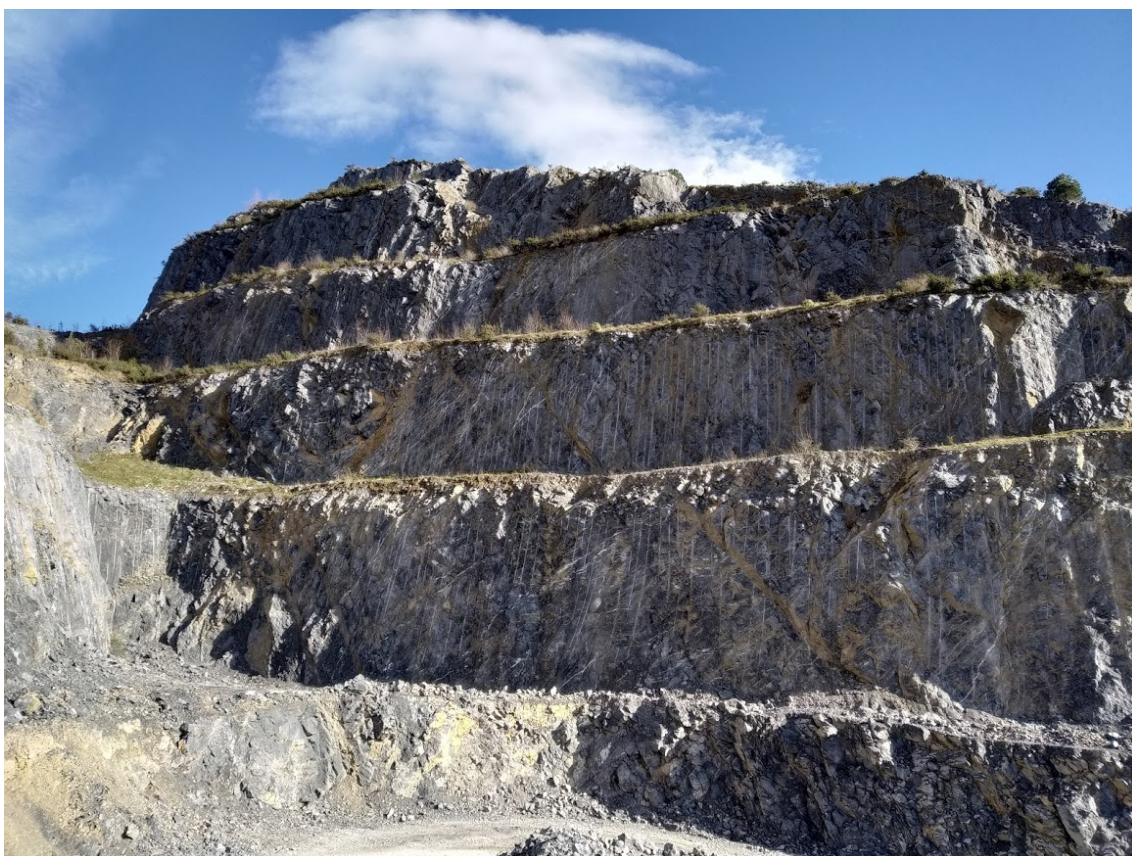


INFLUENCIA HIDROGEOLÓGICA DE LA AMPLIACIÓN DE LA CANTERA "BURUNTZA" Nº 4642 SOBRE LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA DE ERNIO.

Enero de 2020



Informe elaborado para SOCIEDAD FINANCIERA
Y MINERA SA por el Grupo de Ingeniería del
agua y del Medio Ambiente, GEAMA, de la
Universidade da Coruña

Autores

El presente informe ha sido elaborado por

- Ricardo Juncosa Rivera. Profesor Titular de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de La Coruña. Doctor Ingeniero de Minas. Asociación Internacional de Hidrogeólogos



Fdo. Ricardo Juncosa Rivera



Índice

1.- Introducción	1
1.1.- Resumen	1
1.2.- Antecedentes	1
1.3.- Localización	1
1.4.- Objeto	2
1.5.- Marco legal	2
2.- Estudio Geomorfológico Regional	4
2.1.- Descripción de la zona	4
2.2.- Morfología del terreno	4
2.3.- Geología regional	4
2.4.- Edafología	7
2.5.- Caracterización vegetal	7
3.- Hidrogeología Regional	8
3.1.- Hidrografía	8
3.2.- Balance hidrológico	9
3.3.- Hidrogeología	10
3.3.1.- Caracterización hidrogeológica de medios fisurados karstificados	10
3.3.2.- Caracterización hidrodinámica	11
3.3.2.1.- Subunidad Ernio	13
3.3.2.2.- Subunidad Andoain	15
3.3.3.- Funcionamiento hidráulico	17
3.3.4.- Hidroquímica	19



4.- Estudio Hidrogeológico Local	21
4.1.- Caracterización de la zona	21
4.1.1.- Descripción morfológica local	21
4.1.2.- Geología local	21
4.1.3.- Hidrología	22
4.1.3.1.- Hidrografía	22
4.1.3.2.- Manantiales y piezometría	22
4.1.3.3.- Caudales y niveles	23
4.1.4.- Hidroquímica	24
4.2.- Análisis hidrogeológico	24
4.2.1.- Estructura hidrogeológica de la zona	25
4.2.2.- Funcionamiento hidrodinámico	26
4.2.2.1.- Flujo en acuíferos	26
4.2.2.2.- Identificación de zonas de recarga y descarga	28
4.2.2.3.- Piezometría	29
 5.- Análisis de la Influencia de Actividades en la Zona próxima a la Cantera	 32
5.1.- Descripción de las actuaciones previstas	32
5.2.- Marco normativo	32
5.3.- Estudio de vulnerabilidad	33
5.3.1.- Influencia hidrodinámica	33
5.3.2.- Influencia hidrogeoquímica	33
 6.- Conclusiones	 35
 7.- Anejos	 36
Anejo I. Referencias	37
Anejo II. Figuras	38
Anejo III. Fotografías	66
Anejo IV. Plano	70

1. Introducción

1. 1. Resumen

En el presente estudio se realiza un análisis hidrogeológico local de la zona próxima que se quiere explotar de la cantera “Buruntza” nº 4642, situada en Andoain (Guipúzcoa). Dicha cantera pertenece a la SOCIEDAD FINANCIERA Y MINERA, S.A. del Grupo HeidelbergCement Group. Para ello, se ha determinado el funcionamiento hidrodinámico del medio subterráneo y se ha procedido a analizar la influencia sobre el acuífero subyacente (unidad hidrogeológica de Ernio) al ampliar la explotación de la Corta original en 2.87 ha hacia el Este.

El estudio consta de tres partes diferenciadas, y cuyo seguimiento o trayectoria se enfoca de lo general a lo particular y el detalle:

- 1) Un análisis regional hidrogeológico, donde se caracteriza geomorfológicamente la zona sobre la que se extiende la unidad hidrogeológica de Ernio, y se estudia el comportamiento hidráulico de la misma desde un punto de vista global.
- 2) Un estudio de la hidrogeología local en la zona próxima a la cantera y en la zona objeto de estudio, analizando los puntos de descarga subterránea y el funcionamiento hidrodinámico del medio.
- 3) Una estimación de la influencia en la vulnerabilidad del sistema subterráneo por la ejecución de las acciones previstas, bien desde un punto de vista hidrodinámico como hidroquímico.

1. 2. Antecedentes

SOCIEDAD FINANCIERA Y MINERA S.A. es la empresa promotora y concesionaria de la explotación de la cantera “Buruntza” nº 4642 desde hace más de 40 años. Dicha cantera explota caliza recifal masiva del Aptiense (Cretácico Inferior) como material para la elaboración de cementos en obra civil.

Actualmente, la cota del fondo de Corta se encuentra, aproximadamente, en los 120 m.s.n.m., estando la zona de ampliación situada entre la cota 250 m.s.n.m. y la 310 m.s.n.m., aproximadamente, a cotas más altas. Por ello, se ha de comprobar la imposibilidad de que la ampliación de la explotación que se pretende efectuar a media ladera pueda afectar al acuífero subyacente que descarga hacia el río Oria.

1. 3. Localización

La cantera “Buruntza” nº 4642 se encuentra ubicada en el municipio de Andoain. Para acceder a las instalaciones hay que ir por la carretera N-I hacia San Sebastián. En el Anejo II se muestra la ubicación de la zona de ubicación de la cantera (Figura 1).

1. 4. Objeto

El objeto de este informe consiste en analizar la posible influencia, que las actuaciones previstas por el promotor en la cantera, van a potencialmente tener sobre el acuífero calizo de la unidad hidrogeológica de Ernio, bien desde un punto de vista hidrodinámico (líneas de flujo, caudales en manantiales) como hidroquímico (calidad de las aguas surgentes).

Para ello, ha sido necesario estudiar las formaciones geológicas, la morfología de la cuenca, la hidrología superficial, el comportamiento del acuífero, tanto desde un punto de vista regional como en la zona cercana, para identificar la posible vulnerabilidad en el área de descarga, así como en el de recarga.

Este estudio ha sido realizado en colaboración con la empresa redactora del proyecto presentado "PROYECTO DE EXPLOTACIÓN DE LA AMPLIACIÓN DE LA CONCESIÓN DIRECTA DE EXPLOTACIÓN "BURUNTZA, Nº 4.642", SITUADA EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE ANDOAIN Y LASARTE-ORIA (GIPUZCOA)", ZIFRA INGENIERIA, y los técnicos que lo realizaron.

1. 5. Marco legal

Las aguas subterráneas se encuentran definidas y legisladas dentro del marco estatal de la Ley de Aguas R.D. 1/2001. En este caso, las aguas que emanan superficialmente o que subyacen a una explotación minera se las puede catalogar, dependiendo de la interacción entre la explotación y el medio natural, como aguas de mina. En el caso de escorrentías directas que se acumulan y lixivian los distintos frentes de la Corta, la legislación obliga a un tratamiento posterior de las mismas para recircularlas al sistema del medio natural. Ese tratamiento dependerá de la especificidad de la calidad química del agua.

Con respecto a las aguas subterráneas, se pueden identificar dos tipos diferentes de relación: a) que el acuífero descargue a través del frente de explotación al ser interceptado por éste, en caso de ser un acuífero somero de aguas subsuperficiales epidérmicas, y b) que el acuífero sea el medio receptor en un nivel inferior de los lixiviados que se infiltran a través del fondo de Corta y de los taludes de la misma.

Las aguas de mina son aquellas que emanan de emplazamientos mineros superficiales o subterráneos, en explotación o abandonados. No existe una reglamentación europea específica relativa a las aguas de mina por lo que, dado su carácter general, es la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 con la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (en adelante, DMA) y quien fija el marco de referencia legal.

La Directiva introduce dos nuevos enfoques fundamentales en la política de aguas de la Unión Europea: uno medioambiental (prevención del deterioro adicional y consecución del "*buen estado ecológico*" de las aguas continentales y costeras) y otro de gestión (nuevo modelo de gestión hídrica a nivel de las

cuencas hidrográficas, basado en una nueva política de precios que permita la recuperación de costes de los servicios relacionados con el agua y que proporcione incentivos para el uso eficiente de los recursos hídricos).

La DMA ha sido transpuesta a la legislación española mediante la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social, que en su artículo 129 modifica el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA), aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio. El TRLA establece como instrumento principal para alcanzar los objetivos establecidos los denominados planes hidrológicos de cuenca. Se trata de un proceso cíclico de largo plazo cuyo primer ciclo termina con la publicación del Plan Hidrológico de cuenca.

La Orden ARM/2656/2008, de 10 de Septiembre, por la que se aprueba la instrucción de Planificación Hidrológica (Decreto 907/2007, de 6 de Julio por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica), y su posterior modificación por la Orden ARM/1195/2011, de 11 de mayo, establece la catalogación de las distintas aguas que conforman una cuenca y cuáles son los índices de calidad que se utilizan para definir el estado ecológico de las mismas (Instrucción de Planificación Hidrológica). Con la estimación de dichos índices a partir de los parámetros morfométricos, físico-químicos y biológicos de la cuenca, se procede a definir el Estado inicial o Estado de referencia de las aguas (Estado 0), antes de que exista cualquier afección antrópica a las mismas.

El desarrollo de normativas específicas de calidad de aguas, dependiendo de su posterior uso y aprovechamiento, quedan reflejadas, entre otros, en los siguientes decretos y reglamentos:

- Reglamento de ordenación de la pesca fluvial y de los ecosistemas acuáticos continentales (Decreto 130/1997). Calidad mínima exigida a las aguas continentales (Anexo V).
- RD 1341/2007, de 11 de octubre, sobre gestión de la calidad de las aguas de baño (Anexo I).
- RD 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica.
- RD 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el Reglamento de dominio público hidráulico.
- Directiva 2008/105/CE, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.
- Ley 1/2006, de 23 de junio, de Aguas (BOPV nº 137 ZK, de 19 de julio de 2006), de adaptación de la Directiva Marco 2000/60/CE a la Comunidad Autónoma vasca.

2. Estudio Geomorfológico Regional

Con el fin de analizar la zona próxima de la cantera es preciso realizar y describir el contexto general geomorfológico e hidrológico de la región, ya que, con ello, se podrá cuantificar, desde un punto de vista hídrico, lo que representan las actuaciones previstas por el promotor.

2. 1. Descripción de la zona

El ámbito territorial del estudio se encuentra enmarcada, desde un punto de vista hidrogeológico, compartiendo distintas unidades hidrológicas dentro de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Ateniéndose exclusivamente a criterios superficiales hidrológicos, la zona particular del estudio se encuentra en la localidad de Andoain, en la provincia de Guipúzcoa, en la cuenca hidrológica del río Oria que vierte al Mar Cantábrico. En el Anejo II. Figuras se pueden consultar las distintas unidades hidrológicas (subcuencas) que conforman el mapa hidrológico del País Vasco (Figura 2). La cuenca del río Oria tiene una extensión aproximada de 882.5 km² que abarca superficialmente la zona regional objeto de estudio del acuífero.

2. 2. Morfología del terreno

Desde un punto de vista regional se han analizado morfológicamente las distintas subcuencas sobre las que se emplaza la unidad hidrogeológica de Ernio correspondiente a material calizo. Puesto que un acuífero es un embalse subterráneo de gran extensión areal, que pone en comunicación e interconecta los recursos subterráneos procedentes de las infiltraciones producidas en superficie de distintas cuencas morfológicas, se puede decir que puede formar parte de una unidad hidrogeológica mayor, de tal forma que una misma unidad hidrogeológica puede estar constituida por acuíferos no conectados, dependiendo de la geología estructural que los conforma.

En nuestro caso la unidad hidrogeológica es la de Ernio que forma una parte sustancial de la unidad morfológica de la cuenca del río Oria; es decir, la cuenca topográfica está constituida, a su vez, por otras zonas de unidades hidrogeológicas diferentes.

El río Oria nace en los montes de Alzania, en la zona sureste de Guipúzcoa, cerca del límite con Álava. Atraviesa en su curso alto el sector oriental del anticlinal de Aitzgorri. Morfométricamente, la cuenca es una cuenca de valles y montañas de pendientes pronunciadas acorde a la orogenia transcurrida en su formación.

En el Anejo II. Figuras se pueden consultar la topografía de las subcuencas dentro de la Comunidad Autónoma Vasca (Figura 3).

2. 3. Geología regional

La litología y geología se ha obtenido a partir de la Figura 4 del Anejo II y de la información geológica publicada por el IGME y el gobierno Vasco (EVE),

corroborándose en las actividades realizadas en campo por el equipo redactor del presente estudio.

En el Anejo II se muestra el mapa de zonas kársticas de todas las subcuencas del País Vasco (Figura 4) (Maeztu, 1993). La zona objeto de estudio se encuadra dentro de la unidad hidrogeológica de Ernio, cuya figura (Figura 5) se muestra en dicho Anejo, y ha sido obtenida a partir del Mapa kárstico de la Figura 4, detallándose especialmente la zona donde se encuentra la cantera de Buruntza.

Geológicamente, la unidad hidrogeológica de Ernio está constituida, principalmente, por los materiales más antiguos del denominado Arco Vasco, desde el Permotrias hasta el Cretácico inferior. Se diferencian los siguientes términos:

1.- Areniscas cuarzo-feldespáticas y limolitas rojas, en la base microconglomerados. Conjunto del Permotrias 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.

2.- Arcillas abigarradas y yesos. Ofitas. Rocas volcanoclásticas. 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.

3.- Carniolas, calizas grises y dolomías laminadas. 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.

4.- Margas y margocalizas grises. 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.

5.- Calizas bioclásticas y calizas nodulosas con sílex. 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 término es de unos 90 m.

6.- Margas arenosas y limolitas. 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.

7.- Calizas grises estratificadas (calizas de Sérpulas). 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.

8.- Alternancia de limolitas calcáreas, margas y calizas impuras. 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.

9.- Calizas arrecifales (rudistas y corales dominantes). 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.

10.- Grauvacas negras, arenas y limos rojos y versicolores. 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 concreciones férricas que proporcionan un característico color de alteración rojo.

11.- Alternancia de lutitas negras y areniscas. Alternancia de areniscas y lutitas. 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.

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

13.- Aluviales, aluvio-coluviales. 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, inferiores 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 Permotrias 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.

2. 4. Edafología

El suelo es el resultado de la influencia de una serie de factores de distinta naturaleza que inciden tanto sobre su formación como sobre su evolución. Los factores que influyen en la formación de los suelos son, principalmente, el material de partida, la topografía, el clima, los organismos y el tiempo de duración del proceso.

En el área de estudio, con laderas abruptas, la erosión actúa de modo más intenso, rejuveneciendo el suelo e impidiendo su evolución. En general, los suelos son poco profundos que, en condiciones normales, la cubierta vegetal imposibilita la erosión.

Los principales suelos dominantes en todas las áreas calizas con pendientes moderadas o suaves son los cambisoles. Si las pendientes se acentúan aparecen las rendzinas (rico en humus y elementos nutritivos), que presentan las zonas de máxima degradación erosiva.

Una característica importante es el contacto entre roca y suelo, lo que determina, por lo general, un espesor de suelo reducido más propicio para pastizales y no siendo propicio para el cultivo.

2. 5. Caracterización vegetal

La vegetación potencial de la cuenca del río Oria se ha visto profundamente modificada por las actividades humanas. Las zonas altas de la cabecera de la cuenca pertenecientes a las sierras de Aralar y Aitzgorri han visto sustituidos los hayedos por praderas y matorrales montanos como consecuencia del pastoreo. Asimismo, las laderas y fondos de valle, ocupados potencialmente por robledales de *Quercus robur* y bosques mixtos de carácter eútrofo, se han visto sustituidos por plantaciones de coníferas de crecimiento rápido y por praderas y pastizales de diente además de por formaciones arbustivas de sustitución. No obstante quedan aún áreas de cierta magnitud de bosques mixtos de frondosas y hayedos, especialmente en las cabeceras de las cuencas de la margen derecha.

3. Hidrología Regional

En este apartado se hace un resumen a nivel regional tanto de la caracterización hidrológica en superficie como en el medio subterráneo, si bien se sientan las bases para, posteriormente, abordar el análisis a nivel local.

3. 1. Hidrografía

El Oria tiene su cabecera en la Sierra de Aitzgorri, aunque en sus primeros kilómetros recibe los aportes de numerosos afluentes entre las sierras de Aitzgorri y Aralar. Sus principales afluentes son el Araxes, nacido en el puerto de Azpiroz, en Navarra y el Leizarán, nacido en el valle de Leiza, también en Navarra. En su curso alto y medio el Oria mantiene una dirección SSO – NNE. En Lasarte se desvía en dirección E – O para buscar la salida al mar en Orio. Existen vestigios de un antiguo cauce con desembocadura en la playa de Ondarreta.

Sólo en el tramo inicial y hasta Beasain, presenta desniveles de cierta importancia. A partir de Usurbil, discurre lentamente formando amplios meandros hasta desembocar en Orio, pueblo famoso en otro tiempo por sus astilleros de ribera.

El río Oria recibe los siguientes afluentes. Por la margen derecha en sentido Norte – Sur el Leizaran, Zelai, Araxes, donde confluye el Orexaran, Amezket, donde confluye el Bedaio, Ibiur, Zaldibia, donde confluye el Urtzu, Agauntza y Ursuaran. Por la margen izquierda el Abalotz, Asteasu, Alkiza, Salubita, Zubiri, el Estanda en el que confluyen Santa Luzia y Arriaran y el Troi.

Fue sin duda el río más contaminado como consecuencia de las industrias que ocupan sus márgenes y que elevan a 497 los aprovechamientos que se hacen de sus aguas. Su cuenca soporta una población de unas 130000 personas, y recibe vertidos de fábricas papeleras, químicas, textiles, maquinaria y herramienta y metalurgia de transformación, etc.

Morfométricamente, Way (1978) realizó una clasificación de las cuencas hidrográficas respecto a la densidad de las corrientes, textura y forma. De ella se pudo obtener una gran cantidad de información en lo que se refiere a la roca madre y a los materiales del suelo, a la cantidad de agua que circula, a la morfología, etc. Así respecto a la textura, la cuenca pertenece a las de textura de media a fina.

En cuanto a la forma de la cuenca, ésta es, en el curso alto y medio, de tipo dendrítico, mientras que en el curso bajo el tipo de cuenca es de drenaje desordenado, es decir, sistemas de drenaje resultantes de formas de suelo relativamente jóvenes con topografía llana o suave y elevada capa freática. Este último tipo de drenaje suele presentarse en llanuras jóvenes, al final de morrenas y en llanuras aluviales.

Según los datos de la estación de aforo de Andoain, en el Oria, este río tiene un caudal absoluto de 15.54 m³/s, y un caudal específico de 18.3 l/s/km². El caudal máximo diario se registró el 25 de septiembre de 1959, con una cifra de 264 m³/s.

3. 2. Balance hidrológico

Por su localización, la cuenca del Oria presenta un clima templado-oceánico, que se caracteriza por la abundancia de las precipitaciones, con mínimos estivales y máximos de otoño y principios de invierno y las temperaturas suaves, con amplitud térmica muy débil. En el tramo bajo (Andoain – Orio) la precipitación oscila entre 1300 – 1600 mm y en el tramo medio (Ordizia – Andoain) entre 1400 – 1700 mm.; en la cabecera de la cuenca y en las subcuencas del Leizaran y Araxes se alcanzan los 1900 mm anuales. Así, la zona engloba diferentes pluviometrías, dependiendo de si se está en el sector más oriental o más occidental.

En lo que se refiere a las temperaturas medias, éstas oscilan en el tramo bajo (Andoain – Orio) entre 13 – 14 °C; en el tramo medio (Ordizia – Andoain) entre 12 – 13 °C; y en el tramo alto (Zegama – Ordizia) entre 11 – 12 °C.

De los estudios hidrológicos promovidos por el Gobierno Vasco para la estimación de los recursos de las distintas unidades hidrológicas de la Comunidad Vasca, se puede establecer un balance global de las componentes hidrológicas fundamentales (Uraagua, 2007).

Así, los valores de la evapotranspiración potencial, las temperaturas medias, máximas, mínimas y promedio, y las aportaciones (escorrentía superficial), junto con los coeficientes de escorrentía, se muestran en la Tabla 1.

En la Figura 6 (Anejo II) se muestra el mapa de precipitaciones (isoyetas) promedio anuales de las distintas unidades hidrológicas de la Comunidad Vasca. Así mismo, en la Figura 7 se muestran las temperaturas promedio de dichas unidades hidrológicas, y en la Figura 8 se proporciona el mapa de evapotranspiración potencial. Teniendo en cuenta los balances particulares de cada subcuenca, la geomorfología y sus características hidrodinámicas se estimaron las aportaciones dadas en la Tabla 1. De esta forma se estima una asignación anual de recursos renovables de 846 hm³.

Unidad	Oria cabecera	Oria en Andoain	Oria completo
Área (km²)	241.89	656.09	882.5
Precipitación (mm/año)	1516.34	2010.15	1679.22
ETP (mm/año)	837	822	928
Coef. escorrentía	0.61	0.44	0.57
Aportaciones (mm/año)	925.37	892.18	953.38

Tabla 1. Balances globales de la cuenca del río Oria.

3. 3. Hidrogeología

Una vez analizada la información regional con respecto a la geomorfología, hidrografía, hidrología superficial, se puede establecer, dentro de lo que es el área regional de influencia, el comportamiento hidrogeológico de la unidad hidrogeológica de Ernio, que engloba al acuífero subyacente del entorno de la zona objeto de estudio.

3.3.1. Caracterización hidrogeológica de medios fisurados karstificados

Cuando se analiza el medio subterráneo cálcico se puede poner de manifiesto la existencia de distintas formaciones kársticas. Un karst se produce por disolución indirecta del carbonato cálcico de las rocas calizas debido a la acción de aguas ligeramente ácidas. El agua se acidifica cuando se enriquece en dióxido de carbono, por ejemplo cuando atraviesa un suelo, y reacciona con el carbonato, formando bicarbonato, que es soluble. Las aguas superficiales y subterráneas van disolviendo la roca y creando galerías y cuevas que, por hundimiento parcial, forman dolinas y, por hundimiento total, forman cañones.

Existen muchas formas kársticas, según si estas formas se producen en superficie o, por el contrario, son geomorfológicas que aparecen en cavidades subterráneas. En el primer caso se denominan exokársticas. Dichas formaciones pueden ser:

- Lapiaces o lenares: Son surcos o cavidades separados por tabiques más o menos agudos. Los surcos se forman por las aguas de escorrentía sobre las vertientes o sobre superficies llanas con fisuras.
- Poljés: Son depresiones alargadas de fondo horizontal enmarcadas por vertientes abruptas. Están recorridos total o parcialmente por corrientes de agua, que desaparecen súbitamente por sumideros o pozos y continúan circulando subterráneamente.
- Dolinas o torcas: Son grandes depresiones formadas en los lugares donde el agua se estanca. Pueden tener formas diversas y unirse con otras vecinas, formando uvalas.
- Gargantas: Son valles estrechos y profundos, causados por los ríos.
- Cuevas que se forman al infiltrarse el agua. Suelen formarse estalactitas a partir del agua, rica en carbonato cálcico, que gotea del techo, y estalagmitas a partir del agua depositada en el suelo.
- Simas: Son aberturas estrechas que comunican la superficie con las galerías subterráneas.
- Ponors: Son aperturas de tipo de portal donde una corriente superficial o lago fluye total o parcialmente hacia un sistema de agua subterránea.

En el segundo caso, se denominan endokársticas (simas, sumideros, sifones, foibas, etc.).

En las Figuras 9 y 10 se muestran las distintas formaciones kársticas que se producen en la disolución de la caliza y en la Figura 11 se muestran las fases de la formación del karst.

Entre la zona superior o superficial (exokarst) y la profunda (endokarst) existen distintas zonas intermedias, como se aprecia en la Figura 11, que pueden o no conectarse a través de fisuras subverticales o fallas. La conexión dependerá de la porosidad mostrada por el material detrítico y micronizado por acción tectónica existente en la fractura. Las zonas que se definen son:

- Zona de absorción: zona superficial por donde penetra el agua;
- Zona vadosa: el agua puede circular verticalmente;
- Zona freática: zona profunda donde circula permanentemente el agua;
- Zona epifreática: situada entre la vadosa y la freática, sufre inundaciones periódicas.

En la zona profunda se pueden formar verdaderos conductos interconectados que constituyen ríos subterráneos. En estos casos, el movimiento del agua obedece más bien a gradientes hidráulicos gravitatorios que a desniveles piezométricos bajos. Cuando el gradiente alcanza un cierto valor el agua se pone en funcionamiento proporcionando altos caudales, hecho que se corrobora con las altas transmisividades medidas en campo. Valores altos de transmisividad para un mismo caudal implican bajos gradientes piezométricos o gravitatorios. Por ello, un endokarst subhorizontal no implica que la transmisión sea menos rápida, de hecho los coeficientes de agotamiento o descarga de los karst son altos.

3.3.2. Caracterización hidrodinámica

La serie aflorante en la unidad hidrogeológica 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 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 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) 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 o recifales. 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 en el endokarst.

Los depósitos aluviales y aluvio-coluviales 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. En la Figura 12 se muestra el mapa geológico de la zona objeto de estudio (Figura 13, leyenda).

Del resto de los términos aflorantes, únicamente las ofitas alcanzan una permeabilidad media, propiciada por procesos de meteorización. Se consideran de baja permeabilidad o muy baja permeabilidad el resto de los materiales.

En la Unidad hidrogeológica 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 la Tabla 2 y en las Figuras 5 y 14 se presentan los sectores diferenciados, cuyas principales características se describen a continuación.

Subunidad	Sector	Acuífero	Superficie (km ²)	
			Afloramiento	Cuenca vertiente
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
	Hernalde	Lías Hernalde	0.8	3
	Tolosa	Lías Tolosa	2	2.5
		Urgoniano Urkizu	0.4	-
	Ernio	Urgoniano Ernio + jurásico	8.5	4.3
		Lías Arraia	0.8	2.3

Tabla 2. Subunidades y sectores de la unidad hidrogeológica de Ernio.

3.3.2.1.- Subunidad Ernio

a) 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, pero también sobre los términos carbonatados jurásicos y por la infiltración de la escorrentía procedente de la cuenca vertiente de los detríticos que ocupan el núcleo del sinclinal. Los materiales detríticos basales 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 m.s.n.m., en la cabecera del arroyo Alkiza, tienen un caudal medio estimado del orden de 100 l/s, con puntas superiores a 1000 l/s y caudales de estiaje de 20 – 30 l/s. En una situación geológica análoga, pero a cota algo superior (375 y 385 m.s.n.m.) y en la cuenca del Arraia, se localizan Buztinzuri y Otxozulota con un caudal medio estimado de 20 l/s (Figura 14).

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 un desnivel 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 1000 l/s y mínimos del orden de pocas decenas de l/s. Su caudal medio es de 75 l/s.

b) Sector Tolosa

Se sitúa al Sur de la zona definida. Está formado por los afloramientos calizo-dolomíticos liásicos y urgonianos 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, así 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.s.n.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 km².

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 y como se ha confirmado.

En el otro acuífero diferenciado, Urkizu, la disposición del sustrato impermeable, margas y limolitas de la facies de implantación urgoniana, genera el manantial de Artutxa ($Q_m = 5$ l/s), manantial de rebose que drena buena parte del paquete a cota 500 m.s.n.m. 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.

c) 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 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, así como la escorrentía procedente de una cuenca vertiente de unos 3 km² 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 m²/día, y valores del coeficiente de almacenamiento, correspondientes a un acuífero confinado, de $1.4 \cdot 10^{-5}$ a $3.6 \cdot 10^{-5}$. 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.

d) Sector Anoeta

Se localiza al Norte del anterior coincidiendo con el valle del arroyo Alkiza. La serie del Lías inferior 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 hidráulica de los mismos. Los principales puntos de drenaje inventariados son los manantiales de Anoeta ($Q_m = 10$ l/s) y Axibarralde ($Q_m = 5$ 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 2000 m²/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

e) Sector Matxinzulo

El acuífero principal está constituido, una vez más, por los materiales calizo-dolomíticos 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 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.

3.3.2.2.- Subunidad Andoain

a) Sector Aldaia

Se sitúa en el extremo occidental de la subunidad Andoain. Los materiales acuíferos son las calizas y dolomías del Lías inferior y,

principalmente, las calizas urgonianas. 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.

b) 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 con las grauvacas negras, 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 realizadas, están comprendidos entre 37 y 132 m²/día y $3 \cdot 10^{-2}$ y $9 \cdot 10^{-3}$ 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.

c) 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 que son alimentados por la precipitación recibida y por la aportación de una cuenca vertiente de unos 2.8 km². El drenaje se realiza por una serie de manantiales menores y por salidas no visibles al aluvial.

d) 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.

3.3.3. Funcionamiento hidráulico

Hidrogeológicamente, es natural distinguir los recursos de agua, es decir, la cantidad que fluye a lo largo del año hidrológico a través del sistema acuífero, y las reservas, que son el volumen de agua almacenada en ese sistema. En la unidad hidrogeológica de Ernio, que es una formación cálcica con zonas karstificadas, hay que distinguir entre lo que se considera recurso y lo que es reserva. Hay reservas que no son explotables, por lo que dejan de ser recurso, que es lo que sucede cuando existen zonas que acumulan agua en el medio kárstico pero que no fluyen (acuicludo) por acumularse en zonas de porosidad no efectiva.

Los acuíferos kársticos muestran singularidades que les diferencian del resto de acuíferos en su exploración, explotación y gestión (Antigüedad et al, 2007). Presentan, por una parte, características comunes a las redes hidrográficas (drenaje organizado en conductos) y, por otra, características propias de los acuíferos porosos (matriz rocosa que puede tener una cierta porosidad primaria, o secundaria por fracturación o incipiente karstificación); es decir, presentan a la vez una función transmisiva (capacidad para el paso del agua) en los conductos, que gobierna el flujo de los recursos, y una función capacitiva (capacidad para contener agua) en los bloques, que gobierna el almacenamiento de las reservas.

Lo que caracteriza al acuífero kárstico es su heterogeneidad organizada, es decir, los huecos que la disolución de la roca va originando, y el propio flujo que condiciona la disolución, el cual se va jerarquizando desde arriba, la superficie del terreno, donde se produce la recarga, hacia abajo, y la surgencia (manantial), donde se produce la descarga. Esta heterogeneidad explica las dificultades que habitualmente aparecen en la exploración de estos acuíferos: pozos muy próximos entre sí pueden presentar rendimientos totalmente diferentes, según la posición que cada pozo tenga respecto a la estructura interna de drenaje.

Por ello, se conocen como terrenos kársticos (karst, en general) aquéllas regiones constituidas por rocas compactas y solubles, carbonatadas fundamentalmente, en las que, como consecuencia de los procesos de disolución (karstificación), aparecen formas superficiales y subterráneas características que las diferencian de otro tipo de regiones. El origen y evolución espacio-temporal de estas formas depende de factores geológicos, tectónicos, hidráulicos, físico-químicos y biológicos. El resultado de la actuación

de estos factores, cambiantes en el tiempo, es una amplia variedad de tipos de terrenos kársticos.

Desde un punto de vista hidrológico, se puede caracterizar por la ausencia general de flujo superficial permanente. La red de drenaje superficial suele ser discontinua en el espacio, condicionada por la presencia de surgencias y sumideros, y en el tiempo, mostrando un carácter intermitente en el aporte de agua.

Usualmente los caudales presentan grandes fluctuaciones. Existe, además una estrecha interrelación entre las aguas superficiales y subterráneas, las cuales son cambiantes en espacio y tiempo.

Desde un punto de vista hidrogeológico, como ya se ha explicado, el karst es un medio con una gran heterogeneidad espacial, y temporal, pero dispone de una heterogeneidad organizada. Si bien no es posible extrapolar a un acuífero kárstico desconocido el funcionamiento de otro conocido, aunque esté próximo y sea aparentemente idéntico, sí que existe un esquema conceptual general del karst, que presenta aspectos como:

- Diferentes modalidades de infiltración, lenta y rápida, con distinta influencia en la respuesta energética (hidrograma, cantidad de agua) y química (calidad) de las surgencias. La porosidad eficaz de la zona de infiltración está limitada, en general, a 1% ó 2 %. La permeabilidad del sustrato influye en la generación de escorrentía y en la configuración de los acuíferos.
- Eventual existencia de un acuífero superficial, epikarst (Antigüedad y Mugerza, 2001), con un desigual filtraje temporal de la infiltración, y con una fuerte porosidad eficaz (entre 5 % y 15 %).
- Presencia de bloques de baja permeabilidad (sistemas anexos), con función capacitiva, y presencia de conductos de muy alta permeabilidad (red de drenaje kárstico), con función conductora; estos últimos actúan a modo de colectores del drenaje de los bloques, que pueden ser independientes entre sí. La relación hidráulica bloques - conductos puede ser de doble sentido (inversión de gradiente). La porosidad eficaz del conjunto de la zona saturada puede alcanzar hasta el 20 %, en los casos más favorables, mientras que la red kárstica (los conductos) no llega a representar más que el 0.5 %.
- Frecuentemente el acuífero kárstico está alimentado por aportes superficiales procedentes de terrenos no kársticos que terminan infiltrándose de forma concentrada (sumideros) en las rocas carbonatadas. En estos casos se habla de karst binario.
- No necesaria relación entre karstificación superficial y profunda. El desarrollo de la disolución dependerá de factores hidráulicos y físico-químicos.
- La disolución (karstificación) origina una red organizada de drenaje hacia la cual convergen los flujos subterráneos. Esta red finaliza en

surgencias que, normalmente, presentan notables caudales. Esta jerarquización del drenaje es el motivo por el cual en los terrenos kársticos hay pocas, pero importantes, zonas de descarga (surgencias).

- La variabilidad de caudales en las surgencias es consecuencia de la diferente importancia relativa que en el funcionamiento hidrogeológico del acuífero kárstico tienen la red de conductos y los bloques capacitivos.
- Los acuíferos kársticos son, por lo general, muy vulnerables a la contaminación. Esta va a depender de la organización del flujo y de las relaciones entre los bloques y los conductos.

Al ser la karstificación un proceso sometido a cambios en función de los factores (climáticos, morfológicos, geológicos) que lo limitan, el resultado es la existencia de una gran variedad de acuíferos “kársticos”, comprendidos entre los de flujo difuso (el flujo se produce de una manera más o menos homogénea a través del medio) y los kársticos “sensu stricto” (el flujo se organiza espacialmente a través de la red de conductos). Los de flujo difuso tienen un comportamiento próximo al de los medios porosos; en estos casos no se habla de karst, desde un punto de vista hidrogeológico.

3.3.4. Hidroquímica

Por lo general las aguas de la unidad hidrogeológica de Ernio son aguas bicarbonatadas cálcicas de mineralización media – baja, generalmente inferior a 300 mg/l. Únicamente 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^{2+} , HCO_3^- y principalmente en SO_4^{2-} , 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^{2-} , 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 esta anomalía con afección de aguas residuales del propio núcleo.

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.

En la Figura 15 se muestran los diferentes diagramas de stiff de las aguas de los manantiales de los diferentes sectores y unidades.

4. Estudio Hidrogeológico Local

Una vez analizado la unidad hidrogeológica de Ernio desde un punto de vista global-regional, se va a analizar la subunidad de Buruntza, que es la subunidad en la que se sitúa la cantera.

4. 1. Caracterización de la zona

4.1.1. Descripción morfológica local

La cantera se encuentra ubicada próxima a la rio Oria entre la cota 120 m.s.n.m. del fondo de Corta y la cota aproximada de 320 m.s.n.m. con pendiente del 35% (Figura 16), lo que confiere una zona escarpada hacia el pico Buruntza donde apenas crece la vegetación arbórea (Figura 17).

La zona en la que se pretende aprovechar el mineral, ampliando la zona de explotación, corresponde a un área de 2.87 ha situada al Este de la actual explotación, entre dicha explotación y la cantera Aizkibel SA – Urnieta (Figura 18). El fondo de Corta de la cantera Aizkibel SA – Urnieta se encuentra en la cota 140 m.s.n.m., aproximadamente.

Dicha área, objeto de estudio se encuentra entre la cota 250 m.s.n.m. y la cota 340 m.s.n.m. presentando una pendiente también escarpada sin vegetación y con vegetación arbórea en la parte baja de la ladera.

4.1.2. Geología local

Desde el punto de vista geológico, la cantera explota calizas, estando situada, fundamentalmente en la banda arrecifal de edad Aptiense (Complejo Urganiano) que bordea de forma continua el sinclinal del Monte Andatza, en el margen izquierdo del rio Oria, y el sinclinal Erica-Beltz, en el margen derecho. Tiene una superficie de 2.7 km² (Figura 5).

Las calizas recifales se presentan en masas, sin estratificación clara, como es el caso de la cantera (ver fotos del Anejo III), en forma de barras, lentes o bancos muy gruesos, y son compactas y muy resistentes, cristalinas a sublitográficas. Estas calizas recifales cambian lateralmente a otras recifoides y después a lutitas.

Las calizas recifoides (también llamadas paraurogonianas) se meteorizan y disgregan con mayor facilidad, y dejan mayor cantidad de impurezas al ser disueltas. Su transición con las anteriores apenas es discernible. Su afloramientos se presentan bien estratificados, en bancos delgados (0.2 a 1 m) con intercalación de arcillas apizarradas. Dependiendo de su estructura, grado de fracturación y disposición del relieve, pueden constituir zonas en donde la karstificación es importante, mientras que en otros casos resultan poco permeables, con elevada escorrentía y escasa infiltración.

Las lutitas (también llamadas argilitas calcáreas) son el final del cambio lateral de facies de las calizas recifales y también ocupan la base de la serie en los cambios verticales. Presentan fuerte proporción de material arcilloso-arenoso muy fino, con cantidades de carbonatos que aumentan en la

proximidad de las calizas. Sus colores son negro a gris oscuro, presentando en algunos casos nódulos piritosos y materiales bituminosos. Desde el punto de vista de karstificación se consideran materiales impermeables. Constituyen los niveles de base del Urgoniano y lo pueden dividir en unidades menores hidrogeológicamente independientes unas de otras.

Los niveles de calizas masivas son las que presentan interés económico de cara a su utilización en la industria del cemento, y se caracterizan químicamente por tener contenidos bajos de SiO_2 , Al_2O_3 y K_2O y contenidos altos en CO_3Ca . Mineralógicamente presentan contenidos muy bajos en cuarzo y minerales de arcilla.

Al sur de las calizas recifales se encuentran las formaciones geológicas del Jurásico, que se encuentra aislado del complejo Urgoniano por la serie Weald (arenisco-arcillosa) impermeable. Dicha serie presenta areniscas calcáreas y calizas areniscosas, micáceas, piritosas y arcillosas. Esta serie se comporta como impermeable separando el Jurásico del Urgoniano.

En el Jurásico se pueden distinguir tres unidades: a) Lias inferior, constituido por calizas dolomíticas y dolomías, o bien por mármoles dolomíticos donde la serie está metamorfozada. Está poco karstificada. b) Lias medio y superior, donde predominan margas y margocalizas poco o nada permeables; y c) el Dogger y Malm, que son calizas compactas que tanto lateralmente como en su base cambian a calizas areniscosas o margosas.

4.1.3. Hidrología

4.1.3.1.- Hidrografía

En toda la extensión superior de la zona no existen corrientes superficiales. La red fluvial se encuentra sustituida por estructuras kársticas. La relación hidrológica de la zona con el río Oria es de esta manera principalmente subterránea.

El río Oria se encuentra apenas a 200 m de la cantera, siendo los aportes del agua subterránea las que proporcionan los caudales base de dicho río. Al ser una zona muy escarpada, se dan valores extremos de caudales con una variabilidad alta, con tiempos de concentración bajos, ya que la escorrentía superficial predomina sobre la infiltración y las aportaciones de las lluvias de la cuenca se concentran rápidamente en el cauce del río debido a las altas pendientes mencionadas. Así, la abrupta topografía de los afloramientos calizos, con pendientes muy fuertes, no favorece la infiltración, particularmente en las zonas periféricas, y parte de los recursos disponibles descargan en forma de escorrentía superficial.

4.1.3.2.- Manantiales y piezometría

Los afloramientos urgonianos localizados en la zona objeto de estudio influyen en la formación de los manantiales existentes en las zonas bajas de descarga subterránea. La recarga procede básicamente de la infiltración de la precipitación recibida por los propios afloramientos urgonianos en las zonas

con pendientes más bajas, pues la existencia de pendientes pronunciadas favorece la generación de escorrentía superficial en detrimento de la infiltración.

La zona de descarga se produce en las laderas próximas del río Oria, donde la cota piezométrica coincide con la cota topográfica.

El acuífero que subyace es un acuífero endokárstico permeable por fisuración y karstificación (dolinas, simas, cavidades,...), donde las zonas de recarga, principalmente, se encuentra en las zonas mesetarias, de pendiente baja, con menos vegetación y mayor precipitación y, en consecuencia, con mayores índices de infiltración, que corresponden a las zonas topográficamente más altas de la zona. El proceso de infiltración por agua de lluvia conduce a la formación de un exokarst, como posteriormente se analizará, que puede estar desarrollado en zonas de pendientes bajas con tendencia horizontal en la parte alta de la cuenca, y cuyo desarrollo genera el endokarst que se manifiesta en forma de manantiales en las zonas de descarga.

En las zonas con mayores pendientes, el exokarst apenas está desarrollado, conformando un lapiaz poco formado que no conecta con las zonas más profundas del endokarst.

El flujo subterráneo subhorizontal, una vez que la infiltración ha alcanzado los huecos, fisuras y fallas por donde puede circular y comunicar el agua, se puede considerar libre existiendo una zona vadosa no saturada no despreciable. Al ser el medio muy transmisivo, los niveles freáticos no son muy variables desde un punto de vista espacial, si no que los gradientes que provocan el movimiento del agua a través de los conductos kársticos no son muy altos, como posteriormente se verá, en un mismo conducto de transmisión.

Las descargas se realizan de forma directa o indirecta hacia el río Oria conformando las surgencias de Bycia y Huertas y manantiales menores. Las coordenadas (ETRS89) se dan en la Tabla 3.

Manantial	UTM X	UTM Y	Altitud
Bycia	578964	4788195	~30
Huertas	579149	4786670	~40

Tabla 3. Manantiales próximos.

Analizando el flujo desde un punto de vista regional, se puede deducir que existe un flujo hacia el Suroeste, controlado por el buzamiento pronunciado del paquete carbonatado y la dirección de las fracturas.

4.1.3.3.- Caudales y niveles

El Gobierno Vasco (concretamente la Agencia Vasca del Agua) dispone de una red de control piezométrico y de aforos que se va actualizando mensualmente. En este caso el URA (Agencia Vasca del Agua) no monitoriza los manantiales Bycia y Huertas; los datos que se conocen proceden de medidas esporádicas realizadas.

Desde el punto de vista piezométrico no se dispone de un piezómetro, los más próximos se encuentran en Hernani (sondeos SC30 y SP17), por lo que los únicos puntos que se conocen de piezometría coinciden con los puntos de descarga al río Oria.

Los caudales medios medidos en ambos manantiales son 30 l/s en el manantial Bycia y 15 l/s en el Huertas. 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.

4.1.4. Hidroquímica

Por lo general son aguas bicarbonatadas cálcicas de mineralización media – baja. Se disponen de varios análisis realizados en el manantial de Bycia, presentando una calidad bacteriológica buena, lo que implica la escasa actividad agropecuaria en el entorno del manantial, hecho corroborado por las elevadas pendientes existentes que dificulta dicha actividad.

En la Tabla 4 se muestran los valores medios de las concentraciones de los distintos elementos y parámetros analizados en muestras tomadas en el manantial Bycia.

Elementos	HCO ₃	NO ₃	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Concentracion (mg/l)	128.54	3.93	15.55	21.44	14.26	0.53	43.07	2.94
Parámetros	pH	CE (μS/cm)		TSS (mg/l)		Hidrocarburos (mg/l)		
Unidad	7.11	557		< 10		< 0.1		

Tabla 4. Concentraciones medias de distintas especies y parámetros medidos en el manantial Bycia.

4. 2. Análisis hidrogeológico

Teniendo en cuenta lo expuesto en los anteriores epígrafes se puede obtener el conocimiento suficiente para determinar el funcionamiento hidrodinámico del entorno subterráneo de la cantera desde un punto de vista más local.

4.2.1. Estructura hidrogeológica de la zona

La zona que se pretende explotar tiene una estructura geológica bien diferenciada gracias a los cortes geológicos que muestra tanto el frente de explotación de la propia cantera Buruntza, como el frente de explotación existente en el talud Oeste de la cantera adyacente (cantera Aizkibel). Ambos taludes presentan calicatas del material geológico de la lengüeta que separa ambas canteras.

Por otra parte, la fotografía aérea muestra la zona sin vegetación arbórea, debido a la elevada pendiente que muestra dicha franja; por lo que se puede visualizar la formación geológica en los afloramientos.

En la Figura 19 se muestra, en planta, dicha superficie, y se puede distinguir la formación exokárstica de un lapiaz con escaso desarrollo con dirección NE – SO. El escaso desarrollo de dicho lapiaz sobre la caliza recifal masiva se comprueba en el corte geológico que proporciona el talud Este de la cantera Buruntza, donde se puede observar la carencia de cuevas, cavidades kársticas o huecos originados por disolución de la calcita. Sin embargo, se aprecia el buzamiento de las diaclasas compactas que alcanzan en superficie al lapiaz. Son buzamientos altos de más de 45° en dirección Norte e incluso bandas estrechas de diaclasa entrecruzadas dirección Sur (Foto 1 del Anejo III).

La tierra vegetal apenas tiene un espesor decimétrico por lo que la conexión del lapiaz con la fracturación llega a producirse pero con escasa influencia dada la bajísima infiltración que se produce; infiltración que produce pequeñas bolsas aisladas de acumulación de agua (pequeños acuicludos de escasa entidad); hecho que se corrobora con las labores de explotación que, en algunos casos, producen una salida nimia de agua en alguna cavidad pequeña.

Por otro lado, las diaclasas que se aprecian en el frente de explotación en dicha zona terminan en la falla NNO – SSE que ha sido abierta, tal y como se aprecia en el plano geológico de la Figura 20 y (leyenda en la Figura 21) y en la Foto 2 del Anejo III, cuyo buzamiento es subvertical.

Con respecto a la zona más profunda, donde existe una zona vadosa, se comprueba en dicha Foto 2, la caracterización masiva de la caliza, lo que le confiere cierta impenetrabilidad al agua; hecho que se comprueba con la inexistencia de nivel freático, incluso en la cota más baja que supone el fondo de Corta.

Al sur de la zona que se pretende explotar existe el contacto con el material jurásico, como se aprecia en la Foto 3 del Anejo III, donde se vislumbra la existencia de arcillas areniscas en la parte más superficial del contacto (weald).

Con respecto al talud Este de la lengüeta (talud Oeste de la cantera Aizkibel) se puede apreciar la intercalación areniscosa con vergencia hacia el Sur – Suroeste que conforma un cabalgamiento (Figura 17) que separa la zona urgoniana superficial de la zona más profunda. La dirección de buzamientos de

las distintas diaclasas siguen la misma dirección que la observada en el talud Este de la cantera Buruntza (Foto 4 del anejo III).

En el Anejo III se muestra otra serie de fotos del frente de explotación donde se aprecia la inexistencia de marca de nivel freático y donde se puede apreciar la nula conexión entre el acuífero de Buruntza (endokarst) y el exokarst lapiaz.

En la Figura 22 se muestra un esquema estructural de la formación cálcica con dirección NO – SE (perpendicular a la línea CD de la Figura 23); y en las Figuras 24 y 25 (y Plano I, ver Anejo IV) se muestra el perfil geológico de las secciones señaladas en la Figura 23, En la Figura 20 se señala la posición del manantial más cercano (Huertas). El manantial Bycia queda en la subcuenca hidrológica adyacente al norte.

4.2.2. Funcionamiento hidrodinámico

Una vez realizado el análisis estructural descriptivo se estudia el funcionamiento hidrodinámico de la zona en el entorno de la misma, identificando las distintas unidades del medio que conforma el acuífero, así como las líneas de flujo del mismo.

4.2.2.1.- Flujo en acuíferos

El flujo en medios porosos viene definido por la ecuación de Darcy, la cual estima la velocidad del agua por unidad de superficie de medio, teniendo en cuenta la resistencia que opone éste al avance del flujo por gradiente piezométrico. La expresión que proporciona dicha velocidad es

$$q = -K \cdot \nabla h$$

donde:

q: es la velocidad de Darcy (m/d) o velocidad del agua en el medio

K: es la conductividad hidráulica del medio (m/d).

∇h : es el gradiente hidráulico y viene definido por la siguiente expresión:

$$\nabla h = \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

siendo Δh la diferencia de cota piezométrica entre dos puntos y Δl la distancia entre ambos. La cota piezométrica está dada por la siguiente expresión:

$$h = z + \frac{P}{\gamma}$$

donde

z: es la cota geométrica (m)

P: es la presión (Pa)

γ : es el peso específico del agua (N/m³)

En caso de que no exista confinamiento (acuífero libre) el término de presiones es el calado del agua con respecto al zócalo de referencia del acuífero. El término de presiones se convierte en hidrostático.

El flujo Darciano es un flujo laminar donde las fuerzas de viscosidad predominan sobre las de inercia. Cuando el medio es homogéneo e isótropo la permeabilidad es un escalar. En caso de anisotropía K es un tensor de segundo orden.

En acuíferos kársticos, en sentido estricto, el agua no se comporta como un medio poroso, sino que el agua circula por fracturas y grietas no rellenadas, a modo de canales, por diferencia hidráulica de posición, comportándose como un canal o río. En otros casos el movimiento del agua se produce a través del material que rellena las grietas (porosidad secundaria), lo que implica que el movimiento del agua cumple la Ley de Darcy si dicho material se comporta como un medio poroso.

En caso de que las grietas y fracturas sean de un tamaño considerable y no exista relleno (cuevas kársticas) el movimiento del agua se rige por las ecuaciones hidráulicas de Saint-Venant; el movimiento es turbulento. Puede suceder que el medio kárstico se comporte de manera difusa; es decir que la infiltración y posterior movimiento subhorizontal se produzca a través del material de relleno, por lo que se puede suponer o asimilar dicho medio a un acuífero poroso donde el régimen es laminar.

El movimiento real, en consecuencia, a través de las fracturas vendrá dado por la velocidad real en las mismas y no como una velocidad por unidad de medio, que será menor. Así, la velocidad real v será:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{q}{\phi}$$

siendo Φ la porosidad del medio, Δx la longitud recorrida por el agua en el tiempo Δt . Si Δt es el tiempo de tránsito, Δx es el radio de influencia.

En este caso, el acuífero kárstico se recarga de manera difusa comportándose como un acuífero kárstico pero no en sensu estricto, en las zonas con menos pendiente, donde se favorece la infiltración y acumulación del

agua en superficie. No es un exokarst desarrollado. La no existencia de cavidades en el exokarst confirma la infiltración difusa en zonas de mayor pendiente. El desarrollo de cavidades está más relacionado, generalmente, con las zonas de descarga, donde hay una mayor concentración de flujo y energía de disolución del material cálcico.

En consecuencia, en la zona baja de descarga, la fracturación es muy probable que se convierta en zonas de cavidades, donde el flujo ya es turbulento y se rige por las leyes de comportamiento hidráulico, como reflejan los valores de transmisividad estimados en la zona.

4.2.2.2.- Identificación de zonas de recarga y descarga

Tal y como ya se ha explicado anteriormente, hay que destacar la evolución general del relieve respecto a la influencia ejercida por el agua en la caliza en función de la topografía, existiendo dos tipos de recarga, una asociada a una infiltración dominante y otra difusa.

Con respecto a la infiltración directa, es la menos dominante y se produce en las zonas altas, donde hay una tendencia a la horizontalidad de la topografía, favoreciendo la acumulación del agua, y en las zonas próximas a los aluviales, donde la pendiente también tiende a la horizontalidad. En las zonas próximas a las zonas de descarga es donde, generalmente, se producen los huecos y cavidades de diversa capacidad en función del caudal recargado hacia el acuífero.

La infiltración difusa produce menores aportaciones en zonas de altas pendientes, de tal forma que dicha infiltración genera una escorrentía subsuperficial epidérmica que va formando el lapiaz, pero que su alcance en profundidad es corto, de tal forma que no alimenta al endokarst (Figura 22); es más un flujo subhorizontal que va horadando la parte superficial de la formación cálcica que un flujo vertical. Ello es debido a las altas pendientes que evitan que el agua permanezca quieta sobre el terreno y escurra rápidamente.

Así, su influencia queda limitada al exokarst, a las estructuras más superficiales de la unidad superior calcárea. El lapiaz formado es de agujas de poca altura y escaso desarrollo.

Sin embargo la infiltración difusa producida en zonas de pendientes bajas es más efectiva, ya que se da tiempo a que el agua que queda estancada ejerza su labor diluyente.

La conexión endokarst-exokarst puede ser un elemento importante a la hora de analizar la zona de recarga útil que, como se ha visto, obedece a zonas donde la zona vadosa no existe y hay una cierta distancia, entre ambas estructuras, despreciable.

Así pues, la recarga del acuífero se realiza, principalmente, de forma difusa, por infiltración de las precipitaciones sobre la superficie de afloramiento de los materiales carbonatados en zonas de baja pendiente y escasa vegetación. Dado que las superficies con dichas condiciones son bajas, los caudales que se obtienen en los manantiales oscilan de 1 l/s a 30 l/s.

Las zonas de descarga ya se ha explicado que corresponden generalmente con zonas de conducción horizontal (huecos o cavidades) de escaso recorrido, y funcionalmente relacionadas con la emisión o conducción de agua en el karst. Éstas presentan escaso o nulo desnivel.

Por otro lado, la lluvia útil evaluada corresponde con 920 mm/año, lo que multiplicado por la zona de recarga o influencia de las surgencias proporciona los valores de los caudales de los manantiales.

La zona de descarga se encuentra en las proximidades del río Oria, donde la cota topográfica alcanza valores por debajo del nivel freático, generando las surgencias naturales de Bycia y Huertas y de manantiales de menor entidad. De este modo, el área de influencia directa para la obtención de los 30 l/s del manantial Bycia y de los 15 l/s del manantial Huertas corresponderían a unas 103 ha y 51 ha, respectivamente. Dicha superficie sería la superficie concentrada para proporcionar dichos caudales de descarga.

4.2.2.3.- Piezometría

Ya se ha dicho que no existen medidas de piezometría y lo único que se conoce son los valores de la cota de descarga de los manantiales de Bycia y Huertas. No hay piezómetros de control instalados por la Agencia del Agua del País Vasco.

De este modo, el acuífero de Buruntza toma relevancia en las zonas de descarga, en las proximidades del río Oria. El acuífero presenta una porosidad propia de acuíferos carbonatados que responde principalmente a procesos de Karstificación (0.2). Esta alteración se intensifica en las zonas de descarga.

Tal y como ya se ha explicado, tanto al Sur como al Norte de las calizas arrecifales del complejo Urganiano, el material es poco permeable (jurásico indiferenciado al sur y arenisca con algunos niveles de limo al norte) por lo que condicionan el borde del acuífero carbonatado (Figura 20).

Según este modelo, los límites vienen impuestos por estas facies de baja permeabilidad que llegan a limitar el acuífero en buena parte de su extensión (Figura 20).

De la Figura 5 se aprecia que el manantial Bycia está influido por las líneas de flujo de dirección NNE – SSO, situado en la subcuenca hidrológica contigua, y, sin embargo, las líneas de flujo del manantial Huertas provienen con dirección NO – SO del otro margen del río Oria.

En nuestro caso se va a adoptar un modelo conservador y que es el de suponer que la dirección del flujo es NNE – SSO, con el objetivo de analizar la influencia sobre la red de flujo de la Corta minera.

Así, con el fin de estimar las isopiezas y los niveles que se pueden alcanzar en el endokarst, se han supuesto dos situaciones: Una suponiendo que en la zona de descarga el flujo obedece a los principios de la hidráulica en lamina libre (régimen turbulento) al considerarse un karst en sensu estricto, y otra, suponiendo que es un karst difuso, cuyo comportamiento obedece al flujo darciano (régimen laminar), considerando que el flujo por las fracturas se

realiza a través de la existencia de un material de relleno, el cual se comporta como un medio poroso (porosidad secundaria).

Desde un punto de vista hidráulico, mayorando un tiempo de transición a 365 días (1 año) en el acuífero, y sabiendo que el caudal total de descarga en el tramo de 610 m del río Oria que atraviesa la zona de calizas arrecifales del complejo Urganiano es de 45 l/s, se puede obtener, en términos de altura equivalente de agua, para el área de dicho material calizo de 2.7 km², las aportaciones. En este supuesto conservador se obtiene 1.6·10⁻⁵ mm/s, lo que representa para un tiempo de transición mayorado de 365 días, una altura de elevación relativa del nivel de 0.525 m. Si la estimación se hace a partir de los recursos medios de la formación geológica que es 2.1 hm³/año (Figura 5) se obtendría una altura equivalente de 0.777 m/año; lo que implica que, para un tiempo de transición de 1 año, se obtendría una altura equivalente de 0.777 m.

Teniendo en cuenta que las descargas al río Oria se encuentran a 30 m.s.n.m en el manantial Bycia y 40 m.s.n.m. en el manantial Huertas, la cota que alcanzará el agua en el medio kárstico será, como mucho 40.77 m no alcanzando ni siquiera la cota del fondo de Corta de la cantera (120 m.s.n.m.), tal y como sucede.

En la Figura 26 se muestra un esquema del medio y el comportamiento hidrodinámico del karst suponiendo condiciones en régimen turbulento de funcionamiento (karst en sentido estricto).

Si se considera que el comportamiento del medio es el característico de un karst difuso, el caudal darciano Q se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Q = \phi \cdot Q_{real}$$

Teniendo en cuenta que la porosidad, en el caso más desfavorable, es 0.2 y el caudal medio 45 l/s, se obtiene Q = 9 l/s.

En consecuencia, el gradiente piezométrico para la transmisividad dada para la zona fracturada, teniendo en cuenta valores conservadores (37 m²/d), como es el caso de la formación adyacente de Lepasoro, se calcula a partir de:

$$Q = T \cdot b \cdot \nabla h$$

siendo b la longitud de la zona de influencia alrededor en el tramo del río (~ 610 m). Para dichos valores se obtiene $\nabla h = 0.034$. Las surgencias se encuentran a unos 1350 m del extremo más alejado de la cantera donde se pretende explotar (Figura 27), lo que implica que el aumento de nivel piezométrico, en caso de considerar un medio poroso kárstico difuso, es

$$\Delta h = L \cdot \nabla h = 1350 \cdot 0.034 = 45.9 \text{ m}$$

Al situarse la cota de descarga a 40 m.s.n.m., el nivel piezométrico a 1350 m de distancia se encontrará en 85.9 m.s.n.m., valor por debajo de la cota del fondo de Corta de 120 m.s.n.m. y de la zona donde se pretende ampliar la explotación.

Para la cantera adyacente, cuya distancia es de unos 1830 m el valor que se obtiene con dicho gradiente hidráulico es de 62.22 m, lo que supone una cota piezométrica de 102.22 m.s.n.m., valor que está por debajo de los 140 m.s.n.m. del fondo de Corta de dicha cantera.

No obstante, hay que tener en cuenta que el último cálculo se ha realizado considerando que el medio subterráneo se comporta como un medio poroso equivalente al medio kárstico, cuyo flujo se concentra en la zona de descarga proporcionando valores mayores que los resultados obtenidos considerando el medio kárstico en sentido estricto.

En la Figura 27 se muestra un esquema de la línea piezométrica sobre la representación de una sección transversal de dirección NNE – SSO, como la dibujada en la Figura 23.

En la Figura 28 se muestra el modelo de red de flujo asociado al esquema de comportamiento del medio definido como karts difuso. Las líneas de corriente siguen la dirección del lapiaz.

5. Análisis de la Influencia de Actividades en la Zona próxima a la Cantera

Una vez descrita la hidrogeología próxima, se plantea un análisis de las distintas actuaciones que tiene previsto el promotor en la cantera y zonas aledañas, de tal forma que se estudia cual va a ser la influencia hidrogeológica de las mismas. Así mismo, se obtienen una serie de conclusiones.

5. 1. Descripción de las actuaciones previstas

Actualmente, en la cantera se ha explotado casi todo el material calizo que le otorgaba la concesión/autorización proporcionada por la Sección de Minas del Departamento de Industria, Innovación, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco. La cota a la que se ha llegado principalmente en el fondo de Corta ha sido la 120 m.s.n.m. (ver fotos del Anejo III).

Se pretende ampliar la explotación hacia el Noreste, hacia una zona altimétricamente alta de 2.87 ha, en forma de pico con cota aproximada de 350 m.s.n.m., donde la pendiente es pronunciada, extrayendo mineral de dicho pico retranqueando el frente de explotación hasta la cota 120 m.s.n.m., lo que, induce un análisis de la influencia de dicha actuación sobre las condiciones hidrogeológicas del material calizo situado en dicha zona. En la Figura 18 se muestra la nueva área de explotación propuesta.

5. 2. Marco normativo

Tal y como marca la normativa y legislación vigente, cualquier actuación que pueda revertir un conflicto de intereses de un aprovechamiento de un recurso minero con respecto a otros recursos, exige un análisis de compatibilidad y de viabilidad técnica sin menoscabar el aprovechamiento de los otros recursos. Por ello, se hace necesario identificar qué otros recursos se encuentran en la zona que podrían ser afectados potencialmente.

En este caso, el recurso principal que podría verse afectado es el agua subterránea del acuífero kárstico subyacente, pudiendo interferir en el caudal de descarga.

Por otra parte, desde el punto de vista medio ambiental, la explotación del recurso geológico no debería vulnerabilizar la calidad química de las aguas, por lo que hay que garantizar que las características hidroquímicas no se vean afectadas, o que se debilite la protección de las mismas.

Para ello es necesario analizar la zona de infiltración de la Corta, ya que ésta pondrá a exposición ambiental superficies de material geológico que antes no estaban y podrían aflorar zonas de grietas o huecos, que antes estaban cubiertos, por los que se pueden introducir sustancias no deseadas, como vías preferenciales de flujo, y alcanzar al acuífero.

Por todo ello, en el siguiente epígrafe se analizan los planteamientos expuestos.

5. 3. Estudio de vulnerabilidad

A continuación se analiza la actuación prevista tanto desde un punto de vista hidrodinámico (cuantificación) como hidroquímico (calidad).

5.3.1. Influencia hidrodinámica

La existencia de la cantera no ha menoscabado los caudales de descarga de los manantiales existentes, principalmente el Bycia y el Huertas; es más, en la cantera (Corta minera) nunca se ha encontrado el nivel freático del endokarst, y la descarga de agua del acuífero no se ha visto interferida en los manantiales, lo que implica que, desde el punto de vista del recurso (agua) no hay solapamiento.

Por otra parte, tal y como se ha estimado en el epígrafe 4.2.2.3., el nivel del agua del endokarst en la zona más alejada (1350 m) del fondo de Corta con respecto al punto de descarga del manantial Huertas, más próximo, no supera la cota de 85.9 m.s.n.m., teniendo en cuenta la condiciones más conservadoras. Por ello, desde un punto de vista de influencia hidrodinámica al acuífero, **no va a afectar** ampliar la Corta hacia el Noreste, tanto si se considera el medio kárstico difuso como si se considera el medio kárstico en sentido estricto.

En la Figura 27 se muestra el esquema de funcionamiento del acuífero y la cota a la que se encontraría el nivel piezométrico con respecto al fondo de Corta. Aún considerando la zona de descarga por fracturas con valores bajos de transmisividad ($37 \text{ m}^2/\text{d}$), se obtiene un gradiente piezométrico de escasa pendiente (3.4 %) (desnivel de la cota piezométrica).

En conclusión, si se explota por encima de la cota que marca el nivel piezométrico (85.9 m.s.n.m.) **no se afectará** al acuífero endokárstico (Figura 27).

Por otra parte, hay una pequeña zona de material del jurásico que se va a explotar, hecho que no afectará, ya que dicho material, tal y como se ha explicado anteriormente, se comporta con una permeabilidad muy baja, siendo, precisamente, un material que confina el acuífero de las calizas arrecifales del complejo Urgoniano. Téngase en cuenta que el manantial Huertas está aproximadamente en el contacto de ambas formaciones geológicas (Figuras 14 y 20).

Desde el punto de vista hidrológico, el concentrar el agua de lluvia, que actualmente escurre por la ladera de la superficie de ampliación hacia el suroeste, hacia el hueco minero cuando se explote dicha zona, tampoco es significativo ya que dicha superficie forma parte de la misma subcuenca hidrológica; es decir, no se va a producir un trasvase de agua a una subcuenca distinta, ya que la cantera está ubicada a media ladera.

5.3.2. Influencia hidrogeoquímica

Desde el punto de vista hidroquímico, la disminución de la potencia del medio geológico favorece que los posibles lixiviados que pudiesen infiltrarse, alcancen antes el acuífero pudiendo afectarlo. Sin embargo, la principal zona

de absorción (zona de recarga) se produce en el exokarst existente en las zonas de mayor cota donde las pendientes son menores.

La zona donde se ubica la cantera es zona de transmisión y la zona de ampliación es una zona con alta pendiente de erosión química con la existencia de un lapiaz poco desarrollado y escasa infiltración. El exokarst se reduce a bolsas aisladas de escasa entidad en dicha zona, pues la caliza se muestra de manera masiva con diaclasas (ver Fotos del Anejo III).

Debido a ello, la infiltración es baja. La posible recarga que se pudiese producir proviene de la infiltración epidérmica (flujo subsuperficial) que se produce sin alcanzar el endokarst (Figura 27).

Por otra parte, el fondo de Corta (ver Fotos del Anejo III) no presenta una tasa de infiltración significativa, existe un drenaje superficial natural que reconduce las aguas de lluvia y las que escurren por los taludes hacia el exterior de la cantera. Así, el poco volumen de agua que pudiese infiltrarse por el fondo de la Corta, no es agua afectada, pues ello dependerá de la existencia de vertidos accidentales ocasionales, que son poco probables; lo cual no se produce ya que la planta de tratamiento del mineral es en vía seca y las revisiones y mantenimiento de la maquinaria pesada no se ejecutan en el hueco. Así, pues, los lixiviados que se producen serán los procedentes del escurrimiento y disolución de material geológico de los taludes, bermas y fondo de Corta, ya que existen canales perimetrales de recogida de aguas que impiden la entrada de agua externa.

No obstante hay que decir que, incluso en caso de que se produjese un vertido accidental, su influencia sobre el acuífero subyacente es completamente irrelevante, dado los valores de los caudales de descarga y el volumen de recurso renovable anual que hay (21 hm³). A ello hay que añadir la improbabilidad de que suceda teniendo en cuenta el marco de actuaciones que obliga la legislación actual.

Con respecto a la ampliación de la cantera hacia la zona Noreste hay que hacer constar que dicha ampliación no implica el desbroce de monte, ya que no hay, lo que no influirá en la interceptación. La ejecución de bermas y la explanación del terreno a medida que se explote el recurso favorecerá que el agua se almacene y se pueda infiltrar. Sin embargo, no hay conexión del exokarst con el endokarst en esta zona, por lo que la disolución del medio calizo, se dificulta, sobre todo sabiendo que el material calizo se presenta como formación maciza.

La existencia de material geológico masivo, con diaclasas compactadas o comprimidas (como se puede apreciar en los cortes y taludes de la cantera observados en las fotos), dificulta aún más la infiltración. De todas formas, la zona de ampliación presenta una gran potencia de material entre el exokarst y el endokarst (zona vadosa no saturada), por hallarse a mayor altura topográfica, lo cual es más ventajoso, pues se aumenta la profundidad a la que se puede encontrar el endokarst y se vulnerabiliza menos.

En consecuencia, la ampliación de la cantera **no afectará** hidroquímicamente al acuífero.

6. Conclusiones

Tal y como se ha explicado en los anteriores epígrafes la ampliación de la cantera hacia la zona Noreste, **no influirá en el acuífero endokárstico subyacente desde el punto de vista hidrodinámico, ni en los caudales de descarga ni en el volumen del mismo, al no influir sobre la recarga.**

No se han detectado formas kársticas cartografiadas en el exokarst que conforma la zona superficial de la formación geológica.

Desde el punto de vista hidroquímico, la exposición medioambiental del material geológico y de las posibles zonas exokársticas **no influirá en el acuífero subyacente**, pues un posible vertido accidental, además de ser improbable a tenor de las actuaciones exigidas por la normativa actual, es despreciable frente al volumen del recurso que supone la subunidad hidrogeológica del acuífero.

La ampliación de la explotación no demanda recursos hídricos ni modifica las condiciones de vertido autorizadas, lo cual se traduce en una nula influencia sobre las condiciones hidrodinámicas e hidráulicas del acuífero y de la unidad hidrogeológica.

7. Anejos

Anejo I. Referencias

- ANTIGÜEDAD, I. Y MUGERZA, I. (2001). *El epikarst: una parte esencial del acuífero kárstico*. Karaitza nº 10 (UEV-EEE); p 28-34. San Sebastián-Donostia.
- ANTIGÜEDAD, I. MORALES, T. Y URIARTE, J., I. (2007). *Los acuíferos kársticos. Casos del País Vasco*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. p 325-332.
- EVE (2004). *Mapa hidrogeológico del País Vasco*. 383 pp.
- INTECSA-INARSA, S.A. (2.003). *Estudio de evaluación de los recursos hídricos totales en el ámbito de la CAPV*. Departamento de ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Dirección de Aguas. Pp 241.
- MAEZTU, J.J. (1993). *Zonas kársticas de Álava. País Vasco*. Karaitza nº 2. U.E.V/E.E.L.. San Sebastián-Donostia. Pp 27-34.
- RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS Y DEL ESTADO AMBIENTAL DE LOS RÍOS DE LA CAPV (2.001). Unidad Hidrológica Ernio.
- URAAGUA (2.007). Proyecto del Plan Hidrológico.
- WAY, D.S. (1978). The interaction between urbanization and land. Quality and quantity in Environmental Planning and Design. Harvard University. Cambridge
- [Ign.es/iberpix2/visor](http://ign.es/iberpix2/visor)
- Mapa topográfico Gobierno Vasco 1:25.000.
- Mapa Geológico IGME 64 (24-5)
- Mapa Geológico del País Vasco. EVE 1:50000.

Anejo II. Figuras

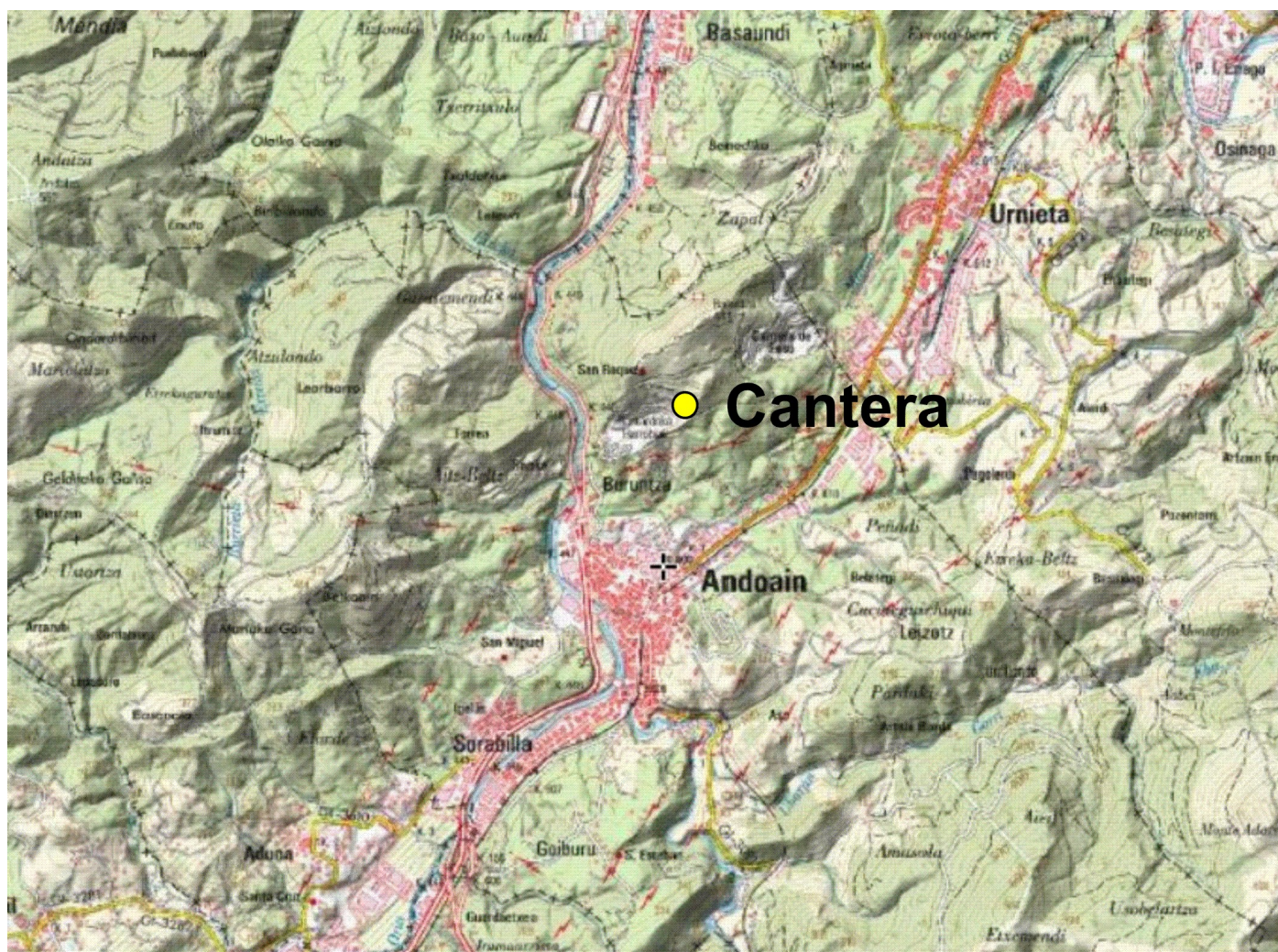


Figura 1. Situación de la Cantera.

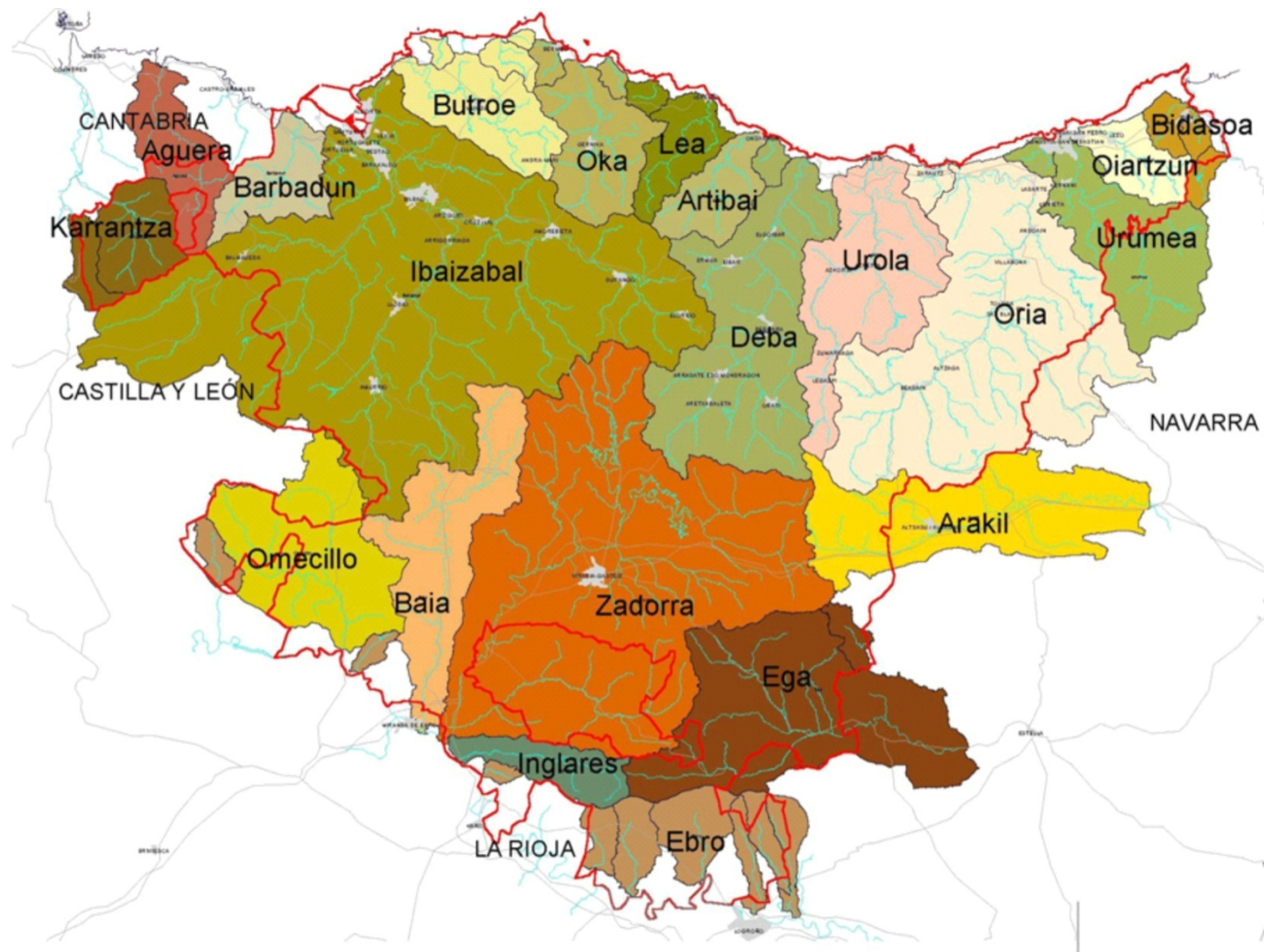


Figura 2. Cuencas hidrológicas en la Comunidad Autónoma Vasca.

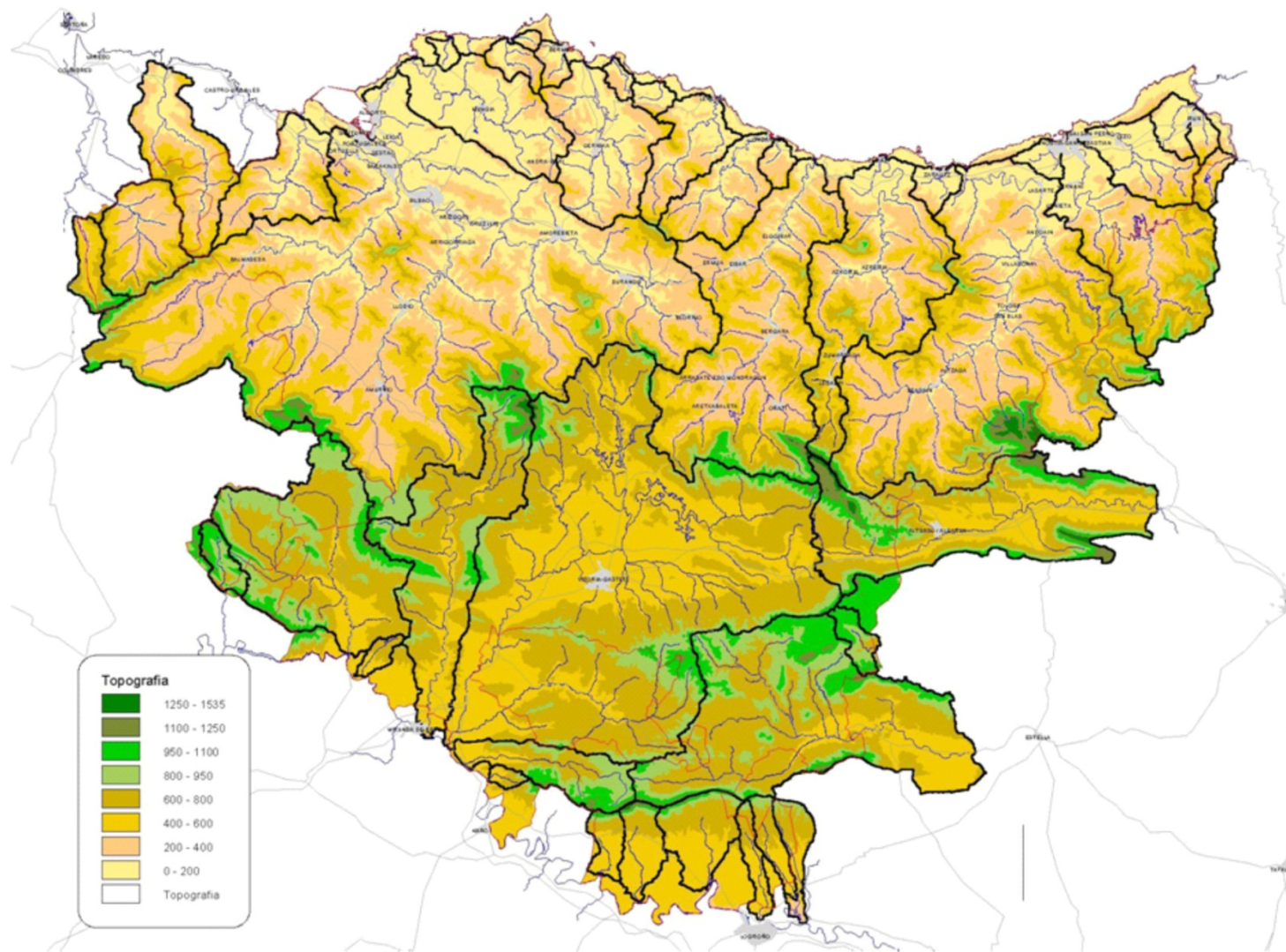


Figura 3. Topografía de las distintas subcuencas.

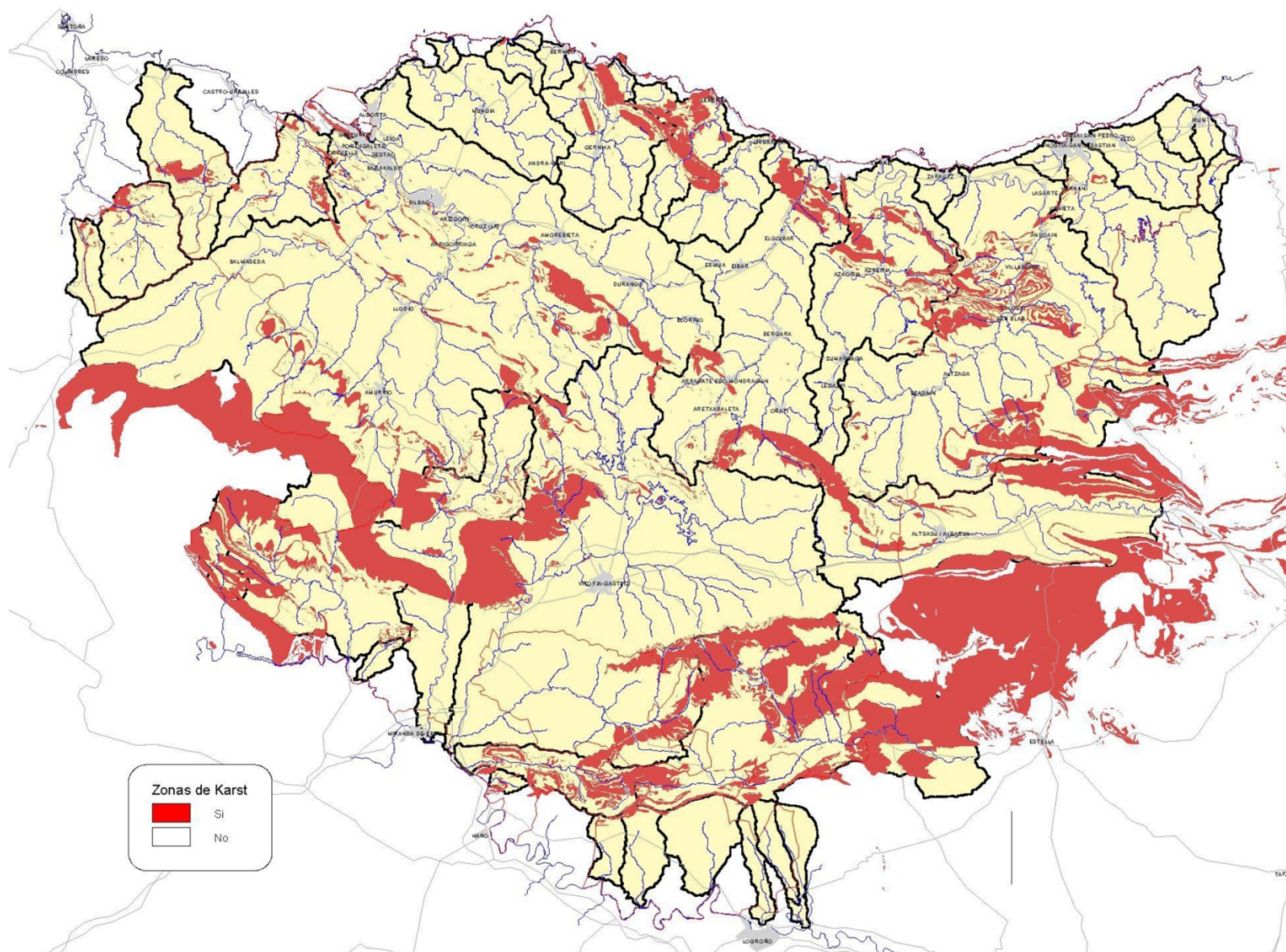


Figura 4. Localización de zonas kársticas en el País Vasco.

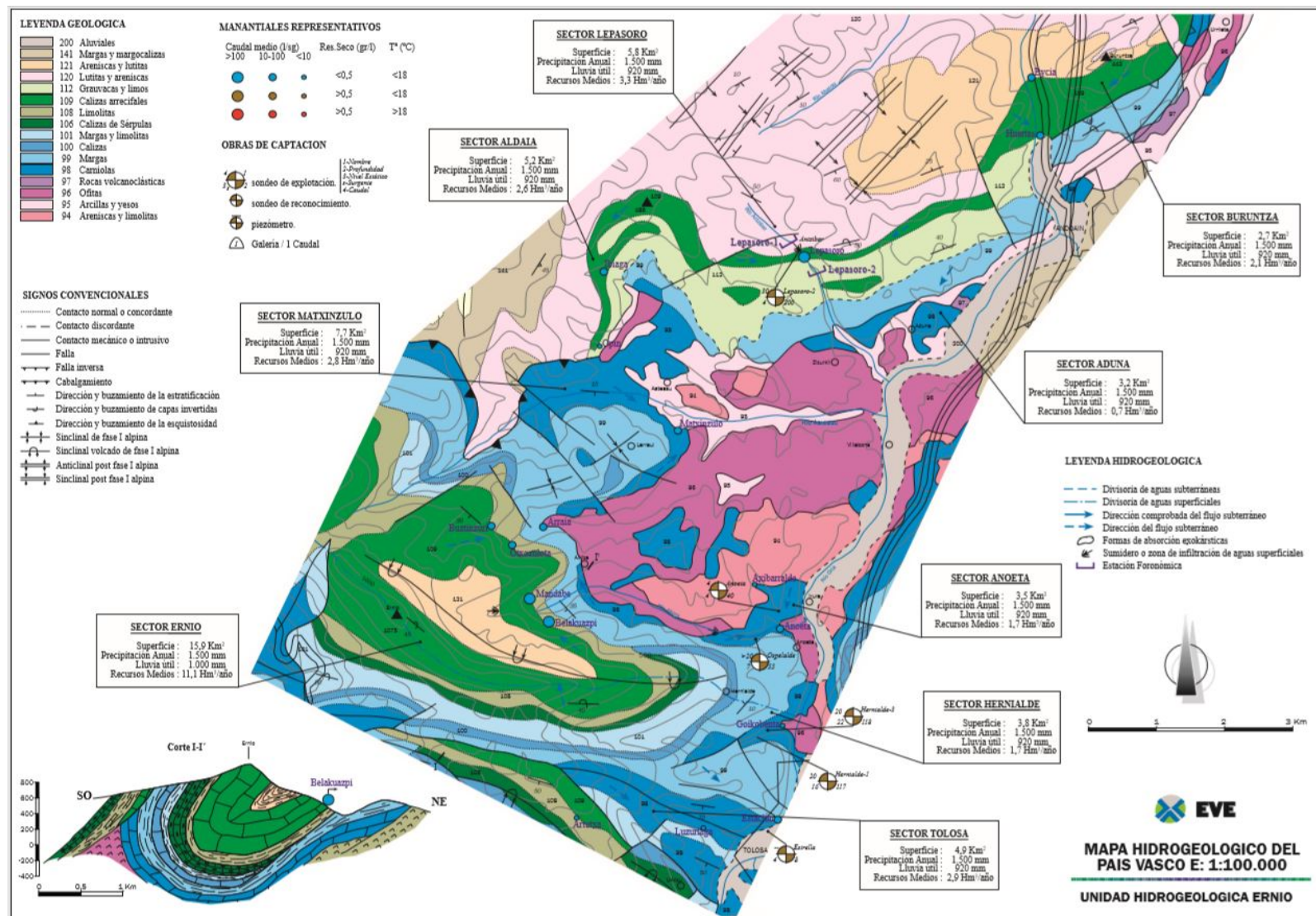


Figura 5. Geología, Unidad Hidrogeológica de Ernio.

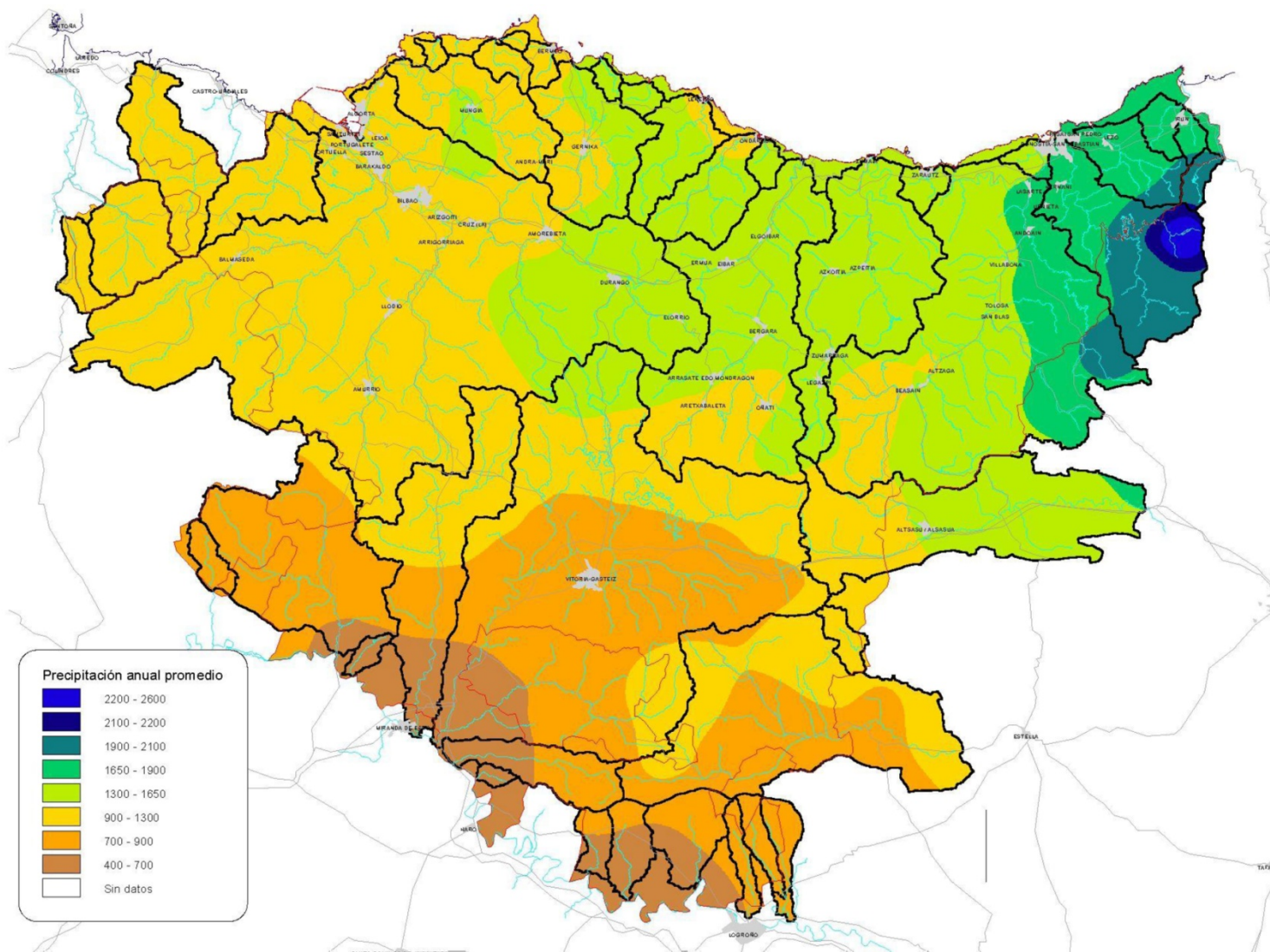


Figura 6. Mapa de precipitación anual promedio.

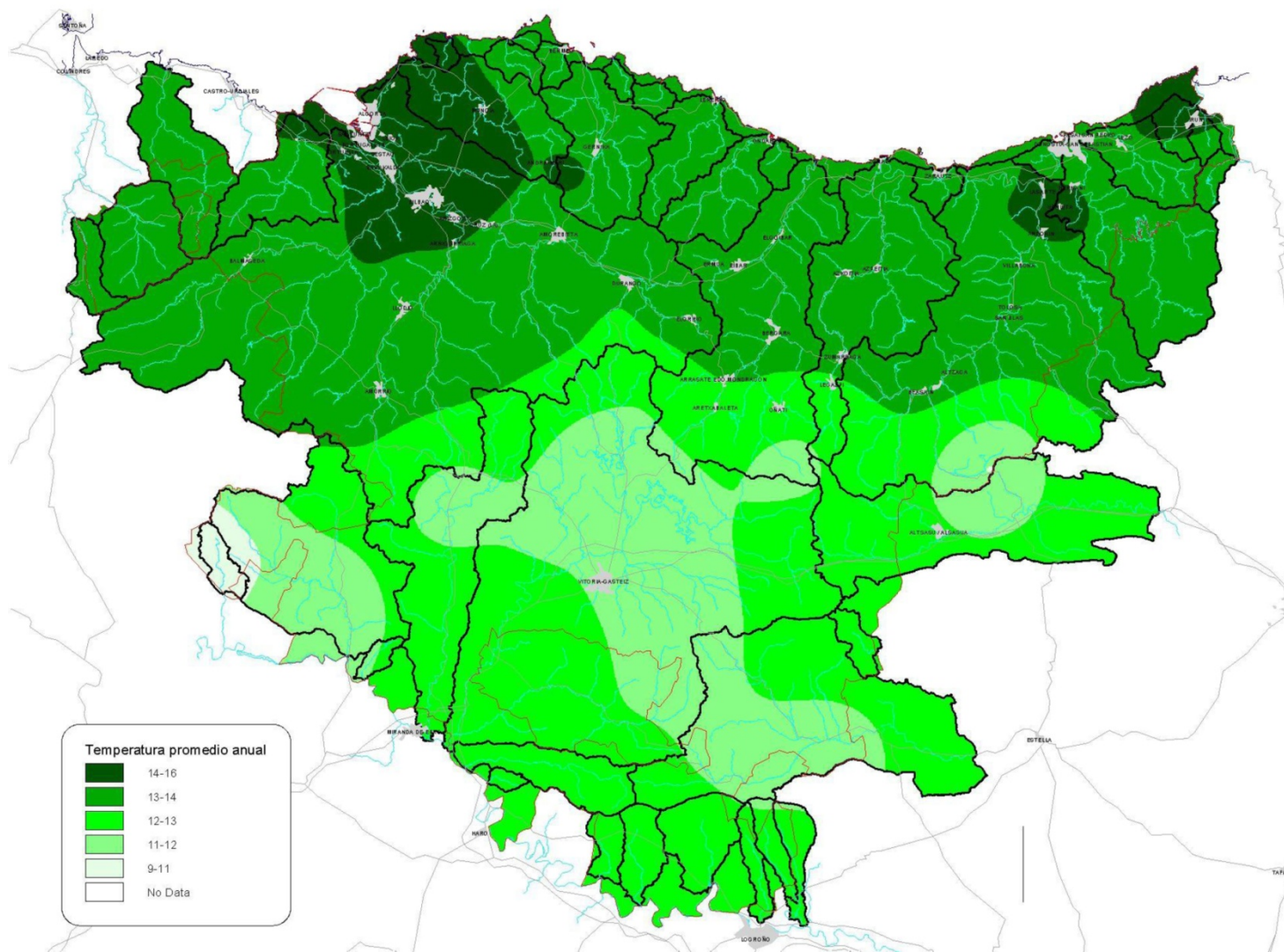


Figura 7. Mapa de temperaturas promedio anual.

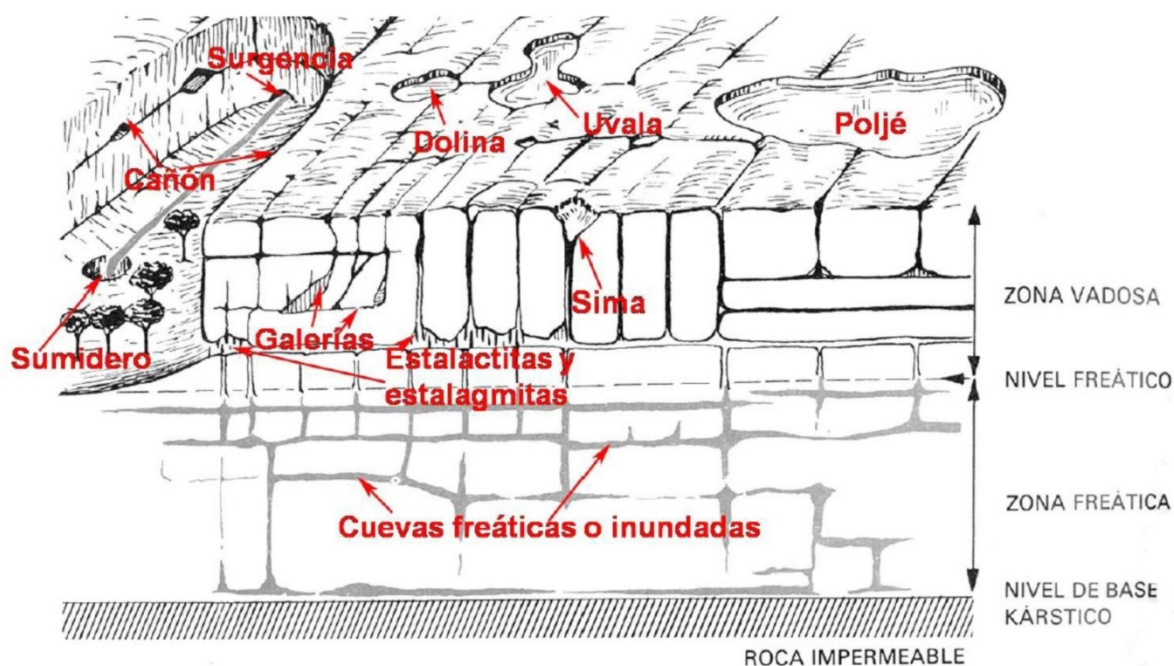


Figura 9. Formas de exokarst y endokarst.

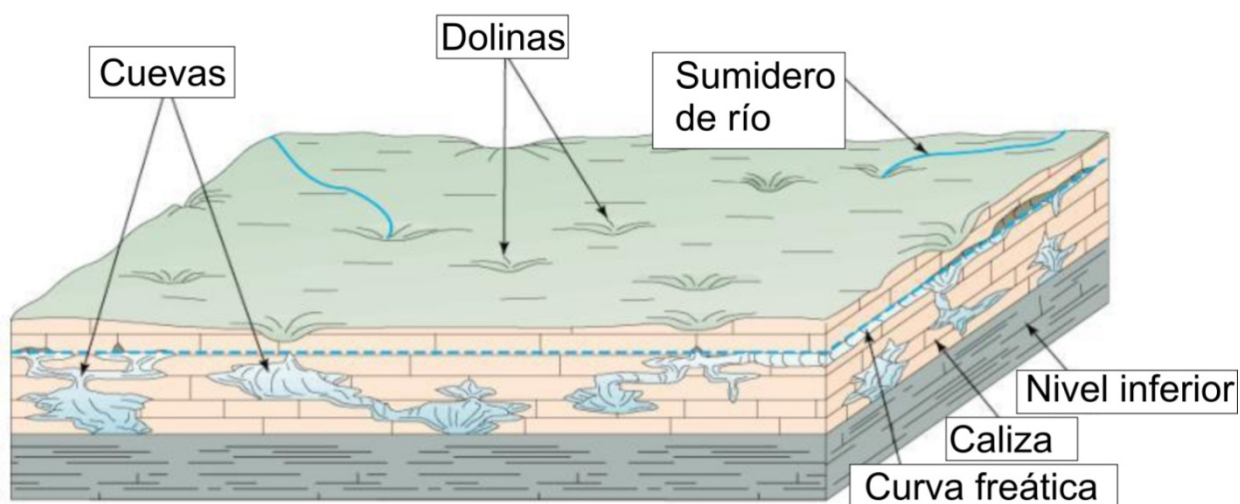


Figura 10. Detalle de endokarst.

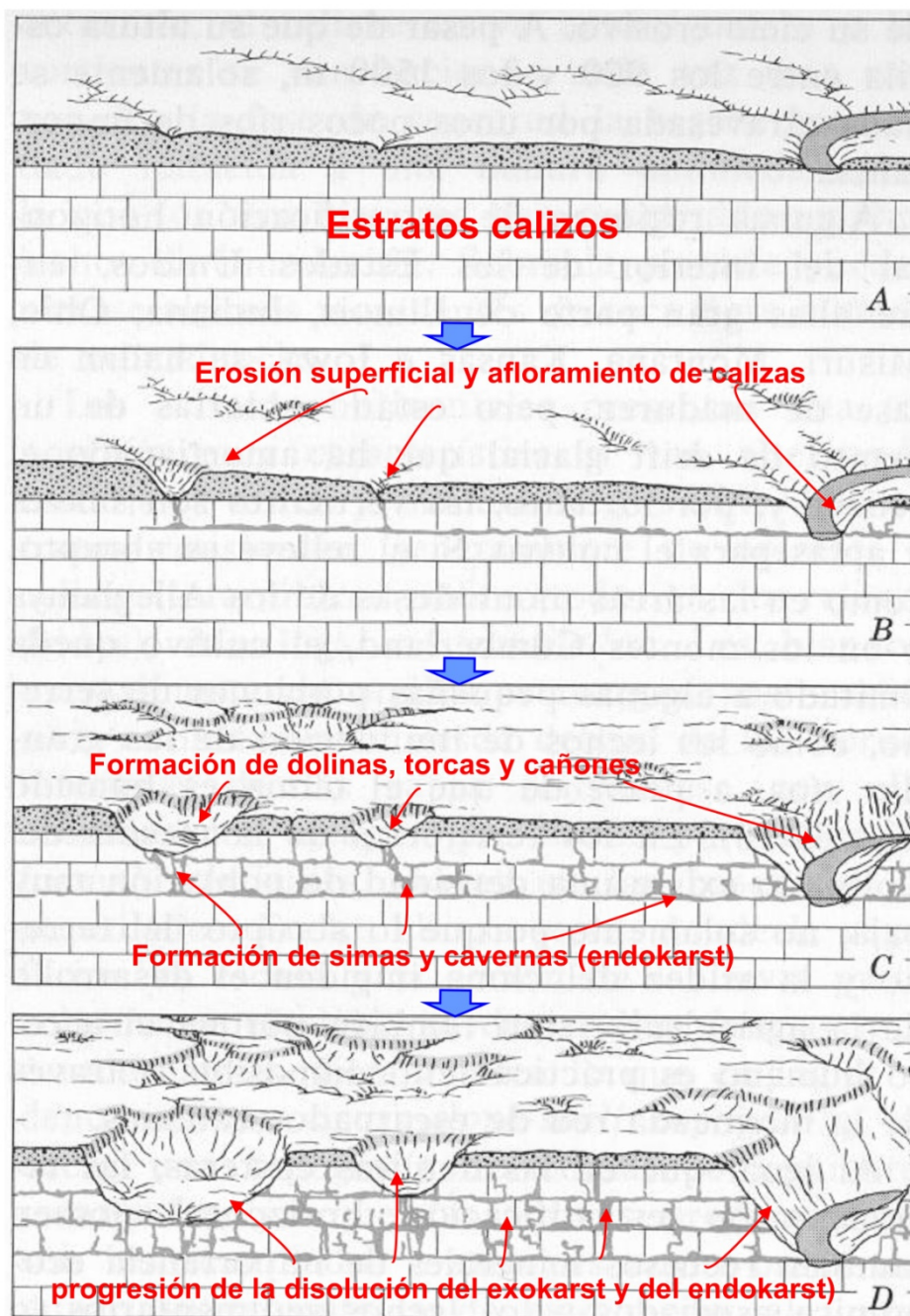


Figura 11. Formación del Karst.

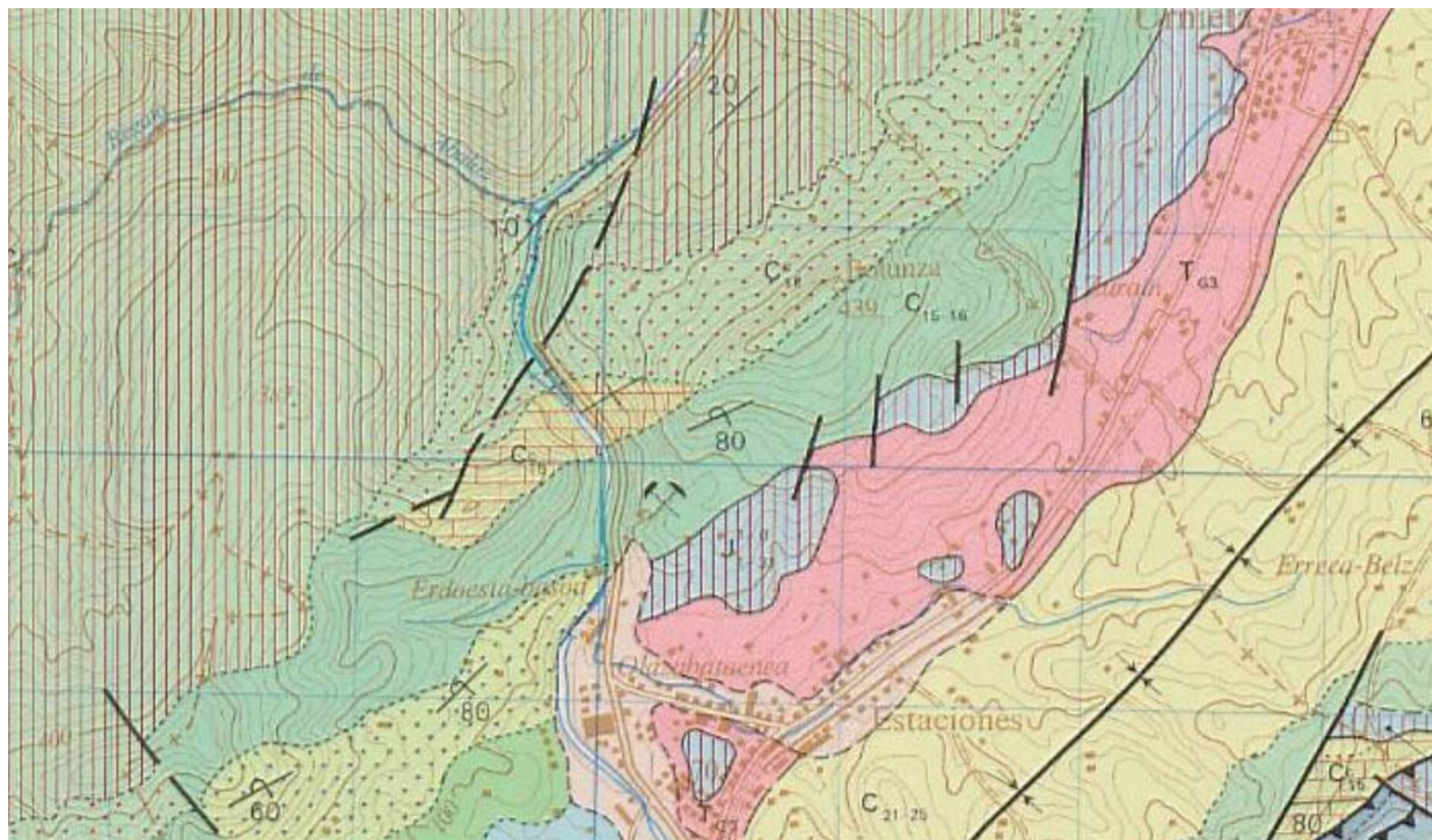


Figura 12. Geología de la zona de estudio.

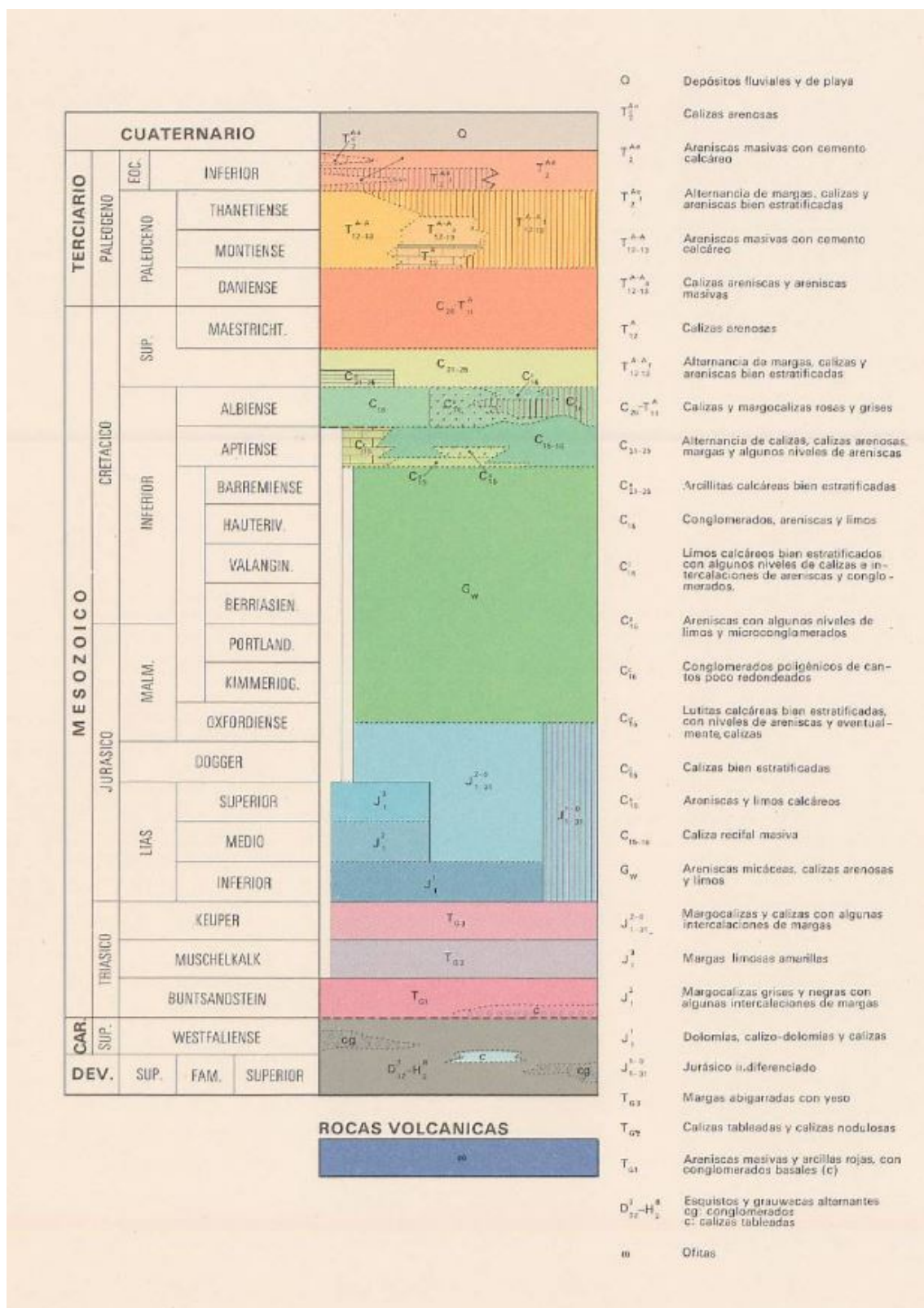


Figura 13. Leyenda de la geología: Figura 12.

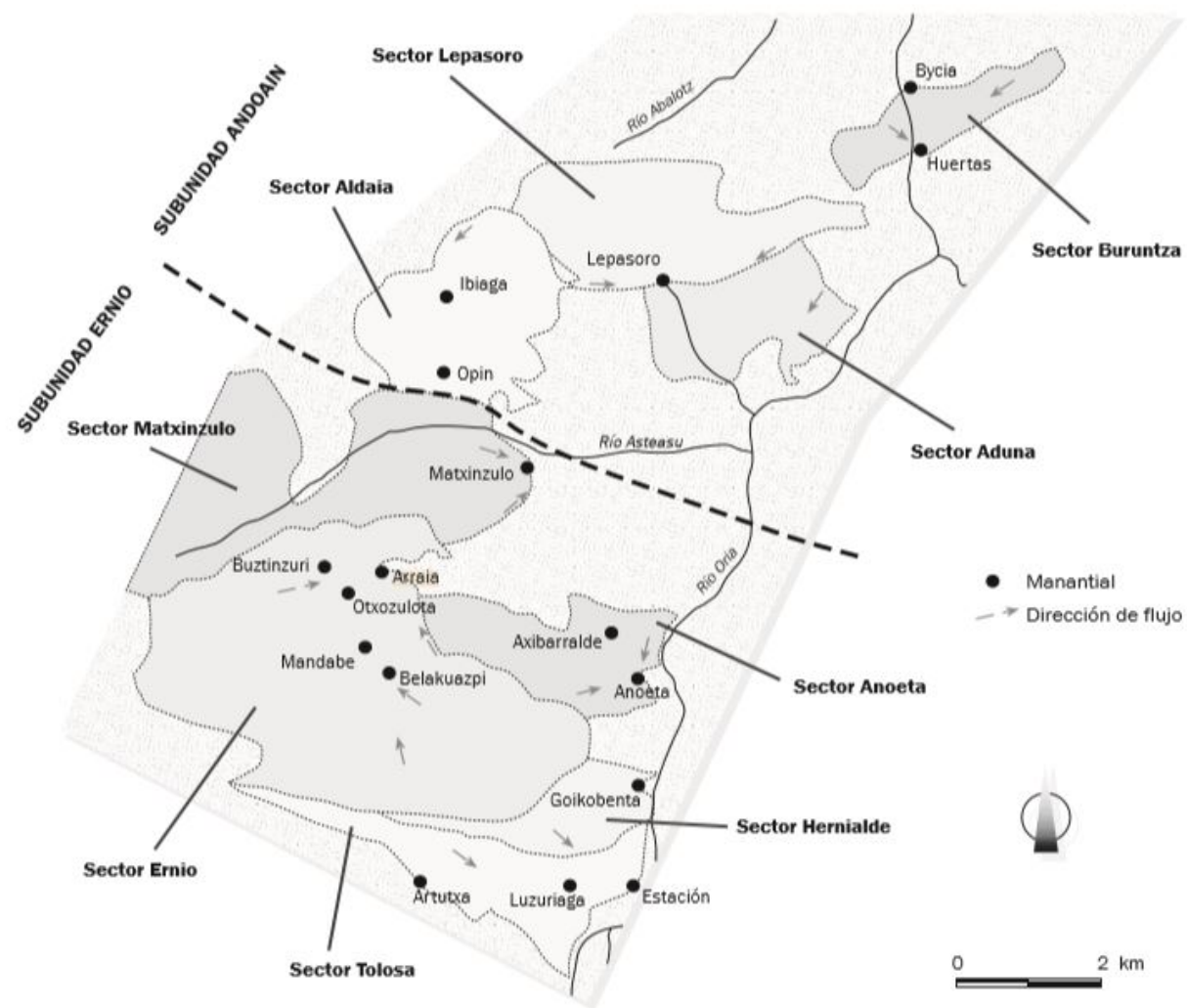


Figura 14. Subunidades y sectores de la Unidad Hidrogeológica de Ernio.

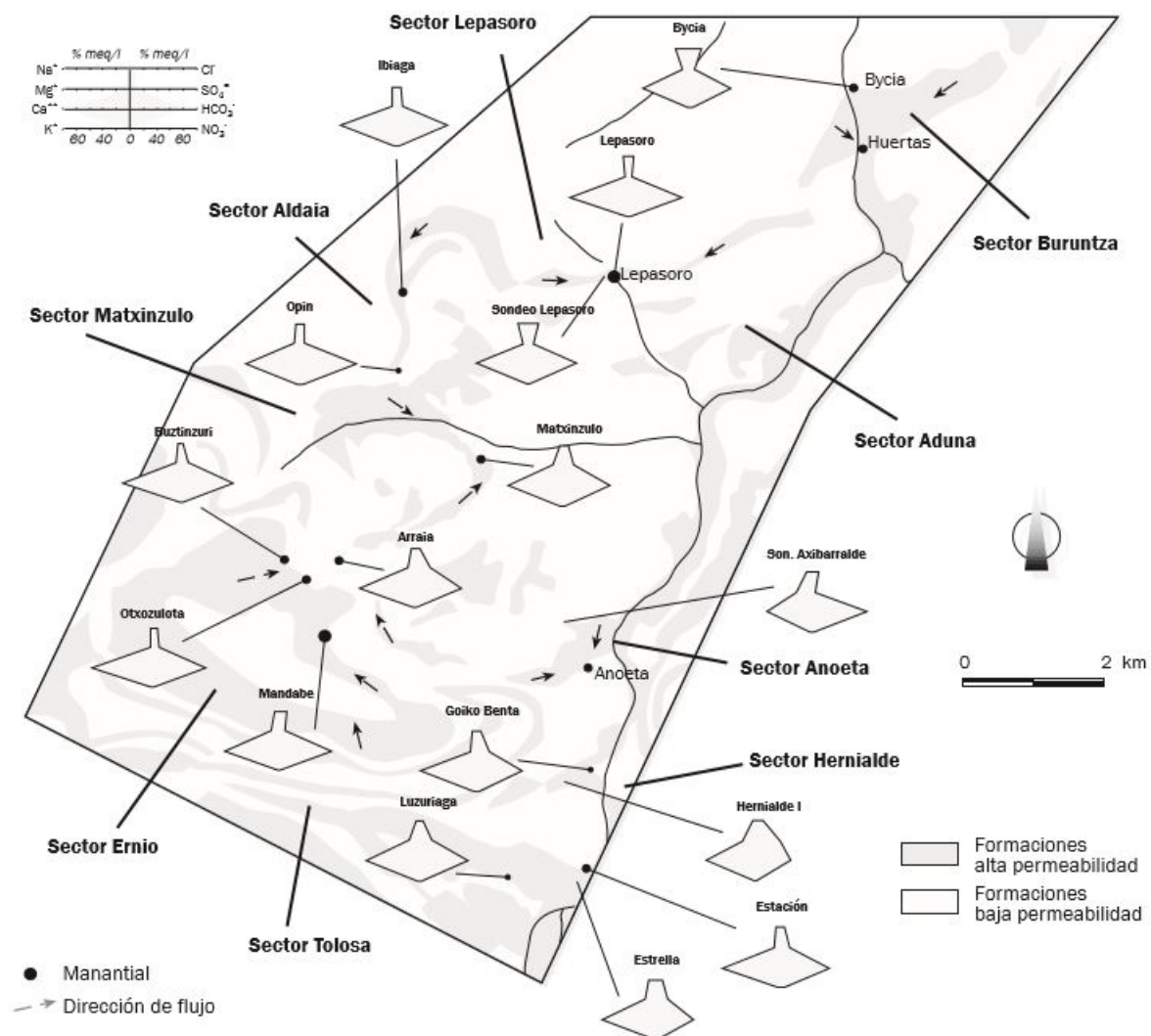


Figura 15. Diagramas de Stiff. Hidroquímica.





Figura 17. Vegetación de la zona próxima.

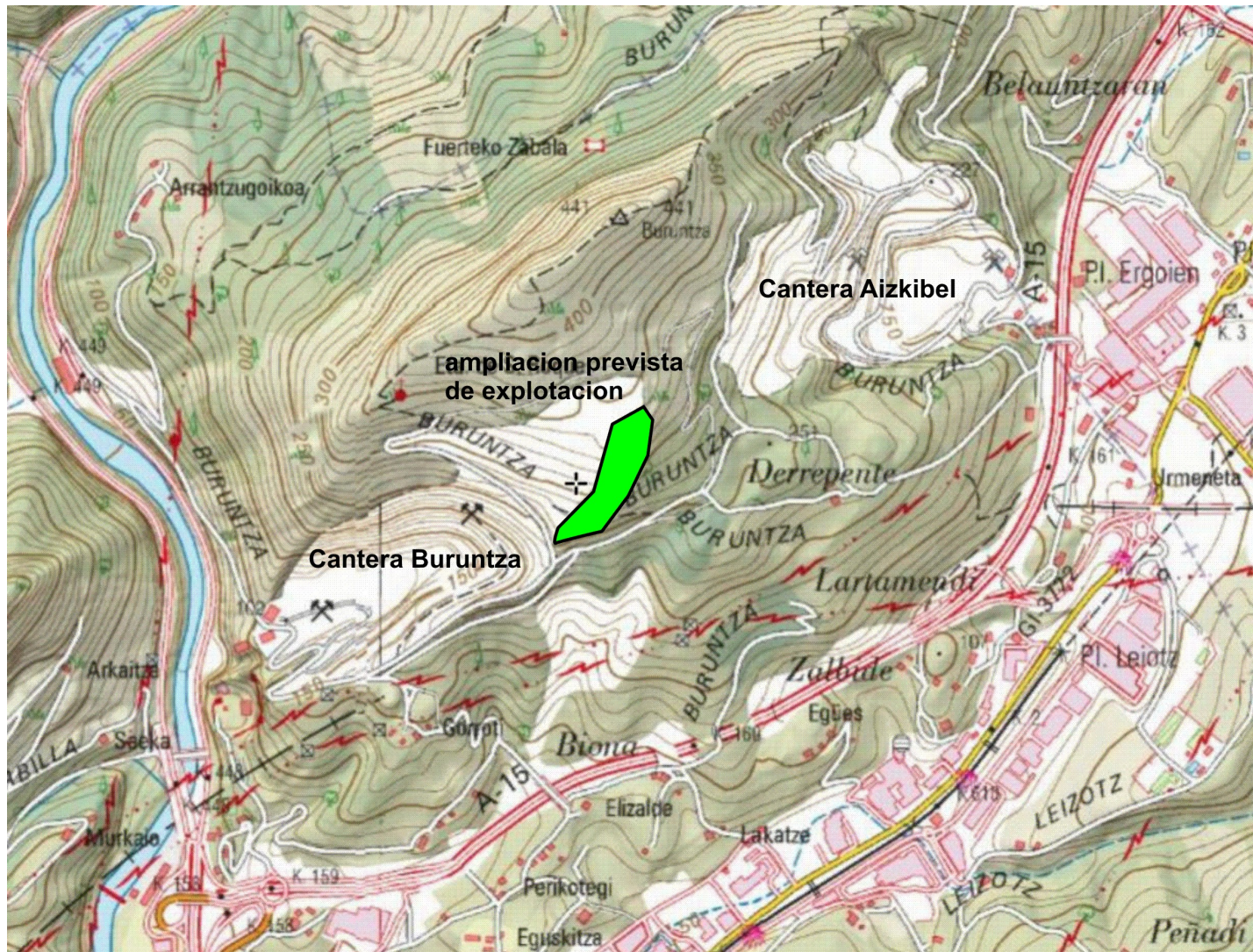


Figura 18. Ubicación de la superficie de la ampliación prevista de explotación.

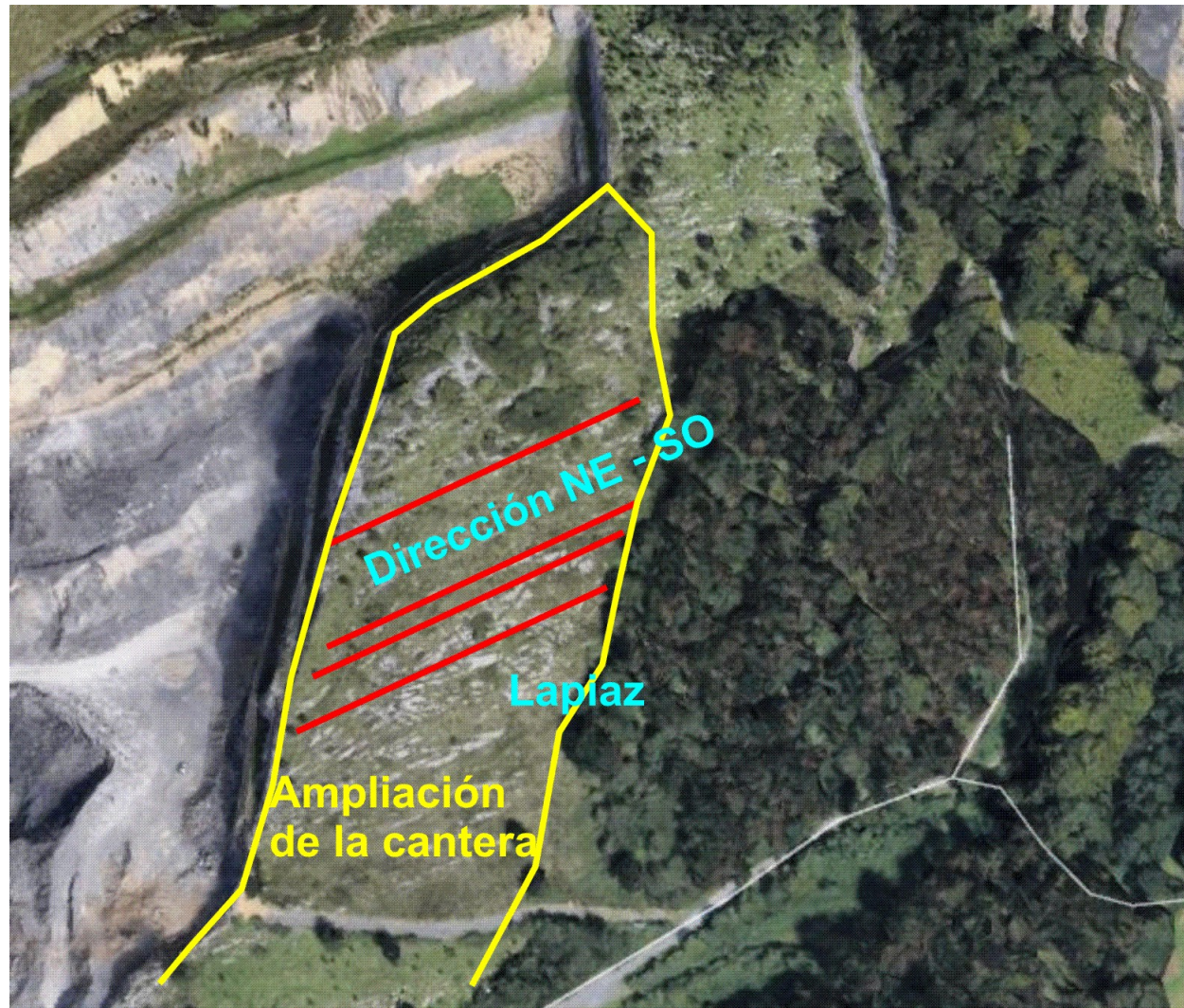


Figura 19. Zona de ampliación de explotación. Lapiáz.

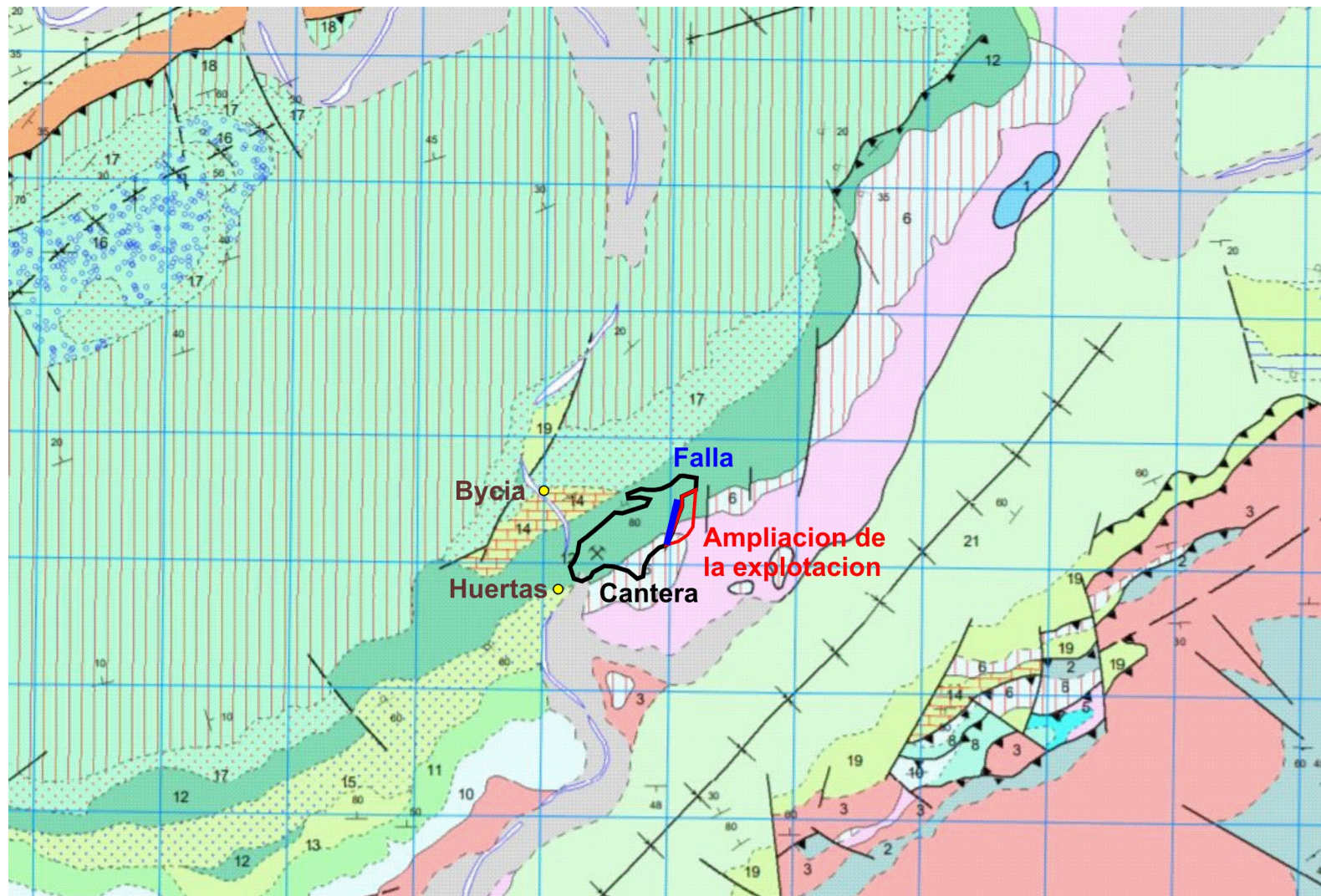


Figura 20. Geología local. Ubicación de la cantera, la ampliación y los manantiales.

LEYENDA

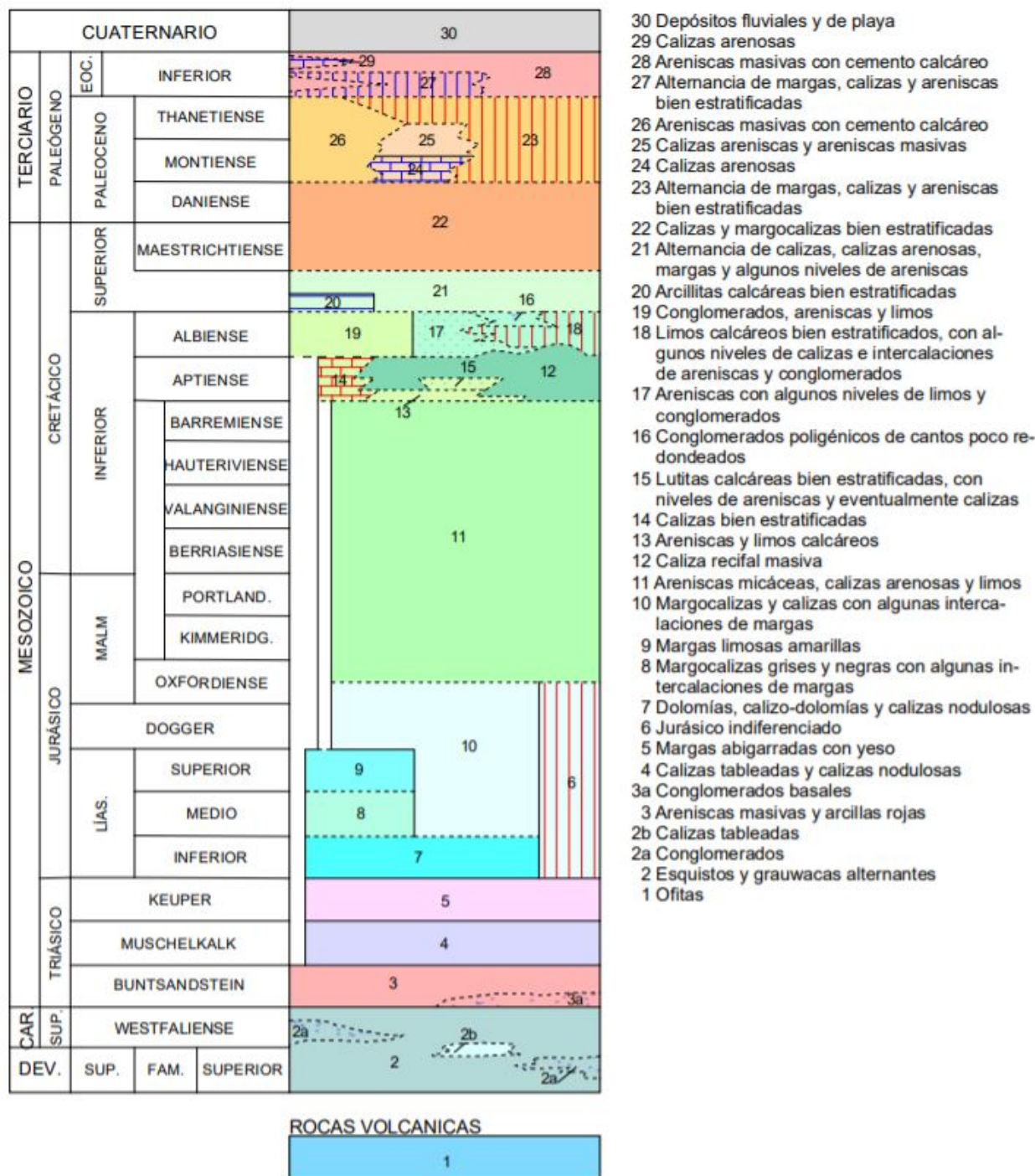


Figura 21. Leyenda de la geología local: Figura 20.

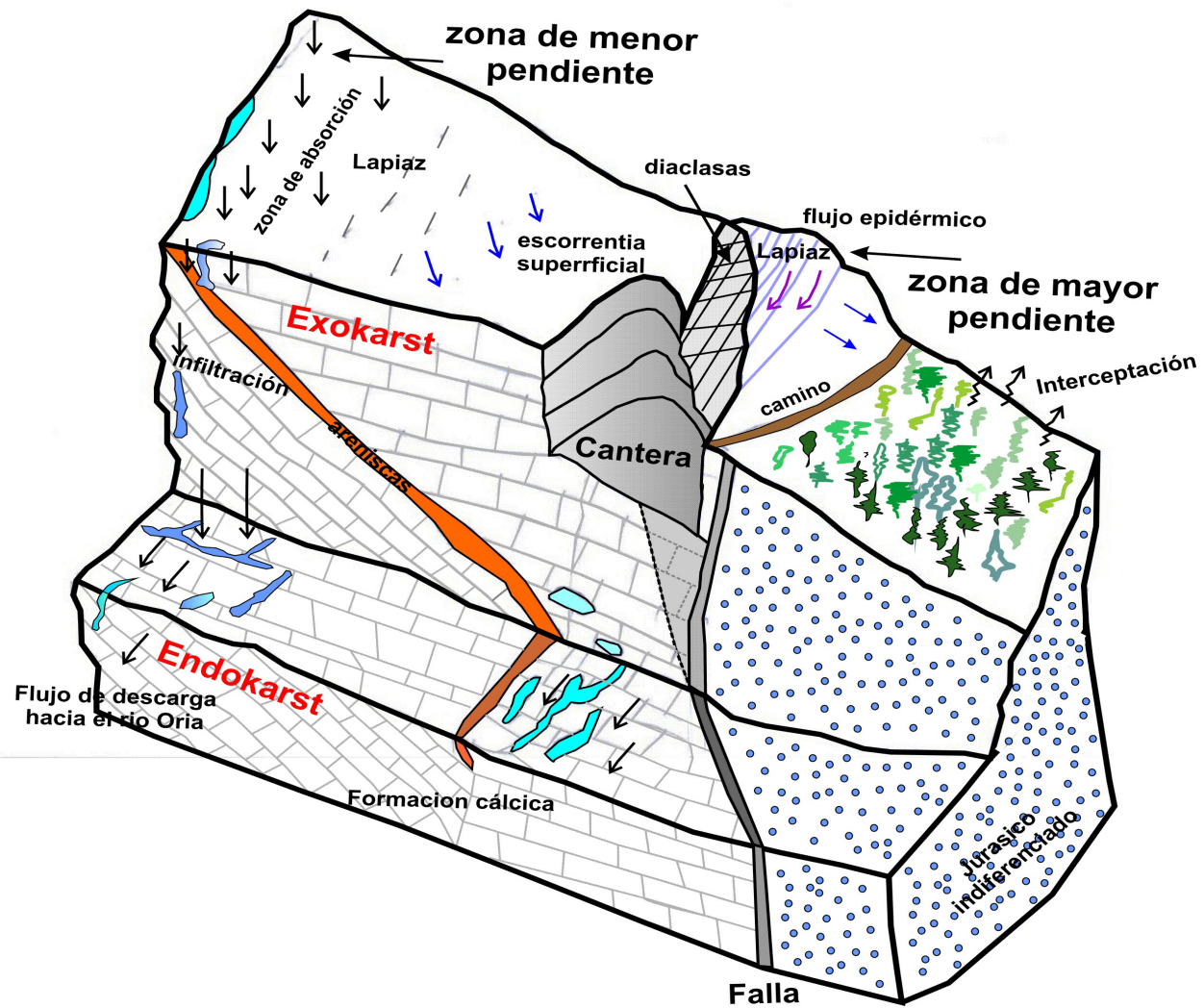


Figura 22. Esquema del funcionamiento del medio como Karts en sentido estricto.

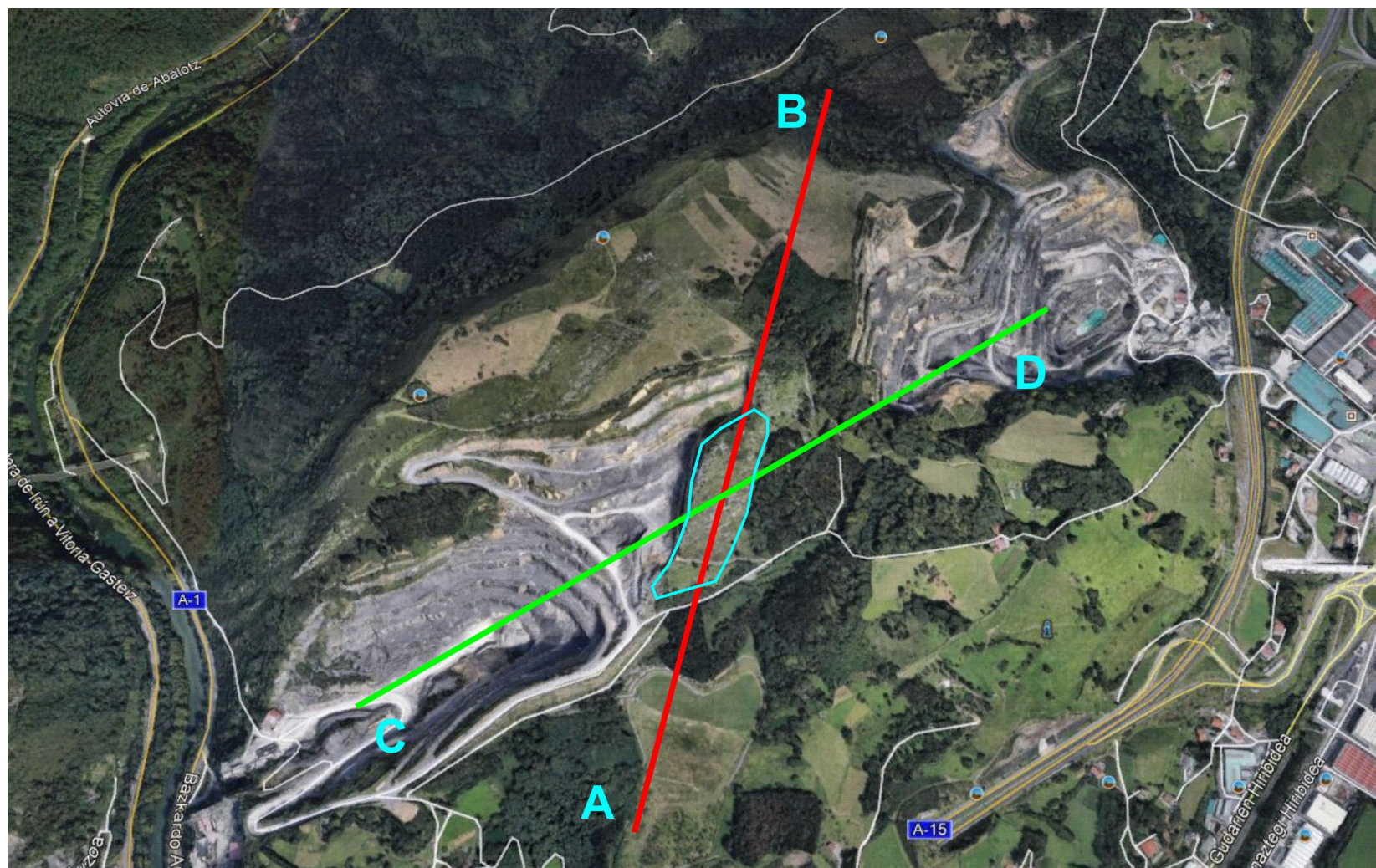


Figura 23. Secciones seleccionadas.

Sección A-B

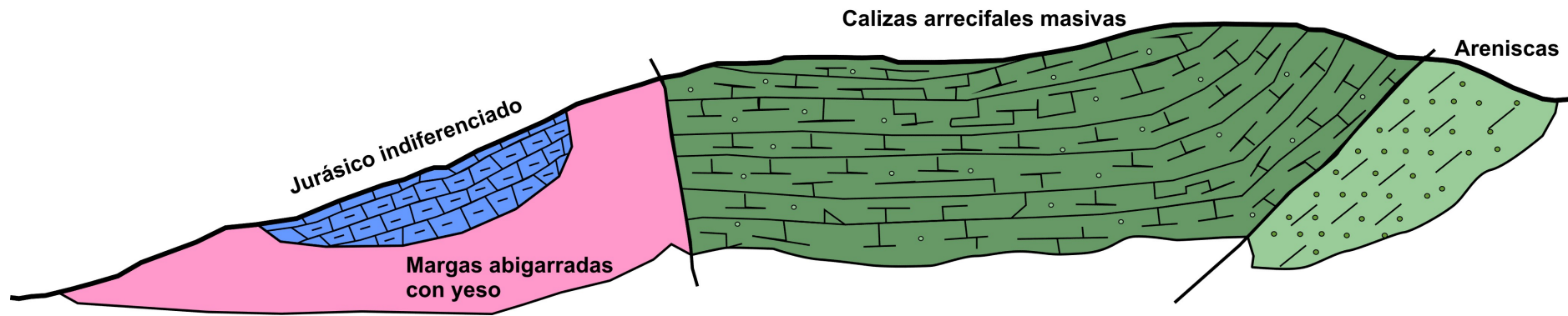


Figura 24. Perfil geológico sección A-B de la Figura 23

Sección C-D

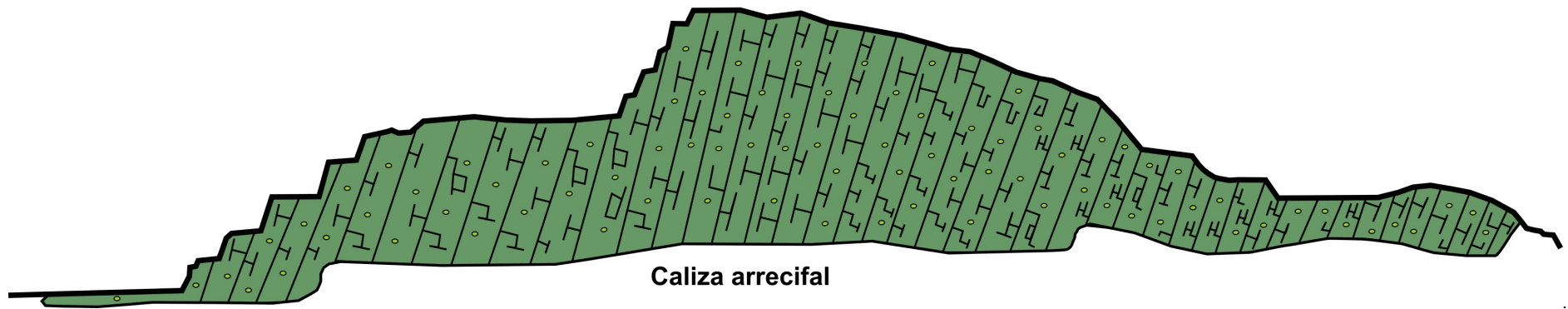


Figura 25.Perfil geológico sección C-D de la Figura 23

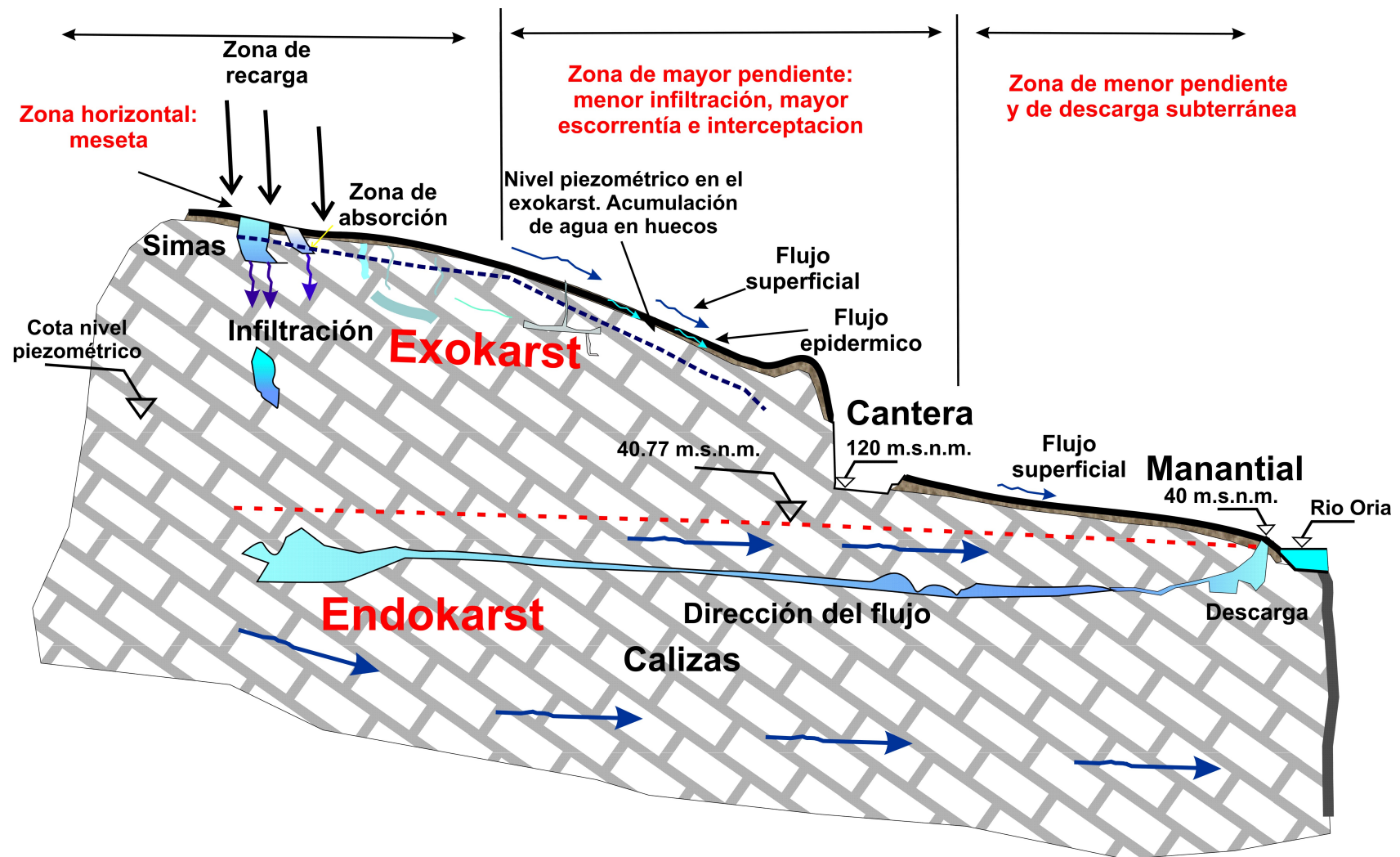


Figura 26. Esquema del perfil del nivel piezométrico si se considera un karst en sentido estricto. Perfil C-D de la Figura 23.

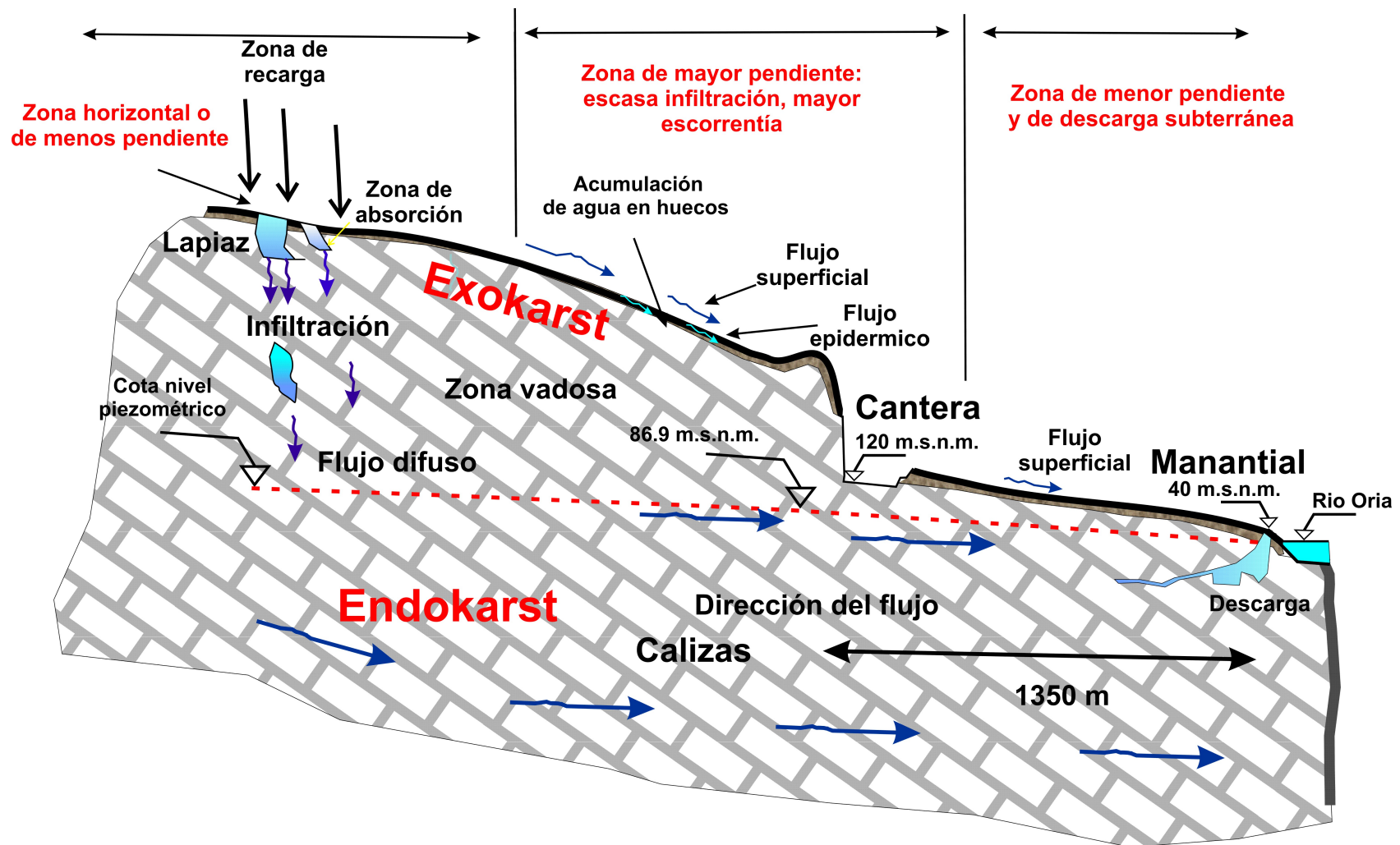


Figura 27. Esquema del perfil del nivel piezométrico si se considera un karst difuso. Perfil C-D de la Figura 23.

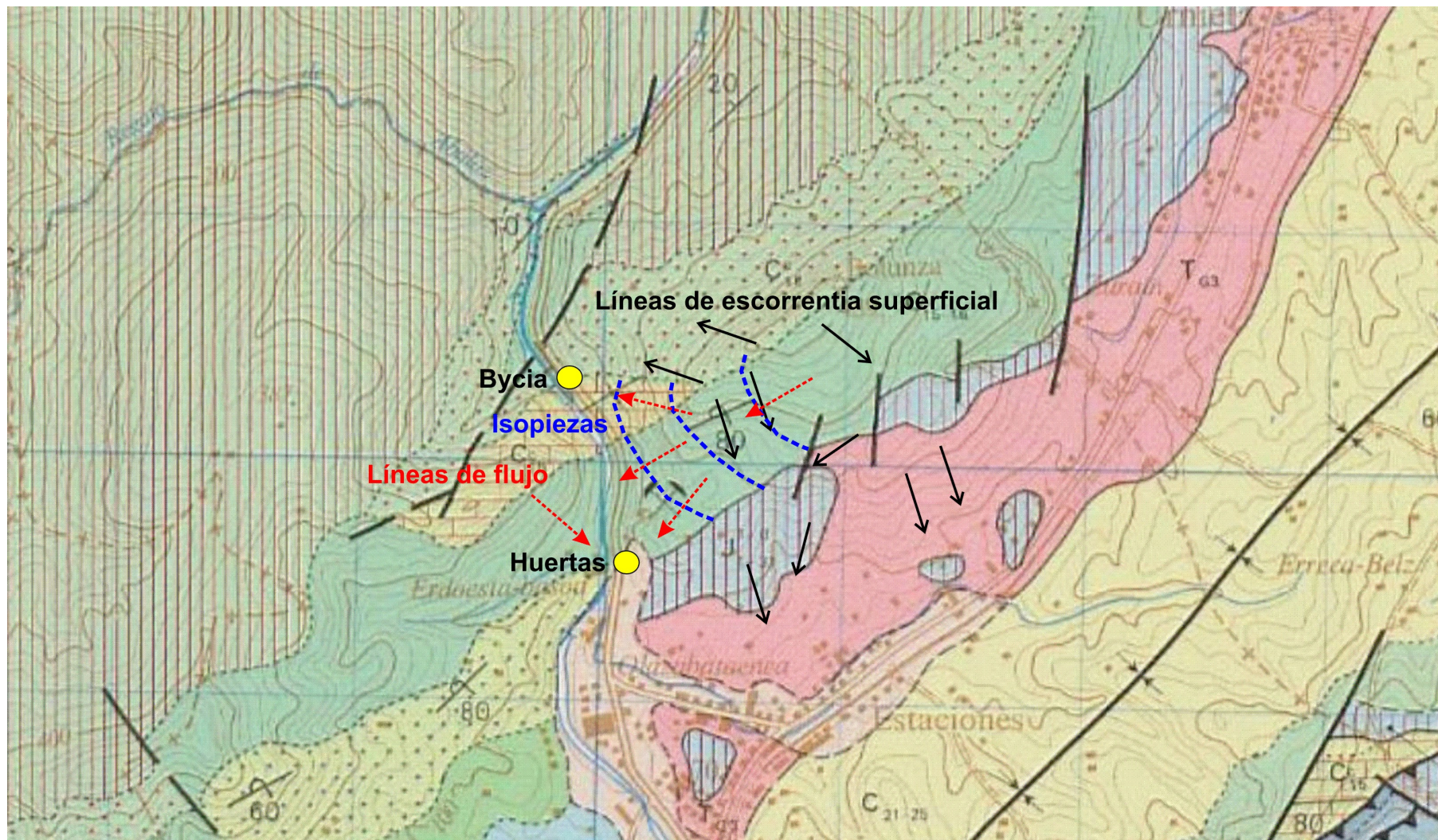


Figura 28. Modelo de la red de flujo.

Anejo III. Fotografías

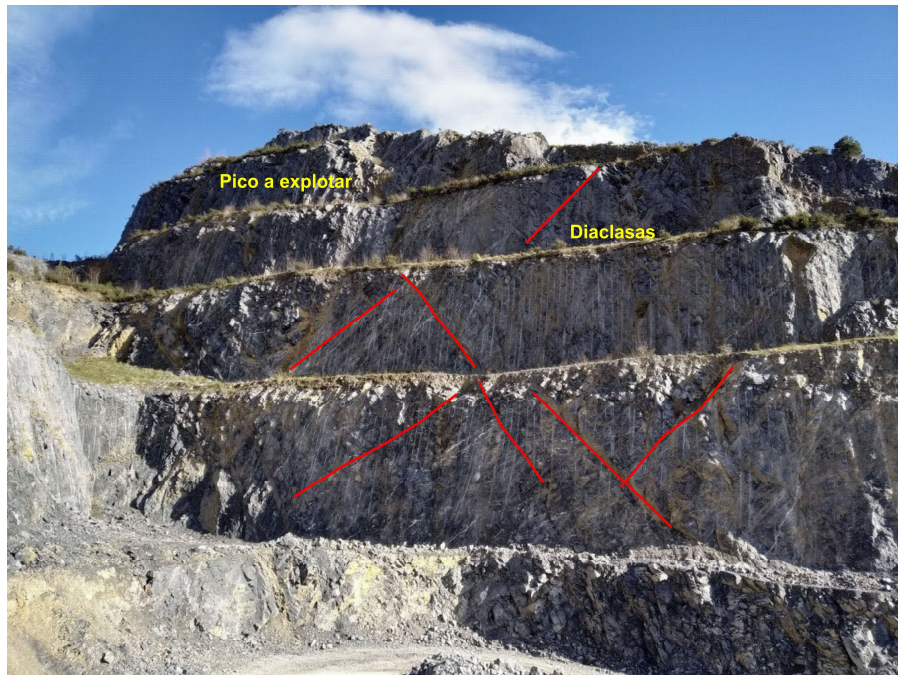


Foto 1. Diaclasamiento en el frente de explotación.



Foto 2. Zona de falla.



Foto 3. Zona de arcillas areniscosas.



Foto 4. Caliza arrecifal masiva en la parte baja de la zona de ampliación de la explotación.



Foto 5. Detalle del frente de explotación Norte.



Foto 6. Cantera Aizkibel.

Anejo IV. Plano

