

## SIGNOS CONVENCIONALES

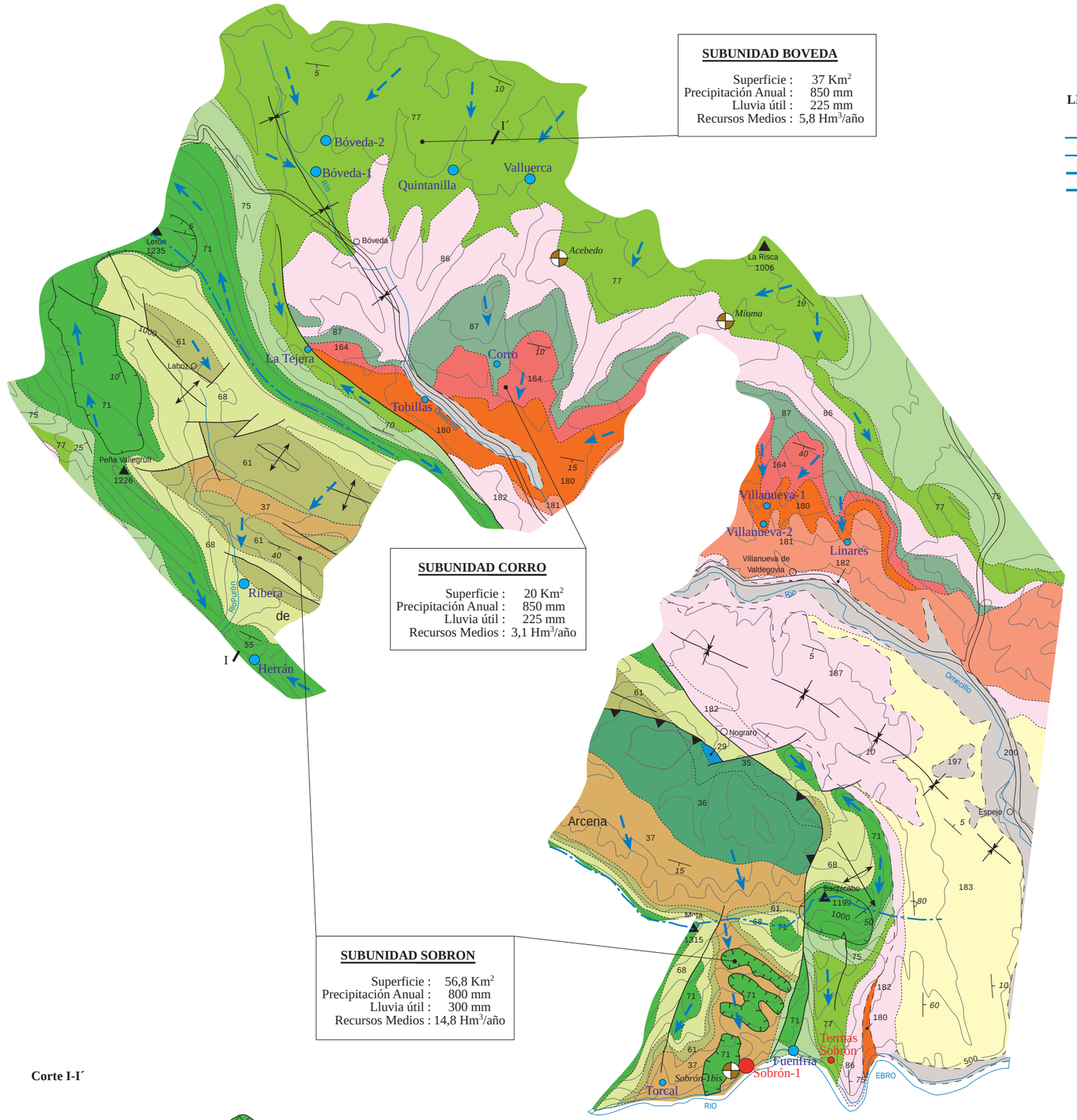
- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Falla
- Cabalgamiento
- Anticlinal de fase I alpina
- Sinclinal de fase I alpina
- Bloque deslizado
- Dirección y buzamiento de capas invertidas
- Estratificación vertical

## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

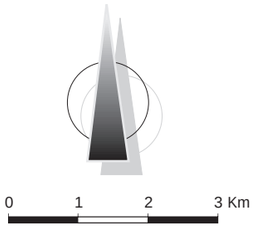
## OBRAS DE CAPTACION

- sondeo de explotación. (1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal)
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- 1 Galería / 1 Caudal

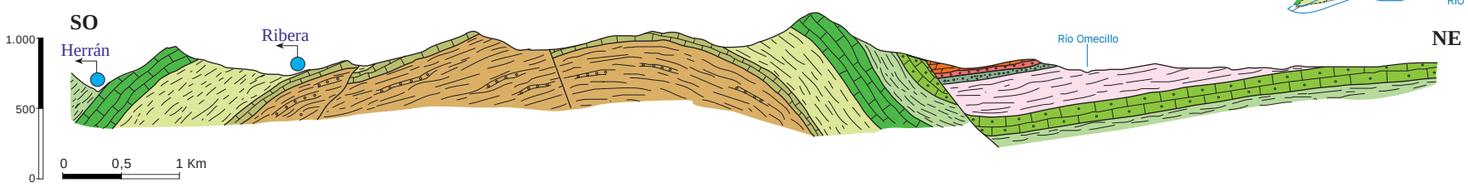



## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica




**Corte I-I´**




EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA VALDEGOBIA

## LEYENDA GEOLOGICA

| | | |
|---|---|---|
| | 206 | Antropogénicos |
| | 201 | Coluviales |
| | 200 | Aluviales |
| | 199 | Coluviales antiguos |
| | 198 | Abanicos aluviales |
| | 197 | Terrazas |
| | 186 | Conglomerados y areniscas |
| | 184 | Margocalizas lacustres |
| | 183 | Areniscas y limolitas |
| | 182 | Limolitas |
| | 181 | Conglomerados |
| | 179 | Conglomerados y calcarenitas |
| | 178 | Calizas y dolomías |
| | 177 | Conglomerados |
| | 176 | Margocalizas y margas |
| | 175 | Calcarenitas y calizas |
| | 170 | Arenas y dolomías |
| | 168 | Calcarenitas y margas |
| | 167 | Calcarenitas |
| | 166 | Dolomías |
| | 165 | Conglomerados y brechas |
| | 164 | Areniscas y calcarenitas |
| | 163 | Areniscas y conglomerados |
| | 162 | Calizas y dolomías |
| | 85 | Calizas arenosas |
| | 84 | Margas y limolitas |
| | 79 | Margas |
| | 27 | Arenas y areniscas calcáreas |
| | 26 | Margas y margocalizas |
| | 25 | Calizas arenosas y margas |
| | 10 | Arcillas y yesos |
| | 9 | Calizas y dolomías |

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Estratificación horizontal
- Estratificación vertical
- Anticlinal de fase I alpina
- Sinclinal de fase I alpina
- Sinclinal post fase I alpina

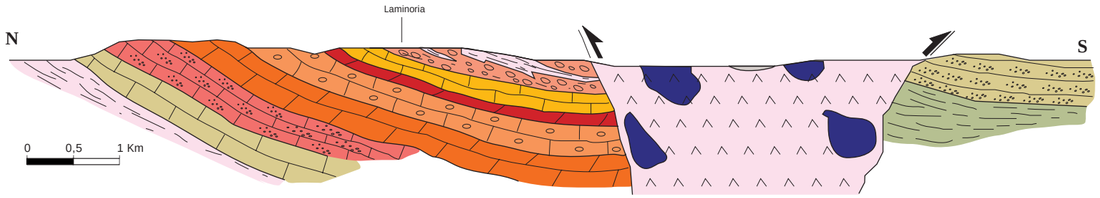
## MANANTIALES REPRESENTATIVOS

| Caudal medio (l/sg) >100 | 10-100 | <10 | Res.Seco (gr/l) | Tª (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| ● | ● | ● | <0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0,5 | >18 |

## OBRAS DE CAPTACION

- sondeo de explotación. (1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal)
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- 1 Galería / 1 Caudal

### Corte I-I´




### SUBUNIDAD KAPILDUI

Superficie : 81,4 Km²
Precipitación Anual : 1.000 mm
Lluvia útil : 450 mm
Recursos Medios : 29,4 Hm³/año

### SUBUNIDAD MONTES DE VITORIA

Superficie : 25,9 Km²
Precipitación Anual : 875 mm
Lluvia útil : 300 mm
Recursos Medios : 4,5 Hm³/año

### SUBUNIDAD LEGAIRE

Superficie : 25 Km²
Precipitación Anual : 1.200 mm
Lluvia útil : 600 mm
Recursos Medios : 14,5 Hm³/año

### SUBUNIDAD IZKIZ

Superficie : 60,1 Km²
Precipitación Anual : 925 mm
Lluvia útil : 350 mm
Recursos Medios : 11,1 Hm³/año

### SUBUNIDAD IGOROIN

Superficie : 78,7 Km²
Precipitación Anual : 975 mm
Lluvia útil : 450 mm
Recursos Medios : 26,4 Hm³/año

### SUBUNIDAD ITURRIETA

Superficie : 26,8 Km²
Precipitación Anual : 1.125 mm
Lluvia útil : 550 mm
Recursos Medios : 14 Hm³/año

### SUBUNIDAD KORRES

Superficie : 8,8 Km²
Precipitación Anual : 975 mm
Lluvia útil : 450 mm
Recursos Medios : 3,4 Hm³/año

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Formas de absorción exokársticas
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica

0 1 2 3 Km

EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA URBASA

## LEYENDA GEOLOGICA

- 206 Antropogénicos
- 201 Coluviales
- 200 Aluviales
- 198 Abanicos aluviales
- 197 Terrazas
- 84 Margas y limolitas
- 83 Calizas nodulosas y margas
- 82 Calcarenitas
- 81 Calcarenitas y margas
- 80 Margas arenosas
- 79 Margas
- 78 Margas y margocalizas
- 76 Margas y margocalizas
- 75 Margas y calizas
- 74 Margocalizas y margas
- 73 Calizas y margas
- 72 Calizas

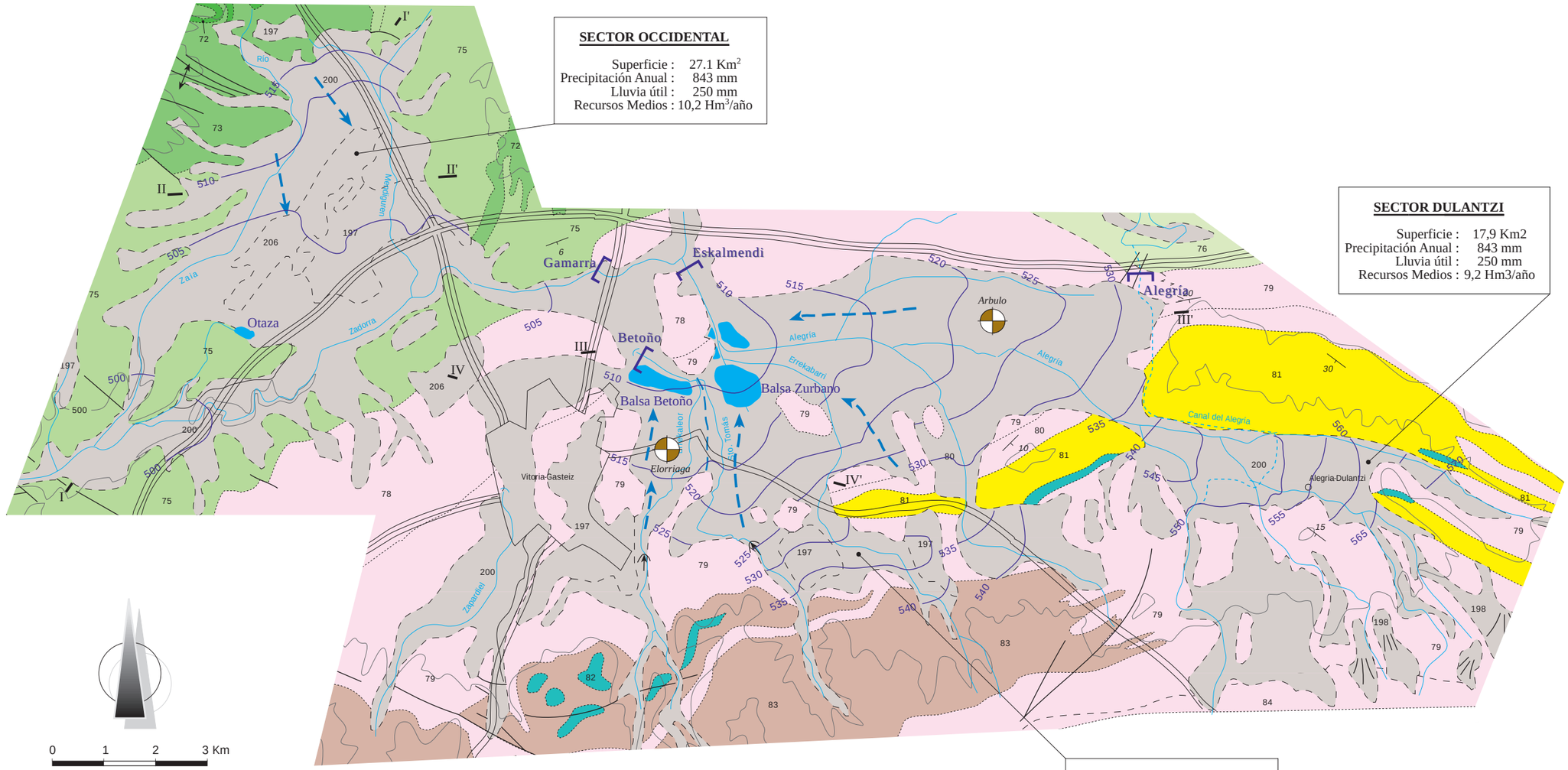
## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Dirección y buzamiento de la estratificación
- Anticlinal de fase I alpina

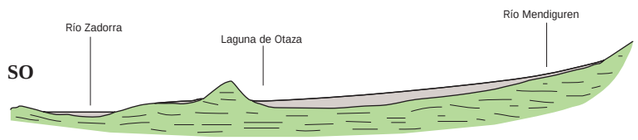
## OBRAS DE CAPTACION

*1-Nombre 2-Profundidad 3-Nivel Estático s-Surgente 4-Caudal*

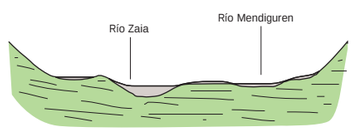
- sondeo de explotación.
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- Galería / 1 Caudal
- Grupo de pozos




### Corte I-I´



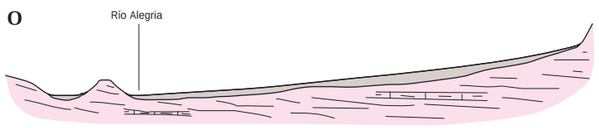

### Corte II-II´



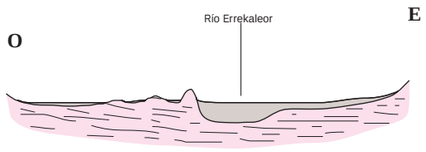

10 m

1 km

### Corte III-III´




### Corte IV-IV´



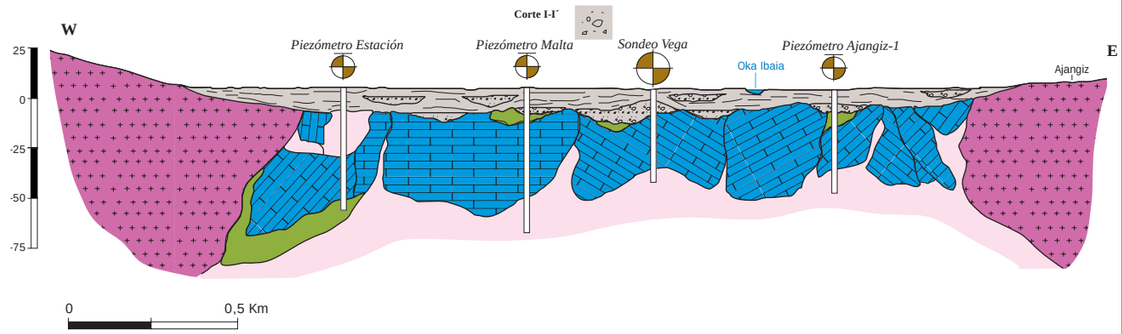

## LEYENDA HIDROGEOLOGICA

- Divisoria de aguas subterráneas
- Divisoria de aguas superficiales
- Dirección comprobada del flujo subterráneo
- Dirección del flujo subterráneo
- Sumidero o zona de infiltración de aguas superficiales
- Estación Foronómica
- Isopiezas
- Humedales

EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA VITORIA




## LEYENDA GEOLOGICA

| | | |
|---|---|---|
| | 200 | Aluviales |
| | 147 | Margas y calizas |
| | 143 | Coladas volcánicas |
| | 141 | Margas y margocalizas |
| | 98 | Carniolas y margas |
| | 11 | Ofitas |
| | 10 | Arcillas y yesos |
| | -- | Brecha indiferenciada |

## SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto normal o concordante
- Contacto discordante
- Contacto mecánico o intrusivo
- Falla
- Dirección y buzamiento de la estratificación

## OBRAS DE CAPTACION

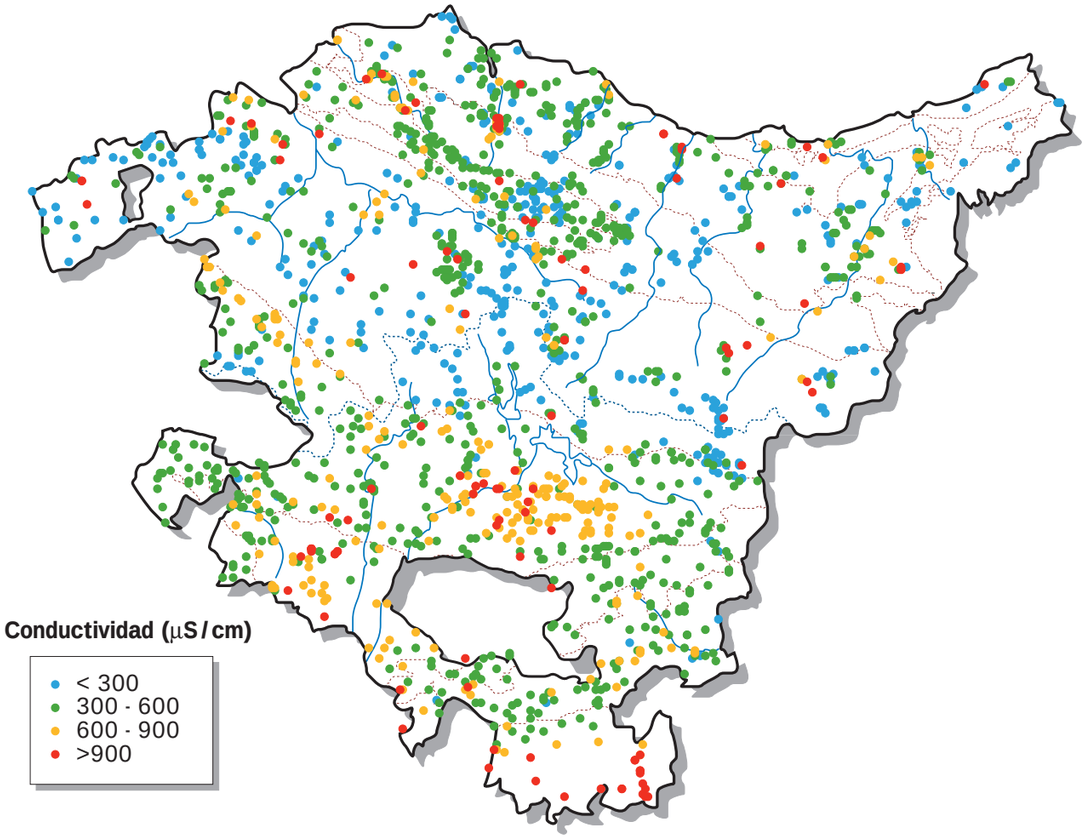
- sondeo de explotación. (*1-Nombre, 2-Profundidad, 3-Nivel Estático, s-Surgente, 4-Caudal*)
- sondeo de reconocimiento.
- piezómetro.
- Galería / 1 Caudal

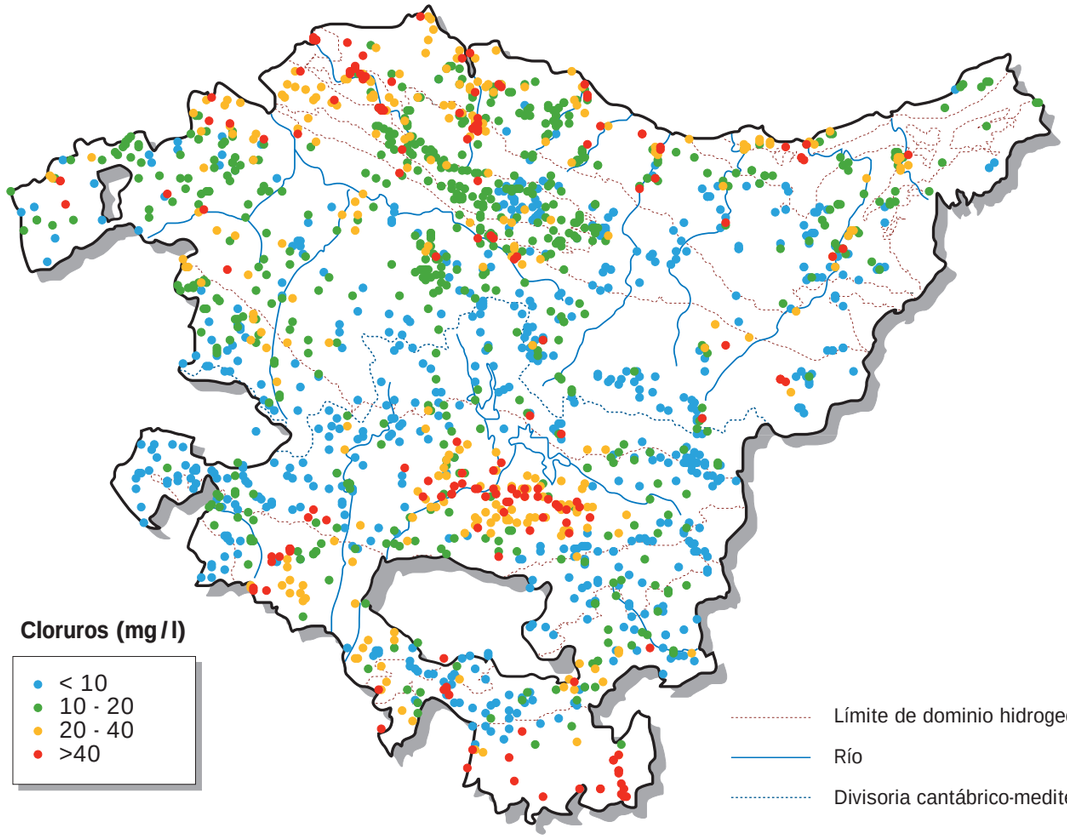
0 500 m

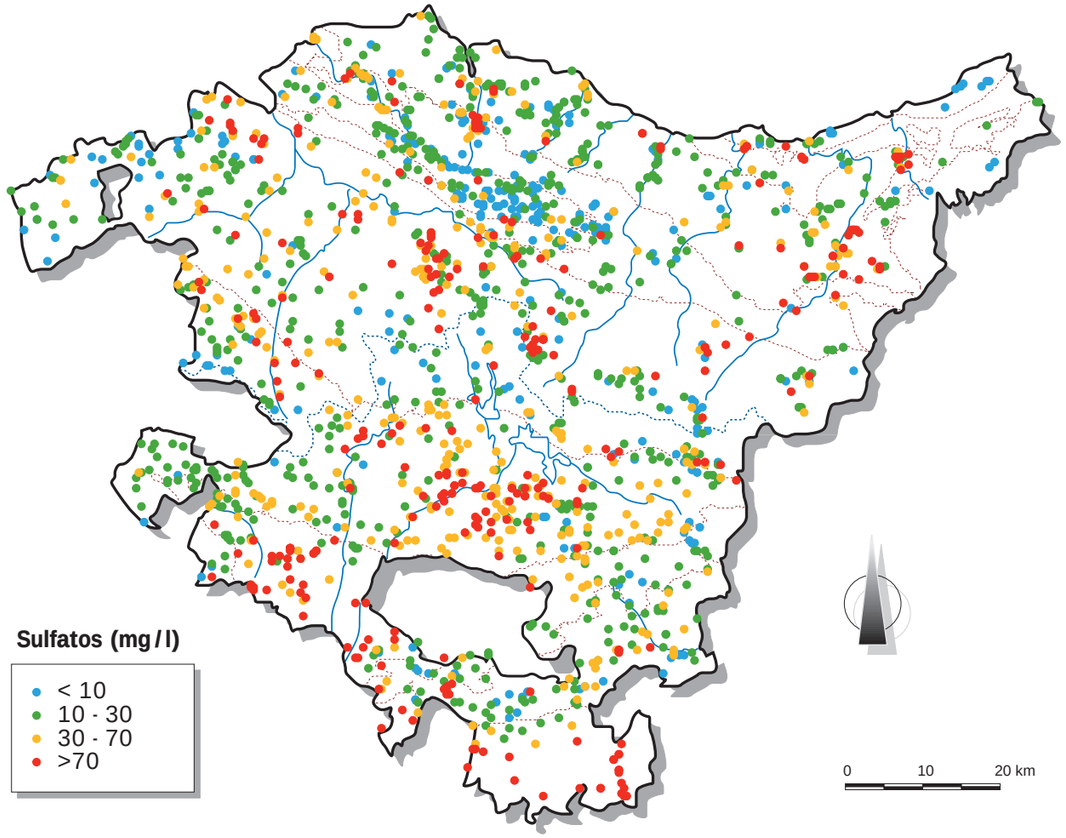
EVE

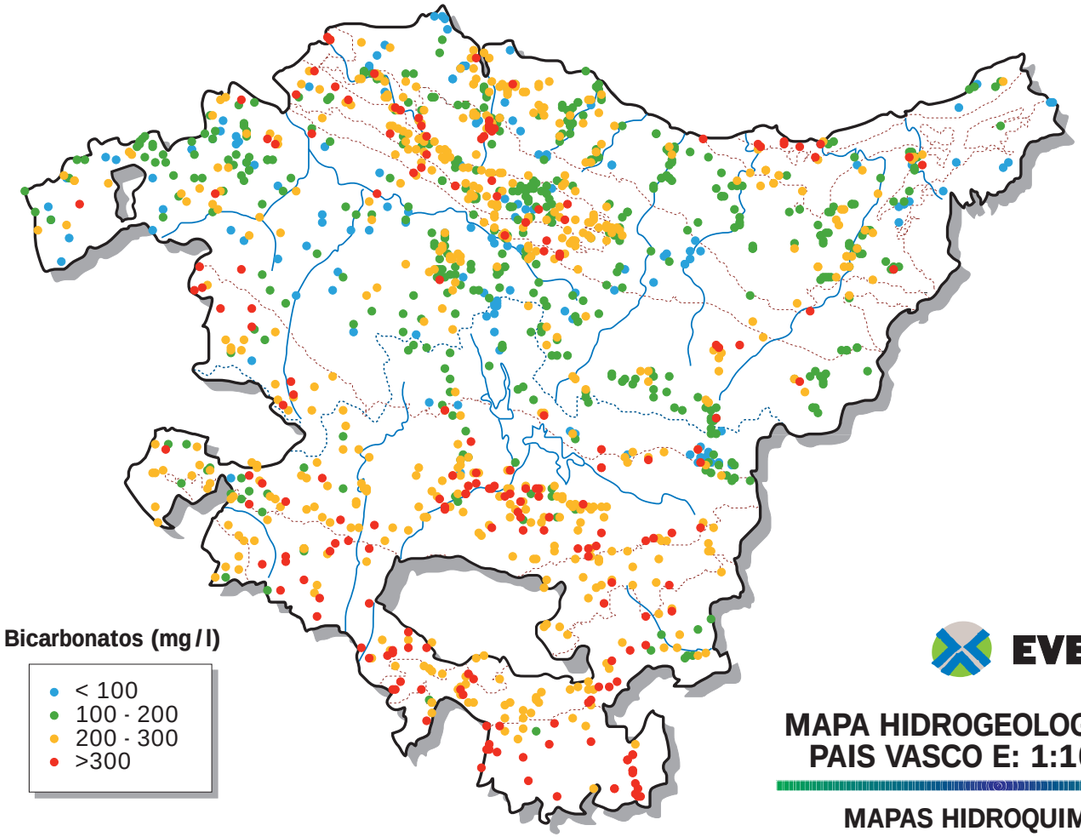
# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA GERNIKA




EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## MAPAS HIDROQUIMICOS

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO SINCLINAL DE OIZ**

Area de unidades y sectores: 44 km²
Recurso subterráneo: 22 Hm³/año

Area del resto del dominio: 149 km²
Recurso subterráneo: 16 Hm³/año

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO COMPLEJO VOLCANICO**

Area del dominio: 270 km²
Recurso subterráneo: 53 Hm³/año

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO ANTICLINORIO NORTE**

Area de unidades y sectores: 406 km²
Recurso subterráneo: 271 Hm³/año

Area del resto del dominio: 518 km²
Recurso subterráneo: 57 Hm³/año

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO ANTICLINORIO SUR**

Area de unidades y sectores: 270 km²
Recurso subterráneo: 218 Hm³/año

Area del resto del dominio: 1.890 km²
Recurso subterráneo: 255 Hm³/año

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO CADENA COSTERA**

Area de la unidad: 26 km²
Recurso subterráneo: 14 Hm³/año

Area del resto del dominio: 42 km²
Recurso subterráneo: 9 Hm³/año

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO PALEOZOICO Y GRANITOIDES**

Area del dominio: 144 km²
Recurso subterráneo: 25 Hm³/año

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO PLATAFORMA ALAVESA**

Area de unidades: 284 km²
Recurso subterráneo: 96 Hm³/año

Area del resto del dominio: 946 km²
Recurso subterráneo: 85 Hm³/año

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO CRETACICO SUPERIOR**

Area del dominio: 666 km²
Recurso subterráneo: 84 Hm³/año

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO SINCLINAL DE URBASA-TREVIÑO**

Area de unidades y sectores: 355 km²
Recurso subterráneo: 112 Hm³/año

Area del resto del dominio: 140 km²
Recurso subterráneo: 3 Hm³/año

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO CUATERNARIO**

Area de unidades: 92 km²
Recurso subterráneo: 51 Hm³/año

Area del resto del dominio: 476 km²
Recurso subterráneo: 29 Hm³/año

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO CUENCA DEL EBRO**

Area del dominio: 250 km²
Recurso subterráneo: 2 Hm³/año

**DOMINIO HIDROGEOLOGICO SIERRA DE CANTABRIA**

Area de unidades: 191 km²
Recurso subterráneo: 45 Hm³/año

Area del resto del dominio: 75 km²
Recurso subterráneo: 5 Hm³/año

**RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA**

*Unidades y Sectores*

Area: 1.668 km²
Recurso: 829 Hm³/año

*Resto de los Dominios*

Area: 5.566 km²
Recurso: 623 Hm³/año

*TOTAL*

**Area: 7.234 km²**
**Recurso: 1.452 Hm³/año**

**DOMINIOS HIDROGEOLOGICOS**

- Cuaternario
- Cuenca del Ebro
- Sinclinal de Urbasa-Treviño
- Plataforma Alavesa
- Sierra de Cantabria
- Cadena Costera
- Sinclinal de Oiz
- Complejo Volcánico
- Cretácico superior
- Anticlinorio Sur
- Anticlinorio Norte
- Paleozoico y Granitoides

**LEYENDA GEOLOGICA**

- Cuaternario
- Conglomerados. Terciario
- Areniscas. Terciario
- Dolomías y calizas. Terciario
- Calizas y dolomías. Cretácico superior
- Complejo Volcánico. Cretácico superior
- Arenas y areniscas. Facies Utrillas. Cretácico inferior
- Calizas. Facies Urgoniano. Cretácico inferior
- Carniolas y calizas. Jurásico

0 10 20 km

EVE

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO E: 1:100.000

## RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA

# EUSKAL HERRIKO MAPA HIDROGEOLOGIKOA 1:100.000 ESKALAN

## IRAGAZKORTASUNEN MAPA

## LEYENDA
## ZEHAZPIDEA

PERMEABILIDAD IRAGAZKORTASUNA: Alta | Media | Baja | Muy baja
TIPO DE ACUÍFERO AKUIFERO-MOTA: DNC | DC | DM | KFD | KSS | KM | Otros

### CUATERNARIO KOATERNARIOA

Antropogénicos — Antropogenikoak 206
Fangos estuarinos — Estuarioetako lohiak 205
Playas y dunas — Hondartzak eta dunak 204
Turberas — Zohikaztegiak 203
Lacustres — Lakustreak 202
Coluviales — Kolubialak 201
Aluviales, aluvio-coluviales — Alubialak eta alubio-kolubialak 200
Coluviales antiguos — Kolubial zaharrak 199
Abanicos aluviales — Abaniko alubialak 198
Terrazas — Terrazak 197
Depósitos glaciares — Metatutako glaziarrak 196
Brechas, conglomerados y megabrechas rojizas — Breziak, konglomeratuak eta megabreziak gorrixkak 195
Arenizcas de grano grueso y conglomerados con intercalaciones de limolitas y margas — Bikor lodiko harrarriak eta konglomeratuak, limolita eta margazko tarteketarekin 194
Arcillas rojas y margas — Argilla gorrixkak eta margak 193
Alternancia de arenizcas calcáreas, limolitas y arcillas — Harrarri karetsu, limolita eta argillatsu txandakatsu 192
Conglomerados rojizos y arcillas rojas — Konglomeratu gorrixkak eta buztin gorrixkak 191
Conglomerados y pies de monte cementados — Konglomeratuak eta mendiko zementatuak 190
Limos y arenas amarillentas y rojizas — Limoak eta harea horri eta gorrixkak 189
Conglomerados calcáreos con matriz limo-arenosa rojiza — Limo-harezko matrize gorrixkadun konglomeratu karetsuak 188
Margas lacustres blanquecinas — Margak lakustre xurixkak 187
Conglomerados y arenizcas — Konglomeratuak eta harrarriak 186
Limolitas y arenizcas de grano fino — Limolitak eta bikor fineko harrarriak 185
Calizas y margocalizas lacustres — Karamotak eta margokarbonatoak lakustreak 184
Arenizcas y limolitas calcáreas; intercalaciones de arenizcas conglomeráticas y calizas margosas — Harrobietako kareolitak; harrarriak konglomeratiko eta karamotak margotsuen tarteketak 183
Limolitas y arcillas rojas, localmente calcáreas; niveles de arenizcas, conglomerados y margas — Limolitak eta argilla gorrixkak, lekuan karetsuak; harrarri, konglomeratu eta margazko paisaiegunak 182
Conglomerados calcáreos; niveles de arenizcas calcáreas y limos — Konglomeratu karetsuak; harrarri karetsu eta limozko paisaiegunak 181
Calizas, calcarenitas, dolomías y margas — Karamotak, kalkarrenitak, dolomiak eta margak 180
Conglomerados calcodálicos y calcarenitas — Konglomeratu kalkodolitikoak eta kalkarrenitak 179
Calizas de Nummulites, calizas con fauna y dolomías — Nummulitadun karamotak, faunadun karamotak eta dolomiak 178
Conglomerados calcáreos con margocalizas y brechas en la base — Konglomeratu karetsuak, margokarbonatoz eta breziaz hobekatuko 177
Margocalizas, calizas brechoides y margas — Margokarbonatoak, karamoti breziazkoidak eta margak 176
Calcarenitas y calizas bioclásticas; arenizcas y margocalizas con signos de inestabilidad — Kalkarrenitak eta karamoti bioklastikoak; harrarriak eta margokarbonatoak eszesiodunetz harrarriekin 175
Alternancia de limos, arenas y arcillas — Limo, harea eta buztinen txandakatzak 174
Alternancia de calizas lacustres blancas y margas dolomíticas — Karamoti lakustre xuri eta margak dolomitikoen txandakatzak 173
Arcillas verdes, margas y limos — Buztin berdeskoak, margak eta limoak 172
Alternancia de margas, arcillas y niveles de calizas y dolomías — Margak, buztin eta karamoti eta dolomitazko paisaiegunen txandakatzak 171
Calizas arenosas, dolomías y margas; a techo arenas y arenizcas (Arenas de Laminiorio) — Karamoti harenatsuak, dolomiak eta margak; harearekin sabaian (Laminiorioko harrak) 170
Alternancia de margas, arcillas y calizas lacustres — Margak, buztin eta karamoti lakustreen txandakatzak 169
Calcarenitas pseudobrechoides, margas y arenizcas calcáreas — Kalkarrenita pseudobreziatuzkoak, margak eta karamoti karetsuak 168
Calcarenitas y biomicritas; localmente intercalaciones margosas — Kalkarrenitak eta biomikritak, lekuan tarte margadunak 167
Dolomías, dolomías calcáreas, margocalizas y calcarenitas — Dolomitak, dolomita karetsuak margokarbonatoak eta kalkarrenitak 166
Conglomerados, brechas y megabrechas calcáreas — Konglomeratuak, breziak eta megabreziak karetsuak 165
Arenizcas calcáreas, calcarenitas dolomíticas, arenizcas y margas verdosicolores — Harrea-ti karetsuak, kalkarrenita dolomitikoak, harrarriak eta kolore askotako margak 164
Arenizcas rojas y conglomerados silíceos — Harrarri gorrixkak eta konglomeratu silizeoak 163
Calizas bioclásticas; localmente calizas arenosas y dolomías — Karamoti bioklastikoak; lekuan karamoti harenatsuak eta dolomiak 162
Calizas micríticas, margas, calcarenitas con Nummulites — Karamoti mikritikoak, margak, nummulitadun kalkarrenitak 161
Alternancia de luitas, arenizcas, margas y calizas arenosas — Lutita, harrarri, margak eta karamoti harenatsuen txandakatzak 160
Arenizcas de grano medio-grueso y microconglomerados — Bikor ertain-lodiko harrarriak eta mikrokonglomeratuak 159
Arenizcas estratificadas en bancos decimétrico-métricos — Harrarriz geruzatuak, maila desimetriko-metrikoan 158
Alternancia de calizas arenosas, arenizcas y luitas — Karamoti harenatsu, harrarri eta lutiten txandakatzak 157
Margas, margocalizas y calizas arenosas — Margak, margokarbonatoak eta karamoti harenatsuak 156
Alternancia de arenizcas y luitas — Harrarri eta lutiten txandakatzak 155
Arenizcas silíceas y microconglomerados — Harrarri silizeoak eta mikrokonglomeratuak 154
Brechas calcáreas, brechas poligénicas — Breziak karetsuak, breziak poligenikoak 153
Alternancia de margocalizas grises, rojas y margas (Maastrichtiense sup-Daniá indiferenciado) — Margokarbonatoz gris, gorri eta margaz txandakatua, (Zerkaztadetar goiko Maastrichtiarra-Daniarra) 152
Alternancia de margas y margocalizas grises — Margak eta margokarbonatoz grisez txandakatua 151
Alternancia de margocalizas y margas rojas — Margokarbonatoz eta margaz gorrixkako txandakatzak 150
Margocalizas y margas grises — Margokarbonatoak eta margak grisak 149
Margas negras (Margas de Gorla) — Margak beltzak (Gorlako margak) 148
Alternancia de margas y calizas arenosas (Flysch detrítico-calcáreo) — Margak eta karrarri harenatsuen txandakatzak (Flysch detritiko-karetsua) 147
Alternancia de calizas arenosas y margas (Flysch detrítico-calcáreo) — Karrarri harenatsu eta margaren txandakatzak (Flysch detritiko-karetsua) 146
Rocas volcánicas y volcanosedimentarias indiferenciadas — Zehazgabeko harri bolkanikoak eta bolkanosedimentarioak 145
Rocas volcaniclásticas, brechas volcánicas — Harri bolkanikoklastikoak, bolkan-breziak 144
Coladas volcánicas masivas, semimasivas, "pillows" — Bolkan-kolada masibodun, erdimasibodun, "pillowak" 143
Sills básicos — Sill basikoak 142
Alternancia de margas y margocalizas (Flysch calcáreo) — Margak eta margokarbonatoen txandakatzak (Flysch karetsua) 141
Luitas negras con septarias y nódulos muy abundantes — Lutita beltzak, septaria eta nodulo ugaridun 140
Lutitas calcáreas grises (Fm. Zufía) — Lutita karetsu grisak (Zufiko formazioa) 139
Alternancia de arenizcas y luitas — Harrarri eta lutiten txandakatzak 138
Arenizcas silíceas — Harrarri silizeoak 137
Alternancia de luitas y margocalizas — Lutita eta margokarbonatoen txandakatzak 136
Rocas volcánicas — Harri bolkanikoak 135
Alternancia de luitas y arenizcas — Lutita eta harrarrizen txandakatzak 134
Alternancia de arenizcas y luitas — Harrarri eta lutiten txandakatzak 133
Olistolitos calcáreos — Karrarrizko olistolitoak 132
Megabrecha. Calizas brechoides, margas y limolitas calcáreas — Megabreziak. Karrarri breziazkoidak, margak eta limolita karetsuak 131
Alternancia de arenizcas y luitas — Harrarri eta lutiten txandakatzak 130
Arenizcas — Harrarrizak 129
Alternancia de luitas y arenizcas — Lutita eta harrarrizen txandakatzak 128
Calizas bioclásticas — Karrarri bioklastikoak 127
Conglomerados y microconglomerados silíceos — Konglomeratu eta mikrokonglomeratu silizeoak 126
Arenizcas silíceas y grauvacas. Pasadas de luitas — Harrarri silizeoak eta grauvakoak. Lutitazko paisaiegunak 125
Margas y calcarenitas. Brechas intraformacionales — Margak eta kalkarrenitak. Breziak intraformazionalak 124
Alternancia de microconglomerados y arenizcas — Mikrokonglomeratu eta harrarrizen txandakatzak 123
Arenizcas — Harrarrizak 122
Alternancia de arenizcas y luitas — Harrarri eta lutiten txandakatzak 121
Alternancia de luitas negras y arenizcas — Lutita beltz eta harrarrizen txandakatzak 120
Calizas (peublitas oliotolíticas) — Karrarrizak (baltzoko olistolitoak) 119
Arenizcas, margas y localmente calcarenitas — Harrarrizak, margak eta lekuan kalkarrenitak 118
Alternancia de calizas y arenizcas — Karrarri eta harrarrizen txandakatzak 117
Margas, niveles de calcarenitas, brechas calcáreas, arenizcas y limolitas — Margak, kalkarrenitazko paisaiegunak, breziaz karetsuak, harrarrizak eta limolitak 116
Otito y paraconglom brechas calcáreas; matriz carbonatada y/o terrígena — Otito eta parakonglomerau breziaz karetsuak, karbonatoetako eta terrizko matrizeaz 115
Margas grises, pasadas de margocalizas y limos; luitas y arenizcas — Margak grisak, margokarbonatozko paisaiegunak eta limoak; lutitak eta harrarrizak 114
Arenizcas silíceas y luitas — Harrarri silizeoak eta lutitak 113
Grauvacas negras, arenas y limos rojos y verdosicolores — Grauvaka beltzak, harenak eta limo gorrixkoak eta kolore aldakorreko 112
Calizas margosas (calizas impuras) — Karrarri margotsuak (karrarri espuruak) 111
Calcarenitas bioclásticas — Kalkarrenita bioklastikoak 110
Calizas arrecifales (radiolitas y corales dominantes) — Karrarri arrezifalak (urrunaldiak eta koralak nagusi) 109
Alternancia de limolitas calcáreas, margas y calizas impuras — Limolita karetsu, margoa eta karrarri espuruen txandakatzak 108
Calizas con moluscos, margas, margocalizas — Moluskudun karrarrizak, margak, margokarbonatoak 107
Calizas grises estratificadas (Calizas de Sóporxtu) — Karrarri gris geruzatuak (Sorpoxtuko karrarrizak) 106
Margas, margocalizas, calizas bioclásticas y limolitas — Margak, margokarbonatoak, karrarri bioklastikoak eta limolitak 105
Arenizcas silíceas — Harrarri silizeoak 104
Conglomerados y microconglomerados silíceos — Konglomeratu eta mikrokonglomeratu silizeoak 103
Calizas bioclásticas estratificadas; margocalizas — Karrarri bioklastiko geruzatuak; margokarbonatoak 102
Margas arenosas y limolitas — Margak harenatsuak eta limolitak 101
Calizas bioclásticas y calizas nodulosas con sílex — Karrarri bioklastikoak eta silezkoan karrarri nodulotsuak 100
Margas, margocalizas grises — Margak, margokarbonatoak grisak 99
Carniolas, calizas grises y dolomías laminadas — Karniolak, karrarri grisak eta dolomia xaflatuak 98
Rocas volcaniclásticas — Harri bolkanikoklastikoak 97
Ofitas — Ofitak 96
Arcillas abigarradas y yesos — Buztin nabarrak eta igeltsuak 95
Arenizcas cuarzo-feldespáticas y limolitas rojas. En la base microconglomerados — Harrarri kuarzo-feldespatikoak eta limolita gorrixkak. Mikrokonglomeratuak hobekatuan 94
Limolitas grises; finas intercalaciones de calizas y arenizcas — Limolita grisak; karrarri eta harrarrizko tarteketa finak 93
Margas y calizas — Margak eta karrarrizak 92
Conglomerados calcáreos y calcodálicos y arcillas rojas; calizas, brechas calcáreas y margas — Konglomerau karetsu eta kalkodolitikoak eta buztin gorrixkak; karrarrizak, breziaz karetsuak eta margak 91
Arenizcas calcáreas, arenizcas conglomeráticas, calcarenitas y limolitas — Harrarri karetsuak, harrarri konglomeratikoak, kalkarrenitak eta limolitak 90
Calizas arrecifales, brechas calcáreas y calcarenitas — Karrarri arrezifalak, breziaz karetsuak eta kalkarrenitak 89
Margas, margocalizas y calizas — Margak, margokarbonatoak eta karrarrizak 88
Arenizcas y arenizcas silíceas; pasadas de microconglomerados — Harrarrizak eta harrarri silizeoak; mikrokonglomeratuzko paisaiegunak 87
Margas grises; pasadas de margocalizas — Margak grisak; margokarbonatozko paisaiegunak 86
Calizas arenosas, arenizcas calcáreas y limolitas — Karrarri harenatsuak, harrarrizak eta karrarrizak eta limolitak 85
Margas arenosas oscuras y limolitas calcáreas — Margak harrosta ilunak eta limolita karetsuak 84
Alternancia de calizas nodulosas y margas — Nodulodun karrarri eta margaren txandakatzak 83
Calcarenitas bioclásticas con glauconita — Glaukonitadun kalkarenita bioklastikoak 82
Calcarenitas arenosas, arenizcas laminadas y margas oscuras arenosas — Kalkarenita harenatsuak, harrarri xaflatuak eta margak ilun harenatsuak 81
Margas arenosas oscuras — Margak harrosta ilunak 80
Margas; tramos de margas y margocalizas alternantes — Margak; margak eta margokarbonatoen txandaketa-tarteak 79
Margas y margocalizas alternantes — Margak eta margokarbonatoen txandakatzak 78
Calcarenitas bioclásticas nodulosas (calcarenitas con lacazinas) — Kalkarenita bioklastiko nodulotsuak. (Lacazinadun kalkarenitak) 77
Margas y margocalizas — Margak eta margokarbonatoak 76
Alternancia de margas, margocalizas y calizas — Margak, margokarbonatoak eta kalkarrizko txandakatzak 75
Margocalizas y margas compactas — Margokarbonatoak eta margak trinkoak 74
Calizas laminadas y margas compactas — Karrarri xaflatuak eta margak trinkoak 73
Calizas y calizas margosas — Karrarrizak eta karrarri margotsuak 72
Dolomías, calizas dolomíticas y calizas — Dolomiak, karrarri dolomitikoak eta karrarrizak 71
Calizas, margocalizas y margas; "slumps" y brechas — Karrarrizak, margokarbonatoak eta margak; "slumpak" eta breziak 70
Alternancia de margocalizas, calizas laminadas y margas — Margokarbonatoak, karrarri xaflatu eta margaren txandakatzak 69
Margas, margocalizas y calizas arcillosas — Margak, margokarbonatoak eta karrarri buztinosoak 68
Margas y calizas margosas — Margak eta karrarri margotsuak 67
Calizas margosas laminadas y margocalizas — Karrarri margotsu xaflatuak eta margokarbonatoak 66
Calcarenitas y/o calcirruditas — Kalkarrenitak eta/edo kalkirruditak 65
Alternancia regular de margocalizas, calcarenitas arenosas y margas — Margokarbonatoak, kalkarenita harenatsu eta margaren txandakatza erregularra 64
Limolitas calcáreas o margas — Limolita karetsuak edo margak 63
Alternancia irregular de margocalizas y/o calizas nodulosas y margas y/o limolitas — Margokarbonatoak eta/edo kalkarri nodulotsu eta margaz edota limolitaz txandakatza irregularra 62
Calizas bioclásticas nodulosas — Karrarri bioklastiko nodulotsuak 61
Margas y margocalizas nodulosas brechoides; brechas calcáreas — Margak eta margokarbonatoak nodulosoa bretxatuxeakoak; bretxa karetsuak 60
Limolitas, arenizcas calcáreas y calizas arenosas — Limolitak, harrarri karetsuak eta karrarri harenatsuak 59
Arenizcas, conglomerados y luitas — Harrarrizak, konglomeratuak eta lutitak 58
Arenizcas y luitas — Harrarrizak eta lutitak 57
Luitas y arenizcas — Lutitak eta harrarrizak 56
Arenizcas silíceas. Componente conglomerático hacia el este — Harrarri silizeoak. Ekialderantz konglomeratiko osagaiduna 55
Lutitas grises y negras; niveles arenizcosos — Lutita grisak eta beltzak; harrarrizko mailak 54
Olistolitos calizos — Karrarrizko olistolitoak 53
Otito y paraconglobrechas calcáreas con matriz carbonatada y/o terrígena — Otito eta parakonglobreziaz karetsuak, karbonatoetako eta terrizko matrizeaz 52
Calcarenitas — Kalkarenitak 51
Calcarenitas, margocalizas y niveles de brechas calcáreas — Kalkarenitak, margokarbonatoak eta breziaz karetsuzko paisaiegunak 50
Arenizcas y luitas con signos de inestabilidad; parabrechas terrígenas o calcosilíceas — Harrarrizak eta lutitak zezpenkirizko-hutsarretako; parabreziaz terrizkoak edo karesilizeoak 49
Margas y niveles de calcarenitas nodulosas; niveles aislados de brechas calcáreas — Margak eta kalkarenita nodulosazko paisaiegunak, breziaz karetsuzko paisaiegun isolatuak 48
Alternancia de arenizcas silíceas y luitas — Harrarri silizeoa eta lutitazko txandakatzak 47
Calcarenitas; calizas nodulosas — Kalkarrenitak, karrarri nodulotsuak 46
Rocas volcanosedimentarias y coladas — Harri bolkanosedimentarioak eta koladak 45
Luitas y arenizcas — Lutitak eta harrarrizak 44
Margas y brechas calcáreas. Calizas nodulosas y arenizcas calcáreas — Margak eta breziaz karetsuak. Karrarri nodulotsuak eta harrarri karetsuak 43
Calizas impuras — Karrarri espuruak 42
Calizas arrecifales (radiolitas y corales dominantes) — Karrarri arrezifalak (urrunaldiak eta koralak nagusi) 41
Arenizcas y luitas — Harrarrizak eta lutitak 40
Arenizcas de grano fino y/o limolitas calcáreas — Bikor fineko harrarrizak edota limolita karetsuak 39
Alternancia de arenizcas y luitas. Pasadas de microconglomerados, arcillas y lignito (Fm.Urbina) — Harrarri eta lutiten txandakatza. Mikrokonglomeratuz, buztin eta lignitozko paisaiegunak (Urbiñako Fm.) 38
Alternancia de arenizcas y luitas. Pasadas de microconglomerados, calizas arenosas, arcillas y lignito — Harrarri eta lutiten txandakatza. Mikrokonglomeratuz, karrarri harenatsu, buztin eta lignitozko paisaiegunak 37
Alternancia de arenizcas, conglomerados y luitas; a techo calizas bioclásticas y conglomeráticas — Harrarri, konglomeratu eta lutiten txandakatza; karrarri bioklastikoak eta konglomeratikoak sabaian 36
Calizas negras laminadas — Karrarri beltz xaflatuak 35
Arenizcas estratificadas — Harrarri geruzatuak 34
Coladas volcánicas — Bolkan-koladak 33
Alternancia irregular de luitas negras y arenizcas — Lutita beltz eta harrarrizen txandakatza irregularra 32
Alternancia de calizas, dolomías y luitas negras — Karrarri, dolomita eta lutita beltzen txandakatza 31
Carniolas, Calizas, margas y margocalizas — Karniolak, Karrarriak, margak eta margokarbonatoak 30
Arenas y arenizcas, margas arenosas, limos arenáceos, arcillas verdes y calcarenitas — Harrak eta harrarriak, margak harrastuak, limo harotsuak, buztin berdeskoak eta kalkarenitak 29
Arenas y arenizcas calcáreas — Harrak eta karrarri karetsuak 28
Margas, calizas nodulosas y margocalizas — Margak, karrarri nodulotsuak eta margokarbonatoak 27
Calcarenitas, margas arenosas, calizas arenosas y arenizcas — Kalkarenitak, margak harrastuak, karrarri harenatsuak eta harrarrizak 26
Calcarenitas con Lacazina — Lacazinadun kalkarenitak 25
Calizas, calcarenitas, calizas dolomíticas y margas — Karrarrizak, kalkarrenitak, karrarri dolomitikoak eta margak 24
Calcarenitas dolomíticas arenosas, brechas calcáreas y arenizcas rojas — Kalkarenita dolomitiko harrastuak, breziaz karetsuak eta harrarri gorrixkak 23
Calcarenitas, calizas dolomíticas y dolomías — Kalkarrenitak, karrarri dolomitikoak eta dolomiak 22
Margocalizas y margas — Margokarbonatoak eta margak 21
Calizas, calcarenitas, margas y margocalizas — Karrarrizak, kalkarrenitak, margak eta margokarbonatoak 20
Calizas arenosas con oftalcinas y arenizcas rojas — Oftalzinadun karrarri harenatsuak eta harrarri gorrixkak 19
Arenas y arenizcas. Microconglomerados — Harrak eta harrarrizak. Mikrokonglomeratuak 18
Calizas con ostreidos y oftalcinas; a techo, arenizcas, arcillas y niveles de lignito — Ostreidu eta oftalzinadunak harrarrizak; harrarrizak, buztinak eta lignito maillak sabaian 17
Limolitas y arcillas; margas y calizas arenosas — Limolitak eta buztinak; margak eta karrarri harenatsuak 16
Calizas micríticas, calizas bioclásticas y calizas con oftalcinas — Karrarri mikritikoak, karrarri bioklastikoak eta oftalzin karrarriak 15
Margas y margocalizas — Margak eta margokarbonatoak 14
Carniolas, calizas brechoides y dolomías — Karniolak, karrarri bretxatuxeakoak eta dolomiak 13
Ofitas — Ofitak 12
Arcillas abigarradas y yesos — Buztin nabarrak eta igeltsuak 11
Calizas y dolomías laminadas. Margocalizas y limolitas — Karrarri eta dolomita xaflatuak. Margokarbonatoak eta limolitak 10
Sobrelozacciones y/o dolomitizaciones — Sobrelozazioak eta/edo dolomitizazioak 9
Diques, filones de cuarzo y silicificaciones — Ohlukak, kuarzozko hesiak eta silizifikazioak 8
Diques de rocas subvolcánicas — Harri azpibolkanikozko ohlukak 7
Pizarras y gravacas "noseparadas" — Harbel eta grauwaka "normalean" 6
Filonetes — Harbelak 5
Alternancia de pizarras y grauvacas — Harbel eta grauwaka txandakatza 4
Granitos heterogranulares y leucogranitos — Granito heterogranularrak eta leukogranitoak 3
Granodioritas — Granodioritak 2
Granodioritas — Granodioritak 1

### CUENCA DEL EBRO (ANTEPAIS)
### EBROKO ARROA (ARREKALDEA)

TERCIARIO HIRUGARREN: NEÓGENO NEOGENOA — MED.-SUP. ERDI-GOI. 194, 195
INFERIOR BEHEKOA — 192, 193

### CUENCA VASCO-CANTABRICA
### EUSKAL-KANTAURIKO ARROA
### DOMINIO DEL SINCLINAL DE MIRANDA-TREVIÑO
### MIRANDA-TREBIÑO SINKLINALEKO EREMUA

TERCIARIO HIRUGARREN:
- NEÓGENO NEOGENOA: PLIO-PLEIST. PLIO-PLEIST. 190, 191
- PALEÓGENO PALEOGENOA: MIOCENO MIOZENOA (S.G. 187, 188, 189; M.E. 186; I.B. 181, 182, 183, 184, 185); OLIGOCENO OLIGOZENOA; EOCENO EOZENOA (M.E. 177, 178, 179; I.B. 173, 174, 175, 176); THANETIENSE THANETIARRA 169, 170, 171, 172; DANOMONTIENSE DANOMONTIARRA 165, 166, 167, 168

CRETÁCICO KRETAZKOA:
- SUPERIOR GOIKOA: MAASTRICHTIENSE MAASTRICHTIARRA 162, 163, 164
- INFERIOR BEHEKOA: ALBIENSE ALBIARRA (S.G. 133; M.E. 131, 132; I.B. 125, 126, 127, 128, 129, 130); APTIENSE APTIARRA (S.G. 135; M.E. 134; I.B. 120, 121, 122, 123, 124); NEOCOM. - BARREM. NEOKOM. - BARREM. 107, 108

JURÁSICO JURASIKOA: MALM MALM 102, 104; DOGGER DOGGER 103, 105; LIAS LIAS 98, 99, 100, 101

TRIÁS TRIASA: KEUPER-BUNTSANDST. KEUPER-BUNTSANDST. 95, 96, 97

PERMICO PERMIKOA 94

### DOMINIO DEL ARCO VASCO
### EUSKAL ARKUKO EREMUA

TERCIARIO HIRUGARREN:
- PALEÓGENO PALEOGENOA: MED.- LUTECIEN. ERDI- LUTEZIAR. 159, 160, 161; INFERIOR BEHEKOA 157, 158; PALEOCENO PALEOZENOA 151, 152, 153, 154, 155, 156
- CRETÁCICO KRETAZKOA: SUPERIOR GOIKOA: MAASTRICHTIEN. MAASTRICHTIAR. 149; CAMPANIENSE KANPANIARRA, SANTONIENSE SANTONIARRA 146, 147, 148; CONIACIENSE KONIAZIARRA 143, 144, 145; TURONIENSE TURONIARRA 141, 142; CENOMANIE. ZENOMANIA. (S.G. 139, 140; M.E. 136, 137, 138; I.B. 134, 135)
- INFERIOR BEHEKOA: ALBIENSE ALBIARRA (S.G. 133; M.E. 131, 132; I.B. 125, 126, 127, 128, 129, 130); APTIENSE APTIARRA (S.G. 135; M.E. 134; I.B. 120, 121, 122, 123, 124); NEOCOMIENSE BARREMIENSE GOTTLANDIARRA "PURBECK" 118, 119

JURÁSICO JURASIKOA 117

### DOMINIO DE LA PLATAFORMA ALAVESA-ANTICLINORIO DE BILBAO
### ARABA PLATAFORMA-BILBO ANTIKLINORIOKO EREMUA

TERCIARIO HIRUGARREN: PALEÓGENO PALEOGENOA: OLIGOCENO OLIGOZENOA (I.B. 91, 92, 93)

CRETÁCICO KRETAZKOA:
- SUPERIOR GOIKOA: MAASTRICHTIEN. MAASTRICHTIAR. 90; CAMPANIENSE KANPANIARRA (S.G. 87, 88, 89; M.E. 84, 85, 86; I.B. 81, 82, 83); SANTONIENSE SANTONIARRA 77, 78, 79; CONIACIENSE KONIAZIARRA 74, 75, 76; TURONIENSE TURONIARRA 71, 72, 73
- INFERIOR BEHEKOA: CENOMANIENSE ZENOMANIARRA (S.G. 69, 70; I.B. 66, 67, 68); ALBIENSE ALBIARRA (S.G. 61, 62, 63, 64, 65; M.E. 58, 59, 60; I.B. 52, 53, 54, 55, 56, 57); APTIENSE APTIARRA (S.G. 49, 50, 51; M.E. 47, 48; I.B. 45, 46); NEOCOMIENSE BARREMIENSE GOTTLANDIARRA "PURBECK" 43, 44

JURÁSICO JURASIKOA 42

### DOMINIO DE LA SIERRA DE CANTABRIA
### KANTAURI MENDIKATEKO EREMUA

CRETÁCICO KRETAZKOA:
- SUPERIOR GOIKOA: CAMPANIENSE KANPANIARRA 27, 28; SANTONIENSE SANTONIARRA 24, 25, 26; CONIACIENSE KONIAZIARRA 21, 22, 23; TURONIENSE TURONIARRA 20; CENOMANIENSE ZENOMANIARRA 19
- INFERIOR BEHEKOA: ALBIENSE ALBIARRA 17, 18; APTIENSE APTIARRA 16; BARREMIENSE BARREMIARRA; NEOCOMIENSE NEOKOMIARRA

JURÁSICO JURASIKOA: MALM MALM 15; DOGGER DOGGER 14; LIAS LIAS 13; BETHIENSE RETHIARRA 12

### TRIAS ALOCTONO
### TRIAS ALOKTONOA

TRIÁS TRIASA: KEUPER 10, 11; MUSCHELKALK MUSCHELKALK 9

### ROCAS FILONIANAS
### HARRI FILONIANOAK

5, 6, 7, 8

### MACIZOS PALEOZOICOS (ZOCALO HERCINICO)
### MAZIZO PALEOZOIKOAK (ZOKALO HERZINIARRA)

PALEOZOICO SUPERIOR - DEVONICO SUP.-CARBONIFERO INF. / GOIKO PALEOZOIKOA (GOIKO DEBONIKOA-BEHEKO KARBONIFEROA): 3, 4, 5

### ROCAS IGNEAS
### HARRI IGNEOAK

1, 2




### MAPA DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
### UNITATE HIDROGEOLOGIKOEN MAPA




- Cuaternario — Koaternarioa
- Conglomerados. Terciario — Konglomeratuak. Tertziarioa
- Areniscas. Terciario — Harearriak.Tertziarioa
- Dolomías y calizas. Terciario — Dolomiak eta karamiak.Tertziarioa
- Calizas y dolomías. Cretácico superior — Karamiak eta dolomiak. Goiko Kretazikoa
- Complejo Volcánico. Cretácico superior — Bolkan-konplexua. Goiko Kretazikoa
- Arenas y areniscas. Facies Utrillas. Cretácico inferior — Hareak eta harearriak. Utrillas itxiera. Beheko Kretazikoa
- Calizas. Facies Urgoniano. Cretácico inferior — Karamiak. Urgoniano itxiera. Beheko Kretazikoa
- Carniolas y calizas. Jurásico — Karniolak eta karamiak. Jurasikoa

### MAPA DE DOMINIOS HIDROGEOLÓGICOS
### EREMU HIDROGEOLOGIKOEN MAPA



UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS / UNITATE HIDROGEOLOGIKOAK — DOMINIOS / EREMUAK

18 Vitoria, 19 Gernika — CUATERNARIO / KOATERNARIOA
CUENCA DEL EBRO / EBROKO ARROA
17 Urbasa — SINCLINAL LINIWSA-TREVIÑO / URBASA-TREBIÑO SINKLINALEA
15 Subijana, 16 Valdegobia — PLATAFORMA ALAVESA / ARABAKO PLATAFORMA
13 Sierra de Cantabria, 14 Campezo — SIERRA DE CANTABRIA / KANTAURI MENDIKATEA
12 Jaizkibel — CADENA COSTERA / KOSTALDEA
11 Oiz — SINCLINAL/ANTICLINAL DE OIZ / OIZKO SINKLINALEA
COMPLEJO VOLCÁNICO / BOLKANOKOMPLEXUA
CRETÁCICO SUPERIOR / GOIKO KRETAZKOA
7 Aramotz, 8 Ibina, 9 Aizkorri, 10 Aralar — ANTICLINORIO SUR / HEGOALDEKO ANTIKLINORIOA
1 Elduain, 2 Ernio, 3 Albiztur, 4 Gatzume, 5 Izarraitz, 6 Ereñozar — ANTICLINORIO NORTE / IPARRALDEKO ANTIKLINORIOA
PALEOZOICO Y GRANITOIDES / PALEOZOIKOA ETA GRANITOIDEAK


EDITA: ENTE VASCO DE LA ENERGIA EVE 1996
ARGITARAZLEA: ENERJIAREN EUSKAL ERAKUNDEA EVE 1996
Base topográfica: Instituto Geográfico Nacional. Cartografía: ITGDOMSA s.a., Madrid
Oinharri topografikoa: Instituto Geográfico Nacional. Kartografia: ITGDOMSA s.a., Madrid
Tirada gráfica: Villena, S. A. Depósito legal: M-31.147-96. ISBN: 84-8129-027-8
Argitarapen grafikoa: Villena, S. A. Lege-gordailua: M-31.147-96. ISBN: 84-8129-027-8


Quedá prohibida la reproducción total o parcial sin autorización previa
Debekaturik dago hanen edonoloko kopiokeratik aldez aurreko baio baimenik gabe.

# MAPA HIDROGEOLOGICO DEL PAIS VASCO A ESCALA 1:100.000

## MAPA DE PERMEABILIDADES

EVE
Ente Vasco de la Energía

## LEYENDA
## ZEHAZPIDEA

| PERMEABILIDAD IRAGAZKORTASUNA | | | | TIPO DE ACUÍFERO AKUIFERO-MOTA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alta | Media | Baja | Muy baja | DNC | DC | DM | KFD | KSS | KM | Otros |

**Antropogénico** *Antropogenikoa* 206
**Fangos intermareales** *Estuarioc ginoko lohiak* 205
**Playas y dunas** *Hondartzak eta dunak* 204
**Turberas** *Zohikaztegiak* 203
**Lacustre** *Lakustrea* 202
**Coluviales** *Kolubialak* 201
**Aluviales, aluvio-coluviales** *Aluvialak eta aluvial-kolubialak* 200
**Coluviales antiguos** *Kolubial zaharrak* 199
**Abanicos aluviales** *Abaniko aluvialak* 198
**Terraza** *Terraza* 197
**Depósitos glaciares** *Metatze glaziarrak* 196
**Brechas, conglomerados y megabrechas rojizas** *Breziak, konglomeratuak eta megabreza gorriduak* 195
**Arenicas de grano grueso y conglomerados con intercalaciones de limolitas y margas** *Bikor lodiko harrearrizk eta konglomeratuak, limolita eta margadun tartekoekin* 194
**Arcillas rojas y margas** *Arzillak gorriduak eta margak* 193
**Alternancia de arenicas calcáreas, limolitas y arcillas** *Harrearri karetsu, limolita eta arzillaren txandakatzea* 192
**Conglomerados rojizos y arcillas rojas** *Konglomeratu gorriduak eta buztin gorriak* 191
**Conglomerados y pies de monte cementados** *Konglomeratuak eta mendatzien zementazioak* 190
**Limos y arenas amarillentas y rojizas** *Limoak eta harea hori eta gorriduak* 189
**Conglomerados calcáreos con matriz limo-arenosa rojiza** *Limo-harezko matrize gorriduadun konglomeratu karetsuak* 188
**Margas lacustres blanquecinas** *Marga labaur laridak* 187
**Conglomerados y arenicas** *Konglomeratuak eta harrearriak* 186
**Limolitas y arenicas de grano fino** *Limolitak eta bikor finetz harrearriak* 185
**Calizas y margocalizas lacustres** *Karaririak eta margakarriarri labaurrak* 184
**Arenicas y limolitas calcáreas; intercalaciones de arenicas conglomeráticas y calizas margosas** *Harrharriak eta limolita karetsuak, harrearri konglomeratiko eta karearri margoetaan sorrailetzak* 183
**Limolitas y arcillitas rojas, localmente calcáreas; niveles de arenicas, conglomerados y margas** *Limolitak eta arzillita gorriduak, tokian tokikoak, harrearri, konglomeratu eta margazko parajeetan* 182
**Conglomerados calcáreos; niveles de arenicas calcáreas y limos** *Konglomeratu karetsuak; harrearri karetsu eta limotzko parajeetan* 181
**Calizas, calcarenitas, dolomías y margas** *Karaririak, kalkarenitak, dolomiak eta margak* 180
**Conglomerados calcodiceos y calcarenitas** *Konglomeratu kalkodizeoidunak eta kalkarenitak* 179
**Calizas de Nummulites, calizas con fauna y dolomías** *Nummulitadun karaririak, faunadun karaririak eta dolomiak* 178
**Conglomerados calcáreos con margocalizas y brechas en la base** *Konglomeratu karetsuak, margakarriarri eta breziak behealdetan* 177
**Margocalizas, calizas brechoides y margas** *Margakarriarrizk, kararirii breziazkoideak eta margak* 176
**Calcarenitas y calizas bioclásticas; arenicas y margocalizas con signos de inestabilidad** *Kalkarenitak eta kararirii bioklastikoak, harrearrizk eta margakarriarrizk esijoimotzo-hazteaetan* 175
**Alternancia de limos, arenas y arcillas** *Limo, harea eta buztinen txandakatzea* 174
**Alternancia de calizas lacustres blancas y margas dolomíticas** *Kararirii labaur zuri eta margak dolomitizatuen txandakatzea* 173
**Arcillas verdes, margas y limos** *Buztin berdeduk, margak eta limoak* 172
**Alternancia de margas, arcillas y niveles de calizas y dolomías** *Marga, buztin eta kararirii eta dolomitizatu paraguneen txandakatzea* 171
**Calizas arenosas, dolomías y margas; a techo arenas y arenicas (Arenas de Larrazábal)** *Kararirii harrotsuak, dolomiak eta margak; harrezk eta harrearrizk osatuak (Larrazabalgo harrea)* 170
**Alternancia de margas, arcillas y calizas lacustres** *Marga, buztin eta kararirii labaurrezko txandakatzea* 169
**Calcarenitas pseudobrechoides, margas y arenicas calcáreas** *Kalkarenita pseudobrezkatzerdunak, marga eta harrearri karetsuak* 168
**Calcarenitas y biomicritas; localmente intercalaciones margosas** *Kalkarenitak eta biomikritak; tokian tarte margadunak* 167
**Dolocarenitas, dolomías calcáreas, margocalizas y calcarenitas** *Dolokarenitak, dolomiak karetsuak, margakarriarrizk eta kalkarenitak* 166
**Conglomerados, brechas y megabrechas calcáreas** *Konglomeratuak, breziak eta megabreza karetsuak* 165
**Arenicas calcáreas, calcarenitas dolomíticas, arenicas y margas verdes(tos)** *Harrea-k karetsuak, kalkarenita dolomitizatuak, harrearrizk eta kolore aldeanko margak* 164
**Arenicas rojas y conglomerados silíceos** *Harrearri gorriduak eta konglomeratu silizizkoak* 163
**Calizas bioclásticas; localmente calizas arenosas y dolomías** *Kararirii bioklastikoak; tokian harrearri harrotsuak eta dolomiak* 162
**Calizas micríticas, margas, calcarenitas con Nummulites** *Kararirii mikritikoak, margak, nummulitesak kalkarenitak* 161
**Alternancia de lutitas, arenicas, margas y calizas arenosas** *Lutita, harrearri, marga eta kararirii harrotsuen txandakatzea* 160
**Arenicas de grano medio-grueso y microconglomerados** *Bikor ertain-lodiko harrearrizk eta mikrokonglomeratuak* 159
**Arenicas estratificadas en bancos decimétrico-métricos** *Harrearri geruzatuak, maileo dezimetriko-metrikoetan* 158
**Alternancia de calizas arenosas, arenicas y lutitas** *Kararirii harrotsuak, harrearri eta lutitaren txandakatzea* 157
**Margas, margocalizas y calizas arenosas** *Margak, margakarriarrizk eta kararirii harrotsuak* 156
**Alternancia de arenicas y lutitas** *Harrearri eta lutitaren txandakatzea* 155
**Arenicas silíceas y microconglomerados** *Harrearri silizizkoak eta mikrokonglomeratuak* 154
**Brechas calcáreas, brechas poligénicas** *Breziak karetsuak, breziak poligenikoak* 153
**Alternancia de margocalizas grises, rojas y margas (Maastrichtiense sup-Daniés indiferenciado)** *Margakarriarri gris, gorri eta margazko txandakatzea (Zerkaspeko goiko Maastrichtiarra-Daniarra)* 152
**Alternancia de margas y margocalizas grises** *Marga eta margakarriarri grisen txandakatzea* 151
**Alternancia de margocalizas y margas rojas** *Margakarriarri eta marga gorriduen txandakatzea* 150
**Margocalizas y margas grises** *Margakarriarrizk eta marga grisak* 149
**Margas negras (Margas de Garai)** *Marga beltzak (Garaiko margak)* 148
**Alternancia de margas y calizas arenosas (Flysch dético-calcáreo)** *Margak eta kararirii harrotsuen txandakatzea (Flysch detrito-karearrezkoa)* 147
**Alternancia de calizas arenosas y margas (Flysch dético-calcáreo)** *Kararirii harrotsuta eta margazko txandakatzea (Flysch detrito-karearrezkoa)* 146
**Rocas volcánicas y volcanosedimentarias indiferenciadas** *Zehazgabeko harri bolkanikoak eta bolkanosedimentarioak* 145
**Rocas volcaniclásticas, brechas volcánicas** *Harri bolkanikoetakoak, bolkan-breziak* 144
**Coladas volcánicas masivas, semimasivas, "pillows"** *Bolkan-kolada masiboak, erdimasiboak, "pillowak"* 143
**Silts básicos** *Silt basikoak* 142
**Alternancia de margas y margocalizas (Flysch calcáreo)** *Margak eta margakarriarren txandakatzea (Flysch karetsua)* 141
**Lutitas negras con septarias y nódulos muy abundantes** *Lutita beltzak, septaria eta nodulo ugaridun* 140
**Lutitas calcáreas grises (Fm. Zorlo)** *Lutita karetsu grisak (Zorloko formazioa)* 139
**Alternancia de arenicas y lutitas** *Harrearri eta lutiten txandakatzea* 138
**Arenicas silíceas** *Harrearri silizizkoak* 137
**Alternancia de lutitas y margocalizas** *Lutita eta margakarriarren txandakatzea* 136
**Rocas volcánicas** *Harri bolkanikoak* 135
**Alternancia de lutitas y arenicas** *Lutita eta harrearrien txandakatzea* 134
**Alternancia de arenicas y lutitas** *Harrearri eta lutiten txandakatzea* 133
**Alternancia de lutitas negras y arenicas** *Lutita beltz eta harrearrien txandakatzea* 132
**Calizas (pseudo-)oolíticas(-oncolíticas)** *Karaririak (kalitxo oolitikoak)* 131
**Arenicas, margas y localmente calcarenitas** *Harrearrizk, margak eta tokian kalkarenitak* 130
**Alternancia de calizas y arenicas** *Kararirii eta harrearrien txandakatzea* 129
**Margas, niveles de calcarenitas, brechas calcáreas, arenicas y limolitas** *Margak, kalkarenitazko paraguneak, breziaz karetsuak, harrearrizk eta limolitak* 128
**Otro y paraconglo/brechas calcáreas con matriz carbonatada y/o terrígena** *Orto eta parakonglo/breziaz karetsuak, karbonatoa edota lurrezko matrizeun* 127
**Calcarenitas** *Kalkarenitak* 126
**Calcarenitas, margocalizas y niveles de brechas calcáreas** *Kalkarenitak, margakarriarrizk eta breziaz karetsuzko paraguneak* 125
**Arenicas y lutitas con signos de inestabilidad; pseudorocas terrígenas o calcosilíceas** *Harrearrizk eta lutitak ezgonkortze-kataraztzko; pseudorroka lurrezkoak edo karesilizizkoak* 124
**Margas y niveles de calcarenitas nodulosas; niveles aislados de brechas calcáreas** *Margak eta kalkarenita nodulatsuzko paraguneak; breziaz karetsuzko paragune isolatuak* 123
**Alternancia de arenicas silíceas y lutitas** *Harrearri silizizko eta lutiten txandakatze* 122
**Calcarenitas; calizas nodulosas** *Kalkarenitak; kararirii nodulatsuak* 121
**Arenicas, margas y localmente calcarenitas** *Harrearrizk, margak eta tokian kalkarenitak* 120
**Alternancia de calizas y arenicas** *Kararirii eta harrearrien txandakatzea* 119
**Margas, niveles de calcarenitas, brechas calcáreas, arenicas y limolitas** *Margak, kalkarenitazko paraguneak, breziaz karetsuak, harrearrizk eta limolitak* 118
**Otro y paraconglo brechas calcáreas; matriz carbonatada y/o terrígena** *Orto eta parakonglo/breziaz karetsuak, karbonatoa edota lurrezko matrizeun* 117
**Margas grises, pasadas de margocalizas y limos; lutitas y arenicas** *Marga grisak, margakarriazkoko paraguneak eta limoak; lutitak eta harrearrizk* 116
**Arenicas silíceas y lutitas** *Harrearri silizizkoak eta lutitak* 115
**Grauvacas negras, arenas y limos rojos y verdes(tos)** *Grauwaka beltzak, harrezk eta limo gorriduk eta kolore aldeankoetakoak* 114
**Calizas margosas (calizas impuras)** *Kararirii margadunak (kararirii ezpuruak)* 113
**Calcarenitas bioclásticas** *Kalkarenita bioklastikoak* 112
**Calizas arenáceas (oolíticas y coralíferas dominantes)** *Kararirii arrezifalak (errnadiztak eta koralak nagusi)* 111
**Alternancia de limolitas calcáreas, margas y calizas margosas** *Limolita karetsu, marga eta kararirii margadunen txandakatzea* 110
**Calizas con melanoides, margas, margocalizas** *Melanoidak karaririak, margak, margakarriarrak* 109
**Calizas grises estratificadas (Calizas de Sólpelos)** *Kararirii gris geruzatuak (Solpaloko karaririak)* 108
**Margas, margocalizas, calizas bioclásticas y limolitas** *Margak, margakarriarrizk, kararirii bioklastikoak eta limolitak* 107
**Arenicas silíceas** *Harrearri silizizkoak* 106
**Conglomerados y microconglomerados silíceos** *Konglomeratu eta mikrokonglomeratu silizizkoak* 103
**Calizas bioclásticas estratificadas; margocalizas** *Kararirii bioklastiko geruzatuak; margakarriarrak* 102
**Margas arenosas y limolitas** *Marga harrotsuak eta limolitak* 101
**Calizas bioclásticas y calizas nodulosas con silex** *Kararirii bioklastikoak eta silexdun kararirii nodulatsuak* 100
**Margas, margocalizas grises** *Margak, margakarriarri grisak* 99
**Carniolas, calizas grises y dolomías laminadas** *Karniolak, kararirii grisak eta dolomia saflatuak* 98
**Rocas volcanoclásticas** *Harri bolkanoklastikoak* 97
**Ofitas** *Ofitak* 96
**Arcillas abigarradas y yesos** *Buztin nabarduk eta gipsoak* 95
**Arenicas cuarzo-feldespáticas y limolitas rojas. En la base microconglomerados** *Harrearri kuartzo-feldespatikoak eta limolita gorriduak. Mikrokonglomeratuak behealdean* 94
**Limolitas grises; finas intercalaciones de calizas y arenicas** *Limolita grisak; kararirii eta harrearrizko tarteketa finak* 93
**Margas y calizas** *Margak eta karaririak* 92
**Conglomerados calcáreos y calcodiceos y arcillas rojas; calizas, brechas calcáreas y margas** *Konglomeratu karetsu eta kalkodizeoidunak eta buztin gorriduak; karaririak, breziaz karetsuak eta margak* 91
**Arenicas calcáreas, arenicas conglomeráticas, calcarenitas y limolitas** *Harrearri karetsuak, harrearri konglomeratikoak, kalkarenitak eta limolitak* 90
**Margas, margocalizas y calizas** *Margak, margakarriarrak eta karaririak* 89
**Arenicas y arenicas silíceas; pasadas de microconglomerados** *Harrearrizk eta harrearri silizizkoak, mikrokonglomeratuzko paraguneak* 88
**Margas grises; pasadas de margocalizas** *Marga grisak, margakarriazko paraguneak* 87
**Calizas arenosas, arenicas calcáreas y limolitas** *Kararirii harrotsuak, harrearri karetsuak eta limolitak* 86
**Margas arenosas oscuras y limolitas calcáreas** *Marga harrotsu ilunak eta limolita karetsuak* 85
**Alternancia de calizas nodulosas y margas** *Nodulodun kararirii eta margen txandakatzea* 84
**Calcarenitas bioclásticas con glauconita** *Glaukonitadun kalkarenita bioklastikoak* 83
**Calcarenitas arenosas, arenicas laminadas y margas oscuras arenosas** *Kalkarenita harrotsuak, harrearri saflatuak eta marga ilun harrotsuak* 82
**Margas arenosas oscuras** *Marga harrotsu ilunak* 81
**Margas; tramos de margas y margocalizas alternantes** *Margak; marga eta margakarriarrezko txandaketa-tarteak* 80
**Margas y margocalizas alternantes** *Margak eta margakarriarri txandakatuak* 79
**Calcarenitas bioclásticas nodulosas (calcarenitas con lacazinas)** *Kalkarenita bioklastiko nodulatsuak (Lacazinadun kalkarenitak)* 78
**Margas y margocalizas** *Margak eta margakarriarrak* 77
**Alternancia de margas, margocalizas y calizas** *Margak, margakarriarrak eta kararirii harrotsuen txandakatzea* 76
**Margocalizas y margas compactas** *Margakarriarrak eta marga trinkoak* 75
**Calizas laminadas y margas compactas** *Kararirii saflatuak eta marga trinkoak* 74
**Calizas y calizas margosas** *Karaririak eta kararirii margadunak* 73
**Dolomías, calizas dolomíticas y calizas** *Dolomiak, kararirii dolomitikoak eta karaririak* 72
**Calizas, margocalizas y margas, "slumps" y brechas** *Karaririak, margakarriarrak eta margak, "slumpak" eta breziak* 71
**Alternancia de margocalizas, calizas laminadas y margas** *Margakarriarri, kararirii saflatu eta margen txandakatzea* 70
**Margas, margocalizas y calizas arcillosas** *Margak, margakarriarrak eta kararirii buztinosoak* 69
**Margas y calizas margosas** *Margak eta kararirii margadunak* 68
**Calizas margosas laminadas y margocalizas** *Kararirii margadun saflatuak eta margakarriarrak* 67
**Calcarenitas y/o calcirenitas** *Kalkarenitak edota kalkirenitak* 66
**Alternancia regular de margocalizas, calcarenitas arenosas y margas** *Margakarriarri, kalkarenita harrotsu eta margen txandakatze erregularrak* 65
**Limolitas calcáreas o margas** *Limolita karetsuak edo margak* 64
**Alternancia irregular de margocalizas y/o calizas nodulosas y margas y/o limolitas** *Margakarriarri edota kararirii nodulatsu eta marga edota limolitaren txandakatze irregularra* 63
**Calizas bioclásticas nodulosas** *Kararirii bioklastiko nodulatsuak* 62
**Margas y margocalizas nodulosas brechoides; brechas calcáreas** *Marga eta margakarriarri nodulatsu brezoidetsuak; breziaz karetsuak* 61
**Limolitas, arenicas calcáreas y calizas arenosas** *Limolitak, harrearri karetsuak eta kararirii harrotsuak* 60
**Arenicas, conglomerados y lutitas** *Harrearrizk, konglomeratuak eta lutitak* 59
**Arenicas y lutitas** *Harrearrizk eta lutitak* 58
**Lutitas** *Lutitak* 57
**Lutitas y arenicas** *Lutitak eta harrearrizk* 56
**Arenicas silíceas. Componente conglomerático hacia el este** *Harrearri silizizkoak. Ekialderantz konglomeratiko osagaidunak* 55
**Lutitas grises y negras; niveles arenáceos** *Lutita grisak eta beltzak; tarte harrotsuak* 54
**Oolitolitos calcíreos** *Kararirizko oolitolitoak* 53
**Orto y paraconglo/brechas calcáreas con matriz carbonatada y/o terrígena** *Orto eta parakonglo/breziaz karetsuak, karbonatoa edota lurrezko matrizeun* 52
**Calcarenitas** *Kalkarenitak* 51
**Calcarenitas, margocalizas y niveles de brechas calcáreas** *Kalkarenitak, margakarriarrak eta breziaz karetsuzko paraguneak* 50
**Arenicas y lutitas con signos de inestabilidad; pseudorocas terrígenas o calcosilíceas** *Harrearrizk eta lutitak ezgonkortze-kataraztzko; pseudorroka lurrezkoak edo karesilizizkoak* 49
**Margas y niveles de calcarenitas nodulosas; niveles aislados de brechas calcáreas** *Margak eta kalkarenita nodulatsuzko paraguneak; breziaz karetsuzko paragune isolatuak* 48
**Alternancia de arenicas silíceas y lutitas** *Harrearri silizizko eta lutiten txandakatze* 47
**Calcarenitas; calizas nodulosas** *Kalkarenitak; kararirii nodulatsuak* 46
**Rocas volcanosedimentarias y rolidos** *Harri bolkanosedimentarioak eta kolodak* 45
**Lutitas y arenicas** *Lutitak eta harrearrizk* 44
**Margas y brechas calcáreas. Calizas nodulosas y arenicas calcáreas** *Margak eta breziaz karetsuak. Kararirii nodulatsuak eta harrearri karetsuak* 43
**Calizas impuras** *Kararirii ezpuruak* 42
**Calizas arenáceas (oolíticas y coralíferas dominantes)** *Kararirii arrezifalak (errnadiztak eta koralak nagusi)* 41
**Arenicas y lutitas** *Harrearrizk eta lutitak* 40
**Arenicas de grano fino y/o limolitas calcáreas** *Bikor finetz harrearrizk edota limolita karetsuak* 39
**Alternancia de arenicas y lutitas. Pasadas de microconglomerados, arcillas y lignitos (Pas.Urbiar Fms.)** *Harrearri eta lutiten txandakatze. Mikrokonglomeratuak, buztin eta lignitozko paraguneak (Urbiar Fms.)* 38
**Alternancia de arenicas, conglomerados y lutitas; a techo calizas bioclásticas y conglomerados** *Harrearri, konglomeratu eta lutiten txandakatze; harrearri bioklastikoak eta konglomeratuzkoak sabaian* 37
**Calizas negras laminadas** *Kararirii beltz saflatuak* 36
**Arenicas estratificadas** *Harrearri geruzatuak* 35
**Colada volcánicas** *Bolkan-koladak* 34
**Alternancia irregular de lutitas negras y arenicas** *Lutita beltz eta harrearrien txandakatze irregularra* 33
**Alternancia de calizas, dolomías y lutitas negras** *Kararirii, dolomiak eta lutita beltzen txandakatze* 32
**Carniolas. Calizas, margas y margocalizas** *Karniolak. Karaririak, margak eta margakarriarrak* 31
**Arenas y arenicas, margas arenosas, limos arenáceos, arcillas verdes y calizarenitas** *Harrezk eta harrearrizk, marga harrotsuak, limo harotsuak, buztin berdeduk eta kalkarenitak* 30
**Arenas y arenicas calcáreas** *Harrezk eta harrearri karetsuak* 29
**Margas, calizas nodulosas y margocalizas** *Margak, kararirii nodulatsuak eta margakarriarrak* 28
**Calcarenitas, margas arenosas, calizas arenosas y arenicas** *Kalkarenitak, marga harrotsuak, kararirii harrotsuak eta harrearrizk* 27
**Calcarenitas con Lacazina** *Lacazinadun kalkarenitak* 26
**Calizas, calcarenitas, calizas dolomíticas y margas** *Karaririak, kalkarenitak, kararirii dolomitikoak eta margak* 25
**Calcarenitas dolomíticas arenosas, brechas calcáreas y arenicas rojas** *Kalkarenita dolomitiko harrotsuak, breziaz karetsuak eta harrearri gorriduak* 24
**Calcarenitas, calizas dolomíticas y dolomías** *Kalkarenitak, kararirii dolomitikoak eta dolomiak* 23
**Margocalizas y margas** *Margakarriarrak eta margak* 22
**Calizas, calcarenitas, margas y margocalizas** *Karaririak, kalkarenitak, margak eta margakarriarrak* 21
**Calizas arenosas con orbitolinas y arenicas rojas** *Orbitolinadun kararirii harrotsuak eta harrearri gorriduak* 20
**Arenas y arenicas. Microconglomerados** *Harrezk eta harrearrizk. Mikrokonglomeratuak* 19
**Calizas con estromatolitos y oncolitos; arcillas y niveles de lignitos** *Estromatolitodun eta oncolitodun karaririak; buztinak eta lignito maileak tartekoak* 18
**Limolitas y arcillas; margas y calizas arenosas** *Limolitak eta buztinak; margak eta kararirii harrotsuak* 17
**Calizas micríticas, calizas bioclásticas y calizas con silex** *Kararirii mikritikoak, kararirii bioklastikoak eta silexdun karaririak* 16
**Margas y margocalizas** *Margak eta margakarriarrak* 15
**Carniolas, calizas brechoides y dolomías** *Karniolak, kararirii breziatxekoideak eta dolomiak* 14
**Ofitas** *Ofitak* 13
**Arcillas abigarradas y yesos** *Buztin nabarduk eta gipsoak* 12
**Calizas y dolomías laminadas. Margocalizas y limolitas** *Kararirii eta dolomita saflatuak. Margakarriarrak eta limolitak* 11
**Silicitizaciones y/o dolomitizaciones** *Silizitizazioak edota dolomitizazioak* 10
**Diques, filones de cuarzo y silicificaciones** *Dikeak, kuartzozko betak eta silizifikazioak* 9
**Diques de rocas subvolcánicas** *Harri azpibolkanikoetako dikeak* 8
**Pizarras y grauvacas "metamorfizadas"** *Harbeli eta grauwaka "metamorfizatuak"* 7
**Pizarras** *Harbeliak* 6
**Alternancia de pizarras y grauvacas** *Harbeli eta grauwaken txandakatze* 5
**Granitos heterogranulares y leucogranitos** *Granito heterogranularrak eta leukogranitoak* 4
**Granodioritas** *Granodioritak* 3
**Granitoides** *Granitoideak* 2
**Granitos** *Granitoak* 1

## CUATERNARIO
## KOATERNARIOA

CUATERNARIO KOATERNARIOA: 200, 201, 202, 203, 204, 205, 196

## CUENCA DEL EBRO (ANTEPAIS)
## EBROKO ARROA (AURREKALDEA)

TERCIARIO HIRIGARROA — NEOGENO NEOGENOA — MIOCENO MIOZENOA
- MED.-SUP. ERDI-GOI.: 194, 195
- INFERIOR BEHEKOA: 192, 193

## CUENCA VASCO-CANTABRICA
## EUSKAL-KANTAURIKO ARROA
### DOMINIO DEL SINCLINAL DE MIRANDA-TREVIÑO
### MIRANDA-TREBIÑO SINKLINALEKO EREMUA

TERCIARIO HIRIGARROA — PALEOGENO PALEOGENOA — NEOGENO NEOGENOA
- PLIO-PLEIST. PLIO-PLEIST.: 190, 191
- MIOCENO MIOZENOA: S.G. 187, 188, 189; M.E. 184, 185, 186; I.B. 181, 182, 183, 184
- OLIGOCENO OLIGOZENOA: 178, 179
- EOCENO EOZENOA: M.E. 177; I.B. 173, 174, 175, 176
- THANETIENSE THANETIARRA: 169, 170, 171, 172, 180
- DANOMONTIENSE DANOMONTIARRA: 166, 167, 168
- MAASTRICHTIENSE MAASTRICHTIARRA: 162, 163, 164, 165

CRETACICO KRETAZKOA — SUPERIOR GOIKOA
- MAASTRICHTIENSE MAASTRICHTIARRA: 162

## DOMINIO DEL ARCO VASCO
## EUSKAL ARKUKO EREMUA

TERCIARIO HIRIGARROA — PALEOGENO PALEOGENOA — EOCENO EOZENOA
- MED.- LUTECIEN. ERDI- LUTEZIAR.: 159, 160, 161
- INFERIOR BEHEKOA: 157, 158

PALEOCENO PALEOZENOA: 151, 152, 153, 154, 155

CRETACICO KRETAZKOA — SUPERIOR GOIKOA
- MAASTRICHTIEN. MAASTRICHTIAR.: 149
- CAMPANIENSE KANPANIARRA: 147, 148
- SANTONIENSE SANTONIARRA: 146
- CONIACIENSE KONIAZIARRA: 143, 144, 145
- TURONIENSE TURONIARRA: S.G. 142; M.E. 141; I.B. 139, 140
- CENOMANIE. ZENOMANIA.: M.E. 136, 137; I.B. 134, 135
- APTIENSE APTIARRA: S.G. 132; M.E. 129, 130; I.B. 127, 128
- ALBIENSE ALBIARRA: S.G. 133; M.E. 116, 117, 118; I.B. 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115
- NEOCOM. - BARREM. NEOKOM. - BARREM.: 106, 107, 108

JURASICO JURASIKOA
- MALM MALM: 101, 102, 103, 104, 105
- DOGGER DOGGER: 100
- LIAS LIAS: 98, 99

TRIAS TRIASA
- KEUPER-BUNTSANDST. KEUPER-BUNTSANDST.: 95, 96, 97
- PERMICO PERMIKOA: 94

## DOMINIO DE LA PLATAFORMA ALAVESA-ANTICLINORIO DE BILBAO
## ARABA PLATAFORMA-BILBO ANTIKLINORIOKO EREMUA

TERCIARIO HIRIGARROA — PALEOGENO PALEOGENOA
- OLIGOCENO OLIGOZENOA: I.B. 92, 93
- MAASTRICHTIEN. MAASTRICHTIAR.: 90

CRETACICO KRETAZKOA — SUPERIOR GOIKOA
- CAMPANIENSE KANPANIARRA: S.G. 87; M.E. 84, 85; I.B. 82, 83, 86, 88
- SANTONIENSE SANTONIARRA: 77, 78
- CONIACIENSE KONIAZIARRA: 71, 72, 73, 74, 75, 76
- TURONIENSE TURONIARRA: 69, 70
- CENOMANIENSE ZENOMANIARRA: S.G. 61; I.B. 62, 63, 64, 65, 66, 67

CRETACICO KRETAZKOA — INFERIOR BEHEKOA
- ALBIENSE ALBIARRA: S.G. 37; M.E. 38, 39, 40, 41, 42, 43; I.B. 35, 36
- APTIENSE APTIARRA: 32, 33, 34
- NEOCOMIENSE BARREMIENSE NEOKOMIARRA BARREMIARRA "PURBECK": 30, 31
- JURASICO JURASIKOA: 29

## DOMINIO DE LA SIERRA DE CANTABRIA
## KANTAURI MENDIKATEKO EREMUA

CRETACICO KRETAZKOA — SUPERIOR GOIKOA
- CAMPANIENSE KANPANIARRA: 25, 26, 27, 28
- SANTONIENSE SANTONIARRA: 24
- CONIACIENSE KONIAZIARRA: 21, 22
- TURONIENSE TURONIARRA: 20, 23
- CENOMANIENSE ZENOMANIARRA: 19

CRETACICO KRETAZKOA — INFERIOR BEHEKOA
- ALBIENSE ALBIARRA: 17, 18
- APTIENSE APTIARRA: 16
- BARREMIENSE BARREMIARRA
- NEOCOMIENSE NEOKOMIARRA: 15

JURASICO JURASIKOA
- MALM MALM
- DOGGER DOGGER: 14
- LIAS LIAS: 13
- RETHIENSE RETHIARRA: 12

## TRIAS ALOCTONO
## TRIAS ALOKTONOA

TRIAS TRIASA
- KEUPER KEUPER
- MUSCHELKALK MUSCHELKALK: 9, 10, 11

## ROCAS FILONIANAS
## HARRI FILONIANOAK

## MACIZOS PALEOZOICOS (ZOCALO HERCINICO)
## MAZIZO PALEOZOIKOAK (ZOKALO HERZINIARRA)

PALEOZOICO SUPERIOR (DEVONICO SUP.-CARBONIFERO INF.) GOIKO PALEOZOIKOA (GOIKO DEBONIKOA-BEHEKO KARBONIFEROA): 3, 4, 5

## ROCAS IGNEAS
## HARRI IGNEOAK

1, 2

## SIGNOS CONVENCIONALES
## OHIZKO ZEINUAK

- Contacto normal o concordante — *Ikuera normala edo baterakorra*
- Contacto discordante — *Ikuera desbaterakorra*
- Contacto mecánico o intrusivo — *Ikuera mekanikoa edo intrusiboa*
- Falla — *Falla*
- Falla inversa — *Falla alderaztzua*
- Cabalgamiento — *Zemalkamendua*
- Dirección y cantidad de buzamiento de la estratificación — *Geruzapenaren okerrenduraren zentzua eta zenbatekoa*
- Dirección y cantidad de buzamiento de capas invertidas — *Geruza alderaztuaen okerrenduraren zentzua eta zenbatekoa*
- Estratificación horizontal — *Geruzapen horizontala*
- Estratificación vertical — *Geruzapen bertikala*
- Línea de capa — *Kapa-lerroa*
- Dirección y buzamiento de la esquistosidad — *Eskistositatearen okerrenduraren zentzua eta zenbatekoa*
- Esquistosidad vertical — *Eskistositate bertikala*
- Anticlinal de fase I alpina — *I alpetar faseko antiklinalea*
- Anticlinal volcado de fase I alpina — *I alpetar faseko antiklinale etzana*
- Sinclinal de fase I alpina — *I alpetar faseko sinklinalea*
- Sinclinal volcado de fase I alpina — *I alpetar faseko sinklinale etzana*
- Anticlinal post fase I alpina — *I alpetar fase osteko antiklinalea*
- Sinclinal post fase I alpina — *I alpetar fase osteko sinklinalea*
- Límite de metamorfismo de contacto — *Kontaktu-metamorfismoko muga*
- Bloque deslizado — *Bloke labaindua*

## MANANTIALES
## UBEGIAK

| Caudal medio (l/s) *Batezbesteko emaria* | | | Residuo seco (gr/l) *Hondakin lehorra* | Temperatura (ºC) *Tenperatura* |
|---|---|---|---|---|
| >100 | 10-100 | <10 | | |
| ● | ● | ● | ≤0.5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0.5 | <18 |
| ● | ● | ● | >0.5 | ≥18 |

Escala 1:100.000
*1:100.000 Eskala*
0 1 2 4 6 8 10 Km

MAR CANTABRICO
KANTAURI ITSASOA

Puerto de Bilbao
Bilboko Portua

Ría de Mundakako itsasadarra

Condado de Treviño (BURGOS)


EDITA: ENTE VASCO DE LA ENERGIA EVE 1996
ARGITARAZLEA: ENERJIAREN EUSKAL ERAKUNDEA EVE 1996

Base topográfica: Instituto Geográfico Nacional. Cartografía: ITGOCAMA, s.a. Madrid
*Oinharri topografikoa: Instituto Geográfico Nacional. Kartografia: ITGOCAMA, s.a. Madrid*
Tirada gráfica: Villena, S. A. Depósito legal M-31.146.-96. ISBN: 84-8129-037-8
*Argitarapen grafikoa: Villena, S. A. Lege-gordailua: M-31.146.-96. ISBN: 84-8129-037-8*


Queda prohibida la reproducción total o parcial sin autorización previa.
*Debekaturik dago haien edozeinoiako kopiaketarik edo zatiko zurrada baio baimenik gabe.*