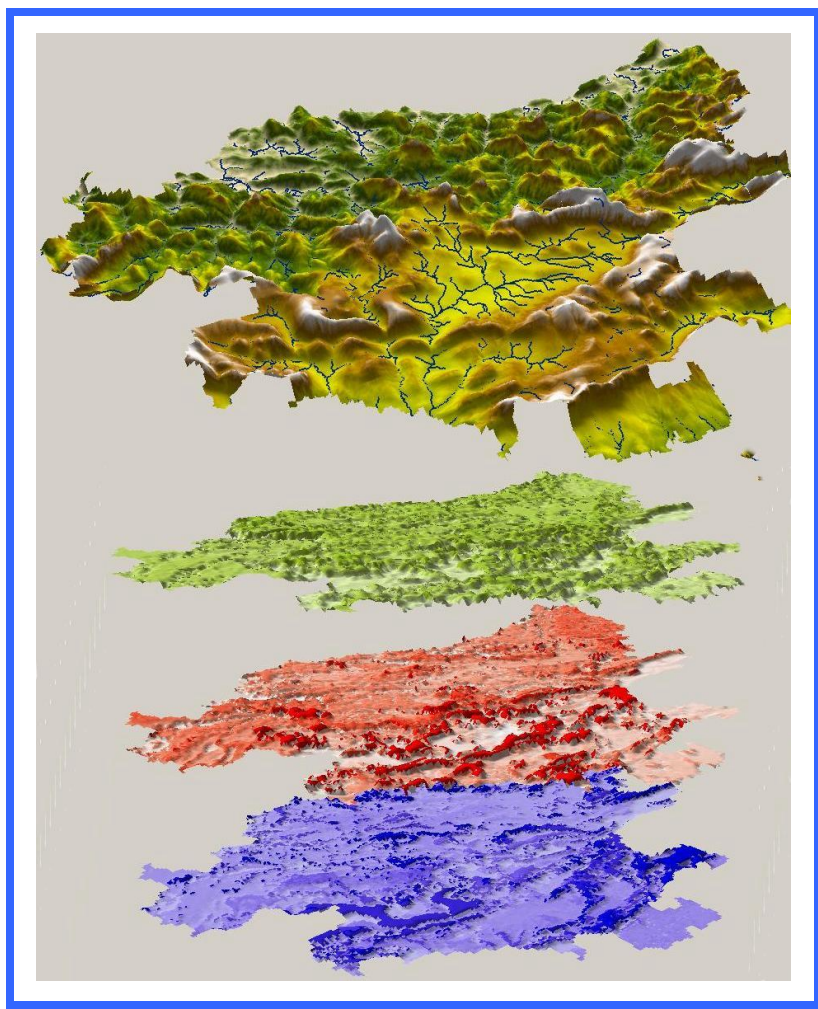




ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS TOTALES EN EL ÁMBITO DE LA CAPV



MEMORIA



ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS TOTALES EN EL AMBITO DE LA CAPV

INDICE

1. RESUMEN Y CONCLUSIONES	10
2. INTRODUCCIÓN	14
2.1. Antecedentes	14
2.2. Objetivos	14
2.3. Ámbito territorial y zonificación	15
2.4. Estudios antecedentes	21
3. METODOLOGÍA GENERAL Y ESTRUCTURA DEL ESTUDIO	28
4. PLUVIOMETRIA	32
4.1. Estaciones termopluviométricas	32
4.2. Datos utilizados	34
4.3. Análisis de las series de datos de precipitación diaria	37
4.3.1. Descripción de los análisis	37
4.3.2. Disponibilidad de datos para la simulación	42
4.4. Evolución de la precipitación con la cota	48
4.5. Precipitación promedio general	64
5. TERMOMETRIA Y EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA	68
5.1. Introducción	68
5.2. Estaciones termométricas	68
5.3. Datos disponibles	70
5.4. Temperatura promedio general	71
5.5. Evapotranspiración de referencia	74
5.5.1. Comparación de distintas fuentes de datos	75
5.5.1.1. Análisis en estaciones completas	76
5.5.1.2. Otras series de evaporación	95
5.5.1.3. Conclusiones al análisis de series disponibles	105
5.5.2. Resultados generales del análisis de ET0	106
5.5.2.1. Resultados de otros estudios	110
6. FORONOMIA	112

6.1. Estaciones de aforo	112
6.2. Datos disponibles	115
6.2.1. Comentarios de cara a la simulación	115
6.2.2. Disponibilidad de datos de aforos	127
6.3. Restitución al régimen natural	130
6.4. Datos básicos de las cuencas de las estaciones de aforo	132
7. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA INICIAL DEL ÁMBITO DEL ESTUDIO	137
8. SIMULACIÓN	150
8.1. Descripción del modelo de simulación	150
8.1.1. El almacenamiento capilar en el suelo y las pérdidas por evapotranspiración	152
8.1.2. El almacenamiento del flujo superficial en la ladera (respuesta rápida)	153
8.1.3. El almacenamiento de agua gravitacional en la capa superior del suelo	154
8.1.4. El almacenamiento subterráneo (respuesta lenta)	155
8.1.5. La traslación de la escorrentía: La onda cinemática geomorfológica	156
8.1.6. Otros procesos	157
8.1.7. Síntesis de los datos necesarios para el modelo	158
8.2. Estimación Inicial de los parámetros	160
8.2.1. Introducción	160
8.2.2. Estimación de los parámetros hidrológicos del perfil de suelo	160
8.2.2.1. Metodología	160
8.2.2.2. Fuentes de información utilizada	162
8.2.2.3. Variables ambientales	164
8.2.2.4. Valores modales	181
8.2.2.5. Estimación en las celdas	194
8.2.3. Estimación de los valores de abstracción inicial superficial	205
8.2.4. Estimación del factor de vegetación	207
8.2.5. Estimación de los parámetros geomorfológicos	209
8.3. Calibración de los factores correctores	210
8.3.1. El proceso de calibración / validación	210
8.3.2. Criterios de ajuste	211
8.3.3. Puntos de calibración y validación	212
8.3.4. Calibración	215
8.3.4.1. Calibración automática inicial	216
8.3.4.2. Calibración final	219
8.3.5. Validación	225
8.4. Simulación	229
8.4.1. Puntos de simulación	229

8.4.2.	Resultados	233
8.4.3.	Comparación con otros estudios	240

LAMINAS

- 1- Litología
- 2- Permeabilidades
- 3 Usos del suelo
- 4 Suelos

ANEJOS

- Nº 1 Resultados por sistemas de análisis
- Nº 2 Dobles Masas de precipitación
- Nº 3 Análisis del rellenado de las series de precipitación
- Nº 4 Dobles Masas de temperatura
- Nº 5 Dobles Masas de ETP
- Nº 6 Descripción del modelo de simulación
- Nº 7 Documento FAO sobre obtención de la ET0
- Nº 8 Contenido del soporte informatico

Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Superficie del ámbito del estudio por CCAA</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2 Subunidades del estudio vertientes al Cantábrico.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3 Subunidades del estudio vertientes al Ebro</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 4 Afluentes del Ebro.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 5 Superficies de las unidades.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 6 Superficies de las unidades por CCAA (km²).....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 7 Unidades del estudio de recursos de la CHN</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 8 Parámetros del modelo Sacramento en el estudio de recursos de la CHN.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 9 Parámetros del modelo Sacramento para las unidades del estudio de recursos de la CHE</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 10 Unidades del estudio de recursos de la CHE.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 11 Síntesis de unidades de los estudios antecedentes.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 12 Estaciones por red de medida.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 13 Series termopluviométricas disponibles</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 14 Series de precipitación utilizadas por Unidad y Organismo</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 15 Datos pluviométricos utilizados por unidad</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 16 Densidad de datos por Unidad</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 17 Calificación de las series según las dobles masas</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 18 Calificación de las series según el rellenado.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 19 Precipitación promedio anual areal y de cálculo por Unidad (mm).....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 20 Comparación de datos de precipitación con los estudios antecedentes</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 21 Series de termometría recopiladas por Unidad y organismo.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 22 Datos termométricos disponibles por Unidad.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 23 Densidad de los datos termométricos disponibles por unidad.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 24 Promedio de las temperaturas puntuales.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 25 Promedio de la temperatura media areal por unidades</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 26 Promedio de la ET0 en Fuenterrabía según varios métodos</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 27 Correlaciones entre varias series de ET0 en Fuenterrabía</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 28 Correlaciones entre varias series de ET0 en Fuenterrabía (2).....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 29 Correlaciones entre varias series de ET0 en Fuenterrabía (3).....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 30 Valores medios de la ET0 en Foronda según varios métodos.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 31 Correlaciones entre varias estimaciones de ET0 en Foronda</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 32 Valores promedio de la ET0 en Sondika, según varios métodos.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 33 Correlaciones entre varias series de ET0 en Sondika</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 34 Valores promedio de la ET0 en Igueldo según varios métodos.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 35 Correlaciones entre series de ET0 en Igueldo</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 36 Correlaciones entre series de ET0 en Igueldo (2).....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 37 Correlaciones entre series de ET0 en Igueldo (3).....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 38 Correlaciones entre series de ET0 en Igueldo (4).....</i>	<i>94</i>

<i>Tabla 39 Valores promedio de la ET0 y Evaporación en Urkulu.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 40 Correlación de las series de ET0 y Evaporación en Urkulu.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 41 Valores promedio de la ET0 y Evaporación en Barrendiola.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 42 Correlación de las series de ET0 y Evaporación en Barrendiola.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 43 Valores promedio de la ET0 y Evaporación en Lareo.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 44 Correlación de las series de ET0 y Evaporación en Lareo.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 45 Valores promedio de la ET0 y Evaporación en Aixola.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 46 Correlación de las series de ET0 y Evaporación en Aixola.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 47 Valores promedio de la ET0 y Evaporación en Añarbe.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 48 Correlación de las series de ET0 y Evaporación en Añarbe.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 49 Resumen de las estimaciones de ET0 en las estaciones completas.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 50 Valores promedio anual de la ET0 en las estaciones.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 51 Valor promedio de la ET0 areal en las Unidades Hidrológicas.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 52 Valores de la ET0 en los estudios antecedentes.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 53 Estaciones de aforo por organismo.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 54 Series de aforos recopiladas por Unidad y organismo.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 55 Datos de las series de aforo.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 56 Resumen de series de aforo por Unidad Hidrológica.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 57 Aportaciones medias en las estaciones restituidas.....</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 58 Aportaciones medias en las estaciones de aforo.....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 59 Datos físicos de las Unidades en el ámbito del estudio.....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 60 Pendiente máxima y media de las Unidades en el ámbito del estudio.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 61 Tipos litológicos principales por Unidad.....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 62 Superficies de Karst por Unidad.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 63 Relación entre la permeabilidad y la infiltración.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 64 Presencia de las clases de permeabilidad por Unidad.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 65 Coeficiente de infiltración por Unidad.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 66 Presencia de clases de usos del suelo por unidad.....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 67 Presencia de clases de Suelos por Unidad.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 68 Perfiles de suelos inicialmente disponibles para el estudio.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 69 Regiones de información homogénea en el ámbito del estudio.....</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 70 Información cartográfica utilizada en la estimación de parámetros hidrológicos.....</i>	<i>164</i>
<i>Tabla 71 Dominios hidrogeológicos.....</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 72 Categorías básicas de los suelos.....</i>	<i>166</i>
<i>Tabla 73 Principales categorías de cubierta de suelo.....</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 74 Correspondencia aproximada entre tipos de suelos de Navarra y la clasificación FAO.....</i>	<i>182</i>
<i>Tabla 75 Valores medios de las superficies de las unidades cartográficas de suelos.....</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 76 Valores modales medios en las unidades cartográficas de suelo por tipo de suelo dominante.....</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 77 Valores modales de las unidades de muestreo.....</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 78 Detalle de las variables ambientales utilizadas y su forma de expresión.....</i>	<i>194</i>

<i>Tabla 79 Transformaciones aplicadas a las variables principales.....</i>	<i>195</i>
<i>Tabla 80 Criterios de separación en variables dummy.....</i>	<i>196</i>
<i>Tabla 81 Precisión de las estimaciones</i>	<i>196</i>
<i>Tabla 82 Detalle del ajuste obtenido para la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo.....</i>	<i>199</i>
<i>Tabla 83 Detalle del ajuste obtenido para la conductividad hidráulica del suelo.....</i>	<i>200</i>
<i>Tabla 84 Detalle del ajuste obtenido para la conductividad hidráulica del sustrato del suelo.....</i>	<i>201</i>
<i>Tabla 85 Valores de referencia de intercepción asignados a las categorías de uso de suelo</i>	<i>206</i>
<i>Tabla 86 Valores de referencia de almacenamiento en superficie, según categorías de uso de suelo....</i>	<i>206</i>
<i>Tabla 87 Valores de referencia de almacenamiento en superficie, según la pendiente topográfica.....</i>	<i>206</i>
<i>Tabla 88 Clases de uso del suelo/cubierta vegetal a efectos del factor de vegetación.....</i>	<i>207</i>
<i>Tabla 89 Variación temporal de los factores de vegetación.....</i>	<i>208</i>
<i>Tabla 90 Localización de las estaciones de aforo empleadas en la calibración y la validación.....</i>	<i>213</i>
<i>Tabla 91 Rango y valor inicial de los factores correctores empleados.....</i>	<i>215</i>
<i>Tabla 92 Resultados de la calibración automática en la zona Norte.....</i>	<i>217</i>
<i>Tabla 93 Resultados de la calibración automática en la zona Sur.</i>	<i>217</i>
<i>Tabla 94 Calibración automática Zona Norte. Balance hídrico en los períodos de calibración.</i>	<i>218</i>
<i>Tabla 95 Calibración automática Zona Sur. Balance hídricos en los períodos de calibración.</i>	<i>218</i>
<i>Tabla 96 Resultados de la calibración final en la zona Norte.....</i>	<i>220</i>
<i>Tabla 97 Resultados de la calibración final en la zona Sur.....</i>	<i>220</i>
<i>Tabla 98 Nivel de calidad del proceso de calibración.....</i>	<i>221</i>
<i>Tabla 99 Balance hídrico en el período de simulación. Factores definitivos Zona Norte.....</i>	<i>222</i>
<i>Tabla 100 Balance hídrico en el período de simulación. Factores definitivos. Zona Sur.....</i>	<i>223</i>
<i>Tabla 101 Nivel de calidad del proceso de validación espacio-temporal.....</i>	<i>226</i>
<i>Tabla 102 Resumen de resultados de eficiencia en la validación espacial y temporal.....</i>	<i>227</i>
<i>Tabla 103 Listado de los puntos de simulación, tipología y su localización.....</i>	<i>229</i>
<i>Tabla 104 Resumen de flujos específicos (mm/año) en las cuencas de la zona Norte</i>	<i>234</i>
<i>Tabla 105 Resumen de flujos específicos (mm/año) en las cuencas de la zona Sur.....</i>	<i>234</i>
<i>Tabla 106 Resumen del balance hídrico por simulación del período 1951-2000.....</i>	<i>236</i>
<i>Tabla 107 Síntesis de las aportaciones totales en las Cuencas. Período 1951-2000.....</i>	<i>238</i>
<i>Tabla 108 Síntesis de las aportaciones totales en las Unidades. Período 1951-2000</i>	<i>239</i>
<i>Tabla 109 Comparación de resultados. Aportación específica anual.....</i>	<i>240</i>
<i>Tabla 110 Comparación de resultados. Aportación total anual (hm³).....</i>	<i>241</i>

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1 Ambito del estudio.....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 2 Estaciones pluviométricas</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 3 Ejemplo de análisis de dobles masas.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 4 Ejemplo de análisis del proceso de rellenado.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 5 Relación Cota – Precipitación. Bidasoa.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 6 Relación Cota – Precipitación. Oiartzun.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 7 Relación Cota – Precipitación. Urumea.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 8 Relación Cota – Precipitación. Oria.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 9 Relación Cota – Precipitación. Oria (2).....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 10 Relación Cota – Precipitación. Oria (3).....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 11 Relación Cota – Precipitación. Urola</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 12 Relación Cota – Precipitación. Deba</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 13 Relación Cota – Precipitación. Deba (2).....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 14 Relación Cota – Precipitación. Deba (3).....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 15 Relación Cota – Precipitación. Oka</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 16 Relación Cota – Precipitación. Ibaizabal</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 17 Relación Cota – Precipitación. Ibaizabal (2).....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 18 Relación Cota – Precipitación. Ibaizabal (3).....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 19 Relación Cota – Precipitación. Ibaizabal (4).....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 20 Relación Cota – Precipitación. Omecillo</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 21 Relación Cota – Precipitación. Omecillo (2).....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 22 Relación Cota – Precipitación. Baia</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 23 Relación Cota – Precipitación. Zadorra.....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 24 Relación Cota – Precipitación. Zadorra (2)</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 25 Relación Cota – Precipitación. Zadorra (3)</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 26 Relación Cota – Precipitación. Inglares.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 27 Relación Cota – Precipitación. Ega</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 28 Precipitación promedio areal</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 29 Estaciones termométricas</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 30 Temperatura promedio anual.....</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 31 Series diarias de ET0 y Evaporación. Fuenterrabía.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 32 Valores mensuales promedio de la ET0 y la evaporación en Fuenterrabía.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 33 Grafico XY de las series de ET0 en Fuenterrabía</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 34 Grafico XY de las series mensuales de ET0 en Fuenterrabía</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 35 Grafico de dobles masas. ET0, Fuenterrabía.....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 36 Gráfico de series de ET0. Fuenterrabía</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 37 Dobles masas de la ET0. Fuenterrabía.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 38 Series de ET0 en Foronda.....</i>	<i>82</i>

<i>Ilustración 39 Valores promedio mensuales de la ET0 y Evaporación en Foronda.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 40 Gráficos de correlación y dobles masas de la ET0 en Foronda.....</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 41 Series de ET0 y Evaporación en Sondika.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 42 Valores mensuales promedio de la ET0 y Evaporación en Sondika.....</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 43 Dobles masas y correlaciones de la ET0 en Sondika</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 44 Series diarias de ET0 en Igueldo.....</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 45 Series diarias de ET0 en Igueldo (2)</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 46 Valores mensuales de la ET0 en Igueldo</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 47 Gráficos de dobles masas y correlaciones en Igueldo.....</i>	<i>92</i>
<i>Ilustración 48 Grafico XY de ET0 mensuales en Igueldo.....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 49 Gráficos de dobles masas en Igueldo (2).....</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 50 Series de ET0 y Evaporación en Urkulu.....</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 51 Valores mensuales de la ET0 y la Evaporación en Urkulu.....</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 52 Series diarias de la ET0 y Evaporación en Barrendiola.....</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 53 Valores mensuales de la ET0 y Evaporación en Barrendiola.....</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 54 Series diarias de la ET0 y Evaporación en Lareo</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 55 Valores mensuales de la ET0 y Evaporación en Lareo.....</i>	<i>100</i>
<i>Ilustración 56 Series diarias de la ET0 y Evaporación en Aixola</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 57 Valores mensuales de la ET0 y Evaporación en Aixola.....</i>	<i>102</i>
<i>Ilustración 58 Series diarias de la ET0 y Evaporación en Añarbe</i>	<i>102</i>
<i>Ilustración 59 Valores mensuales de la ET0 y Evaporación en Añarbe</i>	<i>103</i>
<i>Ilustración 60 Dobles masas y correlaciones de la ET0 y la Evaporación en Añarbe.....</i>	<i>104</i>
<i>Ilustración 61 Evapotranspiración anual de referencia.....</i>	<i>109</i>
<i>Ilustración 62 Estaciones de aforo</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 63 Topografía general.....</i>	<i>140</i>
<i>Ilustración 64 Zonas karsticas.....</i>	<i>143</i>
<i>Ilustración 65 Zonas karsticas sensu estricto.....</i>	<i>143</i>
<i>Ilustración 66 Coeficiente de infiltración.....</i>	<i>146</i>
<i>Ilustración 67 Esquema conceptual del modelo TETIS.....</i>	<i>152</i>
<i>Ilustración 68 Distribución de las regiones de información</i>	<i>163</i>
<i>Ilustración 69 Distribución de los dominios hidrogeológicos.....</i>	<i>165</i>
<i>Ilustración 70 Distribución de los principales grupos de suelos</i>	<i>168</i>
<i>Ilustración 71 Presencia de concentración de carbonatos en el perfil, en la zona de estudio</i>	<i>169</i>
<i>Ilustración 72 Presencia de características gleycas, en la zona de estudio</i>	<i>169</i>
<i>Ilustración 73 Distribución de la presencia de Rendsinas y de suelos asociados.....</i>	<i>170</i>
<i>Ilustración 74 Vista parcial de un perfil de material de ladera. Cuenca del Latxe</i>	<i>172</i>
<i>Ilustración 75 Detalles de ladera con cambio de uso e indicios de deslizamiento</i>	<i>172</i>
<i>Ilustración 76 Campos de labor extensiva en secano de la Rioja alavesa</i>	<i>173</i>
<i>Ilustración 77 Distribución de las principales categorías de cubierta de suelo en el área de estudio ...</i>	<i>175</i>
<i>Ilustración 78 Margen derecha del río Araotz, cuenca del Deba.....</i>	<i>176</i>

<i>Ilustración 79 Cabecera del Urumea. Presa de Añarbe, vista hacia Gipuzkoa.....</i>	<i>176</i>
<i>Ilustración 80 Alto Zadorra.....</i>	<i>177</i>
<i>Ilustración 81 Río Arratia, margen derecha</i>	<i>177</i>
<i>Ilustración 82 Cercanías de Opakua. Paisajes llanos</i>	<i>178</i>
<i>Ilustración 83 Rioja</i>	<i>178</i>
<i>Ilustración 84 Panorámica aguas abajo del río Karrantza desde el Alto de la Escrita.....</i>	<i>179</i>
<i>Ilustración 85 Paisaje en zona de karst. Puerto de Opakua.....</i>	<i>179</i>
<i>Ilustración 86 Lapiaz con vegetación baja en parches. Manantial de Osma</i>	<i>180</i>
<i>Ilustración 87 Cabecera del Baia.....</i>	<i>180</i>
<i>Ilustración 88 Tamaño medio de las unidades cartográficas.....</i>	<i>183</i>
<i>Ilustración 89 Mapa de valores modales de H_u [mm].....</i>	<i>184</i>
<i>Ilustración 90 Mapa de valores modales de K_s [cm/h].....</i>	<i>185</i>
<i>Ilustración 91 Mapa de valores modales de K_p [cm/h]</i>	<i>185</i>
<i>Ilustración 92 Ajuste de la estimación de $SQRT_{HU}$</i>	<i>197</i>
<i>Ilustración 93 Ajuste de la estimación de Ln_{KS}</i>	<i>198</i>
<i>Ilustración 94 Ajuste de la estimación de Ln_{KP}.....</i>	<i>198</i>
<i>Ilustración 95 Regiones afectadas por las modificaciones de los valores modales</i>	<i>202</i>
<i>Ilustración 96 Mapa final capacidad de almacenamiento hídrico del suelo.....</i>	<i>203</i>
<i>Ilustración 97 Mapa final de la conductividad hidráulica del suelo.....</i>	<i>203</i>
<i>Ilustración 98 Mapa final de la conductividad hidráulica del sustrato del suelo.....</i>	<i>204</i>
<i>Ilustración 99 Mapa de la abstracción inicial superficial.....</i>	<i>207</i>
<i>Ilustración 100 Distribución espacial de las clases de factor de vegetación</i>	<i>208</i>
<i>Ilustración 101 Ejemplo de calibración. Hidrogramas mensuales observado y simulado en Altzola.....</i>	<i>221</i>
<i>Ilustración 102 Ejemplo de calibración. Hidrogramas diarios observado y simulado en Altzola.....</i>	<i>222</i>
<i>Ilustración 103 Comparación entre el índice de eficiencia mensual y diario en calibración final.....</i>	<i>223</i>
<i>Ilustración 104 Variación del índice de eficiencia mensual con la superficie en la calibración final.</i>	<i>224</i>
<i>Ilustración 105 Variación del índice de eficiencia mensual con la superficie durante la validación</i>	<i>225</i>
<i>Ilustración 106 Ejemplo de validación espacio-temporal. Hidrogramas mensuales en Zubillaga.....</i>	<i>226</i>
<i>Ilustración 107 Ubicación de los puntos de simulación.....</i>	<i>233</i>
<i>Ilustración 108 Evolución de la aportación específica con la superficie en las cuencas. Zona Norte....</i>	<i>235</i>
<i>Ilustración 109 Evolución de la aportación específica con la superficie en las cuencas. Zona Sur</i>	<i>235</i>

1. **RESUMEN Y CONCLUSIONES**

En esta memoria se sintetizan los trabajos encaminados a la obtención de las series representativas de los recursos hídricos naturales de todo el ámbito de la CAPV sin considerar el propio eje del Ebro.

Este objetivo se ha traducido en una serie de actividades entre las que se puede destacar la recopilación de los datos de carácter hidrometeorológico generados en el ámbito de la CAPV y entorno inmediato, su tratamiento, depuración y completado, en la medida de lo posible, y en el establecimiento de un modelo de simulación del proceso de conversión de la lluvia en escorrentía, que sea general en su funcionamiento y aplicación y quede a disposición de la Administración para su utilización posterior.

El ámbito territorial del estudio es el ámbito de la CAPV sin considerar el propio eje del Ebro, aunque sí los barrancos singulares vertientes a él, y aquellas zonas de otras CCAA limítrofes que por continuidad hidrológica lo requieran. El ámbito así definido supone 8500 km² repartido entre la CAPV (81%), Navarra (10%), Castilla y León (8%), Cantabria (1%) y La Rioja (0.1%). La zonificación espacial empleada a lo largo del estudio es la que refleja el mapa hidrológico de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Los estudios termopluviométricos han incluido la revisión de 421 estaciones pertenecientes a seis redes de medida, y la obtención de datos de 261. De 248 se han obtenido datos de precipitación totalizando 3767 años de datos diarios. Los estudios de dobles masas, correlaciones, tipología de los rellenados y representación espacial de las estaciones han permitido caracterizar las series de cara a su utilización en la simulación. Los estudios de la variación de la precipitación con la cota han sido encaminados a investigar la posible relación y obtener los parámetros de tal variación a incorporar en la simulación, aun cuando su consideración definitiva se ha realizado en la fase de calibración en donde los cierres de los balances hídricos han sido los determinantes. Sí se ha detectado como una posible línea de trabajo futuro el profundizar en el análisis de este tipo de efectos.

Los valores más altos de la precipitación puntual se localizan en las cuenca del Urumea y el Oiartzun. Artikutza (1021) en el Urumea con 2603 mm anuales es la estación con mas precipitación, seguida de la de Endara (1012) en el Bidasoa con 2274 mm y de la Ardituri (1016) en el Oiartzun con 2269 mm. La serie con menor precipitación es la de La Puebla de Labarca (9146V), en el Ebro y 420 mm, seguida de la de Elciego (9145E) también en el Ebro y con 450 mm y de la de Miranda de Ebro (9069) en el Baia con 525 mm. En cuanto a los promedios en las unidades hidrológicas, destacan los extremos del Urumea con 1922 mm, el Bidasoa con 1838 mm y el Oiartzun con 1834 mm por un lado, y el Inglares con 709 mm, el Ebro con 716 mm y el Omecillo con 793 mm por el otro.

Esta precipitación promedio, obtenida sin aplicar coeficientes de incremento de la precipitación con la cota, es aproximadamente un 10-15% inferior a la considerada en estudios antecedentes. La precipitación finalmente aplicada al modelo de simulación, que sí incluye los posibles coeficientes, es muy proxima a la de estos estudios (95%-105%) salvo en los casos del Urola (90%), Lea (91%), Butroe(92%), Omecillo (87%) y Arakil (78%).

En el caso de la termometría se han utilizado datos de 88 estaciones. Como el objetivo de estos datos es la determinación de la evapotranspiración de referencia se ha llevado a cabo el estudio de varias formulaciones para su estimación, comparando los resultados con otras series recopiladas de evaporación. Esto ha permitido obtener series de evapotranspiración de referencia, a escala diaria, en todas las estaciones por el método Penmann – Monteith, el método aconsejado por la FAO. Los valores promedio anual para las Unidades proporcionan unas estimaciones entre un 20% y un 40% superiores a las de estudios antecedentes, diferencias explicables en función de la formulación empleada en dichos estudios, el método de Thornthwaite.

El análisis foronómico se ha encaminado a la obtención de un conjunto de series de aportaciones diarias restituidas al régimen natural sobre las que poder realizar la calibración del modelo de simulación. Se han revisado datos de 143 estaciones de aforo pertenecientes a 12 redes u organismos. De ellas se han seleccionado finalmente 113 series, que reflejan 113 puntos de medida distintos. 33 de estas estaciones se han restituido al régimen natural a escala diaria mediante la consideración de las correspondientes series de embalses, tomas y retornos. Como parte del proceso de análisis de la información de las estaciones de aforo se ha revisado su ubicación y trazado sus cuencas vertientes de cara a su correcta integración en el modelo de simulación en las fases de calibración y validación.

Para la simulación del proceso de conversión de la lluvia en escorrentía se ha seleccionado el modelo Tetis de la Universidad de Valencia. Se trata de un modelo de procesos aplicado a escala de celda de simulación, con una secuencia de agregación de resultados y estados relacionada con la red de drenaje deducida de la topografía. El establecimiento del modelo de simulación se ha iniciado con una caracterización geomorfológica previa, ha proseguido con una estimación preliminar de los parámetros del modelo y ha finalizado con las fases de calibración de los factores correctores y validación.

En la fase de calibración y validación se han empleado 71 de las estaciones en las que se habían obtenido series de aportaciones.

Se ha realizado una única calibración por sistema basándose en la estación situada mas aguas abajo, salvo en aquellos sistemas con subunidades de comportamiento hidrológico

diferenciado. En el proceso de calibración se han combinado calibraciones automáticas iniciales con ajustes de homogeneización finales manuales. En el caso del Herrerías, la disponibilidad adicional de datos de la estación KD12, ha permitido, en una segunda fase, definir con mayor precisión los parámetros de control hidrológico.

Para la valoración de los ajustes se ha empleado el criterio establecido por Nash y Sutcliffe aplicado en los estudios de simulación de la UE. A escala diaria, los resultados de las 20 calibraciones finales han sido aceptables en 8 casos, excelentes en 10 y deficientes (y no corregibles) en 2. A escala mensual los resultados son deficientes en un caso, aceptables en 5 y excelentes en 14. Además se ha observado que los índices de ajuste mejoran con la superficie de la cuenca y con la escala de tiempo y que el nivel de calibración conseguido es semejante entre las cuencas del Cantábrico y las del Ebro.

La validación se ha realizado sobre un conjunto de 62 estaciones y utilizando todo el resto de la información disponible. De ellas, 14 ya habían sido utilizadas en calibración pero sin agotar toda la información. A escala diaria, en un 33% de los casos la validación no fue buena, un 27% fue buena y en el 40% restante fue excelente. A escala mensual en 12 casos la validación no fue buena, en 10 fue aceptable y en 40 excelente. Los casos en los que la validación no fue buena no han podido ser mejorados al depender de problemas en los datos de partida, o tratarse de cuencas muy pequeñas de comportamiento muy específico. Por todo lo anterior se ha considerado que el proceso de calibración / validación ha proporcionado una combinación de parámetros acorde con los objetivos del proyecto.

Una vez calibrado el modelo se han seleccionado un conjunto de 123 puntos en los que se han generado series de recursos a escala diaria, para el período 1951 a 2000, es decir 50 años de datos. Únicamente en 5 sistemas (Artibai, Lea, Oka, Butroe e Inglares) el período de simulación ha cubierto 40 años (1961 a 2000) por deficiencias insalvables en los datos de partida. Los puntos simulados han sido 75 estaciones de aforo, 14 embalses no coincidentes con ninguna de las anteriores, y 42 desagües de cuencas o puntos intermedios.

En 2003 se ha procedido a la simulación de 444 series de aportaciones en otros puntos de la red, normalmente confluencias y puntos de toma, para aportar información al análisis del estado del abastecimiento.

Los resultados principales de este análisis son las series diarias de aportaciones. Extrayendo resúmenes y promedios, se puede indicar que el total del promedio anual de las aportaciones en el ámbito estudiado es de 5251 hm³/año, siendo las unidades principales el Ibaizabal con 1226 hm³/año, el Oria con 804 hm³/año y el Zadorra con 667 hm³/año.

Comparando con los resultados de los estudios antecedentes de la Planificación Hidrológica (PH Norte y PH Ebro), se puede indicar que hay algunos sistemas como el Omecillo, el Inglares y el Arakil en los que la aportación específica actual ronda el 65% de la anterior, y en el Urola la aportación supone el 80%. En el otro extremo, en el Zadorra se obtienen ahora unas aportaciones superiores a las del PH Ebro en un 14%. El resto de los sistemas se sitúan en un numeroso conjunto que se caracteriza por una aportación entre el 90% y el 100% de la antigua. Lógicamente en las subcuencas interiores estos porcentajes son más variables.

En términos globales las aportaciones totales son aproximadamente un 5% inferiores a las contempladas en los estudios antecedentes.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Antecedentes

Para el ejercicio de la competencia exclusiva que confiere el Estatuto de Autonomía para el País Vasco, por Acuerdo de la Comisión Mixta de Transferencias de 31 de Mayo de 1994, aprobado por Decreto 297/1994, de 12 de julio, se traspasaron a la Comunidad Autónoma del País Vasco las funciones y servicios de Recursos y Aprovechamientos Hidráulicos, que quedan adscritos al Departamento de Transportes y Obras Públicas. En virtud de este acuerdo, es competencia exclusiva de la Administración Autónoma Vasca la elaboración de la Planificación Hidrológica en el ámbito de las cuencas intracomunitarias. Además, según el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica aprobado por el Real Decreto 927/1988 de 29 de julio, las comunidades autónomas pueden participar en la elaboración y revisión de los Planes Hidrológicos de sus cuencas intercomunitarias por medio de su representación en el Consejo del Agua de la cuenca.

Como parte integrante de las tareas puestas en marcha para la elaboración del Plan Hidrológico de las Cuencas Internas del País Vasco y, en su caso, la revisión de los Planes actualmente vigentes Norte II, III y Ebro, la Dirección de Aguas del Gobierno Vasco contrató con Intecsa-Inarsa la ejecución de los trabajos encaminados al establecimiento de los recursos hídricos totales de la CAPV. Estos trabajos serían continuados con los estudios encaminados a la estimación de las demandas de abastecimiento y la incorporación de ambos a los modelos de gestión con el último objetivo de establecer las garantías de abastecimiento y las actuaciones necesarias para que éste se produzca en las mejores condiciones.

2.2. Objetivos

Es, por tanto, el objetivo de este trabajo la obtención de las series representativas de los recursos hídricos naturales de todo el ámbito de la CAPV, sin considerar el propio eje del Ebro.

Este objetivo general se concreta en la recopilación de los datos de carácter hidrometeorológico generados en el ámbito de la CAPV y entorno inmediato, su tratamiento, depuración y completado, en la medida de lo posible, y en el establecimiento de un modelo de simulación del proceso de conversión de la lluvia en escorrentía, que sea general en su funcionamiento y aplicación y quede a disposición de la Administración para su utilización posterior.

Dada la variabilidad de localizaciones en las que en un futuro es posible que se requiera de información foronómica, es deseable que el modelo de simulación permita la generación de resultados en numerosas localizaciones, una vez calibrado y validado, y este es un objetivo fundamental de este estudio.

2.3. Ámbito territorial y zonificación

El ámbito territorial del estudio es el ámbito de la CAPV sin considerar el propio eje del Ebro, aunque sí los barrancos singulares vertientes a él, y aquellas zonas de otras CCAA limítrofes que por continuidad hidrológica lo requieran.

El ámbito así definido se representa en la Ilustración 1, clasificado en función de las Unidades Hidrológicas del Mapa Hidrológico de la Comunidad Autónoma del País Vasco. En estas condiciones, dicho ámbito no coincide con el de la CAPV sino que abarca a cinco CCAA según la Tabla 1

Ilustración 1 Ambito del estudio

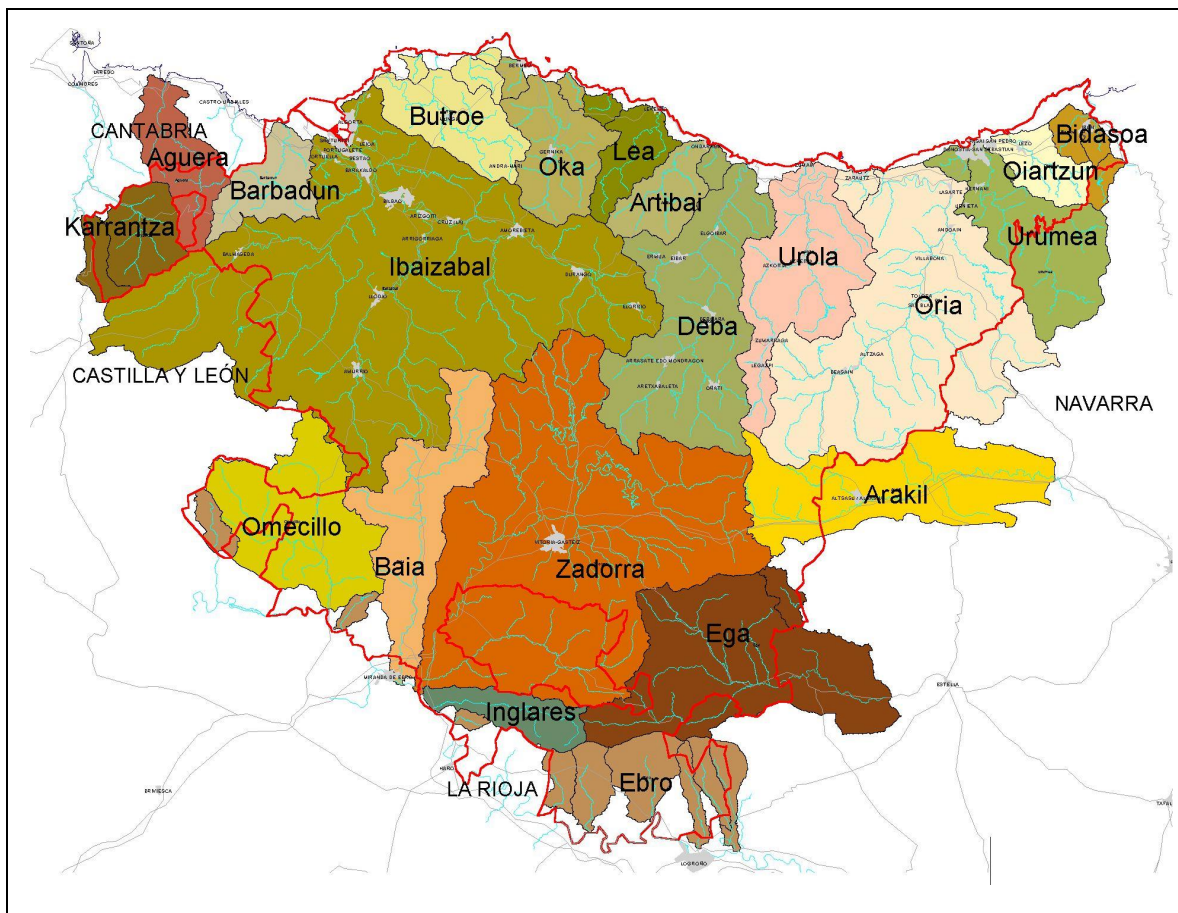


Tabla 1 Superficie del ámbito del estudio por CCAA

CCAA	Sup (Km ²)	%
País Vasco	6858.8 ¹	80.7%
Navarra	827.9	9.7%
Castilla y León	690.9	8.1%
Cantabria	116.6	1.4%
La Rioja	5.3	0.1%
Total	8,499.4	100%

La zonificación espacial empleada a lo largo del estudio es la que refleja el mapa hidrológico de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Se han empleado las divisiones principales de las Unidades Hidrológicas (UHs) aunque alguna de ellas, debido a su configuración, incluya a más de un cauce completo. El criterio general aplicado para la determinación del ámbito del estudio ha sido la consideración completa de las unidades que vierten al mar en el ámbito de la CAPV, excepto en el caso del Bidasoa en el que únicamente se han incluido los barrancos Aldabe, Endara y Jaizubia. Las pequeñas subcuencas adyacentes a las unidades principales se han incorporado a las unidades principales según los criterios del Mapa Hidrológico de la CAPV: Igara al Urumea, Iñurritza al Oria, Saturrarán al Deba, Ea al Lea, Artigas y Laga al Oka, y Andraka, Arcega y Estepona al Butroe. A este efecto se han seleccionado aquellas unidades en las que es posible identificar un cauce superficial a la escala del modelo de simulación (cuadrícula de 500 metros), por acumulación de un número suficiente de celdas vertientes a un punto previo a la desembocadura.

Las superficies manejadas en este estudio son las obtenidas por el SIG a partir del trazado automatizado de cuencas empleado para la implementación del modelo de simulación, una vez corregido éste en aquellos puntos con problemas. Al haber utilizado una base de cuadrícula, estas superficies pueden no coincidir con las oficiales, aunque son lo suficientemente próximas como para obtener una precisión adecuada. En la tabla siguiente se recogen las de las unidades vertientes al Cantábrico, junto con las superficies oficiales.

¹ El area no considerada, hasta los 7234 km² que consituyen la CAPV corresponde a las pequeñas cuencas vertientes al mar o al Ebro.

Tabla 2 Subunidades del estudio vertientes al Cantábrico

Unidad	Subunidad	Superficie (km ²)	Superficie del Mapa Hidrológico de la CAPV (km ²)
Bidasoa	Aldabe	16.11	
	Endara	19.97	19.32
	Jaizubia	28.63	28.63
Oiartzun	Oiartzun	85.78	85.57
Urumea	Igara	17.99	17.36
	Urumea	272.81	272.44
Oria	Iñurritza	23.79	23.32
	Oria	875.56	881.99
Urola	Urola	342.21	342.19
Deba	Deba	519.90	530.28
	Saturraran	17.56	11.26
Artibai	Artibai	104.46	104.28
Lea	Ea	16.02	14.12
	Lea	95.62	99.27
Oka	Artigas	16.94	17.76
	Laga	11.57	7.16
	Oka	180.32	183.21
Butroe	Andraka	8.89	8.91
	Arcega	5.69	
	Butroe	172.31	172.22
	Estepona	24.63	24.74
Ibaizabal	Ibaizabal	1,798.94	1,798.77
Barbadun	Barbadun	123.25	128.92
Agüera	Agüera	149.85	142.92
Karrantza	Calera	39.29	40.97
	Karrantza	112.41	112.63

En el caso de las Unidades que vierten al río Ebro en las proximidades del límite de la CAPV, se ha considerado el total de la cuenca fluvial. En este caso se encuentran el Omecillo, el Baia, el Zadorra y el Inglares. Las unidades Jerea y Linares no se han incluido dada la escasa superficie que presentan en la CAPV.

En el caso de las unidades cuyo punto de desembocadura se localiza claramente fuera de la CAPV se ha utilizado el criterio de proximidad a una estación de aforos representativa del régimen en la CAPV con la que poder llevar a cabo las labores de calibración, o alternativamente el límite de la CAPV. Así el Agüera se ha prolongado hasta su desembocadura ya que en sus proximidades se ubica la estación de la CHN N° 186. En el Karrantza el límite de la unidad se ha establecido en el límite de la CAPV y se ha incluido la cuenca del Calera, ya que su margen derecha pertenece a la CAPV. El Purón se ha incluido hasta el límite de la CAPV y se ha integrado en la Unidad Ebro. En el Ega el ámbito se ha prolongado hasta alcanzar la estación de aforos de Murieta del Gobierno de Navarra (N° 313) a

lo largo del propio Ega y hasta el límite de la CAPV en el caso de Larrondoa. En el Arakil hasta alcanzar la estación de aforos de Echarren (Nº 433).

En la tabla siguiente se sintetizan las superficies de las Unidades vertientes al Ebro con la superficie calculada y la superficie oficial. En algunos casos las superficies oficiales no son comparables con las determinadas por el Gis, ya que en este último caso se ha considerado la totalidad de la cuenca vertiente hasta el punto de desagüe seleccionado según el criterio descrito.

Tabla 3 Subunidades del estudio vertientes al Ebro

Unidad	Subunidad	Superficie (km ²)	Superficie del Mapa Hidrológico de la CAPV (km ²)
Omecillo	Omecillo	351.95	356.14
Baia	Baia	324.34	313.74
Zadorra	Zadorra	1,358.16	1,361.28
Inglares	Inglares	98.57	97.77
Ega	Ega	553.07	406.24 ²
	Larrondoa	25.45	
Arakil	Arakil	407.16	115.14 ²

Finalmente, como afluentes del Ebro se han considerado los siguientes.

Tabla 4 Afluentes del Ebro

Denominación	Superficie (km ²)	Superficie del Mapa Hidrológico de la CAPV (km ²)
Barriobusto	65.95	54.01 ²
El-Lago	13.83	13.47
Herrera	28.29	26.81
Puron	27.85	24.62 ²
Riomayor	48.36	86.53
San Gines	79.14	73.00
Valahonda	8.75	8.58
Yecora	28.00	34.40 ²

En resumen, la superficie del ámbito dividido en unidades es la siguiente

² Superficies no comparables

Tabla 5 Superficies de las unidades

UH	Superficie (km ²)	%
Bidasoa	64.71	0.8%
Oiartzun	85.78	1.0%
Urumea	290.80	3.4%
Oria	899.35	10.6%
Urola	342.21	4.0%
Deba	537.46	6.3%
Artibai	104.46	1.2%
Lea	111.64	1.3%
Oka	208.82	2.5%
Butroe	211.51	2.5%
Ibaizabal	1798.94	21.2%
Barbadun	123.25	1.5%
Agüera	149.85	1.8%
Karrantza	151.70	1.8%
Omecillo	351.95	4.1%
Baia	324.34	3.8%
Zadorra	1358.16	16.0%
Inglares	98.57	1.2%
Ega	578.52	6.8%
Arakil	407.16	4.8%
Ebro	300.19	3.5%
Total general	8.499,36	100%

En donde se puede apreciar la gran importancia relativa del Ibaizabal, el Zadorra y el Oria. La distribución de estos sistemas según la CCAA se presenta en la Tabla 6:

Tabla 6 Superficies de las unidades por CCAA (km²)

UH	País Vasco	Cantabria	Castilla y León	La Rioja	Navarra
Bidasoa	48.9	0.0	0.0	0.0	15.8
Oiartzun	85.5	0.0	0.0	0.0	0.3
Urumea	126.2	0.0	0.0	0.0	164.6
Oria	773.7	0.0	0.0	0.0	125.7
Urola	342.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Deba	537.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Artibai	104.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Lea	111.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Oka	208.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Butroe	211.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Ibaizabal	1516.7	0.0	282.2	0.0	0.0
Barbadun	123.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Agüera	49.5	100.1	0.3	0.0	0.0
Karrantza	134.4	16.5	0.8	0.0	0.0
Omecillo	239.0	0.0	113.0	0.0	0.0
Baia	317.0	0.0	7.4	0.0	0.0
Zadorra	1090.1	0.0	268.1	0.0	0.0
Inglares	98.3	0.0	0.3	0.0	0.0
Ega	378.3	0.0	13.5	0.0	186.7
Arakil	116.3	0.0	0.0	0.0	290.8
Ebro	245.6	0.0	5.3	5.3	44.0
Total	6,858.77	116.55	690.87	5.30	827.85

2.4. Estudios antecedentes

Existen cuatro referentes básicos en relación con los recursos hídricos superficiales de la CAPV. Dos de ellos son estudios históricos que recogen información general sobre las aportaciones en el ámbito de la CAPV. Se trata de los estudios que han servido de base para la elaboración del Plan Hidrológico del Ebro, y el Estudio Básico de recursos hidráulicos de las cuencas del Norte de España de la CHN. El tercero es el resultado de la línea de trabajo continuada de la Diputación de Gipuzkoa, que ha llevado a cabo un programa de recursos hídricos que, iniciado con la propia construcción de estaciones de medida, ha progresado con estudios de aportaciones muy detallados basados en la calibración de modelos de conversión lluvia escorrentía a nivel diario.

Otro estudio antecedente esencial es el Mapa Hidrogeológico del País Vasco, en cuanto a los recursos subterráneos y relación entre las aguas superficiales y subterráneas. Las determinaciones de este estudio serán comentadas posteriormente.

La metodología que se siguió para la elaboración de los dos estudios realizados por las Confederaciones es muy similar y se basa en la realización de un estudio de precipitaciones encaminado a la obtención de las series de precipitaciones diarias promedio en las unidades en análisis, en la caracterización del régimen térmico, en la calibración del modelo de simulación lluvia escorrentía (en ambos estudios se utilizó el modelo Sacramento) y en la extrapolación de los valores de los parámetros del modelo a las subcuencas sin datos, en función de sus características morfológicas y geológicas.

En el estudio de la CHN se calibraron las siguientes estaciones de aforo:

- Bidasoa en EA 106
- Oiartzun en EA 107
- Urumea en EA 105
- Urola en EA 109
- Deba en EA 103
- Artibai en EA 141
- Ibaizabal en EA 163
- Asón en EA 196

Y se obtuvieron resultados –correspondientes al período 1940/41 a 1982/83- para un conjunto de puntos cuyas principales características se recogen en la Tabla 7:

Tabla 7 Unidades del estudio de recursos de la CHN

UNIDAD	Denominación	Superficie km2	Precipitación (mm)	Precipitación (hm3)	Aportación (mm)	Aportación (hm3)	Coefficiente escorrentía
100100	Valcarlos	70.79	2176.42	154.07	1581.25	111.94	0.73
100200	Urrizarte-Aritzacurta	46.19	2100.65	97.03	1356.10	62.64	0.65
100300	Olavidea	63.49	2100.84	133.38	1279.83	81.26	0.61
101-01	Bidasoa en cabecera	142.80	2103.66	300.40	1302.09	185.94	0.62
101-02	Bidasoa aguas abajo de Ezcurra	433.10	2113.22	915.24	1308.50	566.71	0.62
101-03	Bidasoa aguas arriba de Endara	678.22	1990.50	1350.00	1140.86	773.75	0.57
101-04	Bidasoa completo	715.22	2147.73	1536.10	1283.16	917.74	0.60
103-01	Urumea aguas arriba Añarbe	109.40	2335.40	255.49	1641.24	179.55	0.70
103-02	Añarbe en EA 81-a	36.20	2823.99	102.23	1664.01	60.24	0.59
103-03	Añarbe en presa de Añarbe	64.90	2572.10	166.93	1384.01	89.82	0.54
103-04	Urumea en EA 105	219.14	2325.91	509.70	1626.60	356.45	0.70
103-05	Urumea completo	269.14	2203.27	592.99	1495.63	402.53	0.68
101100	Costa Irun-Pasajes	52.10	1758.22	91.60	1046.80	54.54	0.60
102-01	Oyarzun en EA 107	37.05	2203.08	81.62	1471.85	54.53	0.67
102-02	Oyarzun completo	76.28	1949.81	148.73	1214.05	92.61	0.62
102100	Costa Pasajes - San Sebastian	49.80	1609.98	80.18	868.69	43.26	0.54
104100	Costa Oria Deba	44.64	1612.39	71.98	872.61	38.95	0.54
104-01	Oria en Cabecera	241.89	1516.34	366.79	925.37	223.84	0.61
104-02	Arratxes completo	110.50	1851.84	204.63	848.47	93.76	0.46
104-03	Oria en Andoain	656.09	2010.15	1318.84	892.18	585.35	0.44
104-04	Leizarán completo	124.89	2067.09	258.16	990.78	123.74	0.48
104-05	Oria completo	887.48	1679.22	1490.27	953.38	846.11	0.57
105-01	Urola en cabecera	50.44	1736.44	87.59	1096.90	55.33	0.63
105-02	Ibar-Ederzun aguas abajo de Regil	108.27	1867.91	202.24	1163.36	125.96	0.62
105-03	Urola aguas abajo Alzolaes	318.60	1754.84	559.09	1049.88	334.49	0.60
105-04	Urola completo	356.86	1743.19	622.07	1040.32	371.25	0.60
106-01	Deva aguas arriba de Oñate	126.00	1443.54	181.88	875.18	110.27	0.61
106-02	Oñate completo	142.50	1520.71	216.70	883.36	125.88	0.58
106-03	Ego completo	56.61	1557.94	88.19	910.33	51.53	0.58
106-04	Deva en EA 103	463.22	1515.22	701.88	869.68	402.85	0.57
106-05	Deva completo	542.02	1524.24	826.17	877.65	475.70	0.58
107-01	Artibay en E.A. 141	93.90	1557.73	146.27	845.86	79.43	0.54
107-02	Artibay (completo)	105.90	1491.36	157.93	837.66	88.71	0.56
108-01	Oiz (completo)	84.67	1564.16	132.43	892.98	75.61	0.57
109-01	Oca aguas arriba Golaco	66.65	1712.08	114.11	1032.44	68.81	0.60
109-02	Golaco (completo)	34.64	1650.95	57.19	1025.45	35.52	0.62
109-03	Oca (completo)	144.78	1478.44	213.97	943.85	136.60	0.64
106100	Costa Deva-Butrón	208.94	1497.72	312.93	756.31	158.02	0.50
110-01	Butrón en cabecera	76.43	1526.30	116.65	632.21	48.32	0.41
110-02	Butrón (completo)	183.12	1443.27	264.29	600.33	109.93	0.42
111-06	Ibaizábal aguas arriba Elorri	39.70	1455.16	57.77	791.82	31.44	0.54
111-07	Elorrio (Completo)	87.70	1492.98	130.93	794.16	69.65	0.53
111-08	Orobio (competo)	21.99	1575.20	34.64	851.84	18.73	0.54
111-09	Arratia completo)	255.08	1464.02	373.44	763.09	194.65	0.52
111-10	Ibaizábal aguas arriba Arratia	139.11	1443.29	200.77	773.79	107.64	0.54
111-11	Ibaizábal en Galdácano	425.09	1463.92	622.30	794.48	337.73	0.54
111-01	Izoria en cabecera	21.70	1244.55	27.00	525.74	11.41	0.42
111-02	Nervión en LLodio	210.40	1235.68	259.99	485.66	102.18	0.39

UNIDAD	Denominación	Superficie km2	Precipitación (mm)	Precipitación (hm3)	Aportación (mm)	Aportación (hm3)	Coefficiente escorrentía
111-03	Oardo (completo)	21.00	1192.12	25.03	504.50	10.59	0.42
111-04	Altube (completo)	193.42	1359.17	262.89	619.31	119.79	0.46
111-05	Nervión en Miravalles	490.52	1295.92	635.67	745.38	365.62	0.58
111-12	Ordunte en presa de Ordunte	47.01	1553.13	73.01	624.69	29.37	0.40
111-13	Cadagua en cabecera	203.52	1546.21	314.68	587.89	119.45	0.38
111-14	Cadagua en Sodupe	277.02	1481.20	410.32	543.33	150.51	0.37
111-15	Ibalzibar en cabecera	50.31	1520.01	76.47	598.50	30.11	0.39
111-16	Ayega (completo)	36.00	1334.32	48.04	489.14	17.61	0.37
111-17	Herrerías aguas arriba Izalde	188.01	1334.07	250.82	521.81	98.10	0.39
111-18	Izalde (completo)	65.20	1118.16	72.90	566.67	36.95	0.51
111-19	Cadagua en Zaramillo	557.24	1368.27	762.45	567.90	316.46	0.42
110100	Ría de Bilbao	373.50	1244.93	464.98	602.56	225.06	0.48
112-01	Mercadillo en cabecera	29.90	1477.23	44.17	932.68	27.89	0.63
112-02	Mercadillo en S.J. Somorrostro	96.90	1419.82	137.58	851.12	82.47	0.60

Los parámetros del modelo Sacramento que se utilizaron para obtener estos resultados (con un intervalo de simulación de 10 días) fueron:

Tabla 8 Parámetros del modelo Sacramento en el estudio de recursos de la CHN

UNIDAD	Denominación	LZSK	LZPK	LZFSM	LZFPM	SIDE
100100	Valcarlos	0.04	0.004	64	32	0.51
100200	Urrizarte-Aritzacurt	0.13	0.013	55	27.5	0.91
100300	Olavea	0.192	0.019	57	28.5	0.91
101-01	Bidasoa en cabecera	0.192	0.0192	60	30	0.81
101-02	Bidasoa aguas abajo de Ezcurra	0.176	0.0176	55	27.5	0.8
101-03	Bidasoa aguas arriba de Endara	0.184	0.0184	56	28	0.91
101-04	Bidasoa completo	0.185	0.0185	55	27.5	0.9
103-01	Urumea aguas arriba Añarbe	0.065	0.0065	65	32.5	0.4
103-02	Añarbe en EA 81-a	0.15	0.015	50	25	2.5
103-03	Añarbe en presa de Añarbe	0.15	0.015	55	27.5	2.5
103-04	Urumea en EA 105	0.06	0.006	60	30	0.41
103-05	Urumea completo	0.08	0.008	70	35	0.31
101100	Costa Irun-Pasajes	0.09	0.009	98	49	0.15
102-01	Oyarzun en EA 107	0.145	0.0145	82	41	0.15
102-02	Oyarzun completo	0.145	0.0145	98	49	0.15
102100	Costa Pasajes - San Sebastian	0.194	0.0194	136	68	0.15
104100	Costa Oria Deba	0.235	0.0235	120	60	0.15
104-01	Oria en Cabecera	0.16	0.016	107	53.5	0
104-02	Arratxe completo	0.18	0.018	88	44	1201
104-03	Oria en Andoain	0.25	0.025	86	43	1301
104-04	Leizarán completo	0.18	0.018	85	42.5	1.3
104-05	Oria completo	0.184	0.0184	88	44	0.3
105-01	Urola en cabecera	0.13	0.013	97	48	0.25
105-02	Ibar-Ederzun aguas debajo de Regil	0.275	0.0275	104	52	0.15
105-03	Urola aguas abajo Alzolaes	0.31	0.031	108	54	0.15
105-04	Urola completo	0.305	0.0305	100	50	0.15
106-01	Deva aguas arriba de Oñate	0.235	0.023	92	46	0.25
106-02	Oñate completo	0.33	0.033	114	57	0.201

UNIDAD	Denominación	LZSK	LZPK	LZFSM	LZFPM	SIDE
106-03	Ego completo	0.06	0.006	98	49	0.601
106-04	Deva en EA 103	0.22	0.022	75	38	0.601
106-05	Deva completo	0.27	0.03	114	57	0.201
107-01	Artibay en E.A. 141	0.235	0.023	100	50	0.45
107-02	Artibay (completo)	0.24	0.024	108	54	0.2
108-01	Oiz (completo)	0.38	0.038	102	51	0.2
109-01	Oca aguas arriba Golaco	0.15	0.015	90	45	0.4
109-02	Golaco (completo)	0.05	0.005	102	51	0.3
109-03	Oca (completo)	0.22	0.022	96	48	0.3
106100	Costa Deva-Butrón	0.234	0.0234	74	37	0.6
110-01	Butrón en cabecera	0.1	0.01	80	40	2.501
110-02	Butrón (completo)	0.1	0.01	80	40	2
111-06	Ibaizábal aguas arriba Elorri	0.155	0.0155	147	73	0.4
111-07	Elorrio (Completo)	0.155	0.0155	114	57	0.6
111-08	Orobio (completo)	0.2	0.02	140	70	0.401
111-09	Arratia completo)	0.205	0.0205	136	68	0.401
111-10	Ibaizába aguas arriba Arratia	0.275	0.0275	123	62	0.301
111-11	Ibaizábal en Galdácano	0.226	0.0226	135	67	0.301
111-01	Izoria en cabecera	0.65	0.065	102	51	0.5
111-02	Nervión en LLodio	0.63	0.063	90	45	0.601
111-03	Oardo (completo)	0.62	0.062	103	52	0.501
111-04	Altube (completo)	0.31	0.031	121	61	0.501
111-05	Nervión en Miravalles	0.365	0.0365	116	58	0.001
111-12	Ordunte en presa de Ordunte	0.6	0.06	50	25	1.601
111-13	Cadagua en cabecera	0.6	0.06	112	56	1.4
111-14	Cadagua en Sodupe	0.6	0.06	90	45	1.4
111-15	Ibaizábar en cabecera	0.73	0.073	90	45	1.2
111-16	Ayega (completo)	0.45	0.045	116	58	1.2
111-17	Herrerías aguas arriba Izalde	0.54	0.054	80	40	1.001
111-18	Izalde (completo)	0.18	0.018	70	35	0
111-19	Cadagua en Zaramillo	0.6	0.06	100	50	0.8
110100	Ría de Bilbao	0.24	0.024	133	67	0.05
112-01	Mercadillo en cabecera	0.08	0.008	70	35	0
112-02	Mercadillo en S.J. Somorrostro	0.14	0.014	114	57	0

En el caso del estudio de la Confederación Hidrográfica del Ebro, se calibraron las siguientes estaciones dentro del ámbito del presente estudio:

- Omecillo en Bergüenda
- Ega en Marañón
- Zadorra en Arce
- Ayuda en Berantevilla
- Baia en Miranda
- Alegría en Matauco
- Zadorra en Ullibarri
- Santa Engracia en Urrúnaga

La extrapolación de los parámetros del modelo se realizó considerando las siguientes características: pendiente media, cubierta vegetal, capacidad de almacenamiento del suelo, capacidad de infiltración del suelo, tipo de drenaje de la capa de suelo, capacidad de almacenamiento del subsuelo y permeabilidad del subsuelo. Los parámetros resultantes para cada unidad del estudio se recogen en la Tabla 9

Tabla 9 Parámetros del modelo Sacramento para las unidades del estudio de recursos de la CHE

UNIDAD	Denominación	UZTN	UZFW	LZTW	LZFWP	LZFWs	UZK	LZPK	LZSK
0147	Omecillo ag. Arr. del Humedo	100	45	150	80	70	0.15	0.04	0.005
0148	Omecillo completo	100	85	150	100	90	0.3	0.06	0.006
0149	Humedo completo	100	65	150	100	80	0.22	0.06	0.006
0207	Bayas en confluencia con Ugalde	100	30	150	100	80	0.3	0.06	0.006
0208	Bayas completo	100	55	150	100	80	0.3	0.06	0.006
0209	Zadorra en e.a.nº107 (Ullibarri)	100	65	150	90	70	0.22	0.05	0.005
0210	Zadorra ag. Arr. el Zayas	100	100	150	85	70	0.18	0.05	0.005
0211	Zadorra completo	100	55	150	100	90	0.33	0.07	0.007
0212	Alegria en e.a.nº204 (matauco)	100	100	150	55	45	0.1	0.03	0.005
0213	Alegria completo	100	100	150	70	55	0.1	0.035	0.004
0214	Sta. Engracia en e.a.nº208 (urrunaga)	100	30	150	90	75	0.25	0.05	0.005
0215	Albiña en e. de Albiña	100	70	150	90	75	0.25	0.05	0.005
0216	Zayas ag. Arr. del Osegarre	100	100	150	90	75	0.2	0.05	0.005
0217	Zayas completo	100	30	150	120	100	0.4	0.1	0.01
0218	Subialde en e.a.nº221 (Larrinoa)	100	30	150	100	80	0.3	0.06	0.006
0219	Suibarri en e.a.nº222 (Gopegui)	100	150	150	110	90	0.38	0.07	0.007
0220	Osegarre completo	100	50	150	120	95	0.4	0.09	0.01
0221	Ayuda completo	100	45	150	110	90	0.4	0.09	0.01
0222	Inglares completo	100	100	150	100	-80	0.2	0.05	0.005
0225	Ega en Angostina (presa)	100	100	150	70	60	0.12	0.04	0.005
0226	Ega en e.a.nº6 (Marañón)	100	60	150	60	50	0.1	0.03	0.005
0227	Ega en confluencia con Izquíz	100	60	150	100	80	0.3	0.06	0.006
0228	Ega en p. de Arquijas	100	100	150	70	60	0.1	0.04	0.004
0229	Ega en e.a.nº71 (Estella) (inc.Urbasa)	100	45	150	100	80	0.18	0.05	0.005
0232	Izquíz en Bujanda	100	100	150	45	35	0.1	0.03	0.003
0234	Urederra completo (inc. S. de Urbasa)	100	60	150	90	75	0.16	0.05	0.005
0337	Araquil en Lizarragabengoa	25	45	100	90	70	0.2	0.05	0.005
0338	Araquil en e.a.nº68 (Asiain)	25	60	100	80	65	0.2	0.05	0.005

Mediante simulación con el modelo Sacramento se obtuvieron las series de aportaciones, para el período 1940/41 a 1985/86, cuyos resultados se resumen en la Tabla 10:

Tabla 10 Unidades del estudio de recursos de la CHE

UH	Denominación	Datos parciales				Datos acumulados				
		Superficie (km2)	Precipit (mm)	Evap (mm)	Aporta (mm)	Superficie (km2)	Precipit (mm)	Evap (mm)	Aporta (mm)	Aporta (hm3)
0147	Omecillo ag. arr. del Húmedo	154	853	637	338	154	853	637	338	52
0148	Omecillo completo	90	817	620	308	363	886	605	385	140
0149	Humedo completo	118	982	552	504	118	982	552	504	60
0207	Bayas en confluencia con Ugalde	127	1352	523	865	127	1352	523	865	110
0208	Bayas completo	175	834	644	316	303	1052	593	547	165
0209	Zadorra en e.a.nº107 (Ullibarri)	285	1074	600	565	285	1074	600	565	161
0210	Zadorra ag. arr. del Zayas	205	838	669	310	751	1031	617	518	389
0211	Zadorra completo	212	791	690	258	1373	951	643	431	592
0212	Alegria en e.a.nº204 (Matauco)	58	986	641	459	58	986	641	459	27
0213	Alegria completo	60	874	657	349	118	929	649	403	48
0214	Sta. Engracia en e.a.nº208	130	1308	549	819	142	1309	552	817	116
0215	Albiña en e. de Albiña	12	1313	590	793	12	1313	590	793	9
0216	Zayas ag. Arr. del Osegarre	11	1097	617	591	43	1332	547	855	37
0217	Zayas completo	40	908	658	379	93	1125	602	621	58
0218	Subialde en e.a.nº221 (Larrinoa)	26	1460	516	996	26	1460	516	996	26
0219	Suibarri en e.a.nº222 (Gopegui)	6	1221	551	736	6	1221	551	736	4
0220	Osegarre completo	10	1104	609	590	10	1104	609	590	6
0221	Ayuda completo	318	819	686	287	318	819	686	287	91
0222	Inglares completo	95	708	703	187	95	708	703	187	18
0225	Ega en Angostina (presa)	83	866	698	338	83	866	698	338	28
0226	Ega en e.a.nº6 (Marañón)	8	816	693	296	92	861	698	335	31
0227	Ega en confluencia con Izquiz	180	960	651	434	321	935	668	407	131
0228	Ega en p. de Arquijs	147	900	670	376	469	924	668	397	186
0229	Ega en e.a.nº71 (Estella)	161	731	694	219	985	965	659	442	435
0232	Izquiz en Bujanda	50	978	673	443	50	978	673	443	22
0234	Urederra completo	154	980	657	458	355	1126	632	603	214
0337	Araquil en Lizarragabengoa	265	1854	619	1329	265	1854	619	1329	353
0338	Araquil en e.a.nº68 (Asiain)	424	1570	653	1048	767	1695	640	1168	896

Sintetizando ambos estudios, se podría aportar el siguiente cuadro resumen:

Tabla 11 Síntesis de unidades de los estudios antecedentes

UNIDAD	Denominación	Superficie km ²	Precipitación (mm)	Precipitación (hm ³)	Aportación (mm)	Aportación (hm ³)	Coefficiente escorrentía
101-04	Bidasoa completo ³	715.2	2,148	1,536.1	1,283	917.7	0.60
103-05	Urumea completo	269.1	2,203	593.0	1,496	402.5	0.68
101100	Costa Irun-Pasajes	52.1	1,758	91.6	1,047	54.5	0.60
102-02	Oyarzun completo	76.3	1,950	148.7	1,214	92.6	0.62
102100	Costa Pasajes - San Sebastian	49.8	1,610	80.2	869	43.3	0.54
104100	Costa Oria Deba	44.6	1,612	72.0	873	39.0	0.54
104-05	Oria completo	887.5	1,679	1,490.3	953	846.1	0.57
105-04	Urola completo	356.9	1,743	622.1	1,040	371.3	0.60
106-05	Deva completo	542.0	1,524	826.2	878	475.7	0.58
107-02	Artibay (completo)	105.9	1,491	157.9	838	88.7	0.56
108-01	Oiz (completo)	84.7	1,564	132.4	893	75.6	0.57
109-03	Oca (completo)	144.8	1,478	214.0	944	136.6	0.64
106100	Costa Deva-Butrón	208.9	1,498	312.9	756	158.0	0.50
110-02	Butrón (completo)	183.1	1,443	264.3	600	109.9	0.42
	Ibaizabal Completo ⁴	1,846.4	1,346	2,485.4	674	1,244.9	0.50
0148	Omecillo completo	363.0	886	321.6	385	140.0	0.43
0208	Bayas completo	303.0	1,052	318.8	547	165.0	0.52
0211	Zadorra completo	1,373.0	951	1,305.7	431	592.0	0.45
0228	Ega en p. de arquijas	469.0	924	433.4	397	186.0	0.43
0338	Araquil en e.a.nº68 (asiain)	767.0	1,695	1,300.1	1,168	896.0	0.69
	Totales (estimativos)	8,842.3	1,437	12,706.6	796	7,035.4	0.55

³ La mayor parte del sistema fuera del ámbito de la CAPV⁴ Elaboración propia mediante adición de subunidades

3. **METODOLOGÍA GENERAL Y ESTRUCTURA DEL ESTUDIO**

La metodología general de este estudio ha consistido en las siguientes fases:

- Recopilación de la información
- Análisis pluviométrico
- Análisis termométrico y de evapotranspiración de referencia
- Análisis foronómico y restitución al régimen natural
- Análisis morfológico y geológico
- Establecimiento del modelo de simulación
- Calibración general
- Simulación

Una vez recopilada la información termo pluviométrica se han llevado a cabo los estudios de análisis de la información pluviométrica mediante técnicas de dobles masas y correlaciones (a nivel diario, mensual y anual).

Entre los datos recopilados se obtuvieron series de precipitación diaria ya rellenadas por lo que uno de los estudios llevados a cabo consistió en comprobar las diferencias estadísticas entre las series originales y las rellenadas de cara a identificar las posibles alteraciones que hubiera podido incluir el proceso de rellenado. Como por otra parte el modelo de simulación finalmente elegido fue el Tetis, que incluye en la fase de simulación la triangulación de los datos existentes en cada intervalo de tiempo de cara a la estimación de la precipitación en cada celda (un proceso de rellenado espacial implícito basado en las distancias mínimas) el estudio se ha completado con un análisis dirigido a la estimación de la representación espacial de cada estación mediante polígonos de Thiessen.

Adicionalmente se ha llevado a cabo un estudio de la variación de la precipitación con la cota, con el objetivo de investigar la posible relación y obtener los parámetros de tal variación a incorporar en la simulación.

En el caso de la evapotranspiración, la necesidad de tener que contar con series de ET₀ diarias y la realidad de la disponibilidad de datos, ha conducido a la realización de un estudio de análisis de aproximaciones simplificadas a la fórmula de Penman Monteith, habiéndose seleccionado la que permite su obtención en base a los datos de temperatura máxima y mínima diarias.

El análisis foronómico se ha encaminado a la obtención de un conjunto de series de aportaciones diarias restituidas al régimen natural sobre las que poder realizar la calibración del modelo de simulación.

Una vez recopilados los datos de las estaciones se han obtenido el resto de los datos necesarios para realizar la restitución al régimen natural:

- Series asociadas a los embalses
- Series de tomas monitorizadas
- Estimaciones de consumos en el caso de no disponer de series específicas (regadíos típicamente)

Mediante la consideración algebraica de dichas series, se ha obtenido el conjunto de series restituidas al régimen natural. Hay que señalar que dada la hidrología de la zona de estudio, y particularmente de la vertiente norte, en numerosos casos los usos del agua son de un orden de magnitud inferior al de los recursos naturales, y muy frecuentemente dentro del rango de error de medida de los segundos. En estos casos no se ha procedido a la restitución.

Para la fase de simulación se ha seleccionado el modelo TETIS de la Universidad Politécnica de Valencia. El modelo permite obtener la respuesta hidrológica ocasionada por la precipitación de lluvia o de nieve, teniendo en cuenta los diferentes procesos físicos involucrados y empleando la modelación distribuida de tipo conceptual.

Los parámetros del modelo son, en esencia, los parámetros del suelo, los parámetros geomorfológicos con validez regional y los parámetros de la fusión de nieve. El proceso de calibración consta de dos fases independientes que evitan la sobreparametrización del modelo y, por lo tanto, garantizan la representatividad del mismo mas allá del período y puntos de calibración.

En una primera fase, mediante la utilización de la información disponible, se realiza una estimación inicial de los parámetros básicos coherentes a lo largo y ancho de la zona de estudio.

En la segunda fase, la calibración propiamente dicha, se obtienen los parámetros correctores mediante el proceso clásico de comparación de los valores simulados y los valores medidos. Dichos factores han de ser todo lo generales posibles, en aras de la mencionada representatividad. Los detalles de este proceso se describen más adelante.

Finalmente, una vez establecido y calibrado el modelo, se han construido y ejecutado las estructuras de simulación correspondientes al intervalo de tiempo de 1951 a 2000, con lo que se han obtenido las series de recursos naturales a escala diaria en los puntos del territorio previamente seleccionados.

La aplicación del modelo de simulación y el resto de las actividades han partido de una explotación de la información descriptiva del medio. Se ha empleado la información de las siguientes fuentes principales:

- Topografía, sintetizada en el MDT con resolución de 25 metros, del País Vasco y completada con la topografía de la zona de recubrimiento (raster y vectorial).
- Mapa Hidrológico de la Comunidad Autónoma del País Vasco (cuencas, subcuencas y red de drenaje). *Escala 1:150.000*. (2001).
- Mapa litológico y geológico a escala 1:25.000 del País Vasco.
- Mapa de Permeabilidades del País Vasco a escala 1:25.000. (1999).
- Mapa Hidrogeológico del País Vasco a escala 1:100.000. (1999).
- Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los Acuíferos de la CAPV.
- Mapa de Vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco a escala 1:25.000. (1991).
- Mapas de suelos a escala 1:25.000 de Bizkaia y Gipuzkoa. Estudio edafológico de Gipuzkoa. Hojas 1:25.000 números: 64-I (Zarauz), 64-III (Billabona), 88-I (Bergara) y 88-III (Arrasate). Memoria, Mapas de suelos y capacidad de uso y recomendaciones y restricciones de uso. Memoria.
- Mapa de suelos de Alava. Escala: 1:200.000. (1980).
- Geomorfología y Edafología de Gipuzkoa.
- Diversos perfiles de suelo de Bizkaia. Diputación Foral de Bizkaia.
- Diversos perfiles de suelo de Gipuzkoa. Diputación Foral de Gipuzkoa.
- Mapa litológico de Navarra.
- Mapa de suelos de Navarra.
- Mapa de vegetación de Navarra.
- Mapa de usos del suelo de Burgos.

- Mapa geológico de Burgos.
- Mapa de suelos de Castilla y León. Memoria y mapa 1:500.000 (1987).
- Atlas hidrogeológico de Burgos.
- Cartografía digital de la Confederación Hidrográfica del Ebro: Geología, Unidades Hidrogeológicas, usos del suelo y límites de unidades.
- Mapa de suelos de la UE a 1:1 000 000. (1985).
- Red Hidrometeorológica de Bizkaia. Anuario de datos de 2000-01.(2002).
- Las Aguas Subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico.
- Avance de la Memoria sobre los trabajos de aplicaciones GIS con Genamap/Genacell para la Diputación Foral de Gipuzkoa. (1994).
- Mapa Tectónico de la península Ibérica y Baleares. Escala 1:1.000.000. (1980).

4. PLUVIOMETRIA

4.1. Estaciones termopluviométricas

En el ámbito de la zona de estudio existen varias redes de medida de datos termopluviométricos, siendo las principales las pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología, al Servicio Vasco de Meteorología y a las Diputaciones de Gipuzkoa y Bizkaia. Otros organismos que recolectan datos son Iberdrola y el Consorcio de Aguas de Bilbao Bizkaia.

De las estaciones que han funcionado en algún momento, se han revisado aquellas que pueden proporcionar una información adecuada en el ámbito diario y en un período de tiempo suficientemente representativo. Cabe señalar que en el caso del Servicio Vasco de Meteorología, desafortunadamente no se ha podido disponer de la información, al estar en fase de depuración, pero se espera que en el futuro, de cara a estudios posteriores, se pueda disponer de esta información que resultará muy valiosa dada su representatividad geográfica y temporal, al disponer de, como media, alrededor de 10 años de datos cada estación.

De las 421 estaciones inicialmente analizadas, únicamente se han obtenido datos en 261. En las restantes bien los datos no estaban disponibles, bien los datos pertenecían a fechas claramente fuera del período básico de estudio (1951 a 2000)

En el siguiente cuadro se refleja el número de estaciones de las que se ha obtenido algún tipo de datos que se han empleado en el estudio.

Tabla 12 Estaciones por red de medida

RED	Utilizada	No Utilizada	Total general
DFB ⁵	16	6	22
DFG ⁶	17	14	31
CAABB ⁷	3	0	3
INM ⁸	222	97	319
SVM	1	43	44
SVM/DFB ⁹	2	0	2
Total general	261	160	421

Tabla 13 Series termoplumiométricas disponibles

	Tipo de datos			Datos de precipitación		Datos de Temperatura	
	P ¹⁰	P Y T ¹¹	T ¹²	ORI ¹³	ORI/COM ¹⁴	ORI	ORI/COM
DFB	5	11	0	16		11	
DFG	17	0	0	17			
CAABB	3	0	0	3			
INM	146	63	13	70	139	18	58
SVM	1	0	0	1			
SVM/DFB	1	1	0	2		1	
Total general	173	75	13	109	139	30	58

En la Tabla 13 se ha reflejado el tipo de series obtenidas de cada estación. Hay estaciones de las que se han obtenido series únicamente de precipitación (173), estaciones de las que se han obtenido las series de precipitación diaria y temperaturas máximas y mínimas diarias (75) y series de las que únicamente se han obtenido datos de termometría (13). Estas últimas series se recopilaban para completar espacialmente la información de evapotranspiración. Es decir se han utilizado 248 estaciones con datos de precipitación y 88 con datos de temperaturas.

Algunas de las redes consultadas, como es el caso de la de la DFG, disponen de series de más variables climatológicas, pero estas no se incluyen en las tablas ya que aunque se han recopilado no se han empleado en el resto del estudio.

⁵ Diputación Foral de Bizkaia

⁶ Diputación Foral de Gipuzkoa

⁷ Consorcio de aguas Bilbao Bizkaia

⁸ Instituto Nacional de Meteorología

⁹ Servicio Vasco de Meteorología y DFB

¹⁰ Precipitación

¹¹ Precipitación y Temperatura

¹² Temperatura

¹³ Datos Originales

¹⁴ Datos Originales y Completados

Además de las series de precipitación diaria original, se ha dispuesto de un conjunto de 139 series de precipitación completada para el período 1961/2000, provenientes de un notable trabajo del SVM sobre las series del INM que se comentará más adelante. Del mismo modo, en 58 series de temperaturas máximas y mínimas diarias el SVM procedió a su completado temporal en el período 1961/2000.

La ubicación de las estaciones pluviométricas se recoge en la Ilustración 2.

Ilustración 2 Estaciones pluviométricas



4.2. Datos utilizados

En la Tabla 14 se recogen, por Unidad Hidrológica y redes, las series de precipitación utilizadas. Las estaciones situadas en las zonas de recubrimiento se han asignado a su Unidad Hidrológica más próxima. Todas las series rellenadas de precipitación pertenecen a la red del INM.

Tabla 14 Series de precipitación utilizadas por Unidad y Organismo

Uh	ORI						ORI/COM
	DFB	DFG	CAABB	INM	SVM	SVM/DFB	INM
BIDASOA		1		5			2
OIARTZUN		1		3			2
URUMEA		1		4			6
ORIA		6		11			12
UROLA		2		1			7
DEBA		6		4			11
ARTIBAI	1						1
LEA							1
OKA	2					1	2
BUTROE							2
IBAIZABAL	13		3	3	1	1	30
BARBADUN							2
KARRANTZA				2			2
OMECILLO				5			8
BAIA				7			7
ZADORRA				13			35
INGLARES				1			2
EGA				9			3
ARAKIL				2			
EBRO							4
Total General	16	17	3	70	1	2	139

Evidentemente no todas las estaciones disponen del mismo número de datos ni cubren los mismos períodos. En el Anejo nº 1 se incluye, para cada UH, un cronograma detallado de las series utilizadas. A continuación se refleja una síntesis de estos datos.

Tabla 15 Datos pluviométricos utilizados por unidad

UH	Nº Estaciones	Nº Total de años medidos	Promedio de años por estación	Promedio de fecha de inicio	Fecha de inicio mas antigua	Fecha de fin mas moderna
BIDASOA	8	108	14	julio-68	enero-40	septiembre-01
OIARTZUN	6	102	17	febrero-68	junio-46	diciembre-00
URUMEA	11	270	25	marzo-61	enero-35	diciembre-00
ORIA	29	412	14	octubre-76	diciembre-34	enero-02
UROLA	10	110	11	marzo-78	enero-45	noviembre-01
DEBA	21	260	12	febrero-78	marzo-34	febrero-02
ARTIBAI	2	36	18	diciembre-79	octubre-61	marzo-02
LEA	1	12	12	abril-86	abril-86	diciembre-00
OKA	5	39	8	septiembre-90	octubre-85	abril-02
BUTROE	2	8	4	diciembre-85	septiembre-85	enero-96
IBAIZABAL	51	595	12	enero-84	abril-40	diciembre-03
BARBADUN	2	56	28	noviembre-56	enero-46	diciembre-00
KARRANTZA	4	68	17	diciembre-80	noviembre-56	abril-02
OMECILLO	13	242	19	septiembre-79	enero-58	diciembre-00
BAIA	14	255	18	noviembre-64	julio-30	diciembre-00
ZADORRA	48	839	17	noviembre-69	marzo-43	diciembre-00

UH	Nº Estaciones	Nº Total de años medidos	Promedio de años por estación	Promedio de fecha de inicio	Fecha de inicio mas antigua	Fecha de fin mas moderna
INGLARES	3	73	24	diciembre-61	febrero-59	diciembre-00
EGA	12	187	16	noviembre-60	diciembre-16	diciembre-00
ARAKIL	2	57	29	octubre-44	octubre-13	abril-92
EBRO	4	38	10	julio-77	febrero-48	diciembre-00
Total general	248	3767	15	julio-74	octubre-13	diciembre-03

En total se han utilizado de 3767 años de datos diarios, con un promedio de 15 años por estación. Llama la atención que hay unidades, como la del Agüera, que no dispone de ninguna estación y que otras unidades únicamente disponen de 1 o 2 estaciones utilizables. En algunas unidades, las fechas de inicio de las series son relativamente recientes (Butroe, Lea, Oka, etc.) lo que dificulta seriamente la obtención de series de aportaciones representativas.

Otro aspecto relevante es el de la densidad de estaciones disponibles para el estudio. Este aspecto se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 16 Densidad de datos por Unidad

	Completadas	Sin Completar	Sup km ²	Km ² /Nº Completadas	km ² / Nº Totales
BIDASOA	2	6	64.71	32.4	8.1
OIARTZUN	2	4	85.78	42.9	14.3
URUMEA	6	5	290.8	48.5	26.4
ORIA	12	17	899.35	74.9	31.0
UROLA	7	3	342.21	48.9	34.2
DEBA	11	10	537.46	48.9	25.6
ARTIBAI	1	1	104.46	104.5	52.2
LEA	1	0	111.64	111.6	111.6
OKA	2	3	197.25	98.6	39.5
BUTROE	2	0	211.51	105.8	105.8
IBAIZABAL	30	21	1798.94	60.0	35.3
BARBADUN	2	0	123.25	61.6	61.6
KARRANTZA	2	2	110.57	55.3	27.6
OMECILLO	8	5	351.95	44.0	27.1
BAIA	7	7	324.34	46.3	23.2
ZADORRA	35	13	1358.16	38.8	28.3
INGLARES	2	1	98.57	49.3	32.9
EGA	3	9	553.07	184.4	46.1
ARAKIL	0	2	407.16		203.6
EBRO	4	0	249.75	62.4	62.4
Total general	139	109	8370.8	60.2	33.8

Las Unidades menos monitorizadas son Arakil, Lea, Butroe y Barbadún e incluso Artibai. En el primer caso debido, a que ha sido necesario extender la cuenca hasta la ubicación de la estación de aforos del GN y en los otros por los motivos citados anteriormente. A continuación, sigue un bloque de Unidades con una densidad relativamente semejante (entre 20 y 30 km² por

estación). Ahora bien, si analizamos las series completadas, que son la base para la determinación de series de aportaciones homogéneas, se incorporan al grupo de las poco monitorizadas las Unidades del Ega, Oka y Oria, que presentan superficies / estación superiores a los 75 km².

Las mayores densidades se aprecian en las restantes cuencas guipuzcoanas, y en los dos grandes sistemas, Ibaizabal y Zadorra, que presentan densidades intermedias, siendo algo mejores las del Zadorra.

4.3. Análisis de las series de datos de precipitación diaria

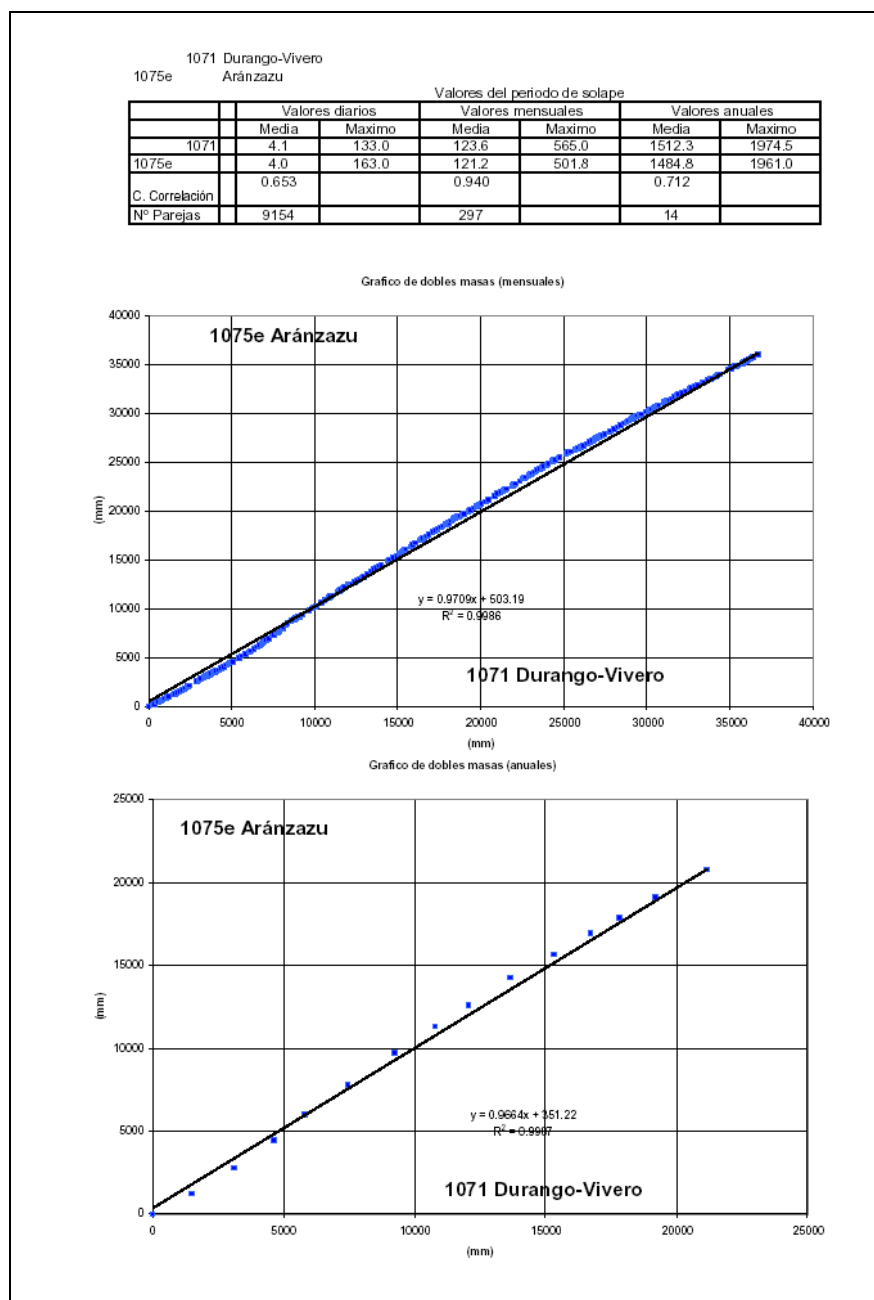
4.3.1. *Descripción de los análisis*

Con las series recopiladas, se han llevado a cabo una serie de estudios encaminados a la caracterización de las series y a la obtención de los valores promedio zonales que aunque no son estrictamente necesarios para la ejecución de los modelos de simulación permiten caracterizar el comportamiento hidrológico de las cuencas.

En una primera fase y después de la corrección de los errores de lectura o tecleado se ha procedido a la realización de un estudio de correlación y análisis de dobles masas, cuyos resultados se localizan en el Anejo Nº 2. Dicho análisis se ha llevado a cabo tanto para la series originales como para las rellenadas.

En la Ilustración 3 se refleja un ejemplo de una parte del análisis.

Ilustración 3 Ejemplo de análisis de dobles masas



De dicho estudio no se ha deducido la necesidad de descartar ninguna serie, pero sí se ha procedido a clasificar las estaciones entre buenas, regulares o malas en función de su grado de comportamiento en el estudio.

Una síntesis de esta clasificación se resume en la Tabla 17.

Tabla 17 Calificación de las series según las dobles masas

	BUENA	MALA	REGULAR
BIDASOA	5		3
OIARTZUN	3		3
URUMEA	8		3
ORIA	9	7	13
UROLA	4	3	3
DEBA	6	4	11
ARTIBAI	1		1
LEA			1
OKA	3	1	1
BUTROE	1		1
IBAIZABAL	19		32
BARBADUN	1		1
KARRANTZA		3	1
OMECILLO	5	4	4
BAIA	5	1	8
ZADORRA	13	10	25
INGLARES			3
EGA	6	2	4
ARAKIL	1	1	
EBRO		2	2
Total general	90	38	120

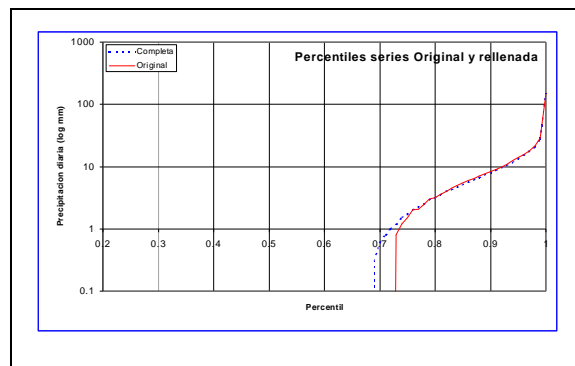
En el Anejo Nº 1 se identifica cada una de las series en cuestión. Sí se puede observar que casi todas las unidades tienen alguna buena estación salvo el Ebro (barrancos afluentes), el Inglares, el Karrantza, el Lea, y lógicamente, el Agüera, que no tenía ninguna estación.

El segundo de los análisis ha consistido en analizar el efecto que ha tenido el notable trabajo de rellenado de las series realizado por el SVM sobre los estadísticos de las mismas. Este tipo de análisis se ha conducido analizando tanto los valores estadísticos descriptivos de medias y desviaciones típicas, como los valores descriptivos de la distribución de la población. La razón de ello es analizar si en el proceso de rellenado se han alterado aspectos que pueden influir mucho en los comportamientos hidrológicos como el número de días sin precipitación (que tiende a aumentar en los procesos de rellenado), o los valores mínimos de medida.

En el Anejo Nº 3 se incluyen los análisis realizados para todas las series rellenadas. A continuación se reproducen dos ejemplos.

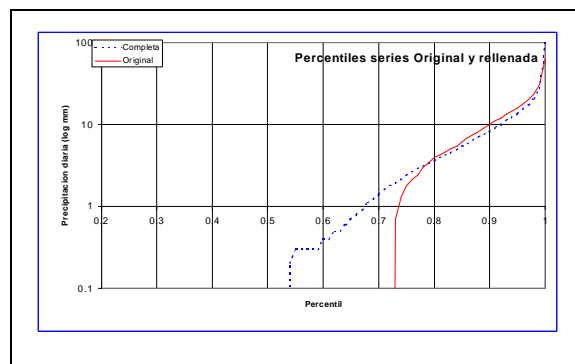
Ilustración 4 Ejemplo de análisis del proceso de rellenado

9073i Opacua		
	Datos Originales	Datos Rellenados
Nº Valores	12509	14610
Media	2.4	2.3
Mediana	0.0	0.0
Moda	0.0	0.0
Maximo	148.0	148.0
Desviación Tipica	6.0	5.8
Curtosis	48.4	50.4
Coef Asimetría	5.0	5.0
Percentiles		
0.1	0.0	0.0
0.2	0.0	0.0
0.3	0.0	0.0
0.4	0.0	0.0
0.5	0.0	0.0
0.6	0.0	0.0
0.7	0.0	0.6
0.8	3.2	3.1
0.9	8.4	8.0
1	148.0	148.0



El primer ejemplo corresponde a la estación Nº 9073i de Opakua, en la que el rellenado prácticamente no ha alterado los estadísticos de la serie, probablemente debido a que tenía un buen número de datos originales.

9074b Luzuriaga Iberduero		
	Datos Originales	Datos Rellenados
Nº Valores	3744	14610
Media	2.7	2.5
Mediana	0.0	0.0
Moda	0.0	0.0
Maximo	63.4	98.7
Desviación Tipica	6.4	5.7
Curtosis	17.0	25.7
Coef Asimetría	3.6	4.1
Percentiles		
0.1	0.0	0.0
0.2	0.0	0.0
0.3	0.0	0.0
0.4	0.0	0.0
0.5	0.0	0.0
0.6	0.0	0.4
0.7	0.0	1.4
0.8	4.0	3.6
0.9	10.0	8.2
1	63.4	98.7



En este segundo ejemplo, en la estación rellenada, la 9074B de Luzuriaga (Iberduero, INM), los datos originales eran mucho menos abundantes y el proceso de rellenado ha alterado no únicamente los estadísticos

básicos (lo cual no invalida el proceso, ya que no solo es perfectamente posible, sino muy probable, que la serie rellenada presente estadísticos distintos al cubrir un período diferente) sino la estructura de los datos, al aumentar sensiblemente el número de días con precipitación y a parecer un buen número de valores inferiores a 1 mm/día, lógicamente provenientes de una correlación entre varias estaciones.

Una de las conclusiones generales de este análisis es que el proceso de rellenado, en términos generales, se ha realizado de manera satisfactoria, al utilizarse un número controlado de estaciones para obtener los valores rellenados, y dependiendo la calidad de los valores

rellenados únicamente del número de datos de partida, lo cual es inevitable, ya que a mayor información, mayor precisión en la estimación.

De hecho, se ha observado una clara relación entre otros factores obtenidos para las series (y que también se incluyen en los Anejos) como el de la relación de número de datos existentes a posible, tanto en el período total como en el período rellenado, con esta estimación “subjetiva” de la representatividad del rellenado.

En el Anejo nº 1 se caracterizan individualmente las series y a continuación se resumen los resultados por Unidad.

Tabla 18 Calificación de las series según el rellenado

	BUENA	MALA	REGULAR
BIDASOA	1	1	
OIARTZUN	1		1
URUMEA	3		3
ORIA	6	1	5
UROLA	3	1	3
DEBA	3	3	5
ARTIBAI	1		
LEA			1
OKA		1	1
BUTROE		2	
IBAIZABAL	8	8	14
BARBADUN	1		1
KARRANTZA	1		1
OMECILLO	4		4
BAIA	2	1	4
ZADORRA	11	6	18
INGLARES	2		
EGA	1		2
ARAKIL			
EBRO		3	1
Total general	48	27	64

Tal como ocurría en los análisis de dobles masas, a lo largo de este proceso no se ha eliminado ninguna serie, sino que su caracterización se ha empleado como criterio en la selección de datos a emplear en la fase de calibración y en la de simulación.

4.3.2. Disponibilidad de datos para la simulación

Se comenta a continuación la situación de las Unidades Hidrológicas en cuanto a disponibilidad de datos de precipitación, de cara a la realización de las labores de calibración y simulación.

Bidasoa

En la UH Bidasoa se han utilizado 8 estaciones meteorológicas, una ENDA que pertenece a la Diputación Foral de Gipuzkoa (DFG), y el resto al Instituto Nacional de Meteorología (INM). Todas las estaciones disponen de datos de precipitación, pero sólo dos tienen datos tanto originales como completados.

En el periodo 1961 a 2000 los datos originales de las estaciones son escasos (entorno al 25%), a excepción de en la estación 1014 (aeropuerto de Hondarribia), que cubre todo el período (dispone del 99,89%). En el río Endara hay problemas de representatividad ya que las estaciones interiores no disponen de buenos datos. En las otras subcuencas la situación es mejor, ya que la 1012I y la 1013I (ambas en Irún) tienen una buena representación territorial y no tienen huecos.

Oiartzun

En la Unidad Hidrológica se han usado datos de seis estaciones. Cinco del INM, y una de la Diputación Foral de Gipuzkoa (DFG). En general, las estaciones poseen un elevado número de datos, a excepción de la 1019 A (Pasajes).

La mayoría de las estaciones disponen de información desde 1961. Las estaciones con series temporales más cortas son la 1012 y la E1W1 con datos de 1986 y 1990 respectivamente. En general se dispone de buen recubrimiento espacial y temporal, pero pueden surgir problemas porque una de las estaciones con mayor peso superficial es la 1017, que no es muy buena en calidad. Cuando se incorporan estaciones del área de recubrimiento la situación mejora.

Urumea

Se han utilizado datos de 11 estaciones meteorológicas, 10 del INM y una de la Diputación Foral de Gipuzkoa. De ellas 6 con datos completados. Las dos estaciones con mayor número de datos y a la vez más completas son la 1024E (Igueldo) y la D1Z1 (Añarbe).

Existen otras estaciones con un número elevado de años con datos pero no tan completas como las dos anteriores. La situación en el Urumea es buena en términos de precipitación ya que las buenas estaciones cubren un amplio sector del territorio. Lamentablemente la 1021 que

tiene muchos datos no da buenos resultados en los análisis de doubles masas. Son estaciones importantes de cara a la simulación la 1020, la 1021, la D1Z1 y la 1021B.

Oria

En el Oria se han empleado datos de 29 estaciones pluviométricas. 26 de ellas pertenecen al INM y 6 a la Diputación Foral de Gipuzkoa.

Aproximadamente, la mitad de las estaciones han medido un periodo muy amplio, de unos 40 años. Existe otro grupo de estaciones que tienen datos desde 1960, pero no hasta la actualidad sino hasta los años 80. Hay un tercer grupo de estaciones con pocos datos que además pertenecen a los últimos 8 o 9 años. La estación con mayor periodo de datos es la 1032 (Villabona).

A pesar del gran número de estaciones no hay muchas buenas y bien situadas, las 1025, 1025A, TROY, 1031 y 1032 son las mejores. Las primeras se ubican en cabecera, por lo que pueden ayudar a reflejar las precipitaciones de la zona, pero la 1032 que es la serie más larga y mejor de la cuenca está situada muy aguas abajo, por lo que su representatividad geográfica es limitada.

Urola

En el Urola se han empleado 10 estaciones pluviométricas, 8 del INM y 2 de la DFG. De ellas siete tienen datos rellenados. En el periodo de 1961 al 2000 las estaciones no tienen muchos datos originales, a excepción de la estación 1037 (Legazpia) que dispone del 98.60%. Entre todas las estaciones garantizan un buen recubrimiento espacial y temporal, debido a la diversidad de periodos.

Por ello, en el Urola, la situación se puede calificar entre regular y buena porque aunque hay solo 4 estaciones de buena calidad éstas están muy bien situadas, la 1037 cerca de la cabecera, la 1038 cerca de Ibai –Eder, la ERDO controlando el Granadaerreka, y la 1041 para la parte inferior.

Deba

En el Deba se ha dispuesto de datos de precipitación de 21 estaciones meteorológicas, 15 del INM, y 6 de la DFG. 11 de las primeras con datos de precipitación completada. Las series con más información son la 1050 (Eibar) y la 1044 A (Escoriaza), ambas bien ubicadas. Otras estaciones como la 1046, 1047A y 1024E tienen información desde los años 30, y las 1050, 1039, 1045 y 1037 desde los años 40. La información disponible cubre por lo tanto un amplio

rango temporal y espacial, de tal forma que se garantiza una buena estimación de la lluvia dentro de la cuenca.

En cabecera no hay buenas estaciones siendo una excepción la 1046 y la 1058. Debería de hacerse un esfuerzo por mejorar los datos de la zona de Aretxabaleta. Hacia el norte la situación mejora sustancialmente gracias a las estaciones de Bergara, Ermua, Eibar y Elgoibar. La desembocadura vuelve a estar regularmente monitorizada.

Artibai

En esta unidad hidrológica sólo se han podido emplear datos de dos estaciones, una del INM, y la otra a la Diputación Foral de Bizkaia (DFB). La estación 1053, dispone de datos completados, mientras que la estación ARP1 sólo dispone de datos de precipitación originales. Es una situación muy insuficiente, a pesar de que la serie 1053 sea una buena serie.

Lea

En esta unidad hidrológica sólo se ha empleado información de una estación meteorológica del INM. La situación es muy deficiente porque, aunque dispone de datos rellenados, la estación no es muy buena.

Oka

De las estaciones que en algún momento ha habido en la cuenca del Oka se han podido emplear datos de 5, tres de la DFB (una en colaboración con el SVM) y las dos restantes del INM. Sólo dos, la 1056M (Arteaga) y la 1057A (Bermeo), disponen de datos completados. Las dos son buenas estaciones, pero por su localización no se cubre bien el territorio.

Butroe

En esta Unidad Hidrológica solo se ha contado con datos de dos estaciones, las dos del INM. Aunque las dos disponen de datos rellenados, ninguna tiene una serie original muy amplia. La primera, la 1058C (Gatika), únicamente dispone de un año completo dentro de su periodo de funcionamiento, que abarca de 1984 a 1994. La segunda serie 1057E (Bakio), en cambio, dispone de un mayor número de datos originales, hasta completar 7 años dentro de su periodo de funcionamiento, que abarca de 1985 a 1996. La situación no es buena.

Ibaizabal

De un catalogo inicial de unas 91 estaciones se han empleado en este estudio datos de 51. 33 son del INM, 14 de la Diputación Foral de Bizkaia (una en colaboración con el SVM), una del SVM y las 3 restantes asociadas a los embalses del Consorcio de Aguas de Bilbao Bizkaia. En el periodo de años comprendido entre 1961 y 2000, todas las estaciones tienen una relación de datos existentes a datos posibles muy baja, a excepción de tres estaciones con una disponibilidad superior al 80 %, que son ARTI (Artibai), OIOL (Oiola) y la 1060 (Amurrio Instituto).

Existen 30 estaciones con datos de precipitación completada. La zona con mejor monitorización es el Ibaizabal con una presencia amplia de estaciones con buena calidad de datos. En el Nerbión la situación es ligeramente peor, sobre todo en sus afluentes de la margen derecha (Altube y Zeberio), donde las estaciones existentes son de calidad regular. En el Kadagua la situación no es buena, ya que las mejores estaciones son las de la DFB que no tienen muchos datos y las estaciones del INM, con series mas largas, no son de buena calidad.

Barbadun

En esta unidad hidrológica sólo ha habido tres estaciones y se han utilizado datos de dos, las dos del INM. En ambas estaciones se dispone de datos originales y completados. Es una representación muy escasa, porque además las dos están en cabecera. Aún cuando sus periodos se complementan, la situación es deficiente.

Agüera

La información de lluvia es deficiente ya que solo existe una estación dentro de la cuenca, y sin datos, razón por la cual ha sido necesario recurrir, en las fases de calibración y simulación, a estaciones que pertenecen a las cuencas vecinas.

Karrantza

En la unidad hidrológica Karrantza ha habido en algún momento 8 estaciones y se han empleado datos de 4, todas ellas pertenecientes al INM. Dos de ellas, la 1093 (Carranza) y la 1092U (Carranza, Iberduero), tienen datos completados.

La información es de dudosa calidad, con muchos fallos en la 1092U (Carranza Iberduero), en la 1093 (Carranza) y en la 1089 (Arredondo). La mejor estación es la 1095C (Udalla).

Omecillo

De las 17 estaciones que ha habido en el Omecillo se han empleado datos de 13, todas ellas del INM. 8 tienen datos completados. Hay cuatro estaciones que se pueden considerar como buenas que cubren razonablemente bien el Tumecillo incluso en cabecera, pero el eje del Omecillo no queda bien monitorizado.

Baia

La unidad hidrológica Baia, ha tenido 17 estaciones y se han utilizado datos de 14, pertenecientes todas ellas al INM. 7 tienen datos de precipitación completada. La estación 9069 (Miranda), dispone del 99.58% de los datos del período de análisis, mientras en el otro extremo está la 9272X (Montefiebre), que únicamente tiene el 12.56%.

La ubicación de las estaciones hace que la información pluviométrica en el Baia no sea buena. En cabecera no hay ninguna estación. Hay un sector central bien monitorizado con cuatro buenas estaciones, pero aguas abajo de la confluencia con el Vadillo no hay ninguna buena estación y sólo una mala. Ya en la zona de Miranda, hay varias estaciones muy próximas y de calidad regular.

Zadorra

En el Zadorra se tiene constancia de 66 estaciones termopluviométricas y se han empleado datos de 48, todas del INM. De ellas, 35 poseen datos completados.

En el periodo de 1961 a 2000, los datos originales están, en la mayor parte de los casos, en el entorno del 50% de los posibles. Hay un grupo de estaciones muy completas, como la 9076 (Ullívarri) y la 9080 (Urrúnaga). En cuanto a la distribución de las buenas estaciones, la situación es muy irregular. Hay un conjunto de ellas que se agolpan en los alrededores de Vitoria, con una cierta prolongación hacia la cabecera de la cuenca vertiente a Urrúnaga. La cabecera del Ullívarri está mucho peor monitorizada, con sólo una buena estación, la de Arriola.

En la parte media y baja de la cuenca, aguas abajo de la confluencia con el Zalla, la situación es mucho peor, con una única estación buena, la de Armiñón y dos más de calidad regular. A pesar de ello, en general, se dispone de buen cubrimiento espacial y temporal.

Inglares

Únicamente se ha contado con tres estaciones en el Inglares de las cuatro que han existido, todas ellas del INM. Hay datos de precipitación completada en las estaciones 9103 (Peñacerrada) y 9103X (Zambrana). En cuanto a la calidad, todas las estaciones son regulares. Por ello la situación no es muy favorable.

Ega

En la unidad hidrológica Ega se han utilizado datos de doce estaciones pluviométricas que pertenecen, todas ellas, al INM. Sólo tres disponen de datos completados. La disposición geográfica de las estaciones hace que la situación sea variable. El eje del río Ega no se encuentra en mala situación, con tres buenas estaciones en cabecera. Los afluentes por la margen izquierda, que confluyen aguas abajo del Berrón, también tienen una buena estación cada uno, pero el propio Berrón, con el Izki, están muy mal monitorizados.

Arakil

En esta unidad hidrológica sólo se ha contado con datos de dos estaciones del INM. Ninguna tiene datos rellenados y solo la 9269 (Alsasua) es de buena calidad, por lo que la situación no es muy favorable en términos de representatividad de la precipitación.

Ebro

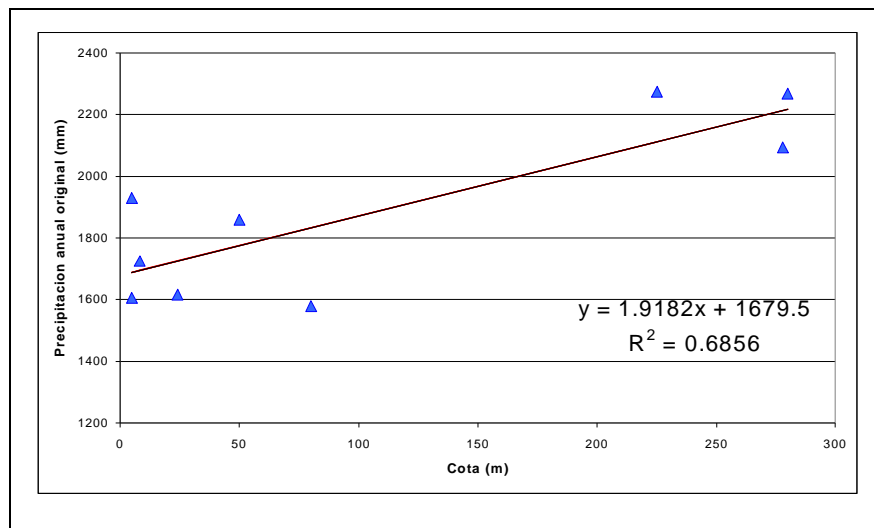
En el conjunto de cuencas que forman la unidad del Ebro se dispone de datos de cuatro estaciones meteorológicas, todas del INM. Todas tienen datos rellenados. Como en ningún caso la relación entre el número de datos reales y número de datos posibles supera el 45 % y como la dispersión de las cuencas es alta, la situación se puede calificar de mala o regular, siendo necesario contar con estaciones de otras unidades.

4.4. Evolución de la precipitación con la cota

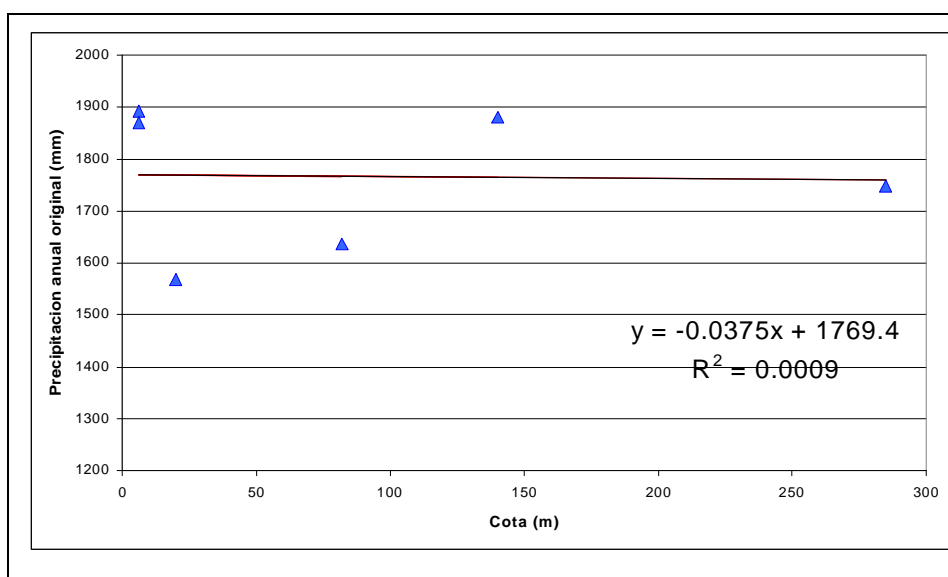
Se ha analizado la posible influencia de la topografía en la variación de la precipitación, ya que la no consideración de este efecto es posiblemente uno de los mayores responsables de errores en los cierres de los balances en algunas cuencas de la zona de estudio, tal como se cita en estudios antecedentes.

Por otra parte, es bien sabido que, en otras zonas, la orientación de los valles determina en mucha mayor medida que la cota la evolución de la precipitación. Teniendo en cuenta que en el modelo seleccionado la asignación de la precipitación a cada celda en cada intervalo de tiempo se realiza mediante triangulación entre las estaciones disponibles y que, además, el modelo se apoya en un modelo digital del terreno, es posible introducir un coeficiente que refleje la supuesta evolución con la cota, en el caso de que se detecte dicha tendencia. Para ello es necesario proceder a analizar la posibilidad de dicha relación con independencia de que el proceso de calibración sea el que establezca definitivamente la existencia de la tendencia a la luz del cierre de los balances.

Para cada cuenca, se han obtenido los promedios anuales de los datos medidos y rellenados y se ha realizado un ajuste de regresión con la cota. Para ambas rectas (las de datos originales y datos rellenados) se han obtenido los coeficientes de la recta (pendiente) que supone la variación en mm por cada metro de cota y el valor de intercepción al nivel de mar (cota 0 metros). Los análisis se incluyen en el Anejo Nº 1, y a continuación un comentario sobre los resultados obtenidos.

Bidasoa:**Ilustración 5 Relación Cota – Precipitación. Bidasoa**

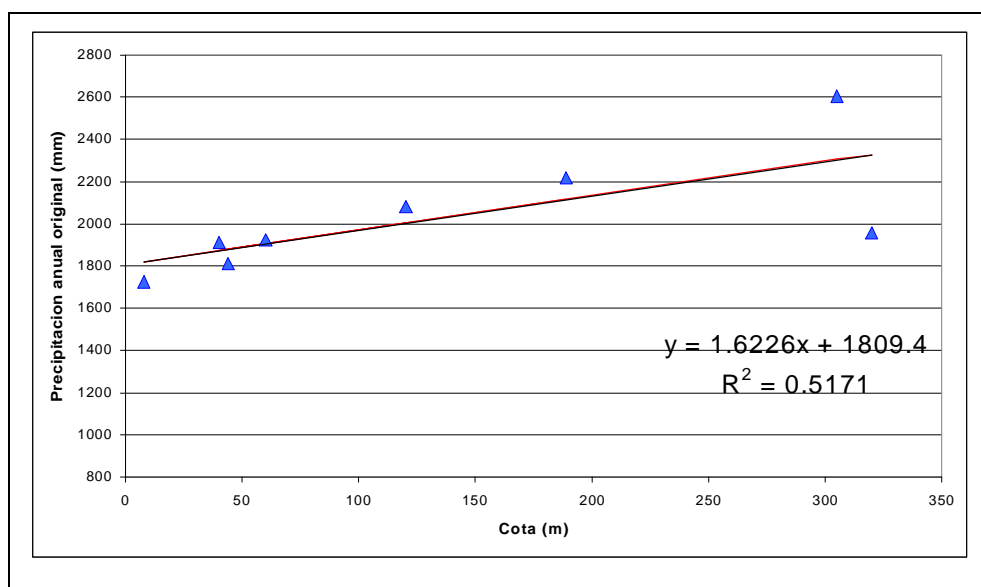
En el Bidasoa se observa una correlación significativa con un factor de unos 2 o 3 mm/m, lo que es un gradiente muy acusado, pero los valores de precipitación a cota cero que se obtienen, de alrededor de 1600 mm, parecen razonablemente encajados con los datos de las estaciones de la costa. El gradiente de las series rellenadas es notablemente semejante al de las originales (180 mm cada 100 metros).

Oiartzun:**Ilustración 6 Relación Cota – Precipitación. Oiartzun**

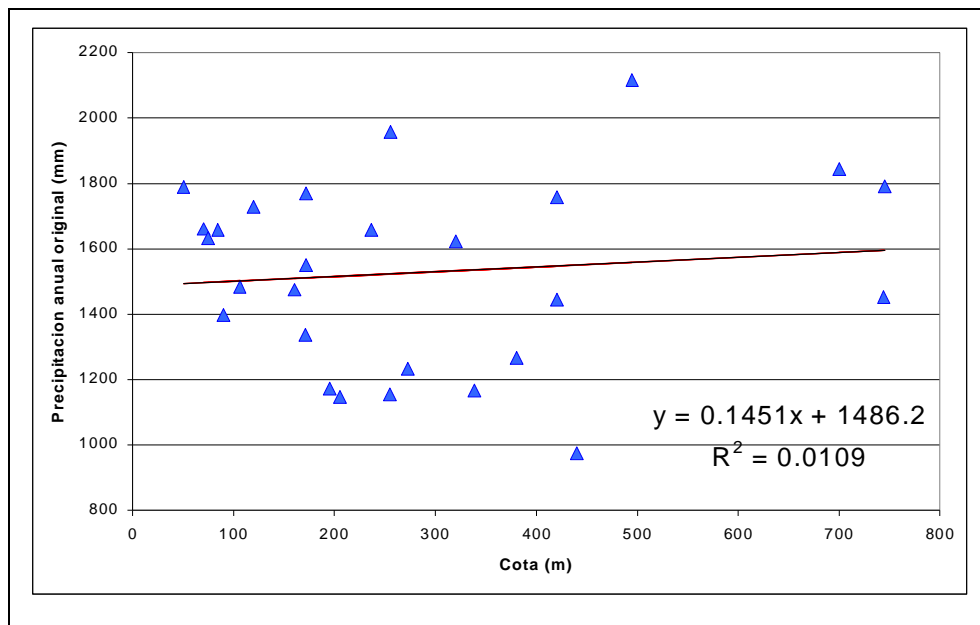
En los datos del Oiartzun no es posible apreciar una correlación entre la precipitación y la cota. Esto es debido a dos razones: la escasa existencia de estaciones en altitud y la elevada magnitud de las precipitaciones en la cuenca (la zona con precipitaciones más altas de toda la zona de estudio). Por ello en esta cuenca se podría utilizar la información de las estaciones meteorológicas sin aplicar coeficientes de cota, ya que el efecto de la posición geográfica parece ser superior que el de la cota.

Urumea:

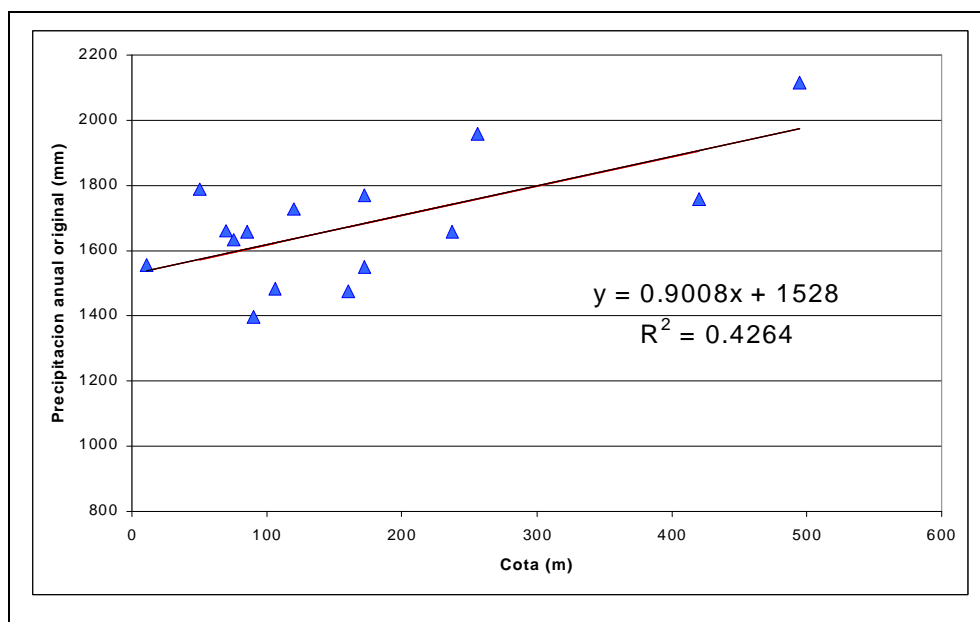
Ilustración 7 Relación Cota – Precipitación. Urumea



En el Urumea se observa una correlación entre la cota y la precipitación más alta que en la del Oiartzun. Se considera más apropiado el valor del coeficiente correspondiente a las series originales (150 mm/100 metros), ya que las dos estaciones situadas en cabecera, y que presentan las precipitaciones más elevadas, no han sido objeto de relleno. Por otra parte, un gradiente de 300 mm parece muy elevado en las cuencas de la vertiente Norte. La estación nº 1022A no se ha incluido en este análisis por tener escasos datos originales.

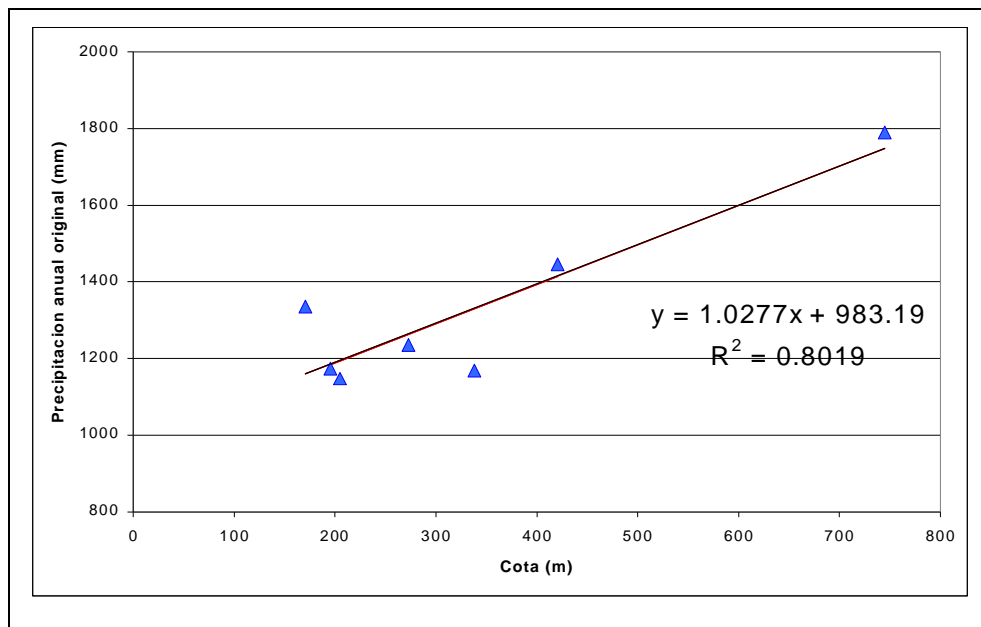
Oria:**Ilustración 8 Relación Cota – Precipitación. Oria**

Como en el resto de las cuencas de la vertiente Norte en la del Oria coexisten efectos de cota y efectos de localización y/o exposición a los vientos dominantes. Si se analizan todos los datos conjuntamente no es sencillo identificar relación entre la cota y la precipitación. Para identificar su efecto se ha dividido la cuenca en dos sectores: El sector bajo del Oria, el Leizarán y el Araxes, que forman el eje Noroeste-Sureste, y el resto de la cuenca, que altera su orientación en un eje Noreste – Suroeste. Además, se han eliminado las series más cortas (LARE, LEII, TROY y ZALD).

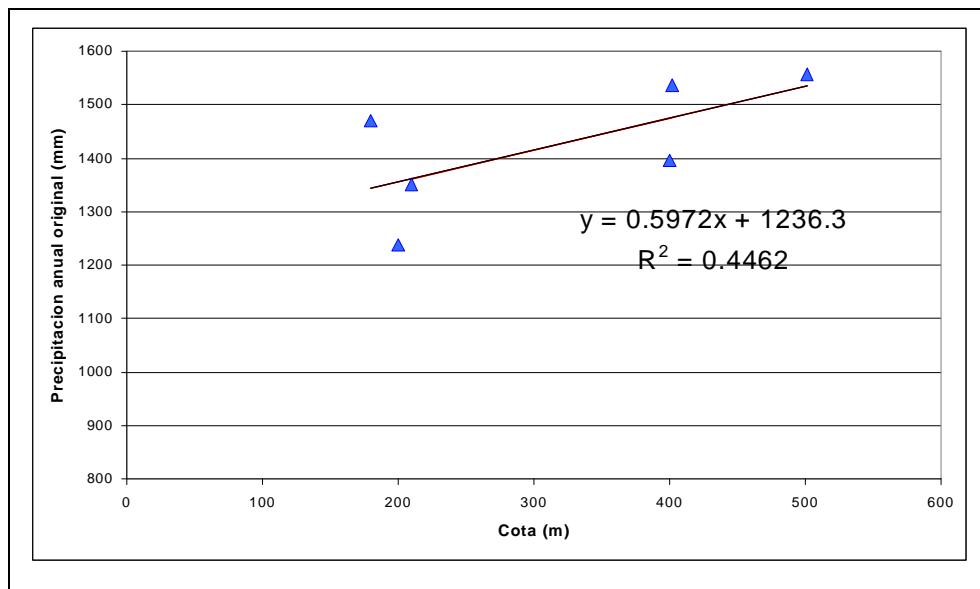
Ilustración 9 Relación Cota – Precipitación. Oria (2)

Es el sector inferior aparece una influencia topográfica cuantificable en 100 mm cada 100 metros y constante en las series originales y en las rellenadas. La constante de la ecuación indica una precipitación costera de 1500 mm anuales.

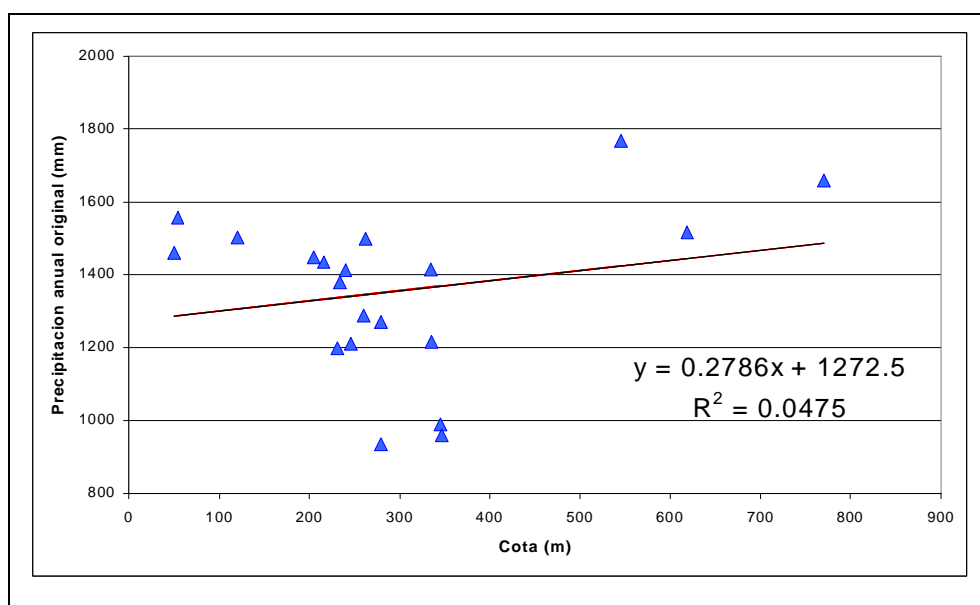
Ilustración 10 Relación Cota – Precipitación. Oria (3)



En el sector de cabecera la correlación es mucho más notable, pero proporciona unos coeficientes idénticos: 100 mm cada 100 metros. El hecho de que la precipitación a cota cero sea mucho menor (900 mm) indica una precipitación inferior en términos comparativos. En resumen, toda la cuenca del Oria presenta un gradiente muy semejante de 100 mm cada 100 metros de incremento de cota, pero hay un efecto superpuesto de mayor importancia que es la exposición a los vientos. Este efecto estará recogido en las series de precipitación puntuales.

Urola:**Ilustración 11 Relación Cota – Precipitación. Urola**

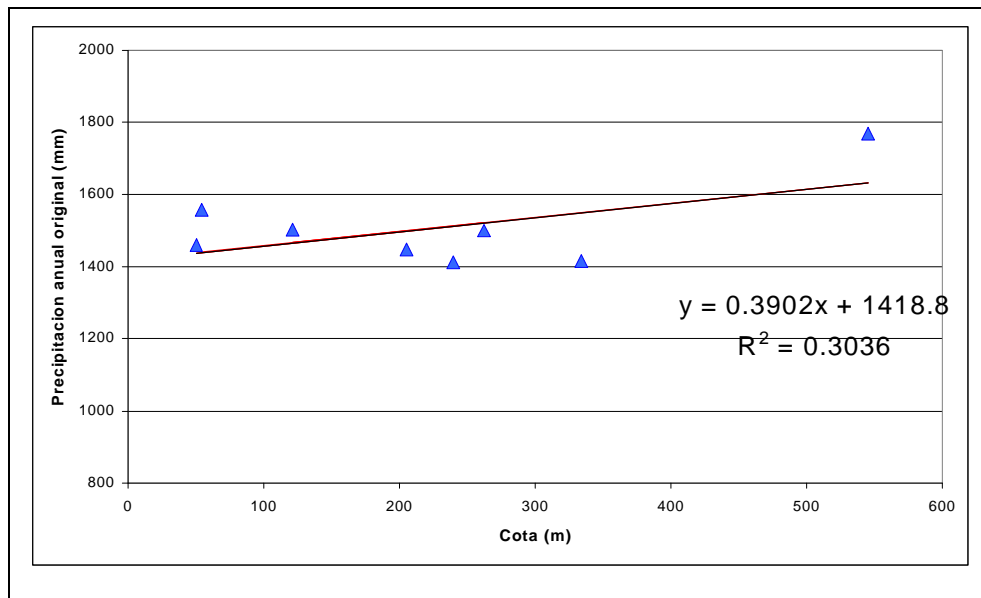
En la cuenca del Urola se observa un efecto topográfico relativo con un gradiente de 60 mm cada 100 metros. Ahora bien no existen estaciones válidas con cotas superiores a los 500 metros. Las series de las estaciones 1039, 1037O, B1T1 y ERDO son excesivamente cortas para el análisis. El gradiente es constante en las series rellenadas.

Deba:**Ilustración 12 Relación Cota – Precipitación. Deba**

Visualizando simultáneamente todos los datos de la cuenca del Deba no se aprecia una buena correlación, probablemente por incluir otros efectos climatológicos. Por ello se han agrupado

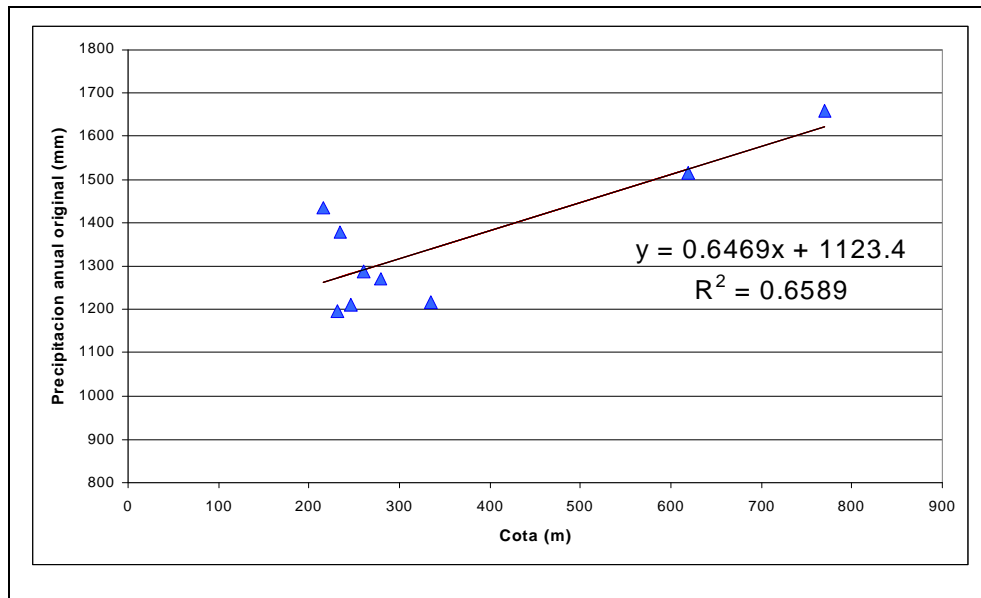
las estaciones en dos zonas: La parte baja, hasta el río Ego, y la parte alta, ya que dada la morfología de la cuenca es previsible que los vientos costeros penetren en la cuenca de forma distinta. Las estaciones A1Z3 y URKP tiene una disponibilidad de datos escasa, por lo que no se han incluido en este análisis.

Ilustración 13 Relación Cota – Precipitación. Deba (2)



En la zona inferior, el gradiente es de 39 mm cada 100 metros, con una precipitación costera de 1400 mm anuales. La mayor parte de la tendencia la proporciona la estación de Lastur, que tiene muy pocos años de datos. Si se elimina esta estación prácticamente no se observaría efecto topográfico. Sin embargo, analizando las series rellenadas, entre las que no se encuentra LAST (Lastur), se obtienen un coeficiente muy similar de 44 mm/100 m, con una precipitación a cota 0 casi idéntica.

En la zona superior el gradiente es de 65 mm cada 100 metros, aunque la mayor parte del ajuste la soportan dos estaciones: la 1044D y la 1046. De ellas, la 1046 dispone de bastantes datos.

Ilustración 14 Relación Cota – Precipitación. Deba (3)

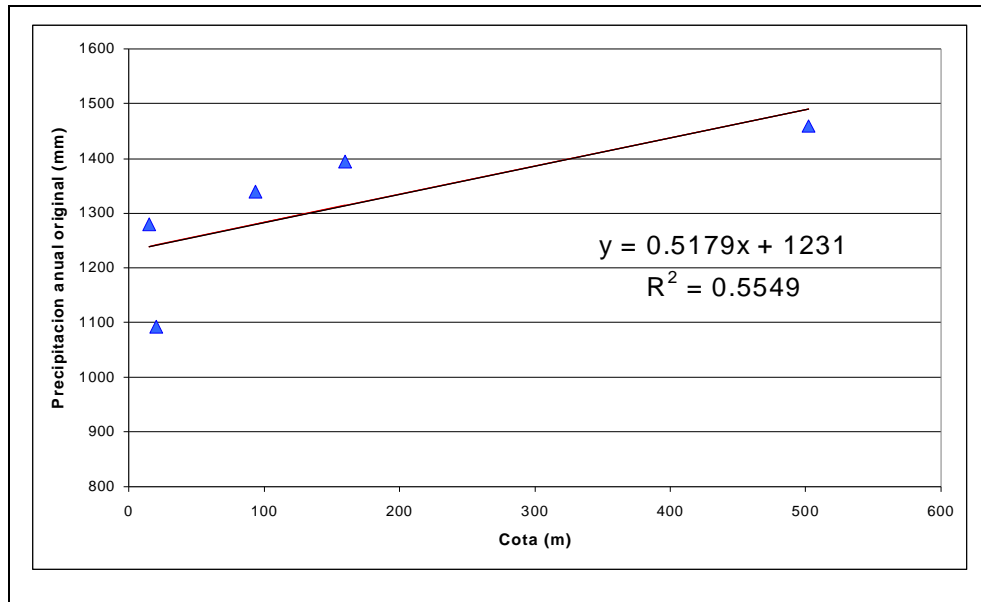
En conclusión, en la parte inferior de la cuenca el efecto topográfico está caracterizado por un coeficiente de 40 mm/100 metros, mientras que en la parte superior de la cuenca se obtienen unos gradientes de unos 65 – 70 mm /100 metros.

Artibai:

Únicamente se dispone de datos de dos estaciones con períodos muy poco coincidentes. La variación que se obtiene es tremendamente acusada (31 mm de precipitación anual por cada metro de desnivel) por lo que la diferencia entre las estaciones no puede ser atribuida a la diferencia en cota. Por ello en esta cuenca será necesario utilizar bien estimaciones nulas para el factor de crecimiento, bien estimación de cuencas adyacentes.

Lea:

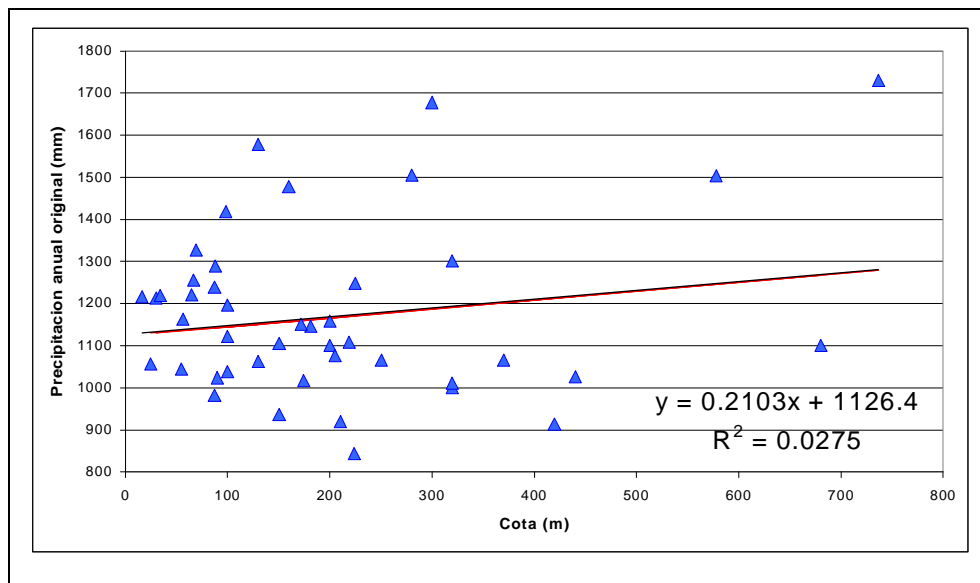
En el Lea existe una única estación con datos, por lo que no es posible llevar a cabo el estudio.

Oka:**Ilustración 15 Relación Cota – Precipitación. Oka**

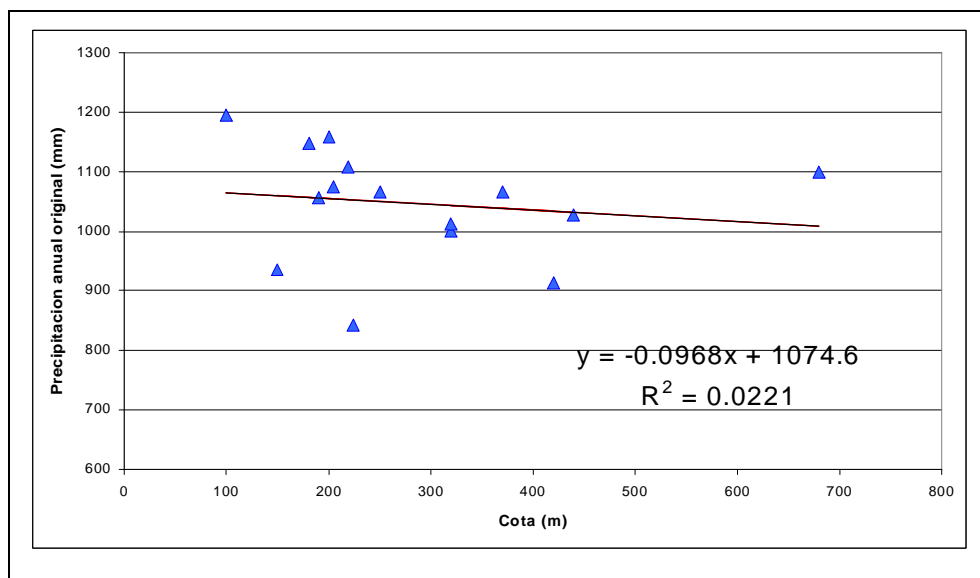
En el Oka se observa una correlación apreciable pero muy apoyada en la estación OKP1 que tiene una serie relativamente corta. Sin embargo los datos rellenados de las dos estaciones disponibles presentan una tendencia muy semejante: 60 mm cada 100 metros.

Butroe:

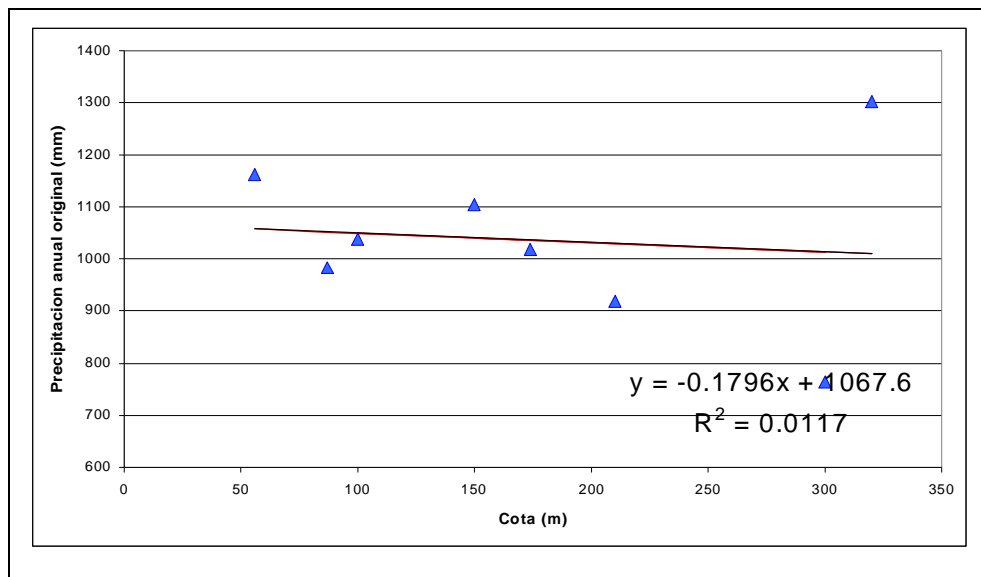
Como en otros casos, únicamente se dispone de dos estaciones. Los períodos son coincidentes, pero se obtiene un gradiente muy elevado, lo que provoca una precipitación a cota 0 escasa. Este resultado no parece fiable, por lo que habrá que analizarlo junto a las unidades del entorno. Las series rellenadas tienen una gradiente de 179 mm cada 100 metros, gradiente quizás excesivo para la zona.

Ibaizabal:**Ilustración 16 Relación Cota – Precipitación. Ibaizabal**

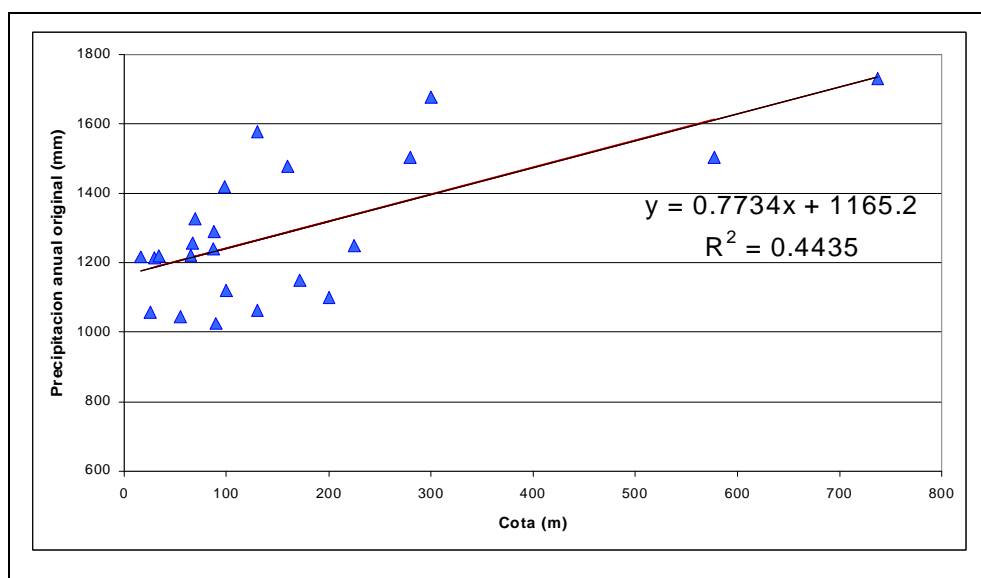
La consideración conjunta de todas las series del sistema Ibaizabal no proporciona una idea adecuada de la relación entre la precipitación y la cota. Por ello la cuenca se ha dividido en tres sectores para su análisis: Nerbión, Kadagua y el eje principal del Ibaizabal

Ilustración 17 Relación Cota – Precipitación. Ibaizabal (2)

En el sector del Nerbión no hay un incremento de la precipitación con la cota apreciable en los datos. O mejor dicho, el efecto de la localización es superior al de la cota. De hecho, la precipitación aumenta al disminuir la cota, pero previsiblemente esto es debido a su aproximación a la zona de influencia de los aires húmedos cantábricos. Los factores que se obtienen son, por lo tanto, negativos.

Ilustración 18 Relación Cota – Precipitación. Ibaizabal (3)

En el Kadagua se aprecia una situación semejante a la anterior y con resultados muy parecidos en cuanto a los coeficientes.

Ilustración 19 Relación Cota – Precipitación. Ibaizabal (4)

El sector del eje del Ibaizabal es el único sector del sistema con coeficientes positivos que se repiten en las series originales y rellenadas: 77 mm cada 100 metros. Bien es cierto que en la parte baja hay una cierta variación en la que se podrían identificar dos poblaciones, pero la selección de este coeficiente parece suficiente para caracterizar el efecto. Las dos poblaciones coincidirían con las dos márgenes del Ibaizabal. La derecha y la cabecera formarían una población y la otra la margen izquierda.

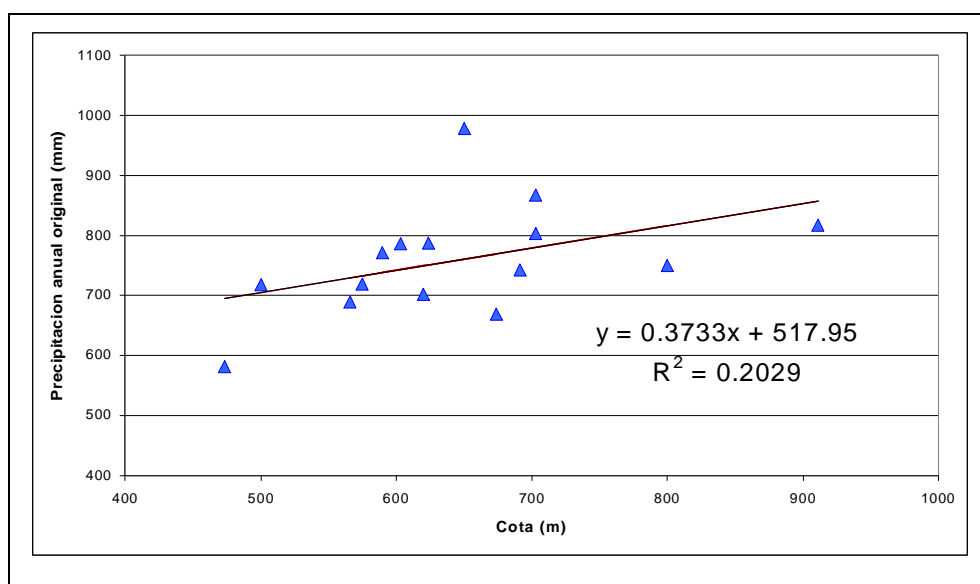
En resumen, ni el Nerbión ni el Kadagua presentan una correlación positiva con la cota debido probablemente a la presencia de un efecto de mayor envergadura como es el de la aproximación al eje del Ibaizabal que condiciona en mayor medida la precipitación de un punto. En el Ibaizabal sí se observa un crecimiento de la precipitación con la cota probablemente asociado a las corrientes de aires húmedas de la costa.

Barbadun, Agüera y Karrantza:

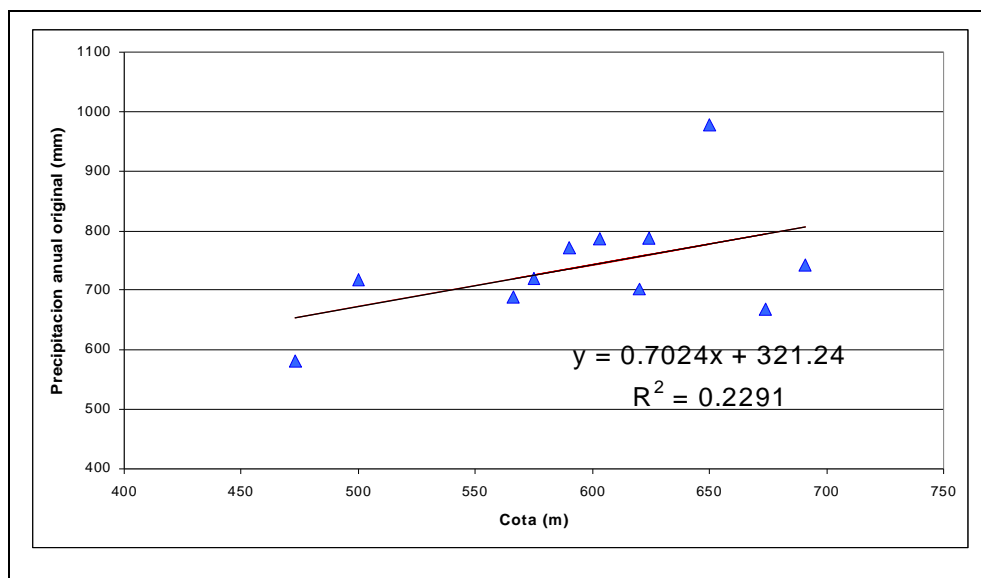
No hay suficientes datos disponibles en las unidades, pero teniendo en cuenta la posible existencia de una correlación real se deberían de adoptar los valores del Ibaizabal, posiblemente incrementados hasta los 100 o 150 mm cada 100 metros. En el Karrantza hay dos estaciones con un gradiente elevadísimo e irreal, aunque se mantenga en las series rellenadas. La precipitación a cota cero sería bien negativa, bien inexistente.

Omecillo:

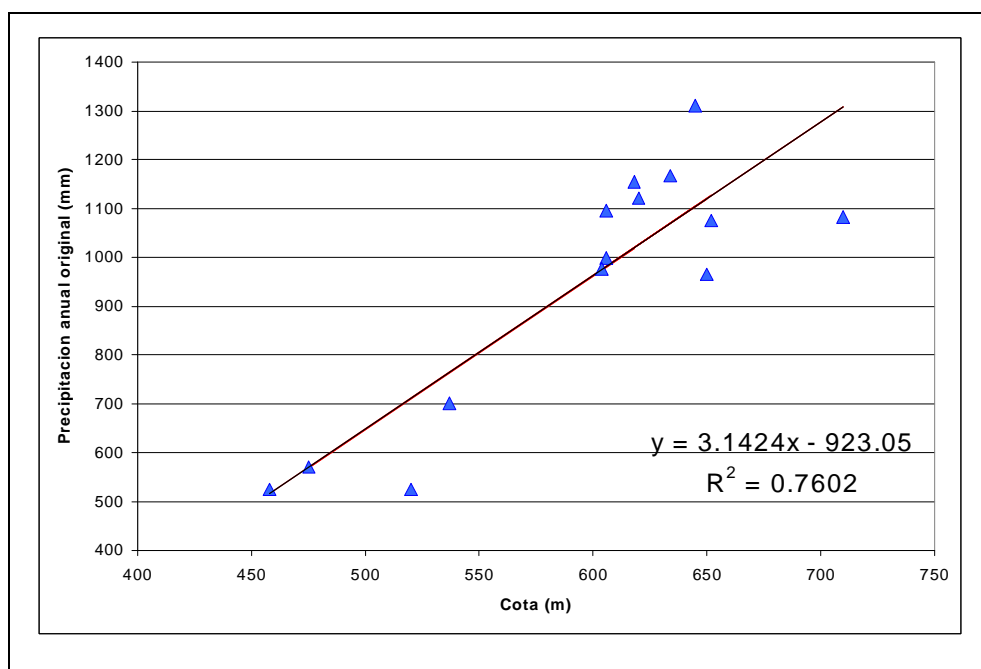
Ilustración 20 Relación Cota – Precipitación. Omecillo



Utilizando todos los datos de la cuenca y algunos exteriores de la cuenca del Ebro se observa una correlación que no es ni muy elevada ni muy acusada (gradientes mas bajos de lo esperable en la cuenca del Ebro).

Ilustración 21 Relación Cota – Precipitación. Omecillo (2)

Realizando una selección de estaciones más representativas se obtiene una correlación algo más elevada con un factor de crecimiento de la precipitación de 70 mm a los 100 metros, aunque en las series rellenadas éste disminuye hasta 40.

Baia:**Ilustración 22 Relación Cota – Precipitación. Baia**

En el Baia, como en el resto de los ríos de la vertiente mediterránea, se observa una fuerte correlación entre la cota y la precipitación. El gradiente que se obtiene es muy elevado (314 mm por cada 100 metros), pero parece correcto a juzgar por la elevada correlación existente.

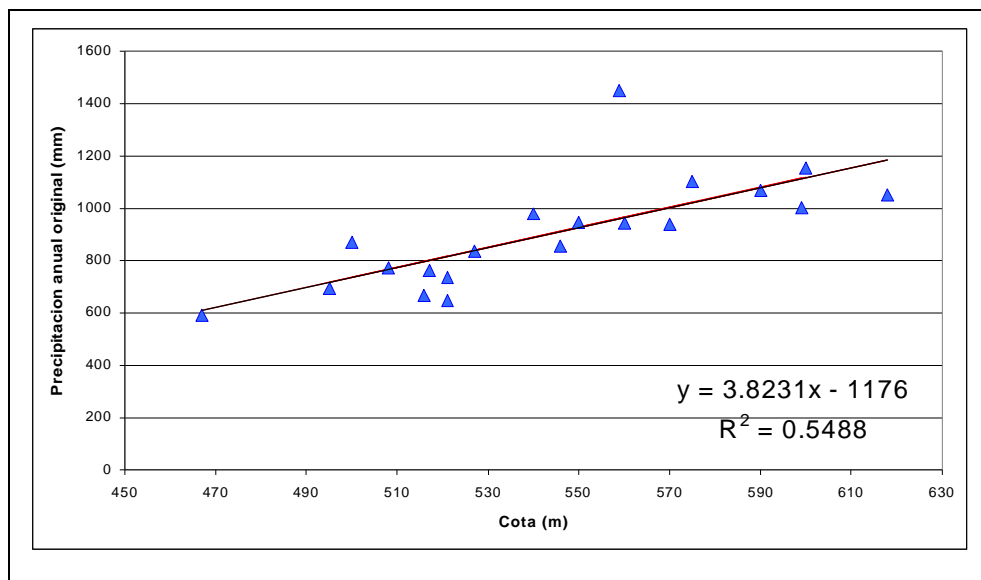
A la vista de que no hay errores en los datos que puedan ser los responsables de estos coeficientes parece razonable pensar que la topografía es la causante de la variación. En las series rellenadas el gradiente disminuye notablemente, pero ello es debido a que todas las series rellenadas se localizan por encima de los 600 metros.

Zadorra:

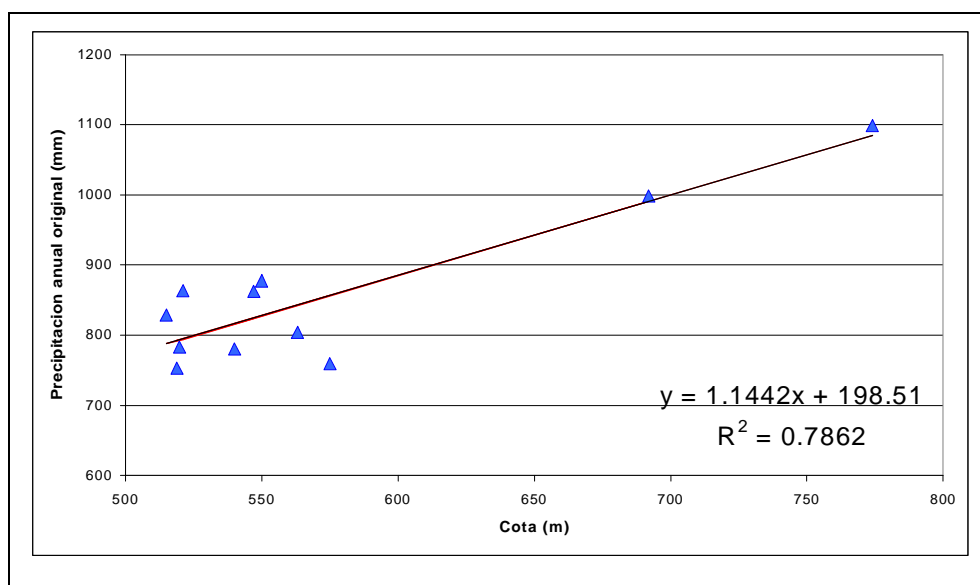
La cuenca del Zadorra se ha dividido en tres sectores: La margen derecha, la cabecera del Zadorra (entre Salvatierra y Gastéiz), y el resto de la margen izquierda.

Las siguientes estaciones presentan períodos cortos o no solapables: 9084, 9091, 9074F, 9076I, 9077C, 9082T, 9084I, 9084U, 9088O, 9092E, y 9097O. La estación 9088E tiene pocos datos pero se localiza en la zona de regresión.

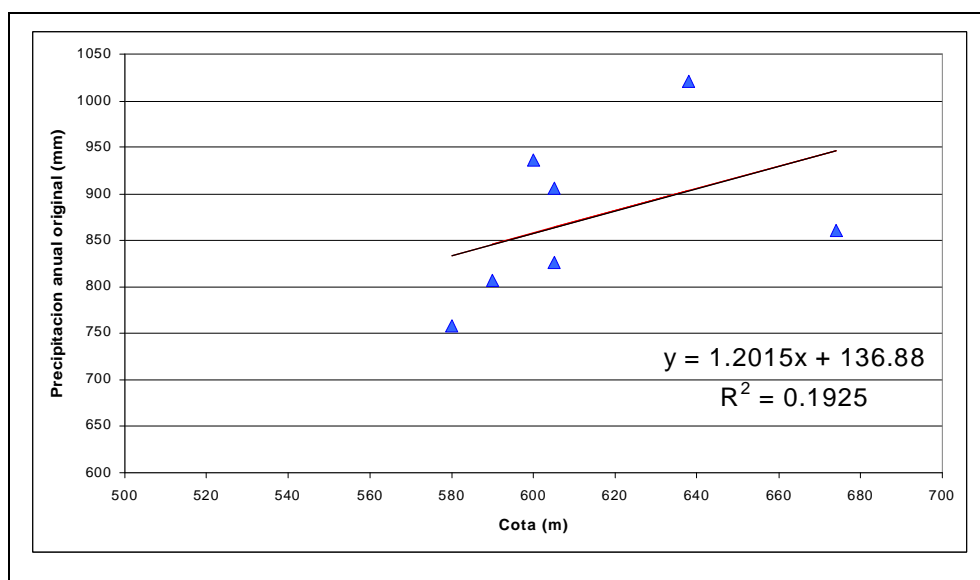
Ilustración 23 Relación Cota – Precipitación. Zadorra



En la margen derecha se observa un claro efecto topográfico, con un gradiente muy elevado de 380 mm cada 100 metros. Los valores de las series rellenadas reducen este gradiente hasta 350 mm, gradiente todavía muy elevado y probablemente excesivo. Bien es cierto que las estaciones abarcan un buen conjunto de cotas, por lo que la extrapolación altimétrica no será, probablemente, muy elevada.

Ilustración 24 Relación Cota – Precipitación. Zadorra (2)

En la margen izquierda se observa también una correlación, pero con un gradiente mucho menor (115 mm cada 100 metros), que se apoya casi exclusivamente en las dos estaciones de cabecera del Ayuda.

Ilustración 25 Relación Cota – Precipitación. Zadorra (3)

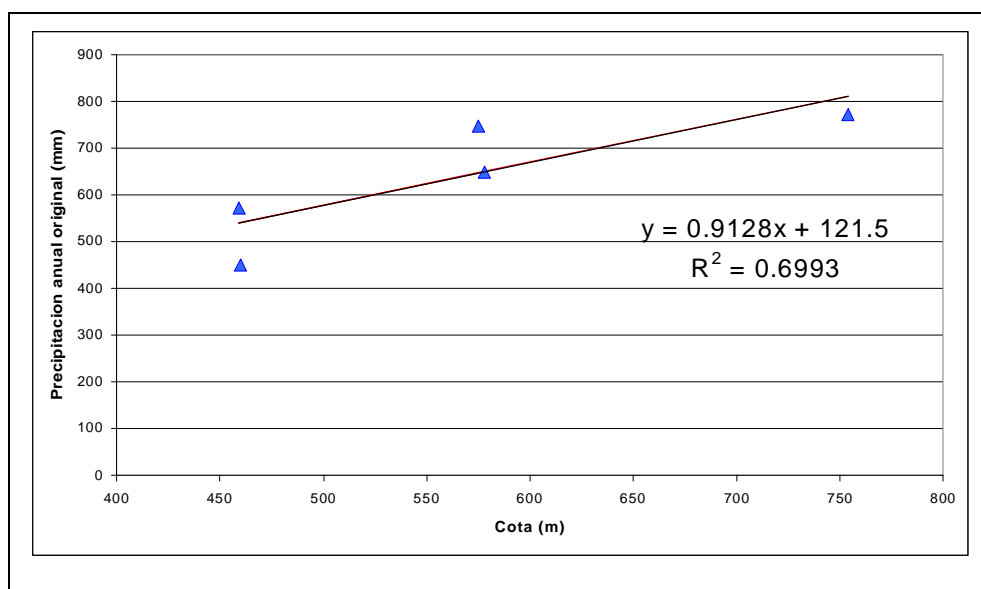
En el sector de cabecera la correlación es más errática, aunque con un gradiente superior (120 mm). Su razón puede estar en que se trata de una zona de características mixtas que se localiza climatológicamente entre las anteriores.

En resumen, el Zadorra tiene un comportamiento muy variable por zonas. Excepto en cabecera del propio Zadorra, en donde la correlación no es muy precisa, en el resto de la cuenca es

clara. En la margen derecha se alcanzan factores tan elevados como 380 mm a los 100 metros, factores que disminuyen a 100 en la margen izquierda. Dada la representatividad de las estaciones de la margen derecha, se podría proponer un coeficiente único en el entorno de los 250 mm.

Inglares:

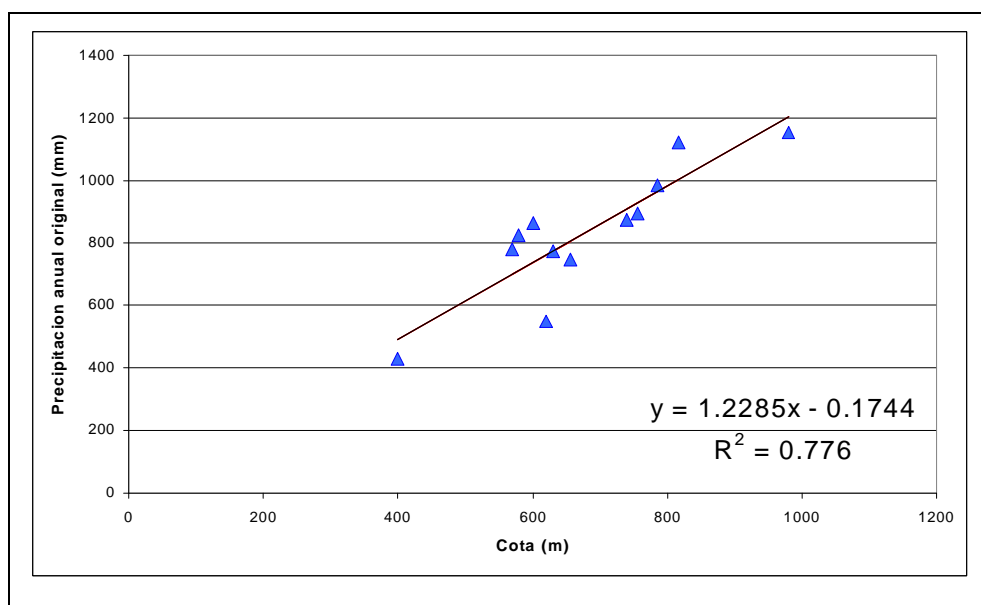
Ilustración 26 Relación Cota – Precipitación. Inglares



Los datos del Inglares presentan una correlación evidente (y constante entre los datos originales y los rellenados) con un gradiente próximo a 1mm por metro, un gradiente de los mas bajos de las cuencas del Ebro.

Ega:

Ilustración 27 Relación Cota – Precipitación. Ega



En el Ega se observa una clara correlación entre la cota y la precipitación, con un gradiente bastante elevado de 124 mm cada 100 metros, que se mantiene en las series rellenadas (117).

Arakil:

Únicamente hay dos estaciones con datos, por lo que no se pueden extraer conclusiones fidedignas.

4.5. Precipitación promedio general

Los valores puntuales más altos de la precipitación se localizan en las cuenca del Urumea y Oiartzun. La serie con mayor precipitación es la de Artikutza (1021), en el Urumea, con 2603 mm anuales y 33 años de datos, seguida de la de Endara (1012), en el Bidasoa, con 2274 mm de promedio en 11 años y de la Ardituri (1016), en el Oiartzun, con 2269 mm de media en 41 años.

La serie con menor precipitación es la de La puebla de Labarca (9146V), en el Ebro, y 420 mm de media en 10 años, seguida de la de Elciego (9145E), también en el Ebro, y con 450 mm de media en 11 años y de la de Miranda de Ebro (9069), en el Baia, con 525 mm de media en 44 años.

En el Anejo Nº 1 se incluye también, para cada Unidad un análisis de polígonos de Thiessen que informa respecto a la representatividad espacial de cada serie, tanto en el caso de series originales como en el caso de series rellenadas.

En la siguiente Ilustración 28 se reproduce una imagen de la precipitación promedio anual. De ella se ha obtenido la precipitación areal promedio de los sistemas en estudio que se sintetiza en la Tabla 19, que incluye también la promedio final obtenida aplicando los coeficientes de crecimiento con la cota que han resultado de las fases de calibración – validación.

Ilustración 28 Precipitación promedio areal

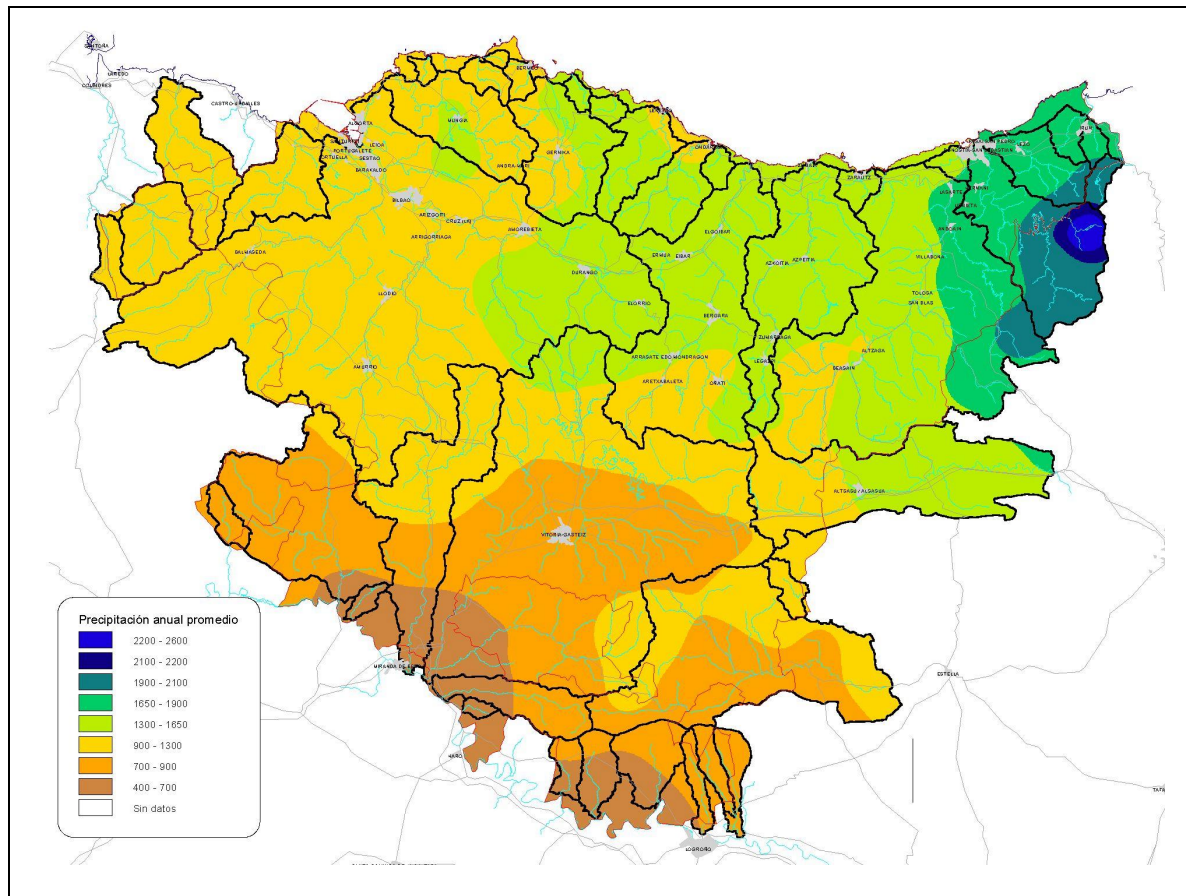


Tabla 19 Precipitación promedio anual areal y de cálculo por Unidad (mm)

	Areal	De Calculo
Bidasoa	1838	1869
Oiartzun	1834	1905
Urumea	1922	2169
Oria	1534	1633
Urola	1460	1567
Deba	1391	1613
Artibai	1432	1514
Lea	1369	1400
Oka	1297	1397
Butroe	1280	1314
Ibaizabal	1168	1357
Barbadun	1153	1235
Agüera	1165	1289
Karrantza	1171	1326
Omecillo	793	773
Baia	914	1066
Zadorra	889	1012
Inglares	709	736
Ega	879	921
Arakil	1348	1314
Ebro	716	541

Entre las areales destacan los extremos del Urumea con 1922 mm, el Bidasoa con 1838 mm y el Oiartzun con 1834 mm por un lado, y del Inglares con 709 mm, el Ebro con 716 y el Omecillo con 793 mm, por el otro.

Se puede realizar una comparación entre los resultados actuales y los de los estudios anteriores. Para ello se puede revisar la información señalada en el capítulo 2.1 y comparar la precipitación allí señalada con la de cálculo actual. La Tabla 20 recoge la comparación.

Tabla 20 Comparación de datos de precipitación con los estudios antecedentes

Estudio actual			Estudios anteriores			Ratio actual/previa
UH	Punto	Precipitación media (mm)	UH	Denominación	Precipitación media (mm)	
Oiartzun	D. Oiartzun	1,905	102-02	Oyartzun completo	1,950	98%
Urumea	Urumea	2,216	103-05	Urumea completo	2,203	101%
Oria	C8Z1 Andoain	2,029	104-04	Leizarán completo	2,067	98%
Oria	D. Oria	1,637	104-05	Oria completo	1,679	98%
Oria	N080 Andoain	1,641	104-03	Oria en Andoain	2,010	82%
Urola	Urola	1,567	105-04	Urola completo	1,743	90%
Deba	Deba	1,614	106-05	Deva completo	1,524	106%
Artibai	Artibai	1,514	107-02	Artibay (completo)	1,491	102%
Lea	Lea	1,422	108-01	Oiz (completo)	1,564	91%
Oka	Oka	1,409	109-03	Oca (completo)	1,478	95%
Butroe	Butroe	1,324	110-02	Butrón (completo)	1,443	92%
Ibaizabal	CHN164 Lemoa	1,619	111-09	Arratia completo)	1,464	111%
Ibaizabal	CHN177 Ordunte	1,504	111-12	Presa de Ordunte	1,553	97%
Ibaizabal	Desague Kadagua*	1,236	111-19	Cadagua en Zaramillo	1,368	90%
Ibaizabal	NB04 Zarátamo	1,315	111-05	Nervión en Miravalles	1,296	101%
Ibaizabal	Ibaizabal **	1,357		Elaboración propia	1,346	101%
Omecillo	Omecillo	773	148	Omecillo completo	886	87%
Baia	CHE165 Miranda / Baia	1,066	208	Bayas completo	1,052	101%
Zadorra	CHE074 Arce/Zadorra	1,012	211	Zadorra completo	951	106%
Zadorra	CHE107 E. Ullibarri	1,132	209	Zadorra ea nº107 (Ullibarri)	1,074	105%
Zadorra	CHE108 E. Urrúnaga	1,500	214	Sta. Engracia en Urrunaga	1,309	115%
Zadorra	CHE75 Berantevilla	789	221	Ayuda completo	819	96%
Inglares	Inglares	736	222	Inglares completo	708	104%
Ega	CHE6 Marañón	874	226	Ega en e.a.nº6 (Marañón)	861	101%
Ega	Ega CAPV	867	228	Ega en p. de Arquijas	924	94%
Arakil	G433 Echarren /Arakil	1,314	338	Araquil en e.a.nº68 (Asiain)	1,695	78%

La precipitación promedio empleada en la simulación está muy próxima a la de estudios anteriores, aunque ligeramente por debajo. Los valores actuales se sitúan típicamente entre el 95% y el 105% de la precipitación de los estudios anteriores. Lógicamente las subcuencas interiores presentan una variabilidad superior. Únicamente se observan dos sistemas completos que se separan de este rango. El Urola con un 90%, el Omecillo con un 87% y el Arakil con un 78% de la precipitación antecedente respectivamente.

5. TERMOMETRIA Y EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA

5.1. Introducción

El objetivo del estudio de termometría y de evapotranspiración de referencia es, por una parte la caracterización del régimen térmico de las unidades de análisis y, por otro, la obtención de las series de ET₀, que son las que delimitan el nivel máximo de la evapotranspiración real, uno de los componentes principales de los balances hídricos.

Dada la no existencia de series de ET₀, es necesario su obtención, principalmente a partir de las series de temperaturas diarias. Para ello se han recopilado las series de temperaturas diarias (máximas, mínimas y promedio, esta última habitualmente proporcionada como la media de la máxima y la mínima).

5.2. Estaciones termométricas

Tal como se ha expresado al inicio de la descripción de las estaciones termopluviométricas, en la zona de estudio se han obtenido datos originales de temperatura de 88 estaciones pertenecientes al INM, DFB y SVM. Para 58 de la red del INM, el SVM ha obtenido series de valores rellenados. Es decir, en 30 puntos se dispone de datos originales y en 58, datos originales y rellenados.

En la Tabla 21 y en la Ilustración 29 se puede observar la distribución espacial de dichas estaciones.

Ilustración 29 Estaciones termométricas



Tabla 21 Series de termometría recopiladas por Unidad y organismo

UH	ORI			ORI/COM
	DFB	INM	SVM/DFB	INM
BIDASOA				2
OIARTZUN				2
URUMEA		1		4
ORIA				7
UROLA				3
DEBA				8
ARTIBAI				1
OKA	1			1
IBAIZABAL	10	2	1	10
BARBADUN				2
KARRANTZA		3		1
OMECILLO				2
BAIA				1
ZADORRA		2		10
EGA		5		1
ARAKIL		2		
EBRO		4		3
Total general	11	18	1	58

5.3. Datos disponibles

Una descripción de los datos disponibles se puede observar en la Tabla 22.

Tabla 22 Datos termométricos disponibles por Unidad

UH	Nº Series	Total años de datos	Promedio de años por estación	Fecha de inicio más antigua	Promedio de fecha de inicio	Fecha de fin más moderna
BIDASOA	2	51	26	septiembre-55	mayo-70	diciembre-00
OIARTZUN	2	38	19	abril-86	marzo-92	julio-00
URUMEA	5	125	25	enero-34	agosto-60	diciembre-00
ORIA	7	115	16	marzo-56	junio-91	diciembre-00
UROLA	3	40	13	diciembre-58	noviembre-79	diciembre-00
DEBA	8	136	17	julio-45	julio-75	diciembre-00
ARTIBAI	1	24	24	febrero-68	febrero-68	enero-97
OKA	2	10	5	febrero-91	junio-95	abril-02
IBAIZABAL	23	280	12	marzo-47	julio-84	diciembre-03
BARBADUN	2	30	15	noviembre-67	diciembre-80	diciembre-00
KARRANTZA	4	19	5	junio-88	abril-91	abril-02
OMECILLO	2	14	7	enero-77	junio-85	diciembre-00
BAIA	1	10	10	enero-77	enero-77	diciembre-00
ZADORRA	12	115	10	septiembre-30	septiembre-74	diciembre-00
EGA	5	68	14	enero-38	abril-67	diciembre-00
ARAKIL	2	16	8	enero-38	octubre-56	diciembre-87
EBRO	7	109	16	julio-40	mayo-76	diciembre-00
Total general	88	1200	14	septiembre-30	marzo-79	diciembre-03

Hay unidades que no disponen de ninguna serie de datos, como las de Agüera, Butroe, Inglares y Lea. En estos casos será necesario recurrir a estaciones de unidades colindantes.

El número promedio de años de datos por serie es también muy variable, aunque típicamente se pueden encontrar series con unos 20 años de datos. Una descripción detallada de la situación de cada Unidad se puede consultar en el Anejo nº 1. Las estaciones más antiguas comienzan a tomar datos en los años 30, aunque más frecuentemente las series comienzan en los años 70 y 80. Los datos recopilados terminan normalmente con el año 2000, salvo en el Ibaizabal, sistema en el que se realizó una ampliación de datos hasta el 2003.

Un análisis de la densidad de series (ver Tabla 23) indica una gran diversidad de situaciones. Desde Unidades con una representación aceptable (una estación cada 50-100 km²), hasta otras en las que solo se disponen de datos de temperatura cada 200 o 300 km².

En el caso de las series completadas la situación es lógicamente peor y, más notablemente, en aquellas unidades con amplias superficies vertientes ubicadas fuera del ámbito de CAPV.

Tabla 23 Densidad de los datos termométricos disponibles por unidad

	Originales	Completadas	Sup (km ²)	km ² /Serie	km ² /Serie completada
BIDASOA	2	2	64.71	32.4	32.4
OIARTZUN	2	2	85.78	42.9	42.9
URUMEA	5	4	290.8	58.16	72.70
ORIA	7	7	899.35	128.5	128.5
UROLA	3	3	342.21	114.1	114.1
DEBA	8	8	537.46	67.2	67.2
ARTIBAI	1	1	104.46	104.5	104.5
OKA	2	1	197.25	98.6	197.3
IBAIZABAL	23	10	1798.94	78.2	179.9
BARBADUN	2	2	123.25	61.6	61.6
KARRANTZA	4	1	110.57	27.6	110.6
OMECILLO	2	2	351.95	176.0	176.0
BAIA	1	1	324.34	324.3	324.3
ZADORRA	12	10	1358.16	113.2	135.8
EGA	5	1	553.07	110.61	553.07
ARAKIL	2	0	407.16	203.6	
EBRO	7	3	249.75	35.7	83.3

Con los datos de las series se ha procedido a la realización de un estudio de dobles masas y correlación entre estaciones cuyos resultados se incluyen en el Anejo Nº 4. El estudio ha permitido identificar algunos errores en los datos que se han modificado o eliminado según el caso.

5.4. Temperatura promedio general

Una vez revisadas y corregidas las series, los valores mínimo, promedio y máximo de los promedios anuales puntuales son los que recoge la tabla siguiente.

Tabla 24 Promedio de las temperaturas puntuales

UH	Nº de Series	Mínimo	Promedio	Máximo
BIDASOA	2	14.2	14.3	14.3
OIARTZUN	2	12.6	13.4	14.2
URUMEA	5	12.3	13.5	15.0
ORIA	7	10.1	13.2	14.7
UROLA	3	12.0	13.1	14.4
DEBA	8	10.7	12.6	13.9
ARTIBAI	1	13.3	13.3	13.3
OKA	2	13.1	13.6	14.2
IBAIZABAL	23	12.3	13.6	15.3
BARBADUN	2	11.4	13.1	14.7
KARRANTZA	4	12.5	13.6	14.3
OMECILLO	2	10.2	10.8	11.4

UH	Nº de Series	Mínimo	Promedio	Máximo
BAIA	1	11.1	11.1	11.1
ZADORRA	12	10.5	11.8	13.7
EGA	5	9.0	11.2	12.4
ARAKIL	2	10.5	10.8	11.0
EBRO	7	11.2	12.3	13.6
Total general	87	9.0	12.8	15.3

No hay una gran diferencia de unas unidades a otras, como es de prever en series de valores anuales promedio. Conviene recordar que el uso que se va a dar a estas series es el de la obtención de las series de ET0 que se describe mas adelante, series que se han obtenido a nivel diario y empleando los valores de la temperatura máxima y mínima diaria.

Se ha obtenido también (ver Ilustración 30) la distribución areal de las temperaturas, y se ha estimado la temperatura promedio anual en cada unidad hidrológica.

Ilustración 30 Temperatura promedio anual

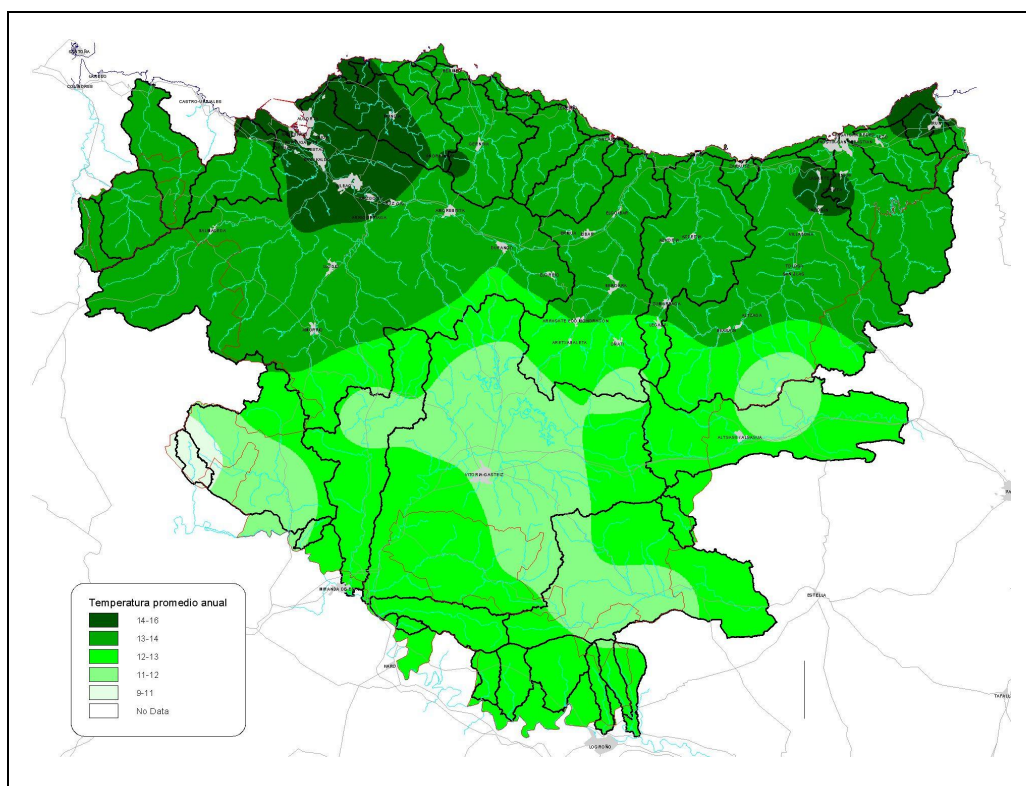


Tabla 25 Promedio de la temperatura media areal por unidades

UH	Promedio de la temperatura media °C
Bidasoa	13.7
Oiartzun	13.6
Urumea	13.5
Oria	13.0
Urola	13.3
Deba	12.7
Artibai	13.2
Lea	13.3
Oka	13.6
Butroe	13.8
Ibaizabal	13.3
Barbadun	13.3
Agüera	13.3
Karrantza	13.3
Omecillo	11.7
Baia	11.9
Zadorra	11.8
Inglares	11.9
Ega	11.9
Arakil	12.1
Ebro	12.0

Como en el caso de los valores puntuales, el rango es limitado, desde los mínimos de la vertiente mediterránea Omecillo (11.7°C), Zadorra (11.8°C), Inglares (11.9°C) y Baia (11.9°C), hasta los máximos costeros del Butroe (13.8°C), Bidasoa (13.7°C), Oiartzun (13.6°C) y Oka (13.6°C).

5.5. Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados por los cuales el agua se pierde desde la superficie de la tierra por evaporación y desde la cubierta vegetal por transpiración. Es uno de los procesos hidrológicos de más difícil medición y/o estimación y uno de los que más afectan a los balances de recursos hídricos.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay manera fácil de distinguir entre los dos procesos. Ambas dependen de la fuente de energía, del gradiente de la presión del vapor y del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad del aire y el efecto del viento son los factores principales para determinarlas.

La evapotranspiración engloba a ambos, y se estima conjuntamente debido a la dificultad de separar ambos procesos. Para ello se utiliza el concepto de evapotranspiración de referencia ET_0 (o potencial, aunque este término ha sido desaconsejado por la FAO), que es la evapotranspiración de una cubierta bajo condiciones estándares sin limitación de agua edáfica. Los únicos factores que afectan a la ET_0 son, por lo tanto, los parámetros climáticos.

En los 50 últimos años se han desarrollado numerosos métodos para estimar la evapotranspiración. Uno de los primeros esfuerzos de integración lo realizó la FAO con su Documento Nº 24 donde se presentaron cuatro métodos: Blaney-Criddle, radiación, Penman modificado y métodos basados en la evaporación de tanque. La FAO consideró que el método de Penman modificado era el que ofrecía mejores resultados, ya que los métodos del tanque dependían en gran medida de la ubicación del mismo y se aconsejaba exclusivamente para períodos de 10 o más días. Otro de los métodos clásicamente empleados, el de Thornthwaite, presenta el problema de que únicamente aporta valores de la ET_0 a escala mensual.

Posteriormente otros estudios de ASCE y de la Comisión Europea han coincidido con la FAO en que:

- Los métodos basados en Penman pueden requerir la calibración local de la función del viento.
- Los métodos de la radiación demuestran buenos resultados en climas húmedos donde sea relativamente pequeño el término aerodinámico, pero su funcionamiento en condiciones áridas es errático y tiende a subestimar la evapotranspiración.
- Los métodos de la temperatura siguen siendo empíricos y requieren la calibración local para alcanzar resultados satisfactorios.
- Los métodos basados en el tanque reflejan un funcionamiento errático.
- El método de FAO Penman-Monteith se recomienda como el método estándar único.

El inconveniente principal del método de Penman – Monteith es que requiere muchos datos climatológicos pero, más recientemente, se ha publicado el Documento N° 56 de la FAO que incluye ya métodos aproximados para estimar la ET0 en ausencia de algunos de los datos. El documento incluye, entre otros, un método para estimar la ET0 cuando únicamente se dispone de datos de temperatura máxima y mínima diaria, situación muy frecuente en la mayor parte de las estaciones termo pluviométricas de la CAPV. Dada la trascendencia de dicho documento se incluye en el Anejo N° 5.

Se ha realizado una comparación entre las diversas estimaciones de la ET0 que se han podido realizar utilizando la metodología de la FAO. Además se han contrastado estos resultados con las series de evaporación de que se dispone. El objetivo es comprobar si es factible estimar la ET0 diaria en cada una de las estaciones de la red termométrica, lo que proporcionaría una información distribuida de gran utilidad.

5.5.1. Comparación de distintas fuentes de datos

En el ámbito del estudio hay cuatro estaciones completas y un conjunto de estaciones termo pluviométricas que registran valores de temperatura máxima y mínima diaria. En las estaciones completas es posible obtener estimaciones de la ET0 por el método Penman – Monteith con varios niveles de datos disponibles y a su vez compararlas con los datos de la evaporación medida con un Piché o en tanque. En un segundo conjunto de estaciones, se han podido comparar las mediciones de la evaporación en tanque con la estimación simplificada de la ET0 de Penman - Monteith. Todos los análisis se han llevado a cabo a nivel diario aunque los resultados se presenten a nivel mensual y anual, ya que uno de los requisitos del estudio es obtener series de ET0 al menos a este intervalo de tiempo (día).

Los resultados detallados de las correlaciones y análisis de dobles masas, que se sintetizan a continuación, se localizan en el Anejo nº 5.

5.5.1.1. ANÁLISIS EN ESTACIONES COMPLETAS

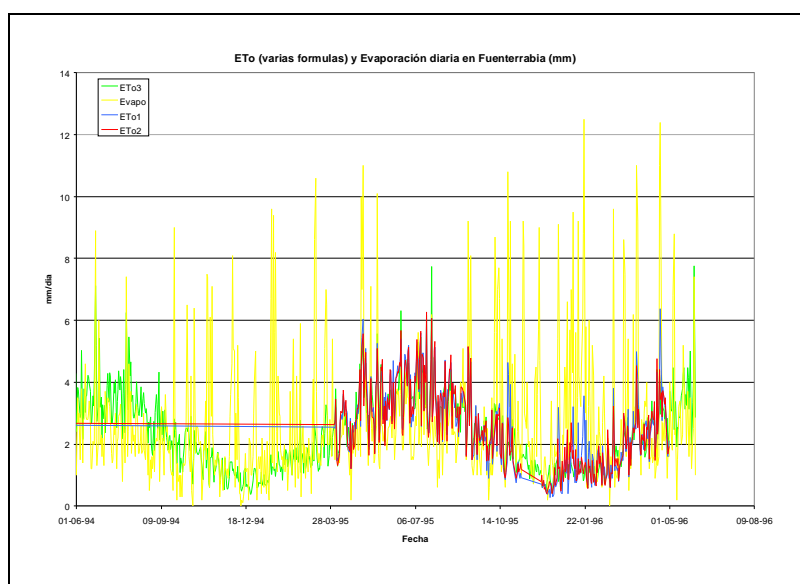
- **Fuenterrabía**

En la estación de Fuenterrabía se dispone de datos diarios de evaporación, temperaturas máximas y mínimas diarias, velocidades del viento, temperaturas húmedas y secas a varias horas del día (7, 13 y 18) y datos de insolación total. Con todos estos datos, salvo la evaporación, se ha realizado una primera estimación de la ET0 diaria (codificada como ET01), utilizando como valor de la humedad el promedio de las medidas de las citadas horas.

Dada la práctica inexistencia de datos de humedad en otras estaciones, se ha realizado una segunda estimación de la ET0 sin utilizar esos datos (Eto2). Finalmente, y teniendo en cuenta que salvo las estaciones completas la mayor parte de las estaciones climatológicas únicamente disponen de datos diarios de temperatura máxima y mínima, se ha realizado una tercera estimación de la ET0 empleando exclusivamente estos datos, lógicamente junto con los descriptores de la estación (coordenadas y cota). A esta estimación se la denomina ET03.

En los tres casos la estimación se ha realizado siguiendo la metodología de la FAO. Además se ha incluido una estimación de la ET0 mensual por el método de Thornthwaite a modo de comparación. En la siguiente figura se incluye una zona de solape de los valores diarios de las citadas variables.

Ilustración 31 Series diarias de ET0 y Evaporación. Fuenterrabía

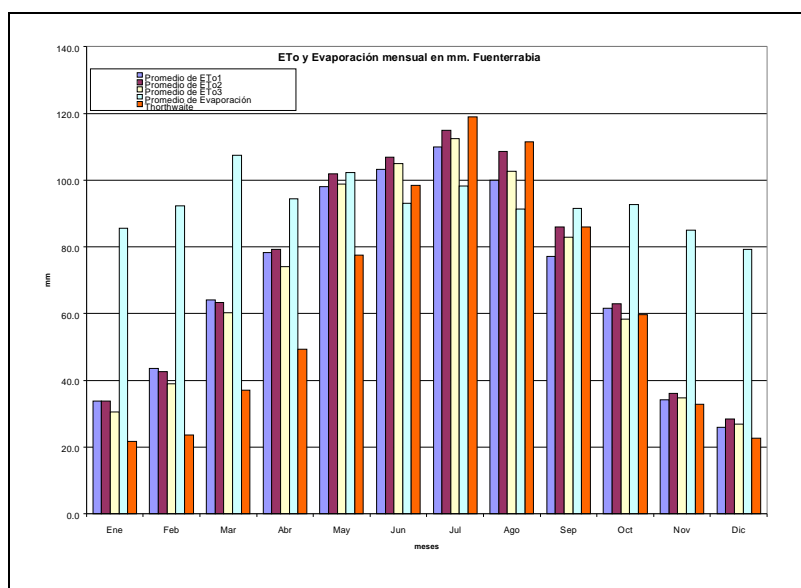


Se aprecian las oscilaciones de la evaporación medida frente a las series de ET0, más parecidas entre ellas. Los valores promedio mensuales son:

Tabla 26 Promedio de la ET0 en Fuenterrabía según varios métodos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio de ET01	33.8	43.7	64.0	78.3	98.0	103.2	109.9	99.9	77.3	61.6	34.2	25.9	829.8
Promedio de ET02	33.8	42.5	63.4	79.2	101.9	106.8	115.0	108.6	86.0	63.0	36.2	28.4	865.0
Promedio de ET03	30.6	39.1	60.3	74.1	98.9	105.0	112.5	102.7	82.9	58.3	34.8	26.9	826.0
Promedio de Evaporación	85.5	92.3	107.5	94.5	102.3	93.0	98.3	91.3	91.6	92.6	85.0	79.3	1113.3
Thornthwaite	21.6	23.7	37.0	49.3	77.4	98.5	118.9	111.6	85.9	59.7	32.8	22.7	739.2

Es decir las tres estimaciones de ET0 de Penman son muy semejantes entre sí, un 13% superiores a Thornthwaite y casi un 30% inferiores a la Evaporación. Visualizando estos valores promedio a nivel mensual:

Ilustración 32 Valores mensuales promedio de la ET0 y la evaporación en Fuenterrabía

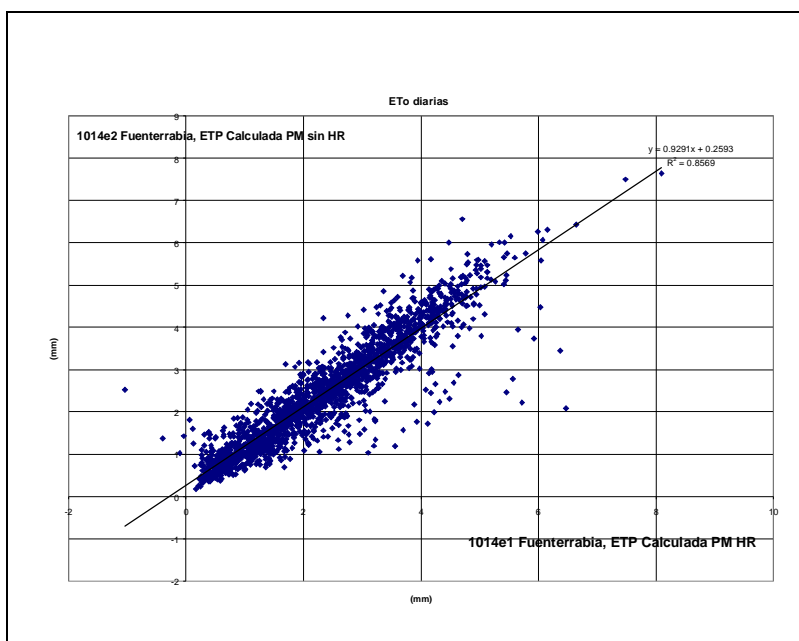
Se observa que la evaporación tiene un comportamiento muy irregular y muy alejado de la ET0, por lo que no parece que pueda ser un buen estimador de la ET0 mediante la aplicación de un coeficiente. Thornthwaite mantiene una cierta coherencia con Penman, pero infraestima la ET0 en la primera mitad del año. Con las series obtenidas, se ha realizado un análisis de correlación y dobles masas con el objeto de contrastar si la ET03 puede ser un buen estimador de la ET01, que en principio se considera la mejor estimación de la evapotranspiración de referencia. La serie 1014e1 se refiere a la estimación ET01, la 1014e2 a la ET02, la 1014e3 a la ET03 y la 1014e4 a la serie de evaporación medida.

Tabla 27 Correlaciones entre varias series de ET0 en Fuenterrabía

1014e1 Fuenterrabía, ETP Calculada PM HR
 1014e2 Fuenterrabía, ETP Calculada PM sin HR

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1014e1	2.3	8.1	70.3	122.4	814.8	814.8
1014e2	2.4	7.6	73.5	122.9	854.7	854.7
C. Correlación	0.926		0.983			
Nº Parejas	1957		60		1	

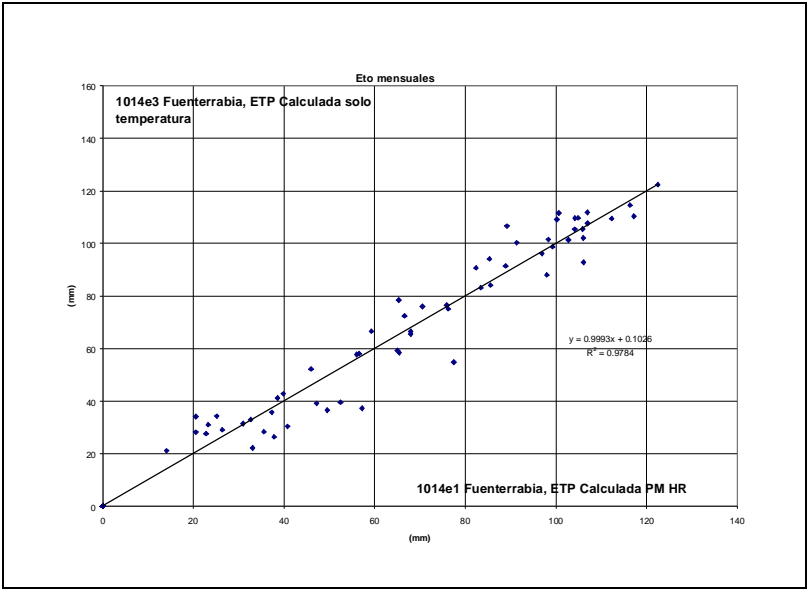
Ilustración 33 Grafico XY de las series de ET0 en Fuenterrabía**Tabla 28 Correlaciones entre varias series de ET0 en Fuenterrabía (2)**

1014e1 Fuenterrabía, ETP Calculada PM HR
 1014e3 Fuenterrabía, ETP Calculada solo temperatura

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1014e1	2.3	8.1	70.3	122.4	814.8	814.8
1014e3	2.3	7.7	70.4	122.4	782.5	782.5
C. Correlación	0.845		0.968			
Nº Parejas	1957		60		1	

Ilustración 34 Grafico XY de las series mensuales de ET0 en Fuenterrabía



Los gráficos y las correlaciones anteriores confirman una coherencia interna entre las distintas formulaciones de la FAO. Es frecuente obtener coeficientes de correlación diaria de 0.9 y mensuales de 0.98 y la formulación mas simplificada mantiene una correlación diaria de 0.84 y mensual de 0.96.

Comparando ahora la estimación mas completa con la medición de evaporación se obtiene:

Tabla 29 Correlaciones entre varias series de ET0 en Fuenterrabía (3)

1014e1 Fuenterrabia, ETP Calculada PM HR
1014e4 Fuenterrabia, Evaporación medida

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1014e1	2.3	8.1	70.9	122.4	814.8	814.8
1014e4	3.8	23.5	117.4	205.4	1681.1	1681.1
C. Correlación	0.382		0.395			
Nº Parejas	1952		56		1	

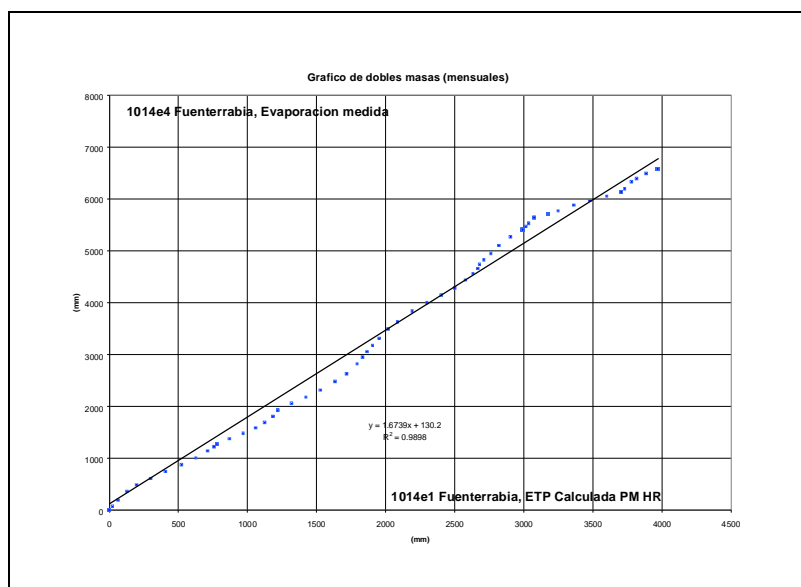
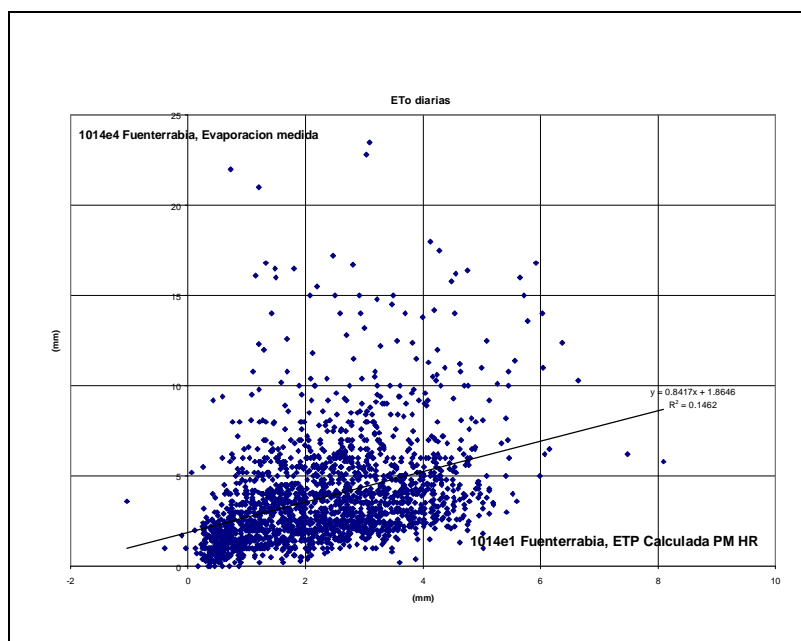
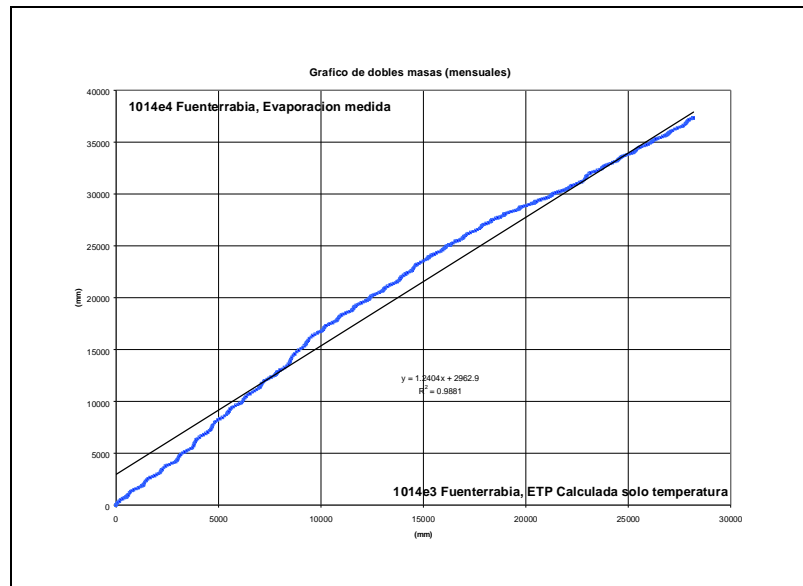
Ilustración 35 Grafico de dobles masas. ET0, Fuenterrabía**Ilustración 36 Gráfico de series de ET0. Fuenterrabía**

Ilustración 37 Dobles masas de la ET0. Fuenterrabía



Se aprecia que se obtienen las peores correlaciones, con comportamientos oscilantes, a pesar de lo escaso del período de solape, no justificables por razones climatológicas.

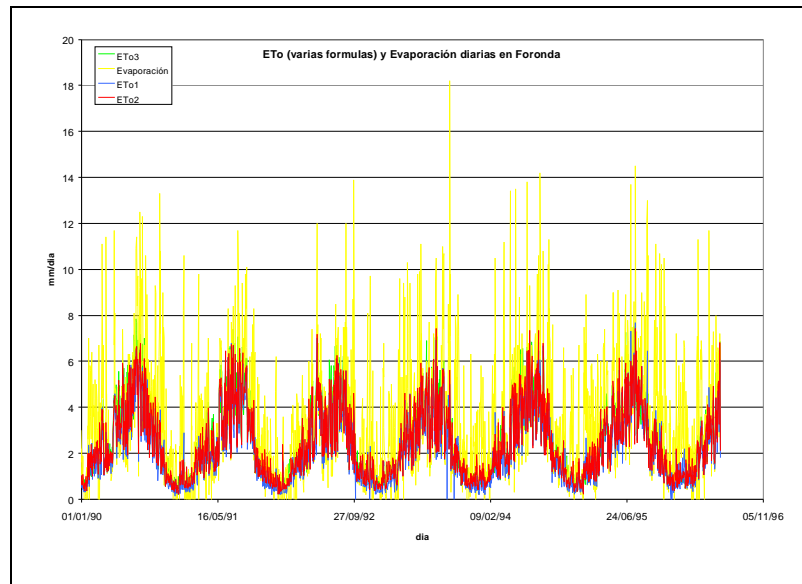
Realizando la comparación de la evaporación con la serie más larga de las de Penman (la basada en la Tmax y T min), se observan cambios en la estructura de la serie aparentemente no debidos a cambios naturales, ya que no es probable que las temperaturas hayan sufrido muchos cambios de sistemática de medición.

Por todo ello la serie de evaporación medida no parece ser un buen estimador de la ET0.

- **Foronda**

En Foronda se dispone de los mismos tipos de datos y se han calculado las mismas series. En el gráfico siguiente se reflejan las series diarias en el período de solape.

Ilustración 38 Series de ET0 en Foronda

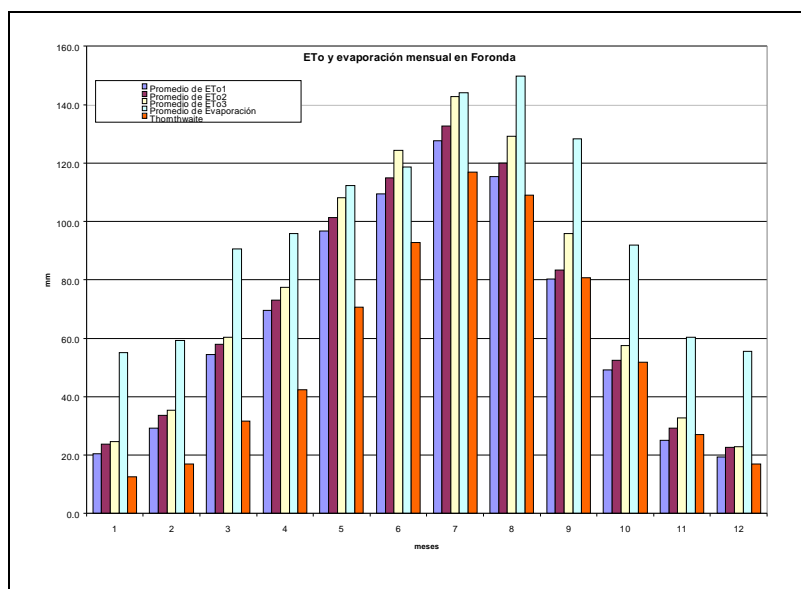


Del mismo modo que en la serie de Fuenterrabía se aprecia una mayor oscilación diaria en la serie de evaporación, y una proximidad entre las estimaciones de la ET0. Los valores promedio mensuales se recogen en la tabla siguiente:

Tabla 30 Valores medios de la ET0 en Foronda según varios métodos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio de ET01	20.4	29.3	54.5	69.7	96.7	109.5	127.7	115.4	80.4	49.1	25.0	19.4	797.1
Promedio de ET02	23.8	33.6	57.9	73.0	101.5	114.9	132.7	119.9	83.4	52.4	29.2	22.7	844.8
Promedio de ET03	24.5	35.4	60.4	77.4	108.2	124.4	142.8	129.1	95.9	57.4	32.7	22.9	911.2
Promedio de Evaporación	55.0	59.3	90.5	95.9	112.3	118.8	144.2	149.9	128.3	92.0	60.3	55.6	1162.0
Thornthwaite	12.5	16.9	31.7	42.4	70.7	92.8	116.8	109.1	80.6	51.7	27.1	17.0	669.4

En este caso ya hay unas ciertas diferencias entre las tres estimaciones de la ET0 según la FAO. Según se va disponiendo de menos datos la ET0 tiende a aumentar, probablemente debido a la menor importancia relativa de la humedad y los vientos en esta localización. Thornthwaite sigue produciendo una subestimación, y la evaporación proporciona valores superiores casi en un 30%.

Ilustración 39 Valores promedio mensuales de la ET0 y Evaporación en Foronda

En este caso la evaporación mantiene un perfil mas próximo a la ET0, por lo que podría utilizarse como estimador de la ET0, mientras que Thornthwaite presenta el mismo aspecto que en Fuenterrabía: infraestimación en la primera parte del año y un acercamiento a los valores de Penman en la segunda parte del mismo.

Las correlaciones y dobles masas entre las series se recogen a continuación.

Tabla 31 Correlaciones entre varias estimaciones de ET0 en Foronda

9091oe1 Foronda, ETP Calculada PM HR

9091oe2 Foronda, ETP Calculada PM sin HR

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
9091oe1	2.2	9.3	68.6	149.7	816.9	908.9
9091oe2	2.4	8.0	72.6	159.2	865.6	955.7
C. Correlación	0.980		0.996		0.941	
Nº Parejas	5339		168		7	

9091oe1 Foronda, ETP Calculada PM HR

9091oe3 Foronda, ETP Calculada solo temperatura

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
9091oe1	2.2	9.3	68.6	149.7	816.9	908.9
9091oe3	2.6	7.8	79.4	171.4	931.4	1008.1
C. Correlación	0.935		0.989		0.922	
Nº Parejas	5339		168		7	

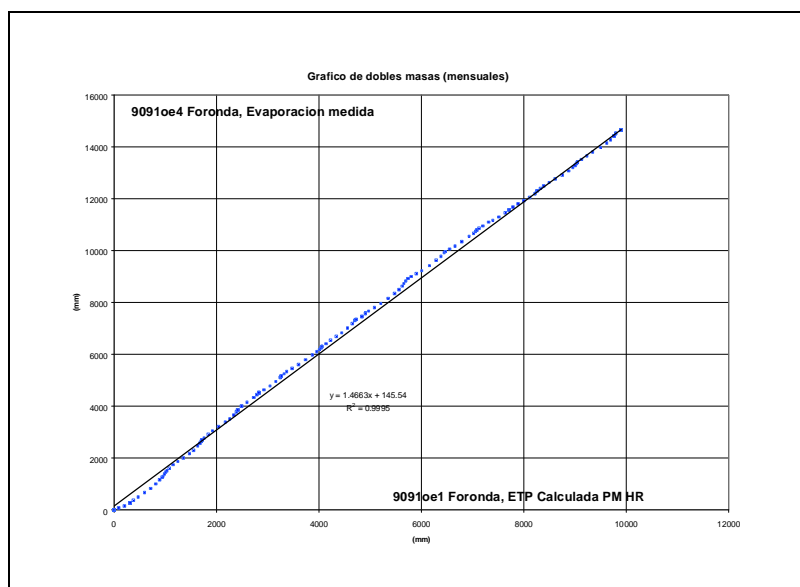
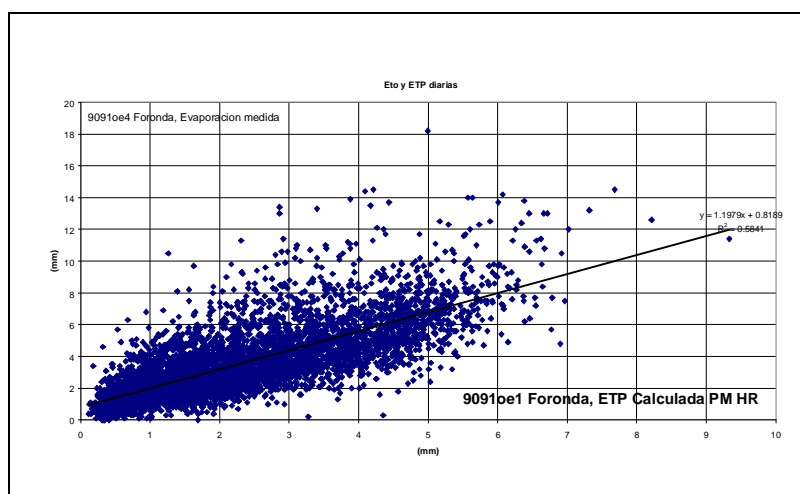
9091oe1 Foronda, ETP Calculada PM HR

9091oe4 Foronda, Evaporación medida

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
9091oe1	2.3	9.3	82.5	149.7	734.7	734.7
9091oe4	3.6	18.2	122.0	215.0	1305.5	1305.5
C. Correlación	0.764		0.842			
Nº Parejas	5038		120		1	

Ilustración 40 Gráficos de correlación y doubles masas de la ET0 en Foronda

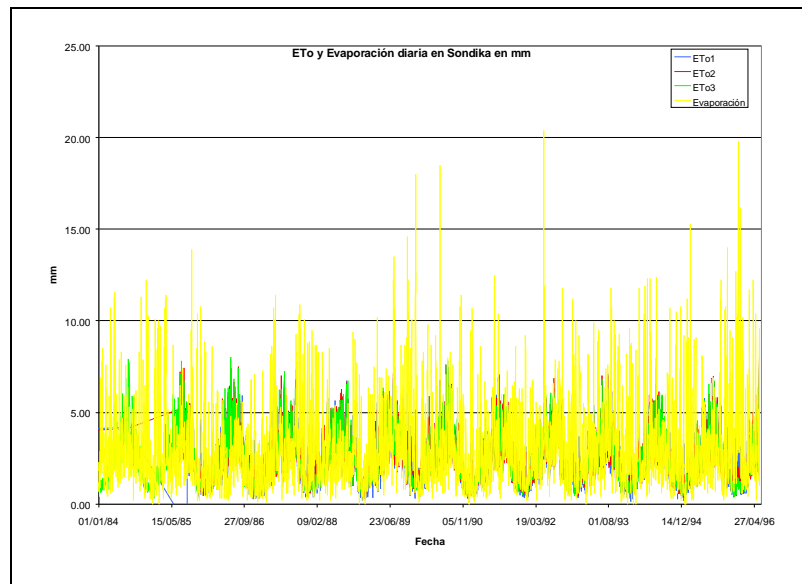


Hay una buena correlación y relación entre las distintas estimaciones de la ET0 y una mucho mejor correlación entre estas y la Evaporación que en Fuenterrabía. Se alcanza una muy notable correlación diaria de 0.724 entre la Evaporación y la ET0 calculada con todos los datos, cuando en Fuenterrabía esta correlación era de 0.38. Las curvas de doubles masas son también más coherentes, mientras que los gráficos XY de los valores diarios no presentan tendencias ni desviaciones concretas.

- **Sondika**

En Sondika se dispone de los mismos datos que en las dos estaciones anteriores. Un sector de las series diarias de evaporación y de ET0 se muestran a continuación

Ilustración 41 Series de ET0 y Evaporación en Sondika



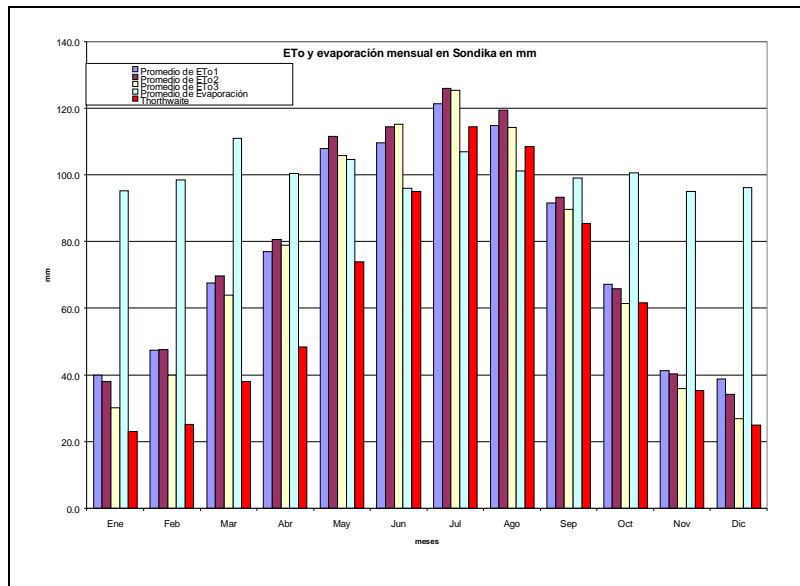
Los promedios mensuales de las series son:

Tabla 32 Valores promedio de la ET0 en Sondika, según varios métodos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio de ET01	39.9	47.3	67.6	77.1	107.8	109.6	121.4	114.7	91.6	67.2	41.3	38.7	924.2
Promedio de ET02	38.1	47.5	69.8	80.6	111.5	114.4	125.9	119.4	93.2	65.8	40.3	34.1	940.5
Promedio de ET03	30.0	39.9	64.0	78.8	105.8	115.2	125.4	114.3	89.7	61.4	35.9	26.9	887.3
Promedio de Evaporación	95.3	98.4	111.0	100.3	104.5	96.0	107.0	101.2	99.0	100.7	95.0	96.1	1204.4
Thornthwaite	23.0	25.0	38.1	48.3	73.9	95.0	114.5	108.5	85.3	61.7	35.3	25.0	733.5

Las tres estimaciones de ET0 (Penman) se aproximan hasta en un 5%. La ET0 de Thornthwaite es un 22% inferior y la evaporación un 33% superior a la ET0 de Penman.

El aspecto de las series es muy similar a las de la estación de Fuenterrabía. Una evaporación claramente separada de la ET0, unas estimaciones de ET0 de Penman muy próximas y una infraestimación de Thornthwaite, sobre todo en la primera mitad del año.

Ilustración 42 Valores mensuales promedio de la ET0 y Evaporación en Sondika

Las correlaciones y gráficos entre las series diarias son:

Tabla 33 Correlaciones entre varias series de ET0 en Sondika

1082e1 Sondika, ETP Calculada PM HR
 1082e2 Sondika, ETP Calculada PM sin HR

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1082e1	2.5	8.5	76.3	143.4	944.6	987.5
1082e2	2.5	9.4	77.3	149.0	934.3	993.2
C. Correlación	0.942		0.985		0.995	
Nº Parejas	4582		142		5	

1082e1 Sondika, ETP Calculada PM HR
 1082e3 Sondika, ETP Calculada solo temperatura

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1082e1	2.5	8.5	76.3	143.4	944.6	987.5
1082e3	2.5	8.0	76.8	150.4	935.8	982.4
C. Correlación	0.878		0.976		0.987	
Nº Parejas	4582		142		5	

1082e1 Sondika, ETP Calculada PM HR

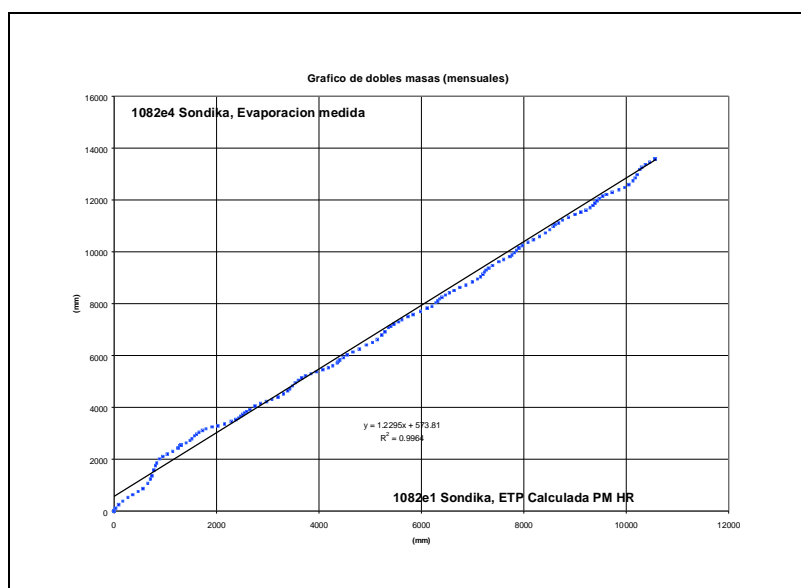
1082e4 Sondika, Evaporación medida

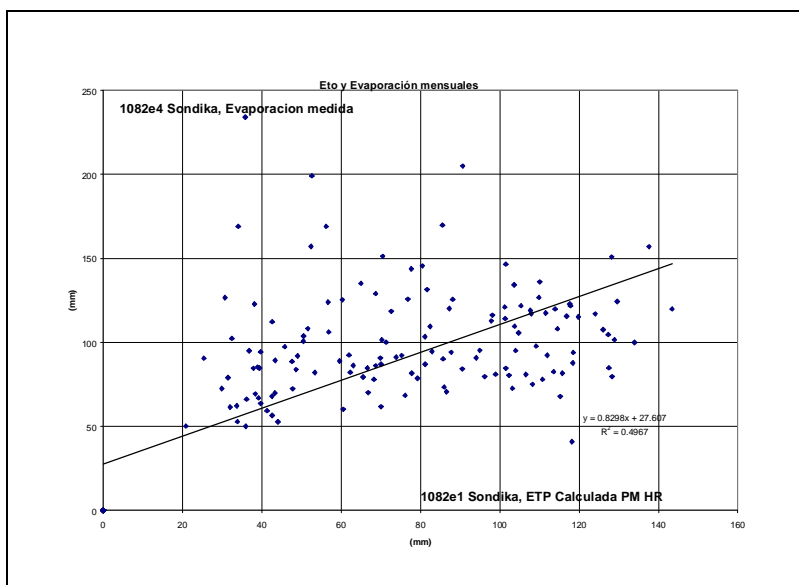
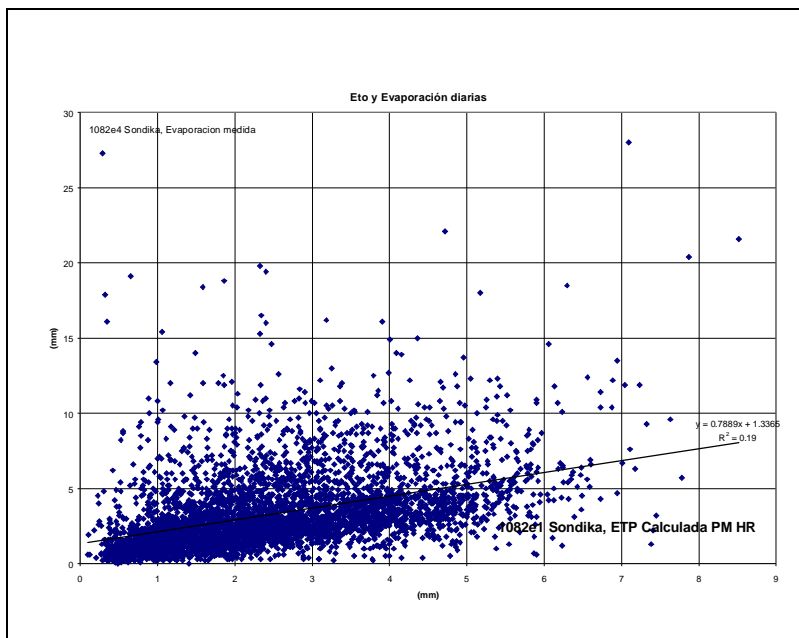
Valores del periodo de solape

		Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
		Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1082e1		2.5	8.5	78.3	143.4	942.1	967.0
1082e4		3.3	28.0	100.5	234.0	1012.8	1115.0
C. Correlación		0.436		0.190		-0.183	
Nº Parejas		4563		135		3	

Se vuelven a observar altas correlaciones entre las estimaciones de Penman y una baja (0.436) con la de evaporación. Las graficas de dobles masa mensuales y XY diario y mensual reflejan anomalías en la serie de evaporación.

Ilustración 43 Dobles masas y correlaciones de la ET0 en Sondika

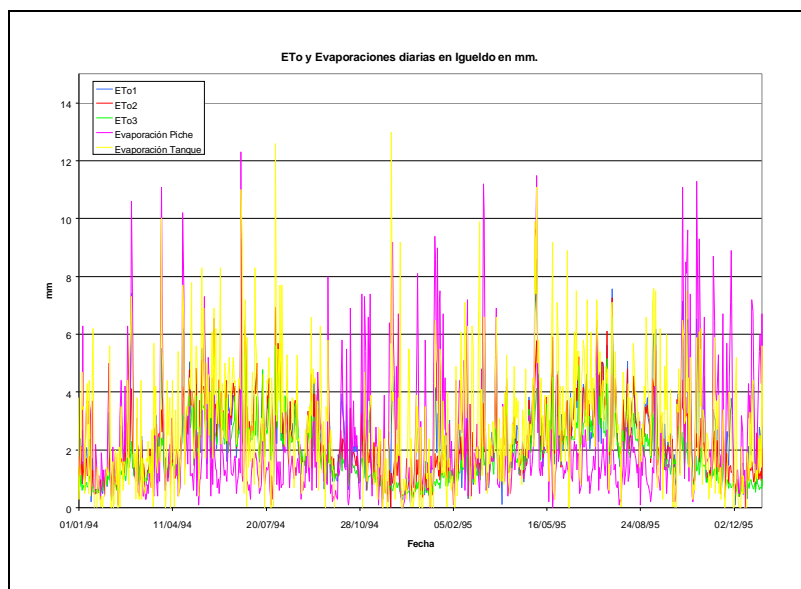




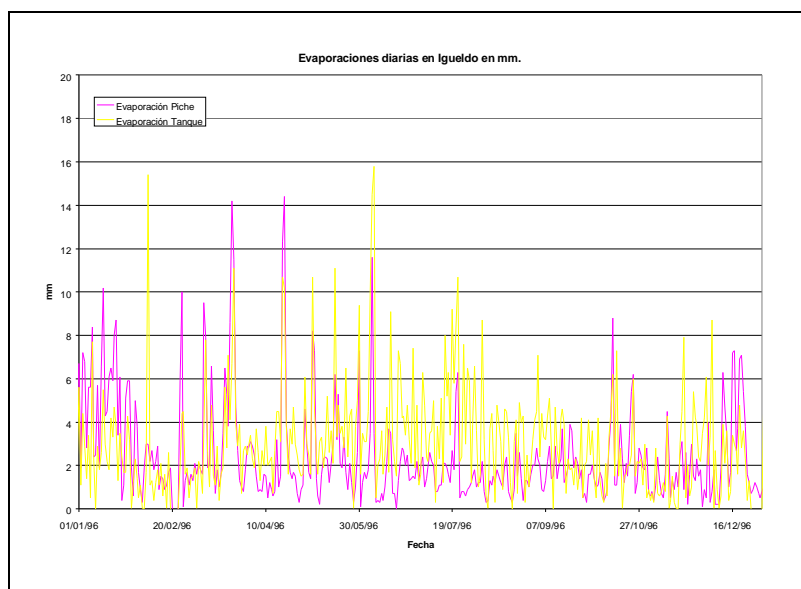
- **Igueldo**

En Igueldo, una de las estaciones más completas, se dispone de las mismas series que en las previas, pero en este caso se dispone de dos series de evaporación, una la proporcionada por el INM por defecto, identificada como la serie obtenida por Piché, y otra de evaporación en Tanque.

Ilustración 44 Series diarias de ET0 en Igueldo



En la comparación de las series diarias, las conclusiones son semejantes a las de las estaciones anteriores. Las series de evaporación presentan unas oscilaciones mucho más acentuadas que las de ET0. Ahora bien como en este caso se dispone de dos series de evaporación se han graficado estas aisladas y en períodos de tiempo cortos. En la siguiente figura se aprecian estas series a lo largo de un año.

Ilustración 45 Series diarias de ET0 en Igueldo (2)

Son dos series muy distintas, teniendo en cuenta que son dos estimaciones de la misma variable. A lo largo de mucho tiempo, la evaporación en Tanque duplica a la de Piché y las oscilaciones de ambas son muy acusadas. Esto llama la atención porque habitualmente se considera que los evaporímetros de papel poroso o Piché, dan un error por exceso de tal forma que se suele admitir que evaporación tanque = evaporación Piché x 0.80

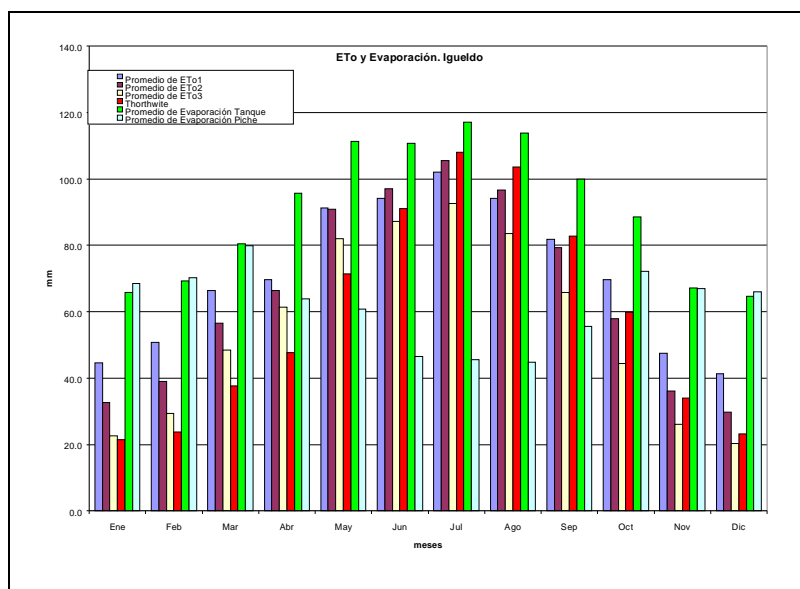
Los valores promedio mensuales y anuales de todas las series analizadas se recogen a continuación:

Tabla 34 Valores promedio de la ET0 en Igueldo según varios métodos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio de ET01	44.6	50.8	66.3	69.6	91.4	94.2	102.2	94.2	81.8	69.7	47.4	41.2	853.3
Promedio de ET02	32.6	39.1	56.6	66.4	90.9	97.1	105.6	96.7	79.4	57.9	36.1	29.7	788.0
Promedio de ET03	22.6	29.4	48.5	61.3	82.1	87.2	92.6	83.6	65.8	44.5	26.2	20.2	664.2
Promedio de Evap Piché	68.5	70.3	79.8	63.9	60.8	46.5	45.5	44.8	55.6	72.2	67.0	66.0	741.0
Promedio de Evap Tanque	65.9	69.3	80.4	95.8	111.4	110.8	117.1	113.9	100.0	88.5	67.1	64.7	1084.9
Thornthwaite	21.5	23.8	37.7	47.7	71.4	91.0	108.1	103.6	82.9	59.8	33.9	23.2	704.7

Las tres estimaciones de ET0 difieren entre sí de manera más acusada que en las restantes estaciones y la ET0 va disminuyendo según se eliminan variables de cálculo. En esta localización tanto la humedad como el viento parecen tener una influencia determinante. No es de extrañar este efecto si se analiza la localización de la estación.

Thornthwaite sigue subestimando la ET, pero en este caso se aproxima mucho a las estimaciones de Penman. La evaporación en tanque es casi un 46% superior a la del Piché y supera en un 27% a la mayor estimación de Penman.

Ilustración 46 Valores mensuales de la ET0 en Igueldo

En los gráficos mensuales se observa que la serie de Piché tiene muy poco que ver con el resto de las estaciones y podría considerarse como una variable totalmente distinta. La evaporación de tanque se aproxima en gran medida a Penman manteniendo el perfil de la ET01. En las siguientes tablas se recogen las correlaciones entre las series diarias analizadas.

Tabla 35 Correlaciones entre series de ET0 en Igueldo

1024ee1 Igueldo, ETP Calculada PM con HR

1024ee2 Igueldo, ETP Calculada PM sin HR

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1024ee1	2.3	13.4	72.9	128.3	860.7	1063.2
1024ee2	2.2	10.6	67.5	130.1	782.1	884.5
C. Correlación	0.855		0.940		0.913	
Nº Parejas	14427		436		14	

La correlación entre las distintas series de ET0 de Penman es alta y de los gráficos de dobles masas y XY de valores mensuales y diarios no se detecta tendencia aparente.

Tabla 36 Correlaciones entre series de ET0 en Igueldo (2)

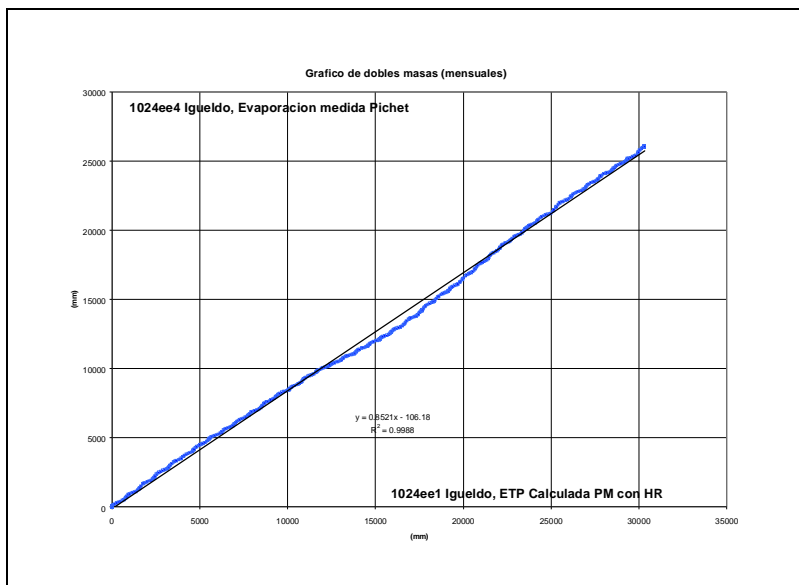
1024ee1 Igueldo, ETP Calculada PM con HR

1024ee4 Igueldo, Evaporación medida Piché

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1024ee1	2.3	13.4	74.7	128.3	868.0	1063.2
1024ee4	2.1	24.9	64.2	169.1	741.4	991.1
C. Correlación	0.560		0.108		0.879	
Nº Parejas	14299		406		5	

La serie de evaporación de Piché baja considerablemente la correlación con la ET, hasta 0.56, debido a que en determinados períodos la relación entre las variables se altera, como se puede apreciar en el gráfico de doubles masas mensuales y en el XY de los valores diarios. Es muy notable la escasa correlación de los valores mensuales (0.108). Hay un desplazamiento de la Evaporación de Piché hacia valores altos y la serie se encuentra aparentemente truncada por los valores bajos.

Ilustración 47 Gráficos de doubles masas y correlaciones en Igueldo

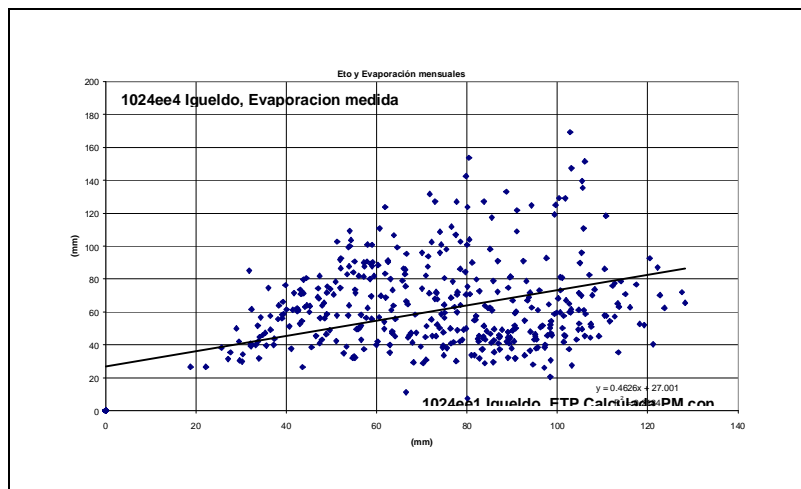


Tabla 37 Correlaciones entre series de ET0 en Igueldo (3)

1024ee1 Igueldo, ETP Calculada PM con HR

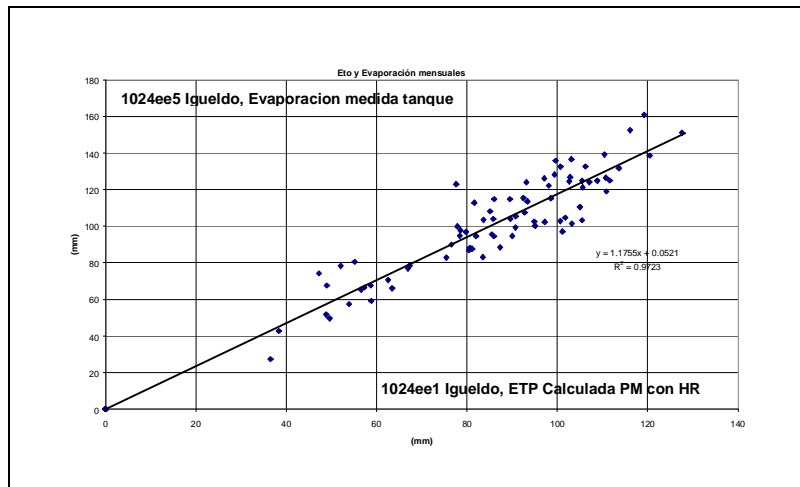
1024ee5 Igueldo, Evaporación medida tanque

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1024ee1	2.5	11.6	86.7	127.6		
1024ee5	3.0	15.4	101.9	160.9		
C. Correlación	0.633		0.914			
Nº Pares	4798		78			

La serie de evaporación de tanque produce una correlación diaria más alta (0.633) y sobre todo una correlación mensual mucho más alta (0.914), en el entorno de las correlaciones que mantenían las distintas series de ET0 entre sí. Esta serie de evaporación en tanque podría ser empleada, a diferencia de la de evaporación por Piché, para la estimación de la ET0.

En el gráfico de XY de los valores mensuales se puede apreciar la buena relación existente entre las dos variables.

Ilustración 48 Grafico XY de ET0 mensuales en Igueldo

Lógicamente, la relación entre ambas series de evaporación no puede ser muy coherente a la vista de lo anterior. En efecto su correlación diaria es de 0.304 y su correlación mensual de – 0.076, notablemente baja para tratarse de la misma variable. Una inspección del grafico de doubles masas y del XY de valores mensuales proporciona la idea de que una de las dos series es de poca utilidad para el proceso y esta es la de evaporación de Piché. Lamentablemente, a juzgar por los estudios realizados, en el resto de las estaciones completas la variable de la que se tienen datos es la de evaporación de Piché.

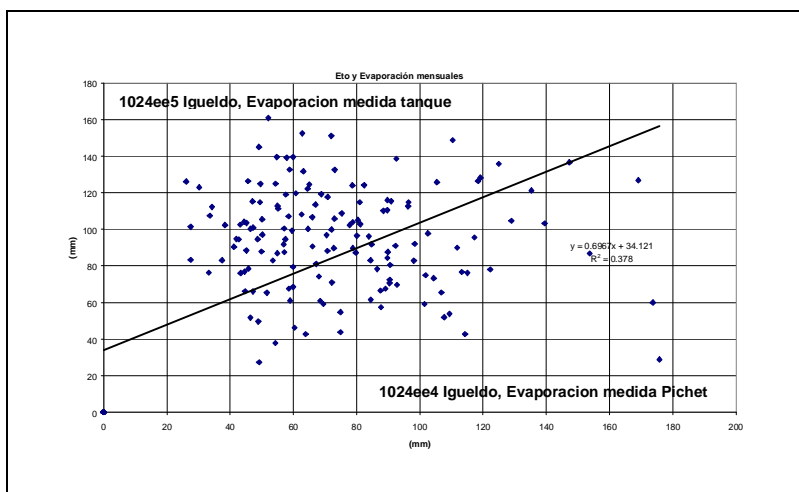
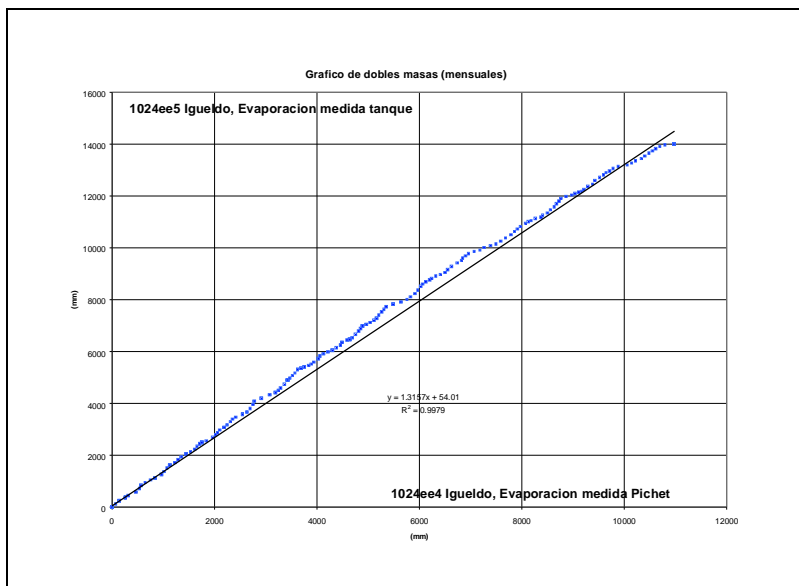
Tabla 38 Correlaciones entre series de ET0 en Igueldo (4)

1024ee4 Igueldo, Evaporación medida Piché
 1024ee5 Igueldo, Evaporación medida tanque

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1024ee4	2.5	24.9	74.7	175.8	933.6	1000.0
1024ee5	3.0	19.5	95.2	160.9	1070.1	1128.9
C. Correlación	0.304		-0.076		0.964	
Nº Parejas	6784		147		4	

Ilustración 49 Gráficos de doubles masas en Igueldo (2)



5.5.1.2. OTRAS SERIES DE EVAPORACIÓN

Hay un conjunto de estaciones adicionales con datos de evaporación de Tanque, que se han comparado con las series de ET0 estimadas únicamente en base a las temperaturas máximas y mínimas por carecer estas estaciones de datos para realizar otro tipo de estimación.

- **1048 Aretxabaleta - Urkulu**

En el gráfico siguiente se refleja un sector de ambas series diarias. Se aprecia una notable semejanza entre ambas, muy superior a la de las series de las estaciones completas.

Ilustración 50 Series de ET0 y Evaporación en Urkulu

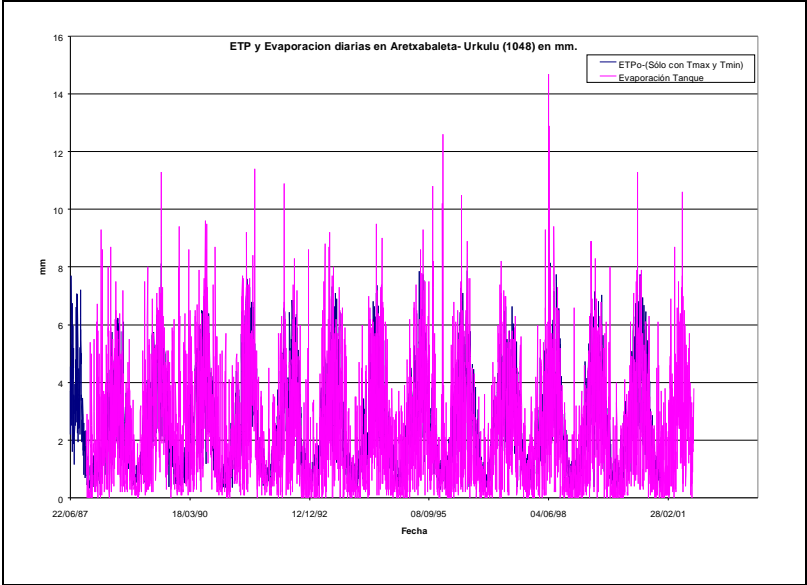
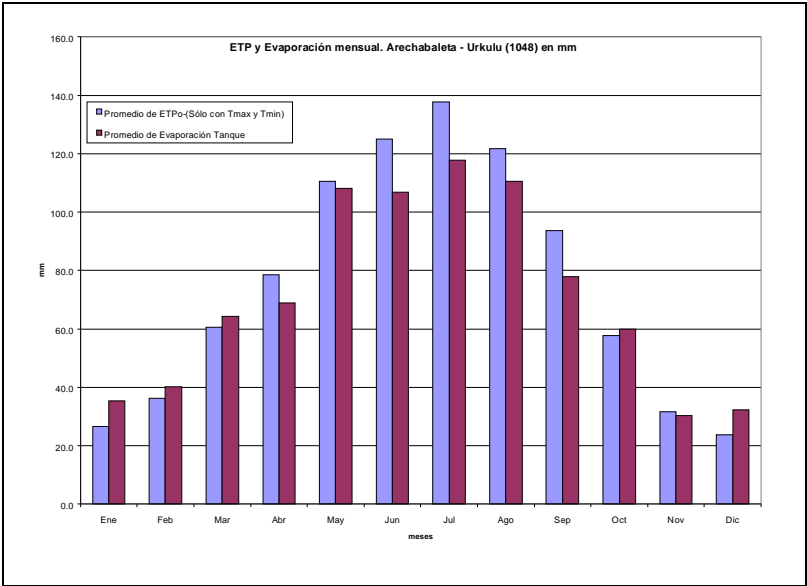


Tabla 39 Valores promedio de la ET0 y Evaporación en Urkulu

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio de ET0- (Sólo con Tmax y Tmin)	26.5	36.4	60.5	78.5	110.6	125.0	137.7	121.7	93.6	57.8	31.7	23.7	903.7
Promedio de Evaporación tanque	35.4	40.3	64.3	69.0	108.1	106.8	117.8	110.6	77.9	59.9	30.3	32.3	852.7

Los valores mensuales también se aproximan notablemente ya que difieren únicamente en un 5%.

Ilustración 51 Valores mensuales de la ET0 y la Evaporación en Urkulu



El perfil de la evolución mensual también es muy semejante, lo que indica que la evaporación se podría emplear como estimador de la ET0

Tabla 40 Correlación de las series de ET0 y Evaporación en Urkulu

1048-E3 Aretxabaleta-Urkulu ET calculada solo con T

1048-E4 Aretxabaleta-Urkulu Evaporación Tanque

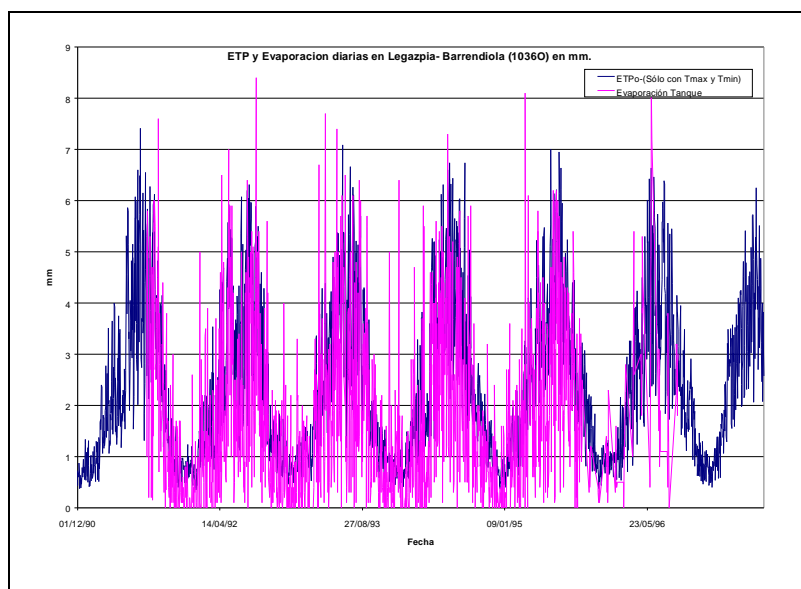
Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1048-E3	2.5	8.1	90.3	156.3		
1048-E4	2.4	14.7	83.1	151.7		
C. Correlación	0.725		0.924			
Nº Parejas	4632		89			

Las correlaciones entre las series indican, una vez más, que se trata de dos series muy correlacionadas y con valores diarios, mensuales y anuales muy próximos.

- **10360 Legazpia - Barrendiola**

En este caso, las oscilaciones de la serie de evaporaciones son más notables que en el caso anterior, aproximándose la evaporación, en numerosos casos, al cero.

Ilustración 52 Series diarias de la ET0 y Evaporación en Barrendiola**Tabla 41 Valores promedio de la ET0 y Evaporación en Barrendiola**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio de ET0- (Sólo con Tmax y Tmin)	25.0	34.1	56.4	73.5	105.2	120.2	132.7	120.9	89.5	54.9	29.8	22.2	864.5
Promedio de Evaporación tanque	22.1	26.4	43.2	57.5	88.8	84.2	82.7	87.1	65.2	34.0	24.9	14.4	630.4

En los totales mensuales se aprecia que la evaporación es mucho menor que la ET0, cuando habitualmente suele ser al revés. Además, en los meses centrales, ésta cae significativamente sin motivo aparente.

Es posible que dicho efecto se deba a una serie excesivamente corta, pero las correlaciones con la serie de ET0 se mantienen elevadas.

Ilustración 53 Valores mensuales de la ET0 y Evaporación en Barrendiola

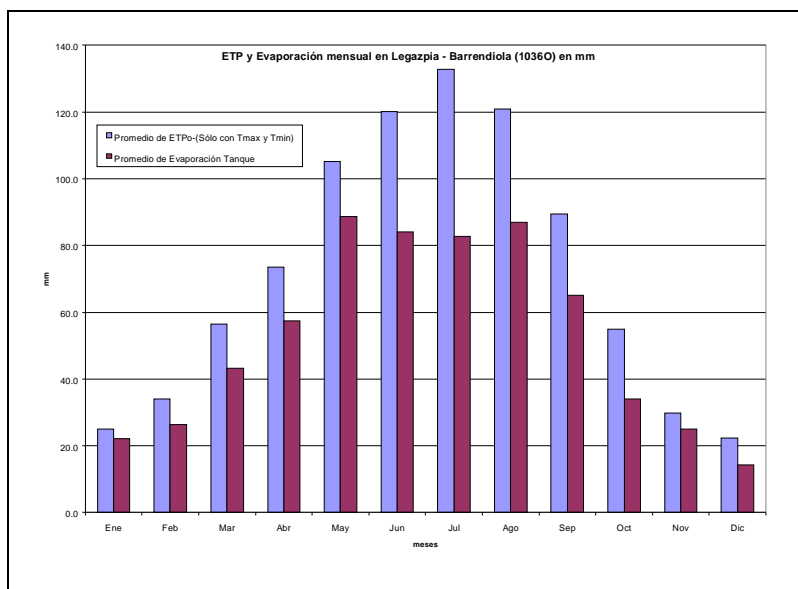


Tabla 42 Correlación de las series de ET0 y Evaporación en Barrendiola

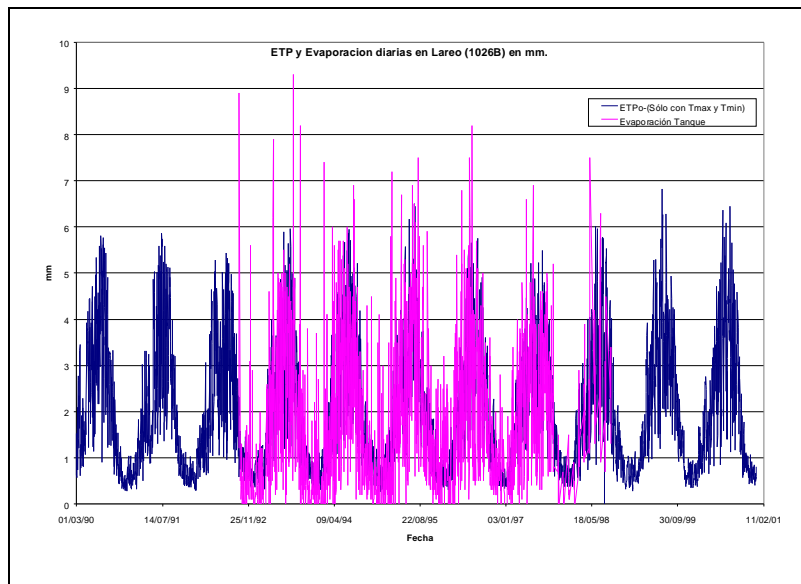
1036O-E3 Legazpia (Barrendiola) ET calculada solo con T
 1036O-E4 Legazpia (Barrendiola) Evaporación Tanque

Valores del periodo de solape

		Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
		Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1036O-E3		2.5	7.1	81.8	152.0		
1036O-E4		1.8	8.4	57.9	105.1		
C. Correlación		0.716		0.973			
Nº Parejas		1548		26			

- **1026B Lareo**

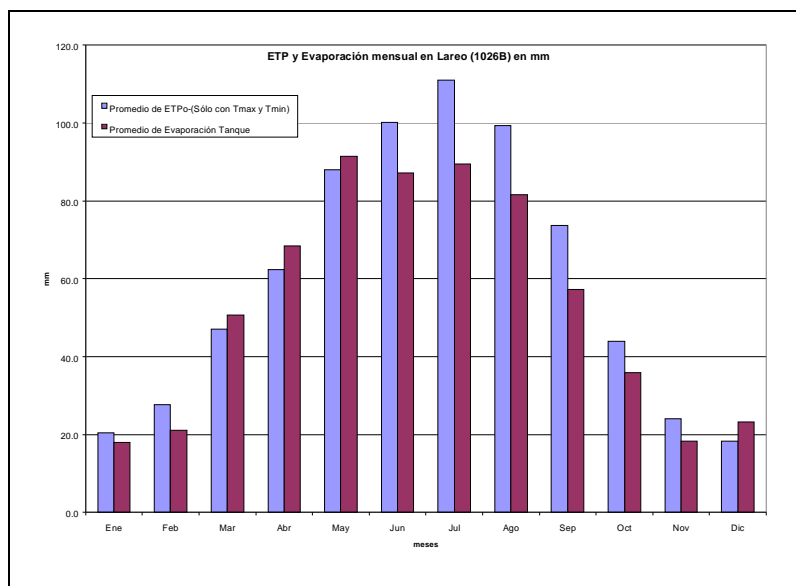
Ilustración 54 Series diarias de la ET0 y Evaporación en Lareo



En la estación de Lareo se observa un efecto similar al que se observaba en Barrendiola. La serie de evaporación baja hasta cero en numerosos casos y totaliza una cifra anual significativamente inferior a la de ET0. Además, es en los meses centrales en donde se observa una disminución porcentual mayor.

Tabla 43 Valores promedio de la ET0 y Evaporación en Lareo

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio de ETPo- (Sólo con Tmax y Tmin)	20.4	27.7	47.0	62.3	88.0	100.2	111.1	99.4	73.7	43.9	24.1	18.4	716.2
Promedio de Evaporación tanque	18.0	21.1	50.7	68.5	91.4	87.2	89.6	81.6	57.3	35.9	18.3	23.2	642.7

Ilustración 55 Valores mensuales de la ET0 y Evaporación en Lareo**Tabla 44 Correlación de las series de ET0 y Evaporación en Lareo**

1026B-E3 Lareo ET Calculada solo con T

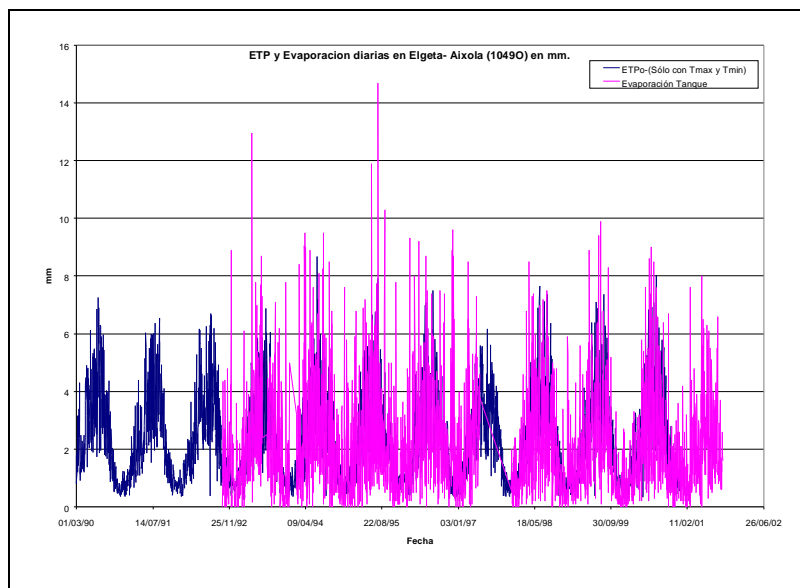
1026B-E4 Lareo ET Evaporación Tanque

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1026B-E3	2.0	6.5	62.7	132.3		
1026B-E4	1.8	9.3	54.9	122.1		
C. Correlación	0.733		0.954			
Nº Parejas	1881		49		0	

Las correlaciones, en todo caso, se mantienen elevadas y no detectan tendencias asignables a alteraciones en los dispositivos de medida.

- **10490 Elgeta Aixola**

Ilustración 56 Series diarias de la ET0 y Evaporación en Aixola**Tabla 45 Valores promedio de la ET0 y Evaporación en Aixola**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio de ET0- (Sólo con Tmax y Tmin)	25.0	34.3	56.0	72.4	101.8	114.9	125.3	110.9	85.9	54.3	29.9	22.3	833.0
Promedio de Evaporación tanque	36.7	38.1	62.6	72.6	91.7	91.5	96.6	81.2	70.8	51.1	36.2	39.1	768.3

Una vez más en el embalse de Aixola la evaporación medida en tanque es menor que la estimación de ET0, con el mismo perfil anual que en el resto de los embalses. Las correlaciones se mantienen en unos niveles elevados para tratarse de variables distintas.

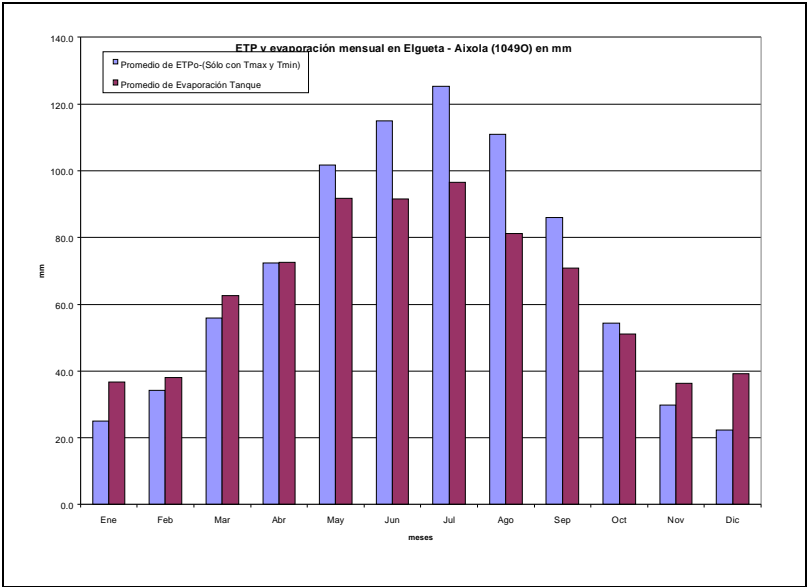
Tabla 46 Correlación de las series de ET0 y Evaporación en Aixola

10490-E3 Elgeta-Aixola ET calculada solo con T
 10490-E4 Elgeta-Aixola Evaporación Tanque

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
10490-E3	2.4	8.7	89.0	140.9		
10490-E4	2.1	14.7	72.3	116.3		
C. Correlación	0.468		0.887			
Nº Parejas	2633		49			

Ilustración 57 Valores mensuales de la ET0 y Evaporación en Aixola



- 1021E Añarbe

Ilustración 58 Series diarias de la ET0 y Evaporación en Añarbe

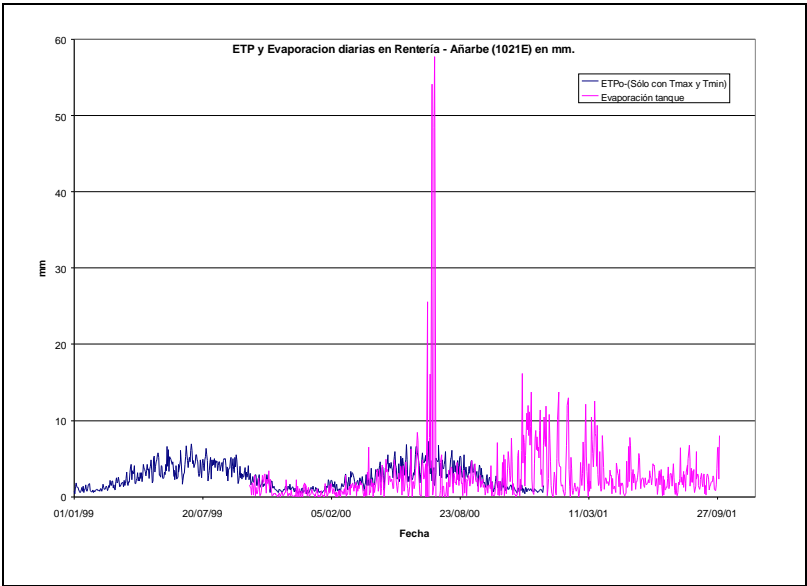


Tabla 47 Valores promedio de la ET0 y Evaporación en Añarbe

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio de ETPo- (Sólo con Tmax y Tmin)	31.2	40.7	64.3	80.6	111.4	122.3	132.9	120.0	96.3	63.7	37.3	28.3	928.9
Promedio de Evaporación tanque	69.9	50.2	88.9	66.9	77.9	76.5	157.4	77.1	69.6	46.8	57.0	105.7	943.8

La serie de evaporación en Añarbe presentaba en origen valores muy altos, de hasta 57 mm/día, valores muy alejados de los esperables.

Este efecto, junto con una serie corta e irregular, conduce a considerar a dicha serie como una de las peores de las analizadas en embalse. Su irregularidad a lo largo del año es manifiesta y la correlación diaria, mensual y los gráficos de dobles masas recuerdan más a las series de evaporaciones Piché que a las de evaporación en tanque.

Ilustración 59 Valores mensuales de la ET0 y Evaporación en Añarbe

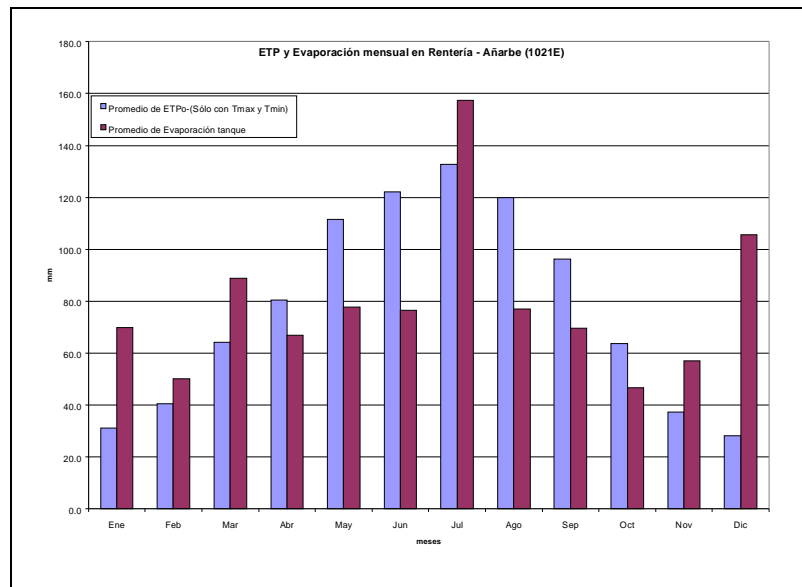


Tabla 48 Correlación de las series de ET0 y Evaporación en Añarbe

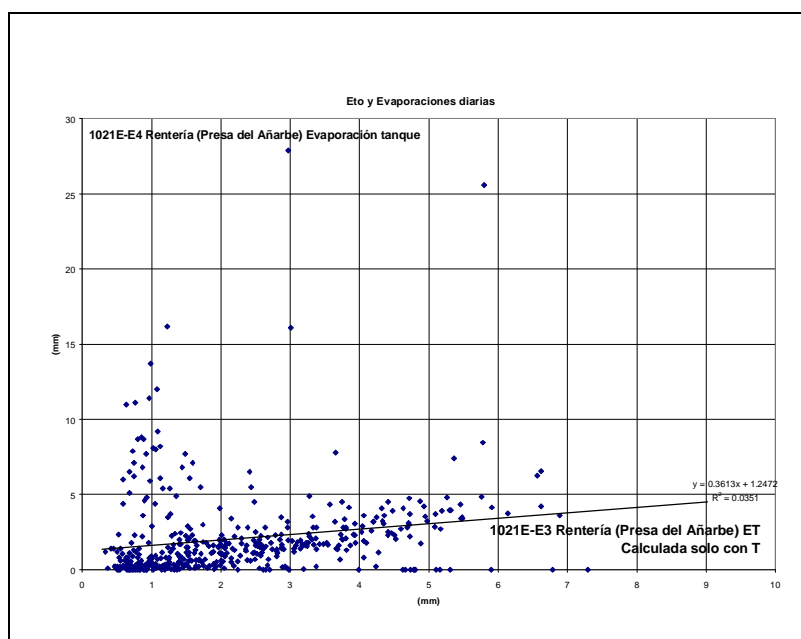
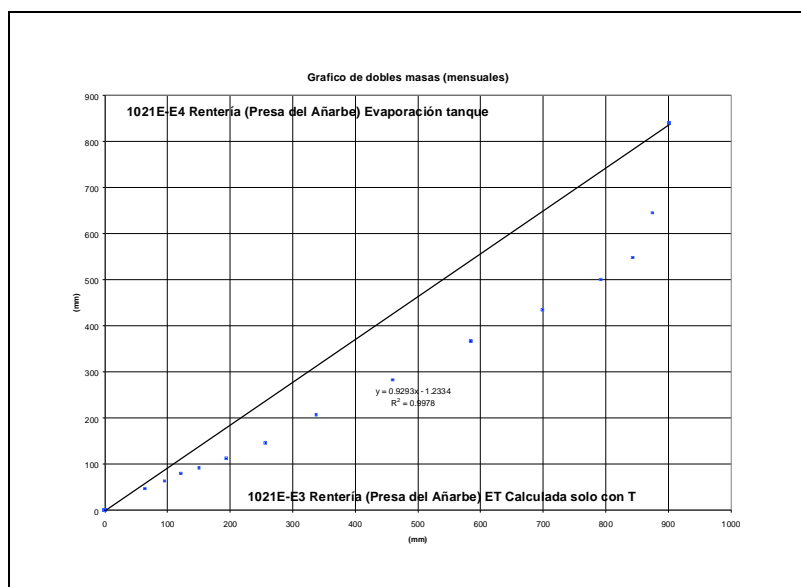
1021E-E3 Rentería (Presa del Añarbe) ET Calculada solo con T

1021E-E4 Rentería (Presa del Añarbe) Evaporación tanque

Valores del periodo de solape

	Valores diarios		Valores mensuales		Valores anuales	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
1021E-E3	2.3	7.3	64.4	124.9		
1021E-E4	2.1	27.9	60.0	195.2		
C. Correlación	0.187		0.109			
Nº Parejas	455		14			

Ilustración 60 Dobles masas y correlaciones de la ET0 y la Evaporación en Añarbe



5.5.1.3. CONCLUSIONES AL ANÁLISIS DE SERIES DISPONIBLES

En la siguiente tabla se resumen las principales magnitudes de los análisis relacionados.

Tabla 49 Resumen de las estimaciones de ET0 en las estaciones completas

	Fuenterrabía	Foronda	Sondika	Igueldo	Urkulu	Barrendiola	Lareo	Aixola	Añarbe
Eto-1 (Completa)	829.0	797.1	924.2	838.3					
Eto-3 (Sólo T)	826.0	911.2	887.3	664.2	903.7	864.5	716.2	833.0	928.9
Ratio 1 y 2	99.6%	114.3%	96.0%	79.2%					
Evap (Piché)	1113.0	1162.0	1204.4	741.0					
Ratio Evap (Piché) a ET0-1	134.3%	145.8%	130.3%	88.4%					
Evap (Tanque)				1084.9	852.7	630.4	642.7	768.3	943.8
Ratio Evap (Tanque) a ET0-3				163.3%	94.4%	72.9%	89.7%	92.2%	101.6%
Thorntwaite	739.0	669.4	733.5	704.7					
Ratio Thorntwaite a ET0-1	89.1%	84.0%	79.4%	84.1%					
Correlación diaria 1 y 2	0.85	0.94	0.88	0.75					
Correlación mensual 1 y 2	0.97	0.99	0.98	0.89					

Asumiendo que, de acuerdo con la literatura, la mejor estimación de la evapotranspiración de referencia es la que se realiza por el método Penman - Monteith de la FAO, la estimación realizada empleando únicamente datos de temperatura mantiene una muy buena correlación con la estimación realizada con todos los datos disponibles. No se ha identificado una tendencia sistemática en las diferencias entre las estimaciones. La mayor diferencia se observa en Igueldo (79.2%), mientras que en el resto de las estaciones completas (Fuenterrabía, Foronda y Sondika) la diferencia como mucho es del 10% y de signo variado. En las zonas costeras con presencia de vientos y humedades la estimación simplificada es menor que la completa, y en zonas del interior parece invertirse el sentido de la desviación. Ahora bien, la magnitud de la desviación no parece compensar la pérdida de precisión que se obtendría si únicamente se emplearan las cuatro estaciones completas para estimar la ET0 en todo el ámbito del estudio.

Los datos de evaporación que incluyen los registros de los embalses de Gipuzkoa son aparentemente de buena calidad (buenas correlaciones y perfiles mensuales), aunque sus magnitudes son bajas. En el único punto de contraste existente entre todas las metodologías, Igueldo, la evaporación de Tanque es aproximadamente un 60% superior a la estimación de ET0 (en su versión 3, la única que es posible obtener en los embalses). Si consideramos que esta estimación en Igueldo es excepcionalmente baja (un 80% de la ET0-1 cuando en otros puntos costeros encontramos ratios del 90%), se podría sumir que la evaporación de tanque debería ser del orden de un 120% la ET0-3, como se asume clásicamente en la literatura. Sin embargo, en los citados embalses la evaporación de tanque ronda el 90% de la ET0-3.

Es posible que la razón de este hecho esté en la localización de los aparatos de medida al abrigo de los vientos dominantes.

En el resto de las estaciones del INM tampoco es posible obtener mucha más información de las series de evaporación. En las estaciones de Fuenterrabía y Sondika las correlaciones de las series de evaporación y su distribución intraanual las hacen inútiles para la estimación de la ET₀. Hay que recordar que la Evaporación no es sino una parte de la ET₀ y que en el mejor de los casos se puede utilizar como un estimador insesgado.

En Foronda, la serie de evaporación es mucho más coherente que en las anteriores, pero no coincide con las series de Igueldo en cuanto al sentido de la desviación. En Igueldo, la mejor serie (desde el punto de vista de correlacionarse con el proceso de la evapotranspiración) es la serie de evaporación en tanque, y esta serie viene a ser un 28% superior a la estimación más completa de la ET₀, una desviación algo elevada, pero de acuerdo con la experiencia tradicional. Sin embargo, en el resto de las estaciones completas, el tipo de correlación y aspecto de las series induce a pensar que se trata de series medidas por el dispositivo Piché, pero sus totales son mucho mayores de lo que cabría esperar de la comparación en Igueldo. Allí, el Piché ha medido casi un 47% menos que el Tanque, por lo que típicamente se ha situado un 10% por debajo de la ET₀-1, pero en el resto de las estaciones el supuesto Piché ha medido evaporaciones superiores a la ET₀ en un 30 – 40 %.

En conclusión, la estimación resumida de la ET₀ mediante la fórmula de la FAO parece un buen estimador de la estimación completa de la Fórmula de Penman - Monteith. Desgraciadamente, los datos de la evaporación no han podido aportar mayor información, debido a su calidad.

5.5.2. Resultados generales del análisis de ET₀

Empleando esta metodología, se han estimado las series de ET₀ a partir de todas las series de temperaturas disponibles y se han incorporado al banco de datos para su utilización directa en el modelo de simulación.

Para tener una idea de lo que representa esto en términos de balance total se incluyen en la Tabla 50 los valores promedio puntuales de la ET₀ en los puntos de cálculo.

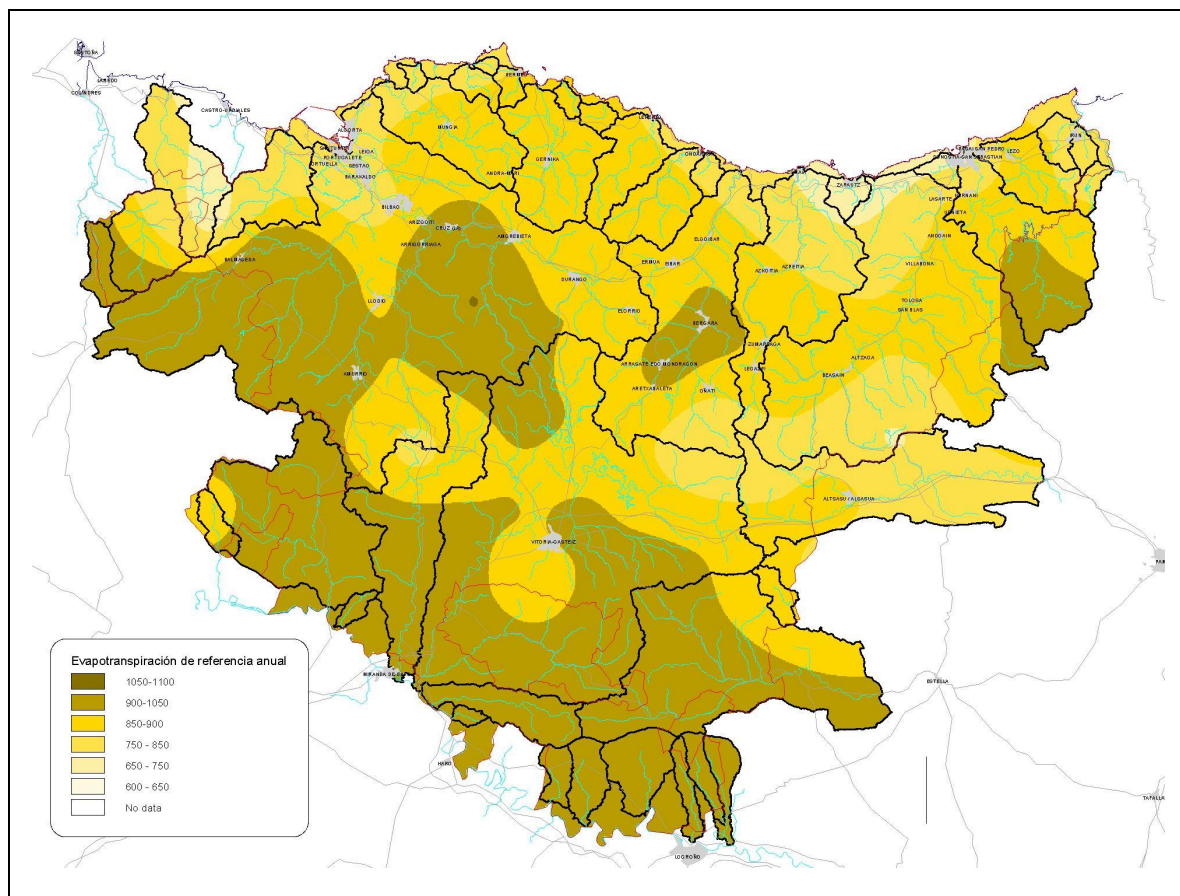
Tabla 50 Valores promedio anual de la ET0 en las estaciones

INDICATIVO	Nombre	ALTITUD	UTM X	UTM Y	Eto anual (mm)
1013I	Fuenterrabia-Zubieta	24	596298	4799806	835.3
1014	Fuenterrabia 'Aeropuerto'	8	598035	4801189	813.5
1016	Oyarzun 'Arditurri'	280	597001	4793182	813.8
1019A	Pasajes 'Escuela Nautica'	20	586938	4797459	885.1
1021E	Renteria 'Presa del Añarbe'	120	591003	4784923	927.9
1024	San Sebastian 'Ategorrieta'	8	585094	4797219	678.2
1024B	San Sebastian 'Faro de Igeldo'	122	580340	4797315	671.8
1024E	San Sebastian 'Igeldo'	259	577906	4795374	664.2
1025E	Mutiloa	420	557546	4765029	869.3
1026A	Ordizia-Central Aguas	195	566303	4767484	869.3
1026B	Lareo	745	572619	4758602	715.2
1032	Villabona-Granja Fraisoro	172	575598	4782081	838.2
1033U	Urnietia 'Vivero'	75	581994	4787153	850.7
1035	Lasarte-Michelin	85	579458	4791813	866.0
1035U	Aya-Laurgain	320	567629	4788846	712.6
1036O	Legazpia 'Barrendiola'	501	553560	4762467	863.4
1037	Legazpia	402	554199	4767562	902.3
1038	Beizama 'P. Ibai Eder'	180	563016	4775566	862.9
1044D	Aramayona Echagüen	619	533429	4768200	822.3
1044U	Mondragon 'Olandixo'	246	540829	4767747	958.5
1046	Aranzazu 'Nuestra Señora'	770	549240	4758763	697.7
1048	Aretxabaleta-Urkulu	335	543116	4763720	902.7
1049	Bergara 'Albitxu'	205	546679	4775558	933.1
1049O	Elgueta-Aixola	262	540060	4779218	831.7
1049U	Ermua	240	539975	4782210	869.6
1050	Eibar-Banco De Pruebas	121	543048	4781612	897.7
1053	Echevarria	100	542459	4789228	875.7
1056M	Arteaga	160	529462	4801500	867.5
1059	Punta Galea "Golf"	90	486272	4802529	763.2
1060	Amurrio 'Instituto'	219	499525	4766576	963.5
1064P	Orozco	181	508092	4772164	976.3
1065O	Llodio 'Depuradora'	205	504359	4776634	875.3
1070	Abadiano 'Mendiola'	160	531467	4776705	960.9
1071	Durango-Vivero	280	528749	4778390	834.2
1075E	Aranzazu	98	517121	4777426	1084.5
1077H	Bilbao-Labein	25	502795	4790361	757.3
1077P	Villasana De Mena 'E.F.P.'	312	476896	4771890	1028.0
1078	Pantano de Ordunte	400	475606	4777602	987.0
1078E	Valmaseda	320	484608	4783436	1019.0
1081U	Derio-Sima	67	510815	4794317	880.0
1082	Sondica 'Aeropuerto'	34	506060	4794528	888.0
1083	Arcentales	220	482019	4785540	679.5
1092A	Ramales de La Victoria 'G.C.'	84	462207	4789077	984.0

INDICATIVO	Nombre	ALTITUD	UTM X	UTM Y	Eto anual (mm)
1093	Carranza	220	470784	4785580	866.4
1095C	Udalla	80	463125	4796167	848.0
9060D	Lalastra "P.N.Valderejo"	911	481237	4747384	859.9
9062V	Villanueva de Valdegovia	590	491624	4744062	1063.4
9072G	Izarra 'Dfa'	634	507907	4755815	793.3
9074A	Salvatierra Col Claret	590	549590	4744822	898.2
9076	Ullivarri Gamboa 'Presa'	570	531871	4753170	873.3
9077C	Ollerias	550	526881	4759503	946.0
9080	Urrunaga 'Presa'	540	528502	4756302	867.3
9082T	Gauna 'La Ilarra'	599	540866	4742513	927.7
9084U	Escalmendi	515	529287	4747606	962.5
9085C	Araca 'Arvisa'	563	526720	4748613	885.6
9086	Arcaute	515	530662	4744557	918.3
9091O	Vitoria 'Aeropuerto Foronda'	508	522639	4748043	923.9
9092Z	Zumelzu	620	519896	4739614	846.9
9094	Ollavarre	534	513625	4740554	1026.0
9121	Haro	479	512173	4713684	1008.8
9145F	Leza 'Dfa2'	575	529845	4712905	986.1
9146I	Laguardia	620	534253	4711475	962.6
9148D	Oyon-Bodegas	410	546226	4704666	1040.1
9174	Sartaguda	310	578045	4690913	1002.2
9178C	Santa Cruz Campezo D F A	570	553402	4724429	947.6
9180	Estella	426	579219	4724337	939.4
9271	Lecumberri	571	589663	4761487	929.4
9275B	Goñi	865	589628	4745073	735.0
9276E	Mendigorría	385	596214	4720387	926.5
9279	Alloz 'Embalse'	475	586298	4728123	976.5
9293	Alfaro Escuelas	300	603231	4670847	1115.6
9293A	Alfaro Azucarera	300	603087	4671276	1048.8
IB01	Elorrio	172	536014	4775405	868.2
IB03	Amorebieta	65	521787	4785101	893.7
IB32	Urkizu (Arratia)	69	518620	4781370	971.9
KD01	Balmaseda (Kadagua)	174	482305	4780500	949.2
KD02	Aranguren (Kadagua)	87	489740	4784555	970.5
KD12	Sodupe	56	496493	4783287	935.8
NB01	Saratxo (Nerbioi)	224	499825	4764620	917.8
NB02	Gardea	150	501650	4774800	911.0
NB04	Zarátamo (Nerbioi)	55	509960	4785255	958.3
NB05	Abusu (Nerbioi)	16	507125	4788280	867.7
NB11	Orozko (Altube)	190	506987	4770419	900.4
OK01	Muxika (Oka)	20	525330	4793031	893.2

Con los datos de los valores puntuales se ha obtenido la distribución superficial de la evapotranspiración de referencia que se refleja en la Ilustración 61.

Ilustración 61 Evapotranspiración anual de referencia



Los promedios areales correspondientes a las Unidades Hidrológicas se incluyen en la Tabla 51. Nótese que estos valores son meramente indicativos, ya que en la fase de simulación se utilizan directamente las series puntuales afectadas por los coeficientes de ajuste.

Tabla 51 Valor promedio de la ET0 areal en las Unidades Hidrológicas

Nombre	ET de referencia (mm/año)
Bidasoa	828
Oiartzun	853
Urumea	882
Oria	837
Urola	836
Deba	871
Artibai	864
Lea	858
Oka	875
Butroe	855
Ibaizabal	929
Barbadun	801
Agüera	756
Karrantza	877
Omecillo	981
Baia	935
Zadorra	912
Inglares	970
Ega	929
Arakil	812
Ebro	987

5.5.2.1. RESULTADOS DE OTROS ESTUDIOS

Como se ha indicado, la Evapotranspiración real (ETR) es uno de los flujos principales del ciclo hidrológico. Esta ETR depende esencialmente de la evapotranspiración de referencia (potencial en la terminología clásica) y de la disponibilidad de humedad edáfica. Por ello resulta muy significativo la comparación de los resultados actuales con los de los estudios antecedentes.

En la Tabla 52 se recogen los valores promedio de las cuencas de los estudios antecedentes, en los puntos de comparación.

Tabla 52 Valores de la ET0 en los estudios antecedentes

Estudio actual		Estudios antecedentes	
Nombre	ET0 (mm/año)	Denominación	ETP (mm/año)
Urumea	882	Urumea completo	692
Oria	837	Oria completo	679
Urola	836	Urola completo	709
Deba	871	Deva completo	631
Artibai	864	Artibay (completo)	666
Lea	858	Oiz (completo)	655
Oka	875	Oca (completo)	651
Butroe	855	Butrón (completo)	690
Ibaizabal	929		603
Omecillo	981	Omecillo completo	605
Baia	935	Bayas completo	593
Zadorra	912	Zadorra completo	643
Inglares	970	Inglares completo	703
Ega	929	Ega en p. De arquijs	668
Arakil	812	Araqil en e.a.nº68 (asiain)	640

Se puede observar que la estimación actual es del orden de un 20 – 40% superior a las incluidas en los estudios anteriores. Diferencias razonables si se tiene en cuenta que el método de obtención de las series de ET0 en estos estudios fue el de Thornthwaite.

En todo caso hay que señalar que este tipo de desviación no tiene por que traducirse en diferencias sistemáticas en los resultados de los flujos hidrológicos ya que, habitualmente, en las fases de calibración y simulación, a los valores de la ET0 se les afecta de factores correctores con el objeto de obtener el cierre del balance. Si se parte de valores de ET0 mas elevados los factores serán de menor envergadura. Sí es relevante el hecho de que, en este estudio, las series de ET0 se han podido estimar con un intervalo diario lo que produce una mejora sensible en la simulación de procesos hidrológicos.

6. FORONOMIA

6.1. Estaciones de aforo

En el ámbito de la zona de estudio existe y ha existido un conjunto amplio de estaciones de medición de caudales. El listado inicial de estaciones consideradas en este estudio, descartadas ya las de menor interés, es el resumido en la tabla siguiente, clasificado según la red a la que pertenecen.

Tabla 53 Estaciones de aforo por organismo

RED	Total
DFG ¹⁵	41
DFB ¹⁶	24
CHN ¹⁷	14
CHE ¹⁸	12
DFA ¹⁹	10
IB ²⁰	8
RBCAS ²¹	7
EVE ²²	7
DFG/RBCAS	6
DFG/EVE	5
GN ²³	4
CAABB ²⁴	2
GEV ²⁵	2
UPV ²⁶	1
Total general	143

¹⁵ Diputación Foral de Gipuzkoa.

¹⁶ Diputación Foral de Bizkaia.

¹⁷ Confederación Hidrográfica del Norte

¹⁸ Confederación Hidrográfica del Ebro

¹⁹ Diputación Foral de Alava.

²⁰ Iberdrola.

²¹ Red Básica de control de las aguas subterráneas. Dirección de Aguas.

²² Ente Vasco de la Energía.

²³ Gobierno de Navarra.

²⁴ Consorcio de Aguas de Bilbao Bizkaia.

²⁵ Grupo espeleológico Vizcaíno.

²⁶ Universidad del País Vasco.

Destacan las redes de las Diputaciones y las de las Confederaciones. Entre las cinco totalizan 101 estaciones, 41 de las cuales son gestionadas por la Diputación de Gipuzkoa. Otras redes significativas son las de Iberdrola, la red básica de control de las aguas subterráneas, la red del Ente Vasco de la Energía y las cuatro del Gobierno de Navarra que se incluyen en la zona de estudio.

Algunas de estas estaciones han medido durante un período escaso de tiempo, como es el caso de las gestionadas por el Grupo Espeleológico Vizcaíno, o la Universidad del País Vasco, pero en la mayor parte de los casos se trata de redes que han ido consolidando poco a poco sus períodos de medida. Entre las más antiguas se encuentran las de las Confederaciones y las de Iberdrola.

En la mayor parte de los casos se trata de estaciones de aforo en cauces, algunas en cauce natural (típicamente las de las Confederaciones) y otras bajo estructuras de medición complejas (Diputaciones, Gobierno de Navarra). Muchas de ellas tienen un propósito de medida general y otras se han ubicado para investigar comportamientos hidrogeológicos específicos. Una descripción detallada de cada ubicación se recoge en el Anejo Nº 1.

Adicionalmente se han obtenido datos de otros puntos de medida como son los embalses y tomas principales con el objeto de proceder a la restitución al régimen natural.

La ubicación de las estaciones se puede observar en la Ilustración 62 y en la Tabla 54 se detalla el número de estaciones por red y por Unidad. No todas las estaciones son útiles para el proceso de calibración validación tal como se detalla más adelante.

Ilustración 62 Estaciones de aforo

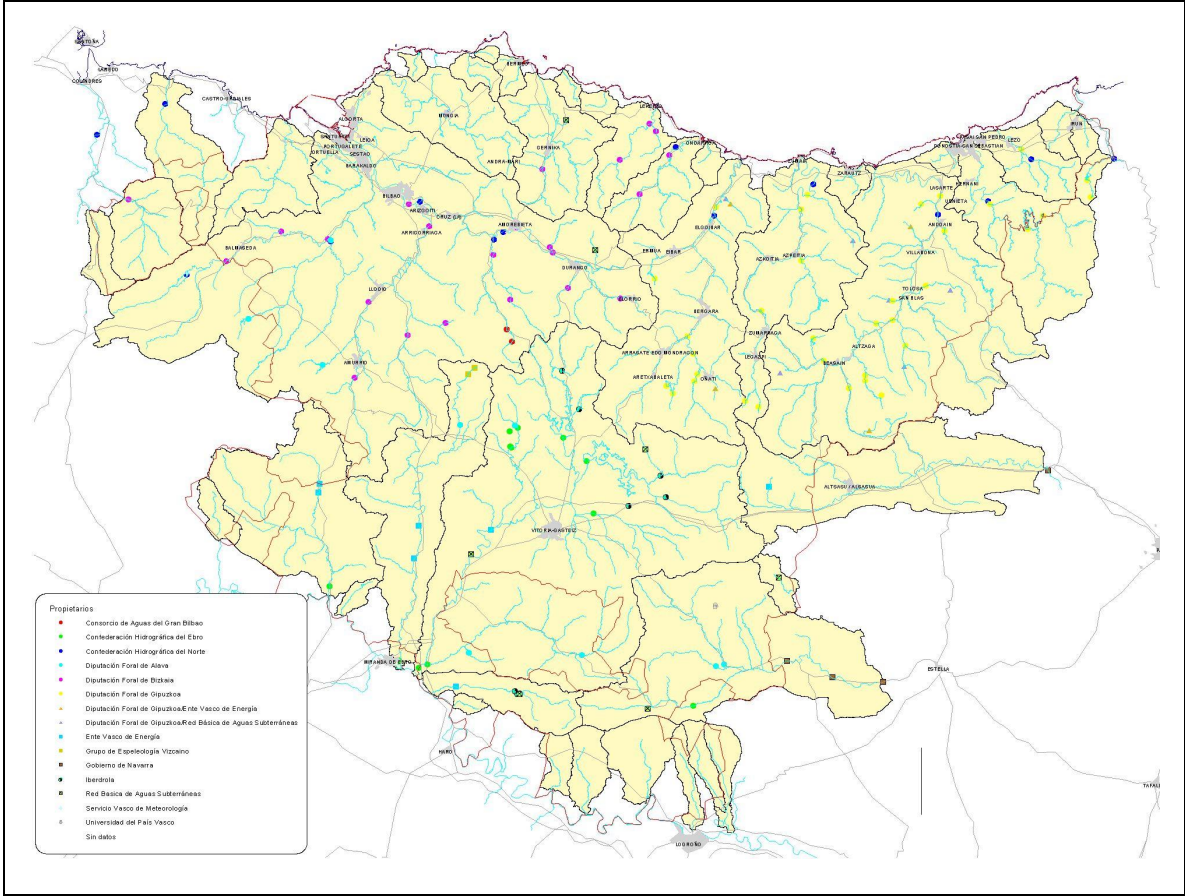


Tabla 54 Series de aforos recopiladas por Unidad y organismo

	DFG	DFB	CHN	CHE	DFA	IB	RBCAS	EVE	DFG/ RBCAS	DFG/EVE	GN	CAABB	GEV	UPV	Total General
Bidasoa	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Oiartzun	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Urumea	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Oria	18	0	1	0	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0	26
Urola	6	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8
Deba	8	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	12
Artibai	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Lea	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Oka	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Butroe	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Ibaizabal	0	16	5	0	3	0	1	0	0	0	0	2	0	0	27
Agüera	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Karrantza	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Omecillo	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3
Baia	0	0	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	2	0	6
Zadorra	0	0	0	9	3	5	2	1	0	0	0	0	0	0	20
Inglares	0	0	0	0	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	6
Ega	0	0	0	1	2	0	2	0	0	0	3	0	0	1	9
Arakil	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	5
Total general	41	24	14	12	10	8	7	7	6	5	4	2	2	1	143

6.2. Datos disponibles

6.2.1. *Comentarios de cara a la simulación*

Bidasoa

En la unidad hay tres estaciones de medida, la más relevante de cara al estudio es la de Endara, situada en cola del embalse, que cuenta con información desde octubre de 1996 hasta 30/09/1999. Hay una estación en Domiko, que mide un canal que baypasea al embalse de Endara y retorna en Irún. Como sus datos no son muy completos no permite la restitución adecuada de la serie anterior. La tercera estación es la de Endarlaza, muy completa, pero se trata de una cuenca externa al ámbito del estudio, por lo que no se incluye en los análisis de simulación.

Oiartzun

En el Oiartzun hay dos estaciones. La CHN107, con datos desde octubre de 1970 hasta septiembre de 2001, es una estación propiedad de la Confederación Hidrográfica del Norte, ubicada en cauce natural, por lo que su exactitud es menor que la de las dotadas de infraestructura. Tiene buena información, pero con un periodo de fallos durante los años 1991-1992. La E1Z1 en Arditurri, con datos desde diciembre de 1997 hasta el enero de 2001, es una EA que dispone de un canal que tiene una capacidad de 60 l/s, pero aproximadamente la mitad es retornado. En la estación se dispone de dos series: la E1Z1 y la E1W1, su restitución. Es una estación más exacta y controla una superficie mayor que la anterior.

Urumea

En el Urumea hay 4 estaciones de aforo, todas ellas pertenecientes a la DFG, a excepción de la N105, que pertenece a la CHN.

La estación D1Z1 está situada en la cola del embalse de Añarbe y proporciona dos series: la D1Z1, que son los caudales que circulan por ella, y la D1W1, que es esta misma mas el caudal que bypasea al embalse. La D1C2 (Urumea en Añarbe) mide los recursos del Urumea, en una ubicación muy interesante, pero desgraciadamente con pocos datos. En Ereñozu, la estación de la Diputación proporciona dos series: la medida en el río (D2Z1), y la suma de esta mas lo que circula por el canal (D2W1). La estación de Confederación, inmediatamente aguas abajo de la anterior, únicamente se puede restituir en el período de solape con la anterior, por ausencia de datos del embalse y de la toma de abastecimiento de San Sebastián, que puede suponer una detracción importante.

Oria

La unidad hidrológica Oria dispone de 26 estaciones de aforo, de las cuales, únicamente una pertenece a la Confederación Hidrográfica del Norte (CHN). El resto son estaciones de la Diputación Foral de Gipuzkoa, tres de ellas en colaboración con el Ente Vasco de Energía (EVE), y cuatro con el Gobierno Vasco (Salubita, Troya, Urbeltza y Zazpiturrieta).

En cabecera hay tres estaciones que miden cuencas pequeñas. “Troya rampa norte” de la que se dispone de dos series con periodos no coincidentes, Arriarán que está situada en la cola del embalse y la estación de Estanda, que tiene un trasvase aguas arriba y una tomas muy constantes. En Agauntza (Ataún) está la primera serie integradora. Hay dos series, la natural y la restituida con lo desaguado por el embalse de Lareo. La influencia del embalse es muy baja y casi inexistente, debido a sus escasas dimensiones. Es posible que el estiaje en la estación sea algo más acusado que el medido, debido al caudal ecológico mantenido por el embalse. En la zona del Osinberde, un afluente del Amundarain, existen cuatro puntos de medida diferentes, aunque en realidad sólo dos: el canal de la CAF, Osinberde en Zaldibia, Amundarain en Zaldibia y Amundarain en estación. La estación de Aldaba, en el río Mallotza, se construyó para controlar el trasvase al embalse de Ibiur.

Ya más aguas abajo, la estación de Alegia es una estación muy significativa e importante, ya que recoge las aportaciones de la cabecera del Oria. La de Zazpiturrieta mide los recursos provenientes de una cuenca hidrogeológica muy superior a la topográfica, y la de Bedaio mide los recursos de la cuenca del arroyo del mismo nombre, afluente del Amezketa. La estación de Salubita mide la aportación del afluente de su nombre. La estación estaba situada en la presa antigua y dejó de funcionar durante un año y se instaló de nuevo en una localización ligeramente distinta. La de Urbeltza es una estación de aforo que mide una cuenca topográfica muy pequeña y que no coincide con la cuenca aportante. En Belauntza hay una estación que mide los recursos del río Zelai y en este caso tampoco coinciden la cuenca topográfica con la aportante. En la zona de Lepasoro, hay dos estaciones que reflejan los recursos del Asteasu, siendo la principal la de Zizurkil.

En el Leitzarán, la estación de Andoaín es la más representativa de la hidrología de este importante afluente y es otra de las estaciones principales del estudio. Aunque técnicamente se considera, como todas las series, en régimen natural puede presentar algunos retrasos debidos a desviaciones y depósitos intermedios. Hay más estaciones aguas arriba, pero esta es la más determinante de todas. En Andoaín se ubica la estación de la Confederación Hidrográfica del Norte, y presenta los problemas generales de las estaciones de este tipo. Más aguas abajo está la de Abalotz que mide los recursos de un afluente poco significativo.

Finalmente, la estación de Lasate es una estación fundamental, aunque por ahora no tiene muchos datos. A pesar de los innumerables usos del agua localizados aguas arriba, el hecho de que se traten mayoritariamente de usos urbanos e industriales, y la relativamente baja proporción de recursos detraídos, hace que se pueda considerar a la serie en régimen natural.

Lógicamente, interesa comparar, en el periodo de solape, los datos de esta estación con los de la N080, con periodo mucho más largo. En ese período, el caudal medio de la C9Z1 es 18.70 m³/s y en la N080 22.37 m³/s, un 22 % superior. Además la sobreestimación es mayor en caudales bajos. La diferencia en la superficie de las cuencas aportantes a ambas estaciones no parece justificar esta diferencia aunque disminuiría una posible sobre estimación.

En general, el Oria es una cuenca con muy buena información de aforos. Algunas de las series son cortas, pero al tratarse de información abundante es posible tenerlas en cuenta durante el proceso de validación o, alternatively, se puede prescindir de algunas al ser muy abundantes. En general, el recubrimiento espacial y temporal es bueno, lo que permite una buena representación del comportamiento del flujo en la cuenca.

Urola

De las 8 estaciones de aforo que hay en el Urola, 7 pertenecen a la Diputación Foral de Gipuzkoa, y una a la CHN. La de Barrendiola está situada en la cola del embalse, y mide la suma de la aportación natural y el trasvase proveniente de la cuenca lateral. Aguas arriba de la estación entra un trasvase sin monitorizar desde una cuenca lateral de poca entidad. Aguas abajo de la estación entra otro trasvase, este medido, que procede de otra cuenca lateral.

Aguas abajo está la estación de Aitzu, una buena estación que integra las aportaciones de la cabecera y que casi se puede suponer en régimen natural. La estación de Ibaieder proporciona una serie que es necesario restituir al regimen natural por la influencia del embalse, que tiene una capacidad de 11.3 hm³. La estación de Granadaerreka es una EA que controla un manantial kárstico de difícil calibración. Formaría parte del grupo de las de ajuste en segundo nivel. La estación de Aizarnazabal ocupa una posición estratégica por integrar la hidrología de la cuenca. Aguas abajo, la CHN 109, en cauce natural, puede tener los problemas de medición habituales en este tipo de estaciones. Finalmente, la estación de Hamabiturri mide la salida de un manantial kárstico que drena una parte importante de la Unidad Hidrogeológica de Gatzume, subunidad Zestoa. En general, en el Urola la información es muy buena en todas las estaciones, aunque se trate de series temporales cortas.

Deba

En el río Deba se cuenta con muy buena información de aforos. Se dispone de 12 estaciones de aforo. La estación de San Prudentzio es una buena estación que mide prácticamente el régimen natural de gran parte de la margen derecha de la cabecera, a excepción de la desviación del canal de Bolivar, que alimenta el embalse de Urkulu. Hay un conjunto de estaciones en cabecera por la margen derecha: Ubao, que por su falta de precisión y corto periodo de datos se aconseja dejar para una segunda calibración, y Arantzazu, Lamiategi y Zuazola que se pueden utilizar como una única estación debido a los cambios de

emplazamiento. Finalmente, Zubillaga se puede considerar como una serie natural sin aprovechamientos significativos aguas arriba. Esta última es la más significativa de las citadas de cara a la integración de los datos de la margen derecha de la cabecera.

La estación de Urkulu, situada en la cola del embalse, mide una cuenca de 9 km² que no es la cuenca real ya que se trata de una zona de calizas vertientes. Existe otra estación (Bolibar) que mide lo que entra por el canal al embalse de Urkulu. Aguas abajo, en el Ego, la estación de Aixola se ubica en cola del embalse del mismo nombre.

Aguas debajo de la confluencia del Ego con el Deba, están las dos estaciones principales de la cuenca. La primera es la estación 103 de la Confederación Hidrográfica del Norte. Es una estación de cauce natural y es posible que sufriera modificaciones en la avenida de 1983. Las curvas de gasto están mal ajustadas para caudales bajos y altos, pero parece que mide bien en caudales medios. Aguas abajo está la estación de Altzola, que es la estación más integradora y fiable de la cuenca. Es, por lo tanto, la estación principal para el ajuste del modelo de simulación. Aguas abajo confluye el Kilimon, con dos estaciones: la de Irabaneta, que es una estación en canal que recoge la salida intermitente de un manantial kárstico (las "Aguas Burlonas del Kilimon"), y la de Mendaro, que es una estación con medidas problemáticas.

En general, la información disponible permite realizar de forma satisfactoria el proceso de calibración y validación, esta última de forma espacial y temporal, de tal forma que garantice un buen comportamiento del modelo de simulación.

Artibai

Hay tres estaciones de aforo en la cuenca del río Artibai, dos de la Diputación Foral de Bizkaia (DFB) y la otra de la CHN. La AR01 en Iruzubieta, está situada en cabecera y tiene buena información que va desde 1987 hasta 2002. La AR02, Berriatua, situada en punto más integrador, es una serie corta que va desde octubre de 2001 hasta abril de 2002 por lo que no se puede usar en calibración. Finalmente la CHN141, Berriatua, muy cerca de la anterior, tiene datos desde los años 70, con los problemas de las estaciones en cauce natural.

Con esta información es posible realizar la calibración y la validación espacial y temporal de forma satisfactoria, pero cuando se disponga de los datos de la AR02 las labores se podrán realizar de una forma mas satisfactoria.

Lea

En la cuenca del río Lea se dispone de tres estaciones de aforo que comienzan a proporcionar datos desde 1987, con registros hasta 2002. Las estaciones son la LE01 Aulestia, la LE02

Oleta y la LE11 Arbina. La LE01 es un limnigrafo en el remanso de una presa que mide el régimen natural al no haber aprovechamiento de magnitud aguas arriba. La LE11 mide un afluente por la derecha, aguas abajo de Oleta, y la LE02 mide otra vez el río principal. La razón de las tres estaciones es que hay un paquete de calizas entre la LE01 y la LE02 que modifican el régimen fluvial. Es posible encontrarse con comportamientos anómalos en las series de datos por este motivo. La LE02 se rediseñó debido a falta de precisión y en 2001 se construyó un vertedero Krump.

Oka

En la unidad hidrológica Oka hay dos estaciones de aforo, una perteneciente a la Diputación Foral de Bizkaia (DFB), y otra al Gobierno Vasco (GV). Las dos estaciones tienen muy pocos años completos (2 y 1 respectivamente), además de ser estos muy recientes y con una aportación específica muy diferente. La OK01 disponía de datos antiguos, que se han desechado dado que se anegaba. La SA06 tiene muy poca trascendencia de cara al estudio de recursos porque mide un comportamiento específico del acuífero y la zona endorreica. Se trata de una EA situada a la salida de un manantial.

Butroe

En el Butroe sólo hay una estación de la DFB. Se trata de la BU02, todavía sin datos.

Ibaizabal

En el sistema Ibaizabal hay 27 estaciones de aforo, de las cuales 5 pertenecen a la Confederación Hidrográfica del Norte, 3 a la Diputación Foral de Álava, 15 a la Diputación Foral de Bizkaia, 1 a la Red Básica de Control de las Aguas Subterráneas (RBCAS) y 2 al Consorcio de Aguas de Bilbao Bizkaia (CAABB).

Comenzando por la cabecera del Ibaizabal, la estación de Arria-Patala mide la descarga subterránea de un acuífero detrítico mixto, estando el punto de medida próximo al manantial de Arria. La estación de Mañaria mide el drenaje de una zona kárstica con un importante desfase entre las cuencas superficial y subterránea. La estación de Elorrio únicamente tiene datos desde septiembre de 2000 y cuando disponga de más datos será una estación muy interesante. La de Oromiño mide el drenaje del acuífero de Oitz a través de esta cuenca. La otra estación de cabecera es la de Berna, ubicada en una posición muy interesante, pero todavía con muy pocos datos.

La estación de Amorebieta mide la escorrentía superficial en régimen completo y se considera muy representativa de la cuenca de cabecera. Es la primera estación principal a usar en

calibración y se puede considerar en régimen natural. Un poco aguas abajo se ha citado la estación CHN 163 (Lemona).

Pasando al Arratia, en Undúrraga hay dos puntos de toma de datos. En cola, hay una estación que mide el régimen natural de una fracción de la cuenca vertiente al embalse y el otro punto es la propia presa, que forma un embalse de 1.9 hm³. Aguas abajo está la estación de Urkizu, una buena estación, pero en caudales bajos es menos exacta aunque está bien calibrada. Puede haber algunas tomas poco significativas entre Undúrraga y esta estación y es una serie muy afectada por los trasvases. Inmediatamente a continuación está la CHN 164 (Lemoa), estación dotada de limnógrafo pero situada en cauce natural. En el Indusi, afluente del Arratia, se ubica la estación de Dima, con pocos datos.

En el Nerbión la estación situada más en cabecera es la de Saratxo. Está en régimen natural y en cauce natural. Está considerada como una buena estación. En estiaje se pueden observar algunos tramos del río seco ya que la aportación específica de la zona es muy baja y la poca que hay fluye por el subálveo del cauce. La estación de Maroño está fuera de uso y era una regla que se instaló con anterioridad a la construcción del embalse. La estación de Orozko, en el Altube, también está en régimen natural. La estación es menos fiable que otras porque está en un tramo con mucha pendiente y en curva, donde no se pueden hacer aforos con precisión. La estación de Gaiartu, que mide un afluente del Altube, es una estación mixta en cuanto a régimen y que funciona bien. Está en régimen natural aunque hay unas tomas de abastecimiento de Amurrio que retornan al Altube, aunque son de escasa magnitud.

Volviendo al Nerbión, la estación de Gardea casi se seca naturalmente en el verano. De hecho se mantiene por los retornos de Amurrio, que es necesario restar para la obtención del régimen natural. Tiene un caudal base muy pequeño, en torno a 40 l/s. De ellos, aproximadamente la mitad pertenece a los retornos aguas arriba de la estación. Aguas abajo está la de Zaratamo, que casi se puede considerar otra vez en régimen natural, porque ya ha recibido los retornos de las tomas de aguas arriba. Únicamente le afectaría la regulación de Maroño, pero por sus dimensiones, no parece muy significativa. Es una buena estación con mucha más aportación específica que las de cabecera por los aportes del Zeberio y del Altube.

Otra vez en el Ibaizabal, la CHN 158 comparte las características del resto de las estaciones de la CHN. La de Abusu, algo más aguas abajo, está alterada por el régimen del trasvase, pero es una estación que mide muy bien en aguas bajas. Es la estación con más cuenca vertiente de todas las del Ibaizabal.

En cabecera del Kadagua, la CHN 177 es el embalse de Ordunte, gestionada por el Ayuntamiento de Bilbao, aunque catalogada como perteneciente a la CHN. La serie original está afectada por el trasvase Cerneja-Ordunte y el propio embalse que tiene un canal desde el

que se deriva hasta las potabilizadoras de Bilbao. Es una serie problemática debido a la carencia de datos de explotación del trasvase y a la falta de datos de los vertidos al cauce durante mucho tiempo (hasta 21/12/1997). Este problema se traslada aguas abajo, sin poderse restituir los datos antiguos. La estación de Balmaseda está afectada por el embalse y el trasvase, pero es una buena estación, una vez restituida. En cabecera del Herrerías, la estación de Artziniega es una regla como la de Maroño que se utilizó para la toma de datos previa a la construcción del embalse. No se sabe de su bondad, pero parece poco fiable, en principio. Aguas abajo está la estación KD12, que se puede considerar en régimen natural, aunque tiene muy pocos datos. Muy cerca, la CHN 175 es una regla simple en cauce natural. Dada la trascendencia de la estación KD12, en una segunda fase de recopilación se obtuvieron mas datos de la misma hasta diciembre de 2003.

En términos generales la información del Ibaizabal se puede considerar buena, ya que cubre todo el área de estudio y un amplio rango temporal, lo que permite realizar la calibración y la validación temporal y espacial. Sin embargo, es importante anotar que en el Kadagua la situación es peor que en el resto.

Agüera

En la cuenca del río Agüera se encuentra la estación CHN186, Guriezo, que dispone de información desde 1970, aunque se observan datos intermitentes. Una inspección visual arroja dudas sobre la calidad de los datos. Se localizan saltos en la serie que no son explicables por fenómenos naturales. Del análisis de los datos de calado y caudal se identifica el uso de curvas de gasto distintas, pero se desconocen los motivos del cambio y la fecha exacta del mismo. Por estos motivos se considera que esta serie de datos es fiable únicamente en el periodo de los últimos 15 años, existiendo serias dudas sobre la calidad de los datos anteriores. Al disponerse de una única estación, no es posible realizar validación espacial en esta Unidad.

Karrantza

Existe información en dos estaciones, pero una de ellas no ha sido incluida en el estudio debido a que su cuenca vertiente se localiza en su mayor parte fuera de la zona de estudio. La estación empleada para la calibración es la KR01 que tiene información desde el año 1969 hasta el 2001. La estación consiste en una regleta ubicada encima de un azud. La información es completa, por lo que ha sido factible seleccionar un período de calibración y uno para la validación, pero no es posible realizar la validación espacial.

Omecillo

Son tres las estaciones de aforo en la cuenca del río Omecillo, la estación localizada antes de la desembocadura en el río Ebro es la CHE188, Berguenda, la cual dispone de datos desde 1980 hasta 1999 con unos pocos períodos con fallo. Las dos estaciones localizadas aguas arriba tratan de medir el aporte de un manantial. Se trata de OSMA1 y OSMA2 cuyo registro va desde el 86 hasta 2001 con algunos períodos de fallo. Osma 2 controla el manantial aguas arriba y Osma 1 aguas abajo. Ambas están en sección natural. Se considera que se realiza un buen mantenimiento y que las curvas de gasto están contrastadas en aguas bajas y altas. La estación de Berguenda pertenece a la CHE. Según el estudio de recursos de la CHE los datos anteriores al año 1980/81 no se consideran fiables ya que en esa fecha se produjo un cambio en la instalación, incluyendo la colocación del limnógrafo.

Baia

En el Baia hay 6 estaciones de aforo, dos de las cuales pertenecen al EVE, una a la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), otra a la Diputación Foral de Álava (DFA) y las dos últimas al GEV (Grupo de Espeleología Vizcaino).

La estación de Azoleta es la ubicada en la zona más alta y parece ser que sus datos son poco fiables en caudales altos. La estación se ubica en sección natural y está dotada de limnógrafo. Ubegui es de características parecidas a la anterior y está ubicada en sección natural. La estación de Sarria se localiza en un punto muy interesante, pero es muy reciente y todavía no dispone de series prolongadas. La estación de Aprikano no está activa actualmente y su objetivo era controlar el caudal aguas arriba de una zona del acuífero Subijana. Está en sección natural y dotada de limnógrafo. Los datos pueden tener una fiabilidad escasa, pero su ubicación es importante porque aguas abajo el río puede quedar seco en épocas de estiaje. La de Pobes dispone de unos 10 años de datos y su misión es controlar el caudal aguas abajo del sumidero del acuífero Subijana. La infiltración aparece aguas abajo del sistema (podría baypasar a la estación de la CHE). Es posible que para caudales altos la curva de gasto no se ajuste bien a la realidad. Está en sección natural y dotada de limnógrafo. La estación de Miranda está prácticamente en la desembocadura. Es de la CHE y esta desprovista de limnógrafo, pero parece ser que es controlada asiduamente. Hay varias curvas de gasto a partir del año 1975/76, si bien sólo son válidos los datos desde 1976/77. Parece ser que las curvas de gasto varían bastante, por lo que hay una cierta incertidumbre asociada a la estación.

Zadorra

En el Zadorra hay 20 estaciones de aforo, 9 pertenecen a la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), 3 a la DFA, 2 a la RBCAS, una al Ente Vasco de Energía (EVE), y las seis últimas a Iberdrola (IB).

En la cabecera del Zayas hay un conjunto de cuatro estaciones de la CHE. Son las que tienen códigos 221, 222, 223 y 224. La 222 (Suibarri en Gopegi) comienza a funcionar en el 1978/79 y con una sola curva de gasto establecida por el Centro de Estudios Hidrográficos. Controla una cuenca muy pequeña en la que no hay aprovechamientos, por lo que se puede considerar en régimen natural. Su objetivo es controlar sumideros entre estaciones. La 223 (Suibarri en Ondategui) es análoga a la anterior, aguas abajo, con unos 10 años de datos, pero con muchas lagunas. La 221 (Subialde en Larrinoa) tiene aguas arriba dos de las tomas del abastecimiento de Vitoria, y, finalmente la 224 (Subialde en Ondategui), tiene datos en 10 años, pero están todos a cero. La Che la caracteriza como fuera de uso por lo que es totalmente inutilizable. Aguas arriba de la de Larrinoa está el Molino Murua que únicamente tiene datos de un año y parece que tiene una gran componente de aguas subterráneas.

Aguas abajo de la incorporación del Zayas al Zadorra hay dos estaciones que controlan dos afluentes laterales. Trespuentes, que tiene una serie muy corta, que únicamente serviría para caracterizar los manantiales de cabecera del afluente, y la del manantial de Nanclares, que tiene un fuerte caudal base.

Ya en cabecera de la cuenca de Urrúnaga está la estación de Otxandio, estación de Iberdrola con el código H153. El embalse de Albina es un punto de datos muy interesante, pero solo se dispone de los datos de volúmenes almacenados en el embalse por lo que no es posible obtener una serie de aportaciones en este punto. En la localización del embalse de Urrúnaga hay una serie histórica de la CHE, con el código 108, que refleja caudales medidos en el río previa a la construcción de la presa. Son 10 años, de 1945 a 1954, que se han anexado a las series deducidas de los datos del embalse posteriores.

En cabecera de Ullibarri, la estación de Elgea controla un arroyo y pertenece a la Red Básica de Control de Aguas Subterráneas. Es una estación en azud aforada regularmente, por lo que sus datos son de calidad. De cara a un estudio de recursos es de poca trascendencia, pero representa los barrancos de la margen derecha de cabecera del Barrundia. En Ozaeta hay una estación cuyos datos son manejados simultáneamente por el Gobierno Vasco y por Iberdrola. Controla la entrada a Ullibarri por el Barrundia, un punto muy interesante, a pesar de tener regadíos aguas arriba. La estación de Audikana es también de Iberdrola y mide la entrada a Ullibarri desde el Zadorra y tampoco está en régimen natural. En el propio embalse de Ullibarri hay una serie histórica previa a la construcción de los embalses, como ocurría en Urrúnaga.

Tiene código 107 y está prácticamente en régimen natural. Con posterioridad se dispone de las series del embalse para obtener la restituida.

Hay una estación de aforos en el Canal del Alegría, que conecta los ríos Arborcón, Alegría y Arganzubi con la cola del embalse de Ullivarri. El canal pertenece al Ayuntamiento de Vitoria, pero es controlado por Iberdrola. Aguas abajo de la toma se ubica la estación Nº 204 de la CHE (Alegría en Matauko). Es una estación de aforo fuera de servicio con tres curvas de aforo establecidas por el CEH entre 1970/71 y 1981/82, que corresponde al periodo con datos registrados. Sólo tiene 9 años de datos y posiblemente influenciados por el trasvase. Además tiene regadío aguas arriba.

En el Ayuda se localiza la estación de Pariza. Fue construida por la DFA para estudiar la hidrogeología de la zona, tiene doble canal y está abandonada. Sólo hay un año con datos. En Mijancas hay una estación construida para el mismo estudio hidrogeológico y abandonada posteriormente. Mide los recursos de un afluente lateral. Finalmente la estación Nº 75 de la CHE (Ayuda en Berantevilla) es una estación provista de limnógrafo desde sus comienzos y controlada periódicamente por medio de aforos directos. En el periodo 1965/66 a 1985/86 se ajustaron cuatro curvas de gasto diferentes. La primera es anterior al 31 de marzo de 1967, en que se cambia de sección, añadiendo dos vertederos, solera y murete separador. Es una estación importante para controlar el Ayuda, aunque está afectada por el riego aguas arriba.

La última estación del Zadorra es la CHE 074 (Zadorra en Arce). Es una estación controlada periódicamente por la CHE. En los estudios de la CHE se han ajustado entre 1965/66 y 1985/86 tres curvas de gasto diferentes, si bien la segunda tiene dos periodos de validez, antes y después del correspondiente a la tercera curva. En cualquier caso, las diferencias entre curvas son mínimas y corresponden a los niveles más bajos. Se trata de una serie correspondiente a un régimen muy alterado.

Resumiendo la disponibilidad de datos, en un primer grupo compuesto por estaciones con elevado número de años con datos disponibles y además muy completos se encontrarían las estaciones de Ullívarri, Urrúnaga y Berantevilla. Un segundo grupo compuesto por tres estaciones, Audikana, Otxandio y Arce, se caracteriza por tener datos desde finales de los años 60 hasta finales de los años 90, y disponen además de un elevado número de datos. El tercer grupo estaría formado por las estaciones del Subibarri, tanto en Gopegi como en Ondategi (E222 y E223). Son estaciones que disponen de series de datos desde 1978 hasta 1993. Otro grupo de estaciones, la E221, y la SA04, ubicadas en Larrinoa y Nanclares, se caracterizan por disponer de datos a partir de los años 80. El resto de estaciones tienen en común la disponibilidad de datos en un periodo de tiempo muy corto.

En general, la información es buena y hace factible el uso de algunas de ellas para la validación espacial y otras para la validación espacio temporal, debido a la longitud y fecha de inicio de las series temporales de aforo. Las series de aforo en CHE107 y CHE108 (y la de la desembocadura por arrastrar la restitución) presentan un ruido, que debe ser tenido en cuenta, proveniente de las dificultades de la restitución de unos caudales tan altos como los que se trasvasan entre las estaciones y hacia el Arratia.

Inglares

En el Inglares hay 6 puntos de medida. Tres de Iberdrola, uno del EVE, uno de la Diputación Foral de Álava (DFA) y un último de la RBCAS.

Hay tres estaciones en cabecera. La de Montoria la Mina que mide un afluente del Inglares y solo tiene tres años de datos, la del Manantial de Peñacerrada, que controla un manantial y tiene casi 5 años de datos con un aspecto de contribución subterránea apreciable. Y finalmente la de Peñacerrada, que está situada aguas abajo del manantial y aguas arriba de un aprovechamiento hidroeléctrico. Es una estación bastante nueva con sección buena, pero sólo dispone de 1 año de datos y en ellos se aprecia algún problema de medición.

Iberdrola tiene tres estaciones en la zona. La de Puente Payueta es la primera y está ubicada en el puente. La del Molino de Payueta previsiblemente mide el agua derivada para el aprovechamiento hidroeléctrico y finalmente la de Payueta supuestamente mide el retorno del agua derivada. No son utilizables para calibración.

La estación de Ocio es la estación situada más aguas abajo de las del Inglares. Por sus características, es una estación de calibración aunque sólo dispone de cinco años de datos.

Ega

La Unidad Hidrológica Ega dispone de 9 estaciones de aforo. 2 de estas estaciones pertenecen a la Diputación Foral de Alava (DFA), una a la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) otra ha sido gestionada por la Universidad del País Vasco (UPV), 3 al Gobierno de Navarra (GN) y las dos últimas a la RBCAS.

La estación ubicada más en cabecera es la de El Soto, que controla las aportaciones de un manantial. El 55% de la serie temporal está incompleta y presenta formas muy planas que no parecen corresponder con la variabilidad previsible. La primera del eje es la Nº 6 de la CHE (Ega en Marañón). Según la CHE, esta estación ha sido controlada con asiduidad mediante aforos directos, aunque su curva no ha cambiado, manteniéndose estable en el periodo revisado: desde 1965/66 hasta 1985/86. La estación no está en régimen natural ya que aguas

arriba hay aprovechamientos de riego. En la parte baja del Izki está la estación del mismo nombre que es una estación utilizada para el estudio de los Montes de Vitoria. Actualmente no está operativa. y tiene unos cuatro años con datos. También en la zona, en el Berrón, están las estaciones de Sabando y Antoñana. Sabando, que controla un pequeño manantial, ya no está operativa y tiene un período de datos más o menos coincidente con la anterior. Se considera que está en régimen natural. Antoñana también es del mismo estudio y con periodo de datos coincidente. La información de estas estaciones es incompleta y de dudosa calidad.

Volviendo al eje del Ega, encontramos tres estaciones del Gobierno de Navarra. La primera y más nueva es la de Arquijas. Parece ser que se ha presentado algún problema con la curva de gasto, porque sus responsables consideran que mide fuera del rango que consideran normal. Hay que señalar que las estaciones del GN en esta zona pretenden precisamente analizar las percolaciones y filtraciones a los acuíferos. Esta estación y las de aguas abajo tienen un nivel de afección variable por las tomas de riego. La estación de Ancín tiene datos desde 1987 y la de Murieta es la última del grupo y donde se ha cerrado el ámbito del sistema. La evolución de las aportaciones a lo largo del río principal indica una compleja relación río-acuífero sobre todo en Navarra. Analizando las tres estaciones, se observa un incremento del coeficiente de escorrentía según se avanza en superficie, mientras que tanto la precipitación como la evapotranspiración potencial se mantienen constantes. Según los datos de la publicación “Las aguas subterráneas en Navarra”, esto se explica porque en Murieta se drena parte del agua que se infiltra en la cuenca de Ancín, así como la que procede de la recarga del río Ega.

Finalmente la estación SA05 (Zarpia), con 9 meses de datos, controla un pequeño afluente, con una gran influencia hidrogeológica, por lo que se calibró de forma independiente.

Arakil

En el Arakil hay cinco estaciones de aforo. Tres de ellas pertenecen a la Diputación Foral de Gipuzkoa y están dedicadas a la medición de unos canales muy específicos en la zona del Añarri. Ya dentro de los procesos de la cuenca, la estación del manantial del Araia mide un manantial en la cuenca del Burunda. Es una serie totalmente hidrogeológica con fuerte aportación de aguas subterráneas y con una cuenca hidrogeológica muy superior a la topográfica. Dispone de cuatro años de datos.

En la unidad se encuentra el embalse de Urdalur, con una cuenca vertiente de 20.5 km² y una capacidad de 5 hm³. No hay datos del embalse ya que ha entrado en explotación recientemente. En el futuro será un punto de datos muy interesante. Finalmente, el sistema se ha extendido hasta la estación de Echaren del Gobierno de Navarra, la primera disponible para calibración.

6.2.2. Disponibilidad de datos de aforos

De lo anterior se deduce que todas las unidades disponen de alguna serie con excepción del Butroe, el Barbadún y los barrancos vertientes al Ebro. En algunos sistemas el número de series es muy importante, como en el caso del Oria o del Ibaizabal, pero en otros es frecuente contar únicamente con dos o tres estaciones de medida.

Hay un conjunto de estaciones que miden derivaciones y/o caudales fluyentes por canales que son de utilidad para las restituciones al régimen natural, pero que no suponen un punto de medida de caudales fluyentes por los cauces. Otro grupo de estaciones disponen de escasos datos o en períodos muy alejados del resto, con lo que se dificulta la validación espacial. Por ello, finalmente, se han seleccionado 113 estaciones candidatas a la calibración / validación, que son las que se resumen en la Tabla 55.

Tabla 55 Datos de las series de aforo

Codigo	UH	Nombre de la serie	Río	Inicio serie	Fin serie	Superficie cuenca (km²)
N186	Agüera	Guriezo	Agüera	octubre-70	septiembre-01	127.3
ARAI	Arakil	Araia	Burunda	junio-87	diciembre-91	2.2
G433	Arakil	Echarren	Arakil	mayo-89	marzo-02	407.0
AR01	Artibai	Iruzubieta	Artibai	febrero-87	diciembre-01	24.2
N141	Artibai	Berriatua	Artibai	octubre-70	septiembre-98	93.2
APRI	Baia	Aprikano	Baia	enero-86	diciembre-96	205.8
E165	Baia	Miranda	Baia	octubre-78	septiembre-98	322.6
POBE	Baia	Pobes	Baia	junio-85	diciembre-96	241.1
SARR	Baia	Sarria	Baia	agosto-00	diciembre-01	40.1
UBEG	Baia	Ubegi	Baia	octubre-81	septiembre-84	5.8
F1Z1	Bidasoa	Endara E+ Domiko (C)	Endara	septiembre-96	septiembre-99	6.3
A1J3	Deba	Onati	Oñati	octubre-86	abril-90	2.6
A1T2	Deba	Lamiategi	Arantzazu	diciembre-86	junio-92	49.0
A1T3	Deba	Zuazola	Arantzazu	febrero-93	septiembre-00	53.9
A1Z1	Deba	San Prudentzio	Deba	julio-95	enero-02	123.0
A1Z2	Deba	Zubillaga	Oñati	agosto-89	abril-01	99.4
A1Z3	Deba	Urkulu (Emb)	Urkulu	diciembre-87	enero-02	10.1
A2Z1	Deba	Aixola (Emb)	Aixola	junio-86	enero-02	4.7
A3S1	Deba	Irabaneta	Kilimoi	diciembre-85	septiembre-01	11.2
A3T1	Deba	Mendaro	Kilimoi	agosto-85	enero-02	13.0
A3Z1	Deba	Altzola	Deba	abril-95	enero-02	460.9
N103	Deba	Alzola	Deba	octubre-69	septiembre-98	450.2
ANTO	Ega	Antoñana	Berrón	octubre-82	septiembre-87	135.5
E006	Ega	Marañon	Ega	octubre-47	septiembre-99	88.5
G311	Ega	Arquijas	Ega	noviembre-98	marzo-02	414.2
G313	Ega	Ancín	Ega	octubre-86	marzo-02	477.4
G314	Ega	Murieta	Ega	octubre-86	marzo-02	553.1
IZKI	Ega	Izkiz-Bujanda	Izki	octubre-82	septiembre-87	55.6

Codigo	UH	Nombre de la serie	Río	Inicio serie	Fin serie	Superficie cuenca (km²)
SA02	Ega	El Soto	Ega	septiembre-90	mayo-02	11.8
SABA	Ega	Sabando	Sabando	octubre-82	septiembre-87	3.3
SA05	Ega	Zarpia	Larrondoa	enero-93	diciembre-01	11.0
ARTZ	Ibaizabal	Artziniega	Artziniega	febrero-71	julio-83	13.0
IB01	Ibaizabal	Elorrio	Ibaizabal	septiembre-00	abril-02	29.4
IB03	Ibaizabal	Amorebieta	Ibaizabal	julio-98	marzo-02	233.5
IB11	Ibaizabal	Mañaria	Mañaria	enero-95	marzo-02	18.7
IB21	Ibaizabal	Oromiño	Orobio	diciembre-89	marzo-02	21.9
IB32	Ibaizabal	Urkizu	Arratia	octubre-95	diciembre-01	128.4
KD01	Ibaizabal	Balmaseda	Kadagua	octubre-95	marzo-02	195.6
KD12	Ibaizabal	Herrerías	Herrerías	abril-00	diciembre-03	254.5
MARO	Ibaizabal	Maroño	Izoria	septiembre-74	junio-88	20.5
N158	Ibaizabal	Etxabarri	Ibaizabal	octubre-78	julio-90	997.0
N163	Ibaizabal	Lemona	Ibaizabal	octubre-70	septiembre-98	252.4
N164	Ibaizabal	Lemoa (Arratia)	Arratia	octubre-70	septiembre-98	138.2
N175	Ibaizabal	Sodupe en Güeñes	Herrerías	octubre-70	septiembre-98	254.4
N177	Ibaizabal	Ordunte (Emb)	Ordunte	enero-98	octubre-02	44.2
NB01	Ibaizabal	Saratxo	Nerbioi	marzo-89	marzo-02	87.7
NB02	Ibaizabal	Gardea	Nerbioi	octubre-95	marzo-02	188.7
NB04	Ibaizabal	Zarátamo	Nerbioi	julio-87	marzo-02	509.5
NB05	Ibaizabal	Abusu	Nerbioi	octubre-92	marzo-02	1001.5
NB11	Ibaizabal	Orozko	Altube	agosto-92	abril-02	117.9
NB12	Ibaizabal	Gaiartu	Ursalto	abril-87	marzo-02	10.3
SA07	Ibaizabal	Arria-Patala	Sarria	enero-96	diciembre-01	9.5
UNDC	Ibaizabal	Undurraga Cabecera	Arratia	febrero-56	septiembre-02	19.4
UNDU	Ibaizabal	Undurraga	Arratia	marzo-74	septiembre-02	28.3
H156	Inglares	Molino Payueta	Inglares	octubre-82	septiembre-87	5.1
H157	Inglares	Puente Payueta	Inglares	octubre-82	septiembre-87	55.2
MONT	Inglares	Montoria-La Mina	La mina	octubre-82	septiembre-85	10.5
OCIO	Inglares	Ocio	Inglares	noviembre-88	diciembre-93	85.8
SA01	Inglares	Peñacerrada	Inglares	diciembre-88	diciembre-01	48.3
KR01	Karrantza	Karrantza	Karrantza	marzo-87	marzo-02	110.6
LE01	Lea	Aulestia	Lea	febrero-87	marzo-02	39.1
LE02	Lea	Oleta	Lea	febrero-87	abril-02	69.4
LE11	Lea	Arbina	Zulueta	febrero-87	marzo-02	16.7
E1Z1	Oiartzun	Oiartzun	Oiartzun	diciembre-97	enero-02	56.0
N107	Oiartzun	Oiartzun-Ugaldetxo	Oiartzun	octubre-70	septiembre-01	33.6
OK01	Oka	Muxika	Oka	noviembre-98	abril-02	31.3
SA06	Oka	Olalde	Oma	octubre-99	diciembre-01	5.5
E188	Omecillo	Berguenda	Omecillo	octubre-80	septiembre-99	349.6
OSM1	Omecillo	Osma-1	Tumecillo	marzo-86	septiembre-01	77.4
OSM2	Omecillo	Osma-2	Tumecillo	marzo-86	agosto-01	70.8
C1P3	Oria	Arriaran	Arriaran	mayo-98	enero-02	3.0
C1Z2	Oria	Salbatore	Estanda	agosto-91	enero-02	54.9
C2Z1	Oria	Agauntza en Ataun	Agauntza	mayo-87	septiembre-99	70.7
C3T1	Oria	Amundarain	Amundarain	diciembre-85	agosto-01	16.0

Codigo	UH	Nombre de la serie	Río	Inicio serie	Fin serie	Superficie cuenca (km²)
C3Z1	Oria	Amundarain (EA) + canal	Amundarain	agosto-86	noviembre-00	17.5
C5J3	Oria	B Ugarte	Bedaio	octubre-92	noviembre-95	17.5
C5T1	Oria	Aldaba	Mallotza	noviembre-90	octubre-95	6.0
C5X1	Oria	Zazpiturrieta en Amezketa	Ellorrain	noviembre-88	enero-02	4.1
C5Z1	Oria	Alegia	Oria	febrero-94	enero-02	330.2
C6Z1	Oria	Salubita	Salubita	enero-97	enero-01	27.2
C7S1	Oria	Urbeltza (Elduain)	Zelai	julio-84	diciembre-01	1.5
C7Z1	Oria	Belauntza	Zelai	diciembre-90	enero-02	28.6
C8S2	Oria	Lepasoro en Zizurkil	Lepasoro	julio-87	enero-02	3.8
C8Z1	Oria	Andoain	Leitzaran	abril-95	enero-02	114.0
C9Z1	Oria	Lasarte	Oria	diciembre-99	enero-02	791.9
N080	Oria	Andoain	Oria	octubre-52	septiembre-01	774.1
TROY	Oria	Troya Rampa Norte	Estanda	junio-97	octubre-01	0.3
B1T1	Urola	Barrendiola (Emb)	Barrendiola	noviembre-89	enero-02	2.5
B1Z1	Urola	Aitzu (Zamarraga)	Urola	marzo-99	enero-02	56.5
B1Z2	Urola	Ibai Eder en Azpeitia	Ibaieder	febrero-91	septiembre-00	65.3
B2S1	Urola	Caserio Granadaerreka	Granadaerreka	octubre-86	octubre-95	2.0
B2S2	Urola	Hamabiturri	Hamabiturri	octubre-86	mayo-93	1.9
B2Z1	Urola	Aizarnazabal	Urola	mayo-96	enero-02	273.1
N109	Urola	Bº Etxabe	Urola	octubre-70	septiembre-01	307.1
D1C2	Urumea	Añarbe	Urumea	noviembre-97	septiembre-99	108.1
D1W1	Urumea	Añarbe (Emb + canal)	Añarbe	noviembre-99	diciembre-01	47.1
D2Z1	Urumea	Ereñozu-rio+canal	Urumea	octubre-92	enero-02	216.2
N105	Urumea	Ereñozu	Urumea	octubre-69	septiembre-01	216.6
E074	Zadorra	Arce	Zadorra	octubre-66	septiembre-99	1356.2
E075	Zadorra	Berantevilla	Ayuda	noviembre-42	septiembre-99	307.8
E107	Zadorra	Ullibarri	Zadorra	enero-49	septiembre-55	273.1
E108	Zadorra	Urrunaga	Sta. Engrazia	febrero-46	septiembre-55	142.6
E204	Zadorra	Matauko	Alegría	octubre-72	septiembre-80	93.6
E221	Zadorra	Larrinoa	Zalla	octubre-80	septiembre-99	21.6
E222	Zadorra	Suibarri-Gopegi	Subisar - Osegarpe	octubre-78	junio-93	4.4
E223	Zadorra	Suibarri-Ondategi	Subisar - Osegarpe	octubre-78	julio-93	8.1
H152	Zadorra	Audicana	Zadorra	noviembre-72	enero-02	80.0
H153	Zadorra	Ochandiano	Urkiola	octubre-83	julio-02	33.0
H154	Zadorra	Ozaeta	Barrundia	diciembre-72	abril-02	88.7
MIJA	Zadorra	Mijancas	Riorrojo	octubre-82	septiembre-85	29.3
PARI	Zadorra	Pariza	Ayuda	octubre-83	septiembre-87	76.2
SA04	Zadorra	Manantial Nanclares	Nanclares	junio-85	diciembre-01	2.8
SA13	Zadorra	Elgea	Ugarana	septiembre-98	septiembre-01	9.2
TRES	Zadorra	Trespuentes	Oka	abril-94	diciembre-96	34.7

El total de años medidos entre las 113 estaciones es de 1178, con un promedio de 10 años por estación.

Tabla 56 Resumen de series de aforo por Unidad Hidrológica

UH	Longitud total de las series		Promedio de longitud		Inicio mas antiguo	Promedio de inicio
	Nº de estaciones	(años)	(años)			
Bidasoa	1	1	1	septiembre-96	septiembre-96	
Oiartzun	2	33	17	octubre-70	mayo-84	
Urumea	4	43	11	octubre-69	enero-90	
Oria	16	138	9	octubre-52	septiembre-89	
Urola	7	65	9	octubre-70	septiembre-88	
Deba	11	92	8	octubre-69	julio-87	
Artibai	2	35	18	octubre-70	diciembre-78	
Lea	3	17	6	febrero-87	febrero-87	
Oka	2	3	2	noviembre-98	abril-99	
Ibaizabal	23	233	10	febrero-56	marzo-86	
Agüera	1	31	31	octubre-70	octubre-70	
Karrantza	1	6	6	marzo-87	marzo-87	
Omecillo	3	31	10	octubre-80	mayo-84	
Baia	5	33	7	octubre-78	julio-86	
Zadorra	16	301	19	noviembre-42	mayo-74	
Inglares	5	19	4	octubre-82	marzo-85	
Ega	9	84	9	octubre-47	julio-83	
Arakil	2	13	7	junio-87	mayo-88	
Total general	113	1178	10	noviembre-42	abril-85	

6.3. Restitución al régimen natural

Se ha procedido a la restitución al régimen natural de aquellas series en las que el uso de recursos ha producido una alteración significativa respecto a su régimen natural. Para efectuar la restitución en las estaciones afectadas por los usos, se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Las series de caudales aforados
- Los volúmenes regulados por los embalses situados aguas arriba
- Las tomas y los retornos que se presentan en cada tramo

El proceso se ha iniciado desde la cabecera y su efecto se ha ido arrastrando hacia aguas abajo. Los balances hidráulicos en cada punto y día se han realizado teniendo en cuenta:

- los caudales detraídos en el tramo hasta el punto precedente
- los caudales vertidos en dicho tramo
- los caudales regulados por la existencia de un embalse
- el balance efectuado con anterioridad en el punto precedente

Así la aportación natural (AN) en un tramo x será:

$$(AN)_x = (A \text{ medida}) + (A \text{ detraída} - A \text{ vertida} \pm A \text{ regulada})_{\text{tramo } x-1 \text{ a } x} \pm (AN - A \text{ medida})_{x-1}$$

Las tomas de agua para regadío y abastecimiento son las principales fuentes de detracción, junto con la regulación de los embalses. En el caso de las tomas de abastecimiento se ha utilizado en lo posible la información medida y en el caso de las tomas de regadío ha sido necesario utilizar estimaciones de dotaciones y superficies de regadío.

En los embalses, la restitución al régimen natural se efectuó mediante el siguiente balance:

$$\text{Aportación natural} = A \text{ desaguada} + A \text{ evaporada} \pm \text{Volumen embalsado}$$

Este proceso se ha llevado a cabo en 33 estaciones principales, y en cinco de ellas, influenciadas por el trasvase Zadorra – Arratia, el proceso se ha realizado con dos formulaciones diferentes, ya que la magnitud de la alteración introducida por el trasvase provocó inestabilidades en el proceso.

En primer lugar se obtuvieron las series restituyendo el embalse de Undúrraga mediante el clásico balance (bal) en el embalse (considerando las variaciones de almacenamiento, las salidas reales y las entradas artificiales). En segundo lugar, la serie natural se estimó por proporcionalidad con la serie medida en cola del embalse. Las estaciones aguas abajo heredaron estas dos hipótesis de partida. En el Anejo N°1 se recogen, por unidad hidrológica, los detalles del proceso de restitución al régimen natural.

Tabla 57 Aportaciones medias en las estaciones restituidas

Estación	UH	Nombre de la serie	Río	Aportación restituida (hm ³ /año)	Aportación Medida (hm ³ /año)
G433N	Arakil	Echarren	Arakil	298.1	297.6
E165N	Baia	Miranda	Baia	189.4	188.3
A1Z1N	Deba	San Prudentzio	Deba	71.6	69.2
E006N	Ega	Marañon	Ega	27.7	22.9
G311N	Ega	Arquijas	Ega	79.4	71.1
G313N	Ega	Ancín	Ega	137.4	127.2
G314N	Ega	Murieta	Ega	180.3	175.2
IB32N Bal	Ibaizabal	Urkizu	Arratia	81.4	148.9
IB32N Prop	Ibaizabal	Urkizu	Arratia	69.8	148.9
KD01N	Ibaizabal	Balmaseda	Kadagua	154.9	141.3
N158N Bal	Ibaizabal	Etxabarri	Ibaizabal	797.5	919.2
N158N Prop	Ibaizabal	Etxabarri	Ibaizabal	848.3	919.2
N164N Bal	Ibaizabal	Lemoa (Arratia)	Arratia	126.1	270.9
N164N Prop	Ibaizabal	Lemoa (Arratia)	Arratia	96.8	270.9
N177N	Ibaizabal	Ordunte res (Emb)	Ordunte	42.4	12.0

Estación	UH	Nombre de la serie	Río	Aportación restituida (hm ³ /año)	Aportación Medida (hm ³ /año)
NB02N	Ibaizabal	Gardea	Nerbioi	68.7	66.0
NB05N Bal	Ibaizabal	Abusu	Nerbioi	579.9	650.0
NB05N Prop	Ibaizabal	Abusu	Nerbioi	509.9	650.0
UNDUN Bal	Ibaizabal	Undurraga	Arratia	27.3	133.2
UNDUN Prop	Ibaizabal	Undurraga	Arratia	19.7	133.2
OCION	Inglares	Ocio	Inglares	18.1	15.2
E188N	Omecillo	Berguenda	Omecillo	84.8	84.4
C1Z2N	Oria	Salbatore	Estanda	35.0	33.4
C2Z1N	Oria	Agauntza en Ataun	Agauntza	44.7	45.5
B1Z2N	Urola	Ibai Eder en Azpeitia	Ibaieder	50.9	42.0
B2Z1N	Urola	Aizarnazabal	Urola	221.0	210.5
N109N	Urola	Bº Etxabe	Urola	288.7	284.0
D2Z1N	Urumea	Ereñozu-caudalímetro	Urumea	299.7	255.1
N105N	Urumea	Ereñozu	Urumea	331.6	326.4
E074N	Zadorra	Arce	Zadorra	643.1	366.1
E075N	Zadorra	Berantevilla	Ayuda	114.9	108.0
E204N	Zadorra	Matauko	Alegría	41.2	33.8
E221N	Zadorra	Larrinoa	Zalla	18.8	18.3
H152N	Zadorra	Audicana	Zadorra	41.8	39.8
H154N	Zadorra	Ozaeta	Barrundia	54.6	54.1
ULLI	Zadorra	Ullibarri	Zadorra	158.1	60.7
URRU	Zadorra	Urrunaga	Sta. Engrazia	135.8	33.6

Como se puede apreciar, en muchos casos la alteración no es de gran envergadura, pero en otros, como el Arratia y Urrúnaga, la modificación es de tal calado que supone obtener unas series naturalizadas que dependen en gran medida de la fiabilidad de series secundarias que en muchos casos se miden con menos precisión que las originales, por lo que en la fase de calibración se pueden presentar problemas.

En otros casos, los problemas han venido precisamente de la imposibilidad de contar con series básicas para la naturalización. Un caso paradigmático es el del embalse de Ordunte que durante mucho tiempo no ha registrado los caudales vertidos al río (con lo que no se puede trasladar la restitución aguas abajo) y tampoco los caudales entrantes por el trasvase Cerneja – Ordunte, con lo que la restitución en el propio punto tiene una fiabilidad muy reducida.

6.4. Datos básicos de las cuencas de las estaciones de aforo

La tabla siguiente resume las aportaciones medias en hm³/año de las 113 estaciones consideradas. Hay que recordar que los períodos de medición no son constantes ni homogéneos.

Tabla 58 Aportaciones medias en las estaciones de aforo

Código	Estación	UH	Superficie (km2)	Aportación medida (hm ³ /año)	Aportación natural (hm ³ /año)
N186	Guriezo	Agüera	127.3	147.7	147.7
ARAI	Araia	Arakil	2.2	16.5	16.5
G433	Echarren	Arakil	407.2	297.6	298.1
N141	Berriatua	Artibai	93.2	92.9	92.9
AR01	Iruzubieta	Artibai	24.2	14.0	14.0
APRI	Aprikano	Baia	205.8	114.8	114.8
E165	Miranda	Baia	322.6	188.3	189.4
POBE	Pobes	Baia	241.1	150.8	150.8
SARR	Sarria	Baia	40.1	34.1	34.1
UBEG	Ubegi	Baia	5.8	4.4	4.4
F1Z1	Endara (Emb)	Bidasoa	6.3	9.8	9.8
A2Z1	Aixola (Emb)	Deba	4.7	3.0	3.0
A3Z1	Altzola	Deba	460.9	309.9	309.9
N103	Alzola	Deba	450.2	476.5	476.5
A3S1	Irabaneta	Deba	11.2	3.9	3.9
A1T2	Lamiategi	Deba	49.0	43.5	43.5
A3T1	Mendaro	Deba	13.0	7.9	7.9
A1J3	Onati	Deba	2.7	5.4	5.4
A1Z1	San Prudentzio	Deba	123.0	69.2	71.6
A1Z3	Urkulu (Emb)	Deba	10.0	5.7	5.7
A1T3	Zuazola	Deba	53.8	60.2	60.2
A1Z2	Zubillaga	Deba	99.4	94.6	94.6
G313	Ancín	Ega	477.4	127.2	137.4
ANTO	Antoñana	Ega	135.5	62.3	62.3
G311	Arquijas	Ega	414.2	71.1	79.4
SA02	El Soto	Ega	11.8	2.4	2.4
IZKI	Izkiz-Bujanda	Ega	55.6	17.4	17.4
E006	Marañon	Ega	88.5	22.9	27.7
G314	Murieta	Ega	553.1	175.2	180.3
SABA	Sabando	Ega	3.3	4.2	4.2
SA05	Zarpia	Ega	10.98	8.4	8.4
NB05	Abusu	Ibaizabal	1001.5	650.0	579.9
IB03	Amorebieta	Ibaizabal	233.5	183.8	183.8
SA07	Arria-Patala	Ibaizabal	9.5	7.7	7.7
ARTZ	Artziniega	Ibaizabal	13.0	7.2	7.2
KD01	Balmaseda	Ibaizabal	195.7	141.3	154.9
IB01	Elorrio	Ibaizabal	29.6	18.9	18.9
N158	Etxebarri	Ibaizabal	995.4	919.2	797.5
NB12	Gaiartu	Ibaizabal	10.3	8.0	8.0
NB02	Gardea	Ibaizabal	188.7	66.0	68.7
N175	Güñes	Ibaizabal	254.5	163.2	163.2
KD12	Herrerías	Ibaizabal	254.4	74.1	71.4
N164	Lemoa	Ibaizabal	138.2	270.9	126.1
N163	Lemona	Ibaizabal	252.4	271.0	271.0

Código	Estación	UH	Superficie (km2)	Aportación medida (hm³/año)	Aportación natural (hm³/año)
IB11	Mañaria	Ibaizabal	18.7	35.1	35.1
MARO	Maroño	Ibaizabal	20.5	16.2	16.2
N177	Ordunte (Emb)	Ibaizabal	44.2	12.0	42.4
IB21	Oromiño	Ibaizabal	21.9	14.2	14.2
NB11	Orozko	Ibaizabal	117.9	66.8	66.8
NB01	Saratxo	Ibaizabal	87.7	31.8	31.8
UNDU	Undúrraga	Ibaizabal	28.3	133.2	27.3
UNDC	Undúrraga C	Ibaizabal	19.4	16.1	16.1
IB32	Urkizu	Ibaizabal	128.4	148.9	81.4
NB04	Zarátamo	Ibaizabal	509.5	276.0	276.0
H156	Molino Payueta	Inglares	5.06	1.9	1.9
MONT	Montoria-La Mina	Inglares	10.5	1.9	1.9
OCIO	Ocio	Inglares	85.8	15.2	18.1
SA01	Peñacerrada	Inglares	48.3	8.0	8.0
H157	Puente Payueta	Inglares	55.22	10.8	10.8
KR01	Karrantza	Karrantza	110.6	67.5	67.5
LE11	Arbina	Lea	16.7	7.3	7.3
LE01	Aulestia	Lea	39.1	31.0	31.0
LE02	Oleta	Lea	69.4	48.3	48.3
E1Z1	Oiartzun	Oiartzun	56.0	66.1	66.1
N107	Oiartzun-Ugaldetxo	Oiartzun	33.6	53.8	53.8
OK01	Muxika	Oka	31.3	19.1	19.1
SA06	Olalde	Oka	5.5	10.6	10.6
E188	Berguenda	Omeçillo	349.8	84.4	84.8
OSM1	Osma-1	Omeçillo	77.4	32.1	32.1
OSM2	Osma-2	Omeçillo	70.8	24.9	24.9
N080	Aforo Andoain	Oria	778.4	710.2	710.2
C2Z1	Agauntza en Ataun	Oria	70.7	45.5	44.7
C5T1	Aldaba	Oria	6.0	6.2	6.2
C5Z1	Alegia	Oria	330.2	206.8	206.8
C3T1	Amundarain	Oria	16.0	27.0	27.0
C8Z1	Andoain	Oria	114.0	130.8	130.8
C1P3	Arriaran	Oria	3.0	1.7	1.7
C5J3	B Ugarte	Oria	17.5	12.8	12.8
C7Z1	Belauntza	Oria	28.6	36.5	36.5
C9Z1	Lasarte	Oria	791.9	638.2	638.2
C8S2	Lepasoro en Zizurkil	Oria	3.8	18.0	18.0
C1Z2	Salbatore	Oria	54.9	33.4	35.0
C6Z1	Salubita	Oria	27.2	25.7	25.7
TROY	Troya Rampa Norte	Oria	0.3	1.1	1.1
C7S1	Urbeltza (Elduain)	Oria	1.5	11.0	11.0
C5X1	Zazpiturrieta en Amezketa	Oria	4.1	15.3	15.3
B1Z1	Aitzu (Zamarraga)	Urola	56.5	38.4	38.4
B2Z1	Aizarnazabal	Urola	273.1	210.5	221.0
B1T1	Barrendiola (Emb)	Urola	2.5	2.9	2.9
N109	Bº Etxabe	Urola	307.1	284.0	288.7

Código	Estación	UH	Superficie (km²)	Aportación medida (hm³/año)	Aportación natural (hm³/año)
B2S1	Caserio Granadaerreka	Urola	2.0	5.3	5.3
B2S2	Hamabiturri	Urola	1.92	12.8	12.8
B1Z2	Ibai Eder en Azpeitia	Urola	65.3	42.0	50.9
D1C2	Añarbe	Urumea	108.1	235.6	235.6
D1W1	Añarbe (Emb)	Urumea	47.1	67.4	67.4
D2Z1	Ereñozu	Urumea	216.2	255.1	299.7
N105	Ereñozu	Urumea	216.8	326.4	331.6
E074	Arce	Zadorra	1356.2	366.1	643.1
H152	Audicana	Zadorra	80	39.8	41.8
E075	Berantevilla	Zadorra	307.8	108.0	114.9
SA13	Elgea	Zadorra	9.2	5.2	5.2
E221	Larrinoa	Zadorra	21.6	18.3	18.8
SA04	Manantial Nanclares	Zadorra	2.8	13.1	13.1
E204	Matauko	Zadorra	93.6	33.8	41.2
MIJA	Mijancas	Zadorra	29.3	3.6	3.6
H153	Otxandio	Zadorra	33	41.3	41.3
H154	Ozaeta	Zadorra	88.7	54.1	54.6
PARI	Pariza	Zadorra	76.2	29.3	29.3
E222	Suibarri-Gopegi	Zadorra	4.4	3.4	3.4
E223	Suibarri-Ondategi	Zadorra	8.1	2.9	2.9
TRES	Trespuentes	Zadorra	34.7	18.5	18.5
E107	Ullibarri	Zadorra	273.1	60.7	158.1
E108	Urrúnaga	Zadorra	143.1	33.6	135.8

Aunque en principio todas las estaciones anteriores son útiles para el proceso de calibración / validación, en este estudio no todas ellas han sido utilizadas en este sentido, sino que estas labores se han basado en 71 de ellas. Las restantes no se han empleado por diversos motivos, que se relacionan a continuación. Lógicamente en aquellas Unidades Hidrológicas en las que la disponibilidad de estaciones es escasa se han tenido que utilizar todos los datos existentes. En las que las estaciones son más abundantes se han posido seleccionar aquellas que se adaptan mejor a los objetivos generales del estudio. Las estaciones no utilizadas han sido:

- D1C2, en el Urumea, por tener un período de medición muy corto.
- TROY, C3Z1, C5J3, y C8S2, en el Oria, por periodos de medición muy cortos y sin posibilidad de contraste. Hay que señalar que en el Oria hay un número de estaciones muy notable que permiten realizar la calibración y validación sin problemas.
- C1P3 Arriarán en el Oria, por tratarse de una cuenca muy pequeña, en cola del embalse.
- C5T1, en el Oria, por tratarse de una estación destinada a otro uso (control de trasvase) y con pocos datos.
- C5X1 y C7S1 en el Oria, por medir flujos hidrogeológicos complejos.
- C6Z1, en el Oria, por cambio de ubicación y datos escasos.
- B2S2 en el Urola, por medir la descarga de un manatíal kárstico.

- A1J3, en el Deba, por su falta de precisión y corto periodo de datos. Como en el Oria, hay que señalar que el Deba se encuentra especialmente bien monitorizado, por lo que la no selección de algunas estaciones no afecta al proceso de calibración / validación.
- A1T2, en el Deba, por datos escasos fuera del período de validación general.
- A1T3, en el Deba, por datos escasos y sección en cauce natural.
- A3S1, en el Deba, por medir la descarga de un manantial kárstico.
- A3T1, en el Deba, por el mismo motivo que la anterior.
- Artziniega, en el Ibaizabal, por su poca fiabilidad y período fuera del ámbito general del resto de las estaciones.
- IB01, en el Ibaizabal, por tener únicamente datos desde septiembre del 2000.
- Maroño, en el Ibaizabal, por estar fuera de uso y no tener información sobre su calidad.
- CHN 158, en el Ibaizabal, por haber dejado de funcionar hace tiempo y tener un período de datos escaso y fuera del ámbito del resto.
- NB02, en el Ibaizabal, por escaso período de datos.
- Sarriá, en el Baia, por escasez de datos.
- CHE 204, en el Zadorra, por estar fuera de servicio, con pocos datos influenciados por el trasvase y sin información suficiente para su restitución.
- CHE 222 y CHE 223, en el Zadorra, con muy pocos datos y de calidad dudosa.
- Mijancas, en el Zadorra, por estar abandonada y medir los recursos de un afluente lateral con gran componente hidrogeológica.
- Pariza, en el Zadorra, por estar abandonada y tener un único año con datos.
- SA04 y Trespuentes, en el Zadorra, por medir un manantial de una subcuenca con un fuerte caudal base y una especificidad de procesos a analizar en estudios de detalle.
- SA13, en el Zadorra, porque la estación de Audikana engloba sus procesos.
- H156, H157, en el Inglares, por disponer de pocos datos de escasa calidad y utilidad al no disponer información exacta sobre la posición del dispositivo de medida. La H156 mide previsiblemente el agua derivada del río.
- Montoria, en el Inglares, por escasez de datos.
- Antoñana e Izki, en el Ega, por escasez de datos y no estar operativas en la actualidad.
- Sabando y El Soto, en el Ega, por controlar manantiales de comportamiento altamente hidrogeológico.
- Arquijas, en el Ega, por disponer de pocos datos todavía.

En prolongaciones futuras de este estudio, o en estudios de detalle de zonas concretas, será probablemente adecuado volver a revisar la disponibilidad de datos de las estaciones activas, con el objeto de intentar incluirlas en los estudios.

7. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA INICIAL DEL ÁMBITO DEL ESTUDIO

El objetivo principal de este estudio es la estimación de los recursos hídricos de la CAPV mediante la calibración y ejecución de un modelo de simulación del proceso de conversión de la lluvia en escorrentía. También se ha señalado que el modelo seleccionado es un modelo distribuido que realiza el proceso de análisis en cada celda del territorio.

Un modelo hidrológico distribuido exige que sus parámetros estén también distribuidos espacialmente. Esto significa que los parámetros deben estar repartidos sobre la superficie del terreno respetando su variabilidad original. Este reparto debe ser coherente con el tipo de terreno y los materiales que lo componen, el uso de suelo presente, el tipo de cubierta vegetal existente, etc. Este requisito no responde a razones puramente teóricas sino, y sobre todo, a necesidades prácticas. La correcta calibración de un modelo debe garantizar que el mismo refleje la realidad del medio sobre el que se aplica a fin de que sea posible reproducir el comportamiento del sistema a partir de información limitada. Pero este enfoque de los modelos distribuidos tiene un riesgo implícito que es la sobreparametrización. Al trabajar con un número muy elevado de celdas, aún cuando el número de parámetros explícitos para cada una de ellas sea escaso, la combinación resultante produce tal número de grados de libertad en la calibración que, si la variación de los parámetros no se limita de alguna manera, el modelo puede perder su utilidad.

Por ello, el proceso de calibración se realiza en dos fases: una primera, en la que se lleva a cabo una estimación inicial de los parámetros, encaminada a garantizar su coherencia espacial y de este modo asegurar la parsimonia del modelo, y una segunda, en la que se “ajustan” específicamente las capas de parámetros en el sentido clásico de igualar las señales simuladas y medidas.

En la primera fase se manejan, a su vez, dos grados de información: la información edafológica, hidrológica, litológica, geológica, etc. que se pueda relacionar directamente con los parámetros del modelo y que suele tener un carácter puntual; y un segundo tipo de información (variables ambientales) que por, conocimientos previos, puede ser relacionada con las características principales del modelo de simulación.

El alcance de esta actividad de caracterización geomorfológica es, por lo tanto, la recopilación y homogeneización de la información para por una parte determinar los valores iniciales de los parámetros y analizar su evolución espacial, por otra.

Los principales niveles de información recopilados y manejados han sido:

Topografía

Sobre la base del MDT con resolución de 25 metros del País Vasco, que ya cubría gran parte de la zona de estudio, se ha completado la topografía de algunas zonas de Navarra hasta generar un MDT a la misma resolución de 25 metros y apoyado sobre la red de drenaje existente en el Mapa Hidrológico de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Este apoyo es fundamental para poder realizar una trazado de cuencas y subcuencas ajustado a la realidad.

El MDT así obtenido se ha incluido en un sistema de información geográfica que gestiona, de una manera coherente, los planos de orientación y de direcciones de flujo necesarios para el establecimiento de un modelo hidrológico distribuido que ha de mantener la relación lógica entre las celdas de cálculo.

Se han obtenido productos secundarios del MDT, como los mapas de pendientes. En las tablas siguientes se resumen algunos de los aspectos morfométricos de las unidades en estudio.

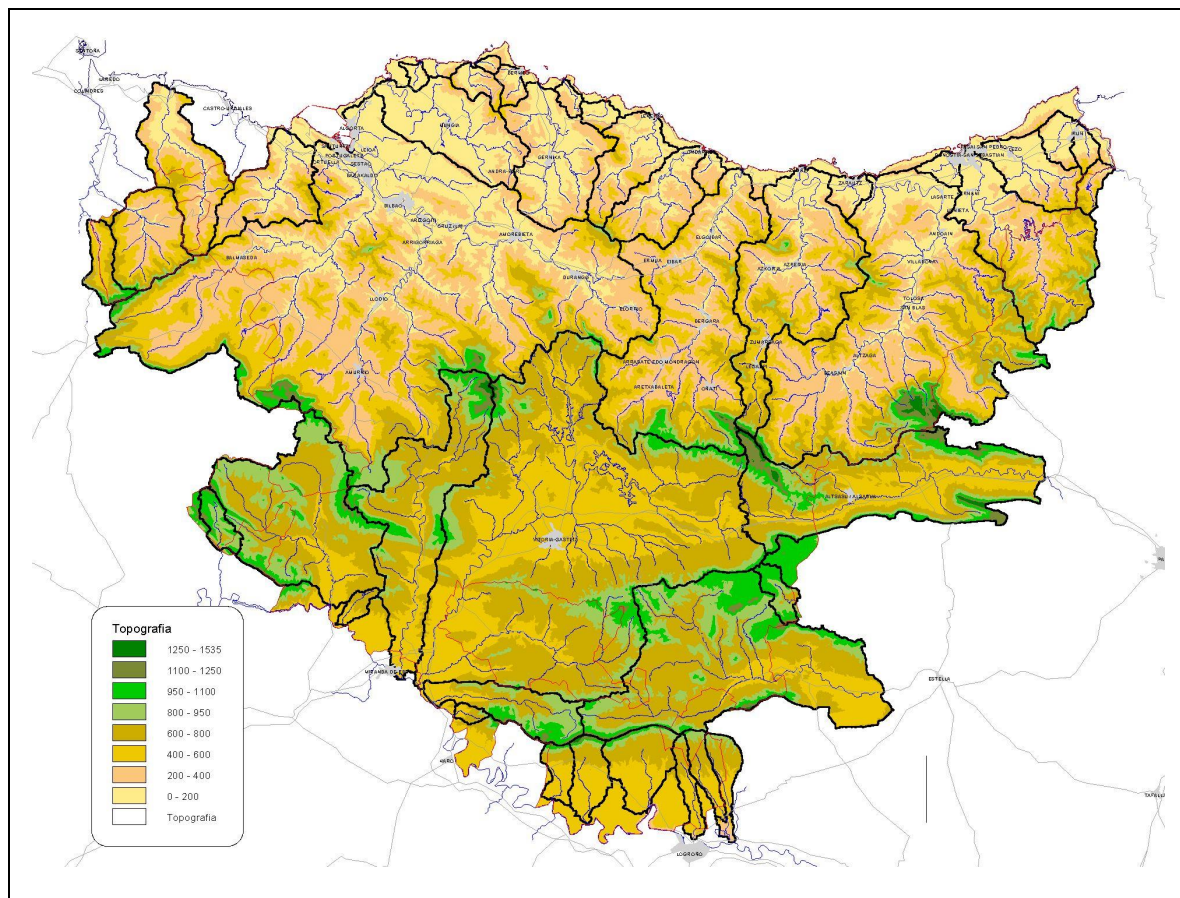
Tabla 59 Datos físicos de las Unidades en el ámbito del estudio

UH	Altitud mínima (m)	Altitud máxima (m)	Altitud media (m)
Bidasoa	0	842	230
Oiartzun	0	823	197
Urumea	0	1132	396
Oria	0	1535	446
Urola	0	1399	404
Deba	0	1360	451
Artibai	0	1010	285
Lea	0	1019	254
Oka	0	792	188
Butroe	0	679	145
Ibaizabal	0	1369	373
Barbadun	0	819	285
Agüera	0	970	339
Karrantza	111	1340	500
Omecillo	484	1368	766
Baia	459	1470	730
Zadorra	450	1470	650
Inglares	450	1383	807
Ega	454	1456	776
Arakil	429	1535	736

Tabla 60 Pendiente máxima y media de las Unidades en el ámbito del estudio

UH	Pendiente Máxima	Pendiente Media
Bidasoa	63.9	16.5
Oiartzun	59.1	15.9
Urumea	56.9	21.5
Oria	85.9	19.7
Urola	56.7	20.4
Deba	66.6	20.0
Artibai	46.3	19.8
Lea	51.0	18.7
Oka	59.5	14.7
Butroe	52.9	11.6
Ibaizabal	77.7	15.3
Barbadun	70.6	16.7
Agüera	58.4	16.2
Karrantza	52.8	17.3
Omecillo	70.8	11.0
Baia	64.2	10.5
Zadorra	56.7	7.6
Inglares	63.8	12.1
Ega	86.3	10.7
Arakil	86.1	14.3
Ebro	71.7	9.5

En la Ilustración 63 se recoge la topografía general de la zona de estudio.

Ilustración 63 Topografía general

Litología y geología

La litología y la geología se han obtenido del Mapa litológico y geológico a escala 1:25.000 del País Vasco, completada con la información obtenida del Gobierno de Navarra y de la Junta de Comunidades de Castilla y León para la provincia de Burgos. No ha sido posible completar digitalmente la información faltante en el ámbito del Agüera dentro de la CA de Cantabria.

Tras una fase de análisis se ha procedido a su homogeneización, tal como se refleja en la lámina Nº 1. Un resumen de las litologías presentes en las unidades de estudio, en % de la superficie ocupada por cada una de ellas, está recogido en la Tabla 61:

Tabla 61 Tipos litológicos principales por Unidad

Unidad	Depósitos superficiales	Rocas detríticas	Detríticos alternantes	Margas	Calizas	Rocas volcánicas	Ofitas	Arcillas con sales	Alternancia de margocalizas y calizas	Dolomías	Pizarras	Rocas ígneas	Rocas filonianas	Calcarenitas	Rocas metamórficas
Agüera	2.6%	2.6%	53.8%	0.0%	17.9%	0.0%	0.0%	0.0%	23.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Arakil	10.2%	23.2%	6.2%	17.6%	21.8%	0.0%	0.0%	0.0%	19.3%	0.8%	0.0%	0.0%	0.3%	0.6%	0.0%
Artibai	1.1%	0.0%	25.8%	16.1%	29.0%	7.5%	0.0%	0.0%	19.4%	0.0%	0.0%	1.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Baia	8.4%	6.6%	21.0%	7.0%	26.2%	0.0%	1.4%	2.8%	26.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Deba	1.9%	4.1%	36.9%	1.3%	28.3%	6.4%	0.0%	0.0%	14.6%	0.0%	6.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
Ega	10.7%	8.6%	21.0%	0.0%	44.1%	0.0%	0.0%	1.1%	4.4%	4.2%	0.0%	0.0%	0.0%	5.7%	0.0%
Ibaizabal	6.6%	12.7%	37.6%	0.1%	21.6%	0.3%	0.0%	1.7%	19.3%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Inglares	10.3%	16.1%	20.7%	3.4%	37.9%	0.0%	0.0%	5.7%	2.3%	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Karrantza	2.1%	17.5%	54.6%	0.0%	6.2%	0.0%	0.0%	0.0%	19.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Lea	5.2%	4.2%	19.8%	17.7%	40.6%	1.0%	2.1%	0.0%	8.3%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%
Oiartzun	0.0%	13.5%	0.0%	9.5%	28.4%	0.0%	0.0%	4.1%	8.1%	0.0%	23.0%	13.5%	0.0%	0.0%	0.0%
Oka	10.0%	4.7%	28.8%	1.2%	34.1%	4.1%	4.7%	0.6%	11.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Omecillo	4.9%	6.6%	7.9%	12.5%	52.0%	0.0%	0.3%	1.3%	13.5%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Oria	3.8%	15.4%	20.3%	15.2%	26.3%	0.0%	1.3%	1.0%	9.3%	1.0%	4.9%	0.1%	0.0%	0.0%	1.4%
Urola	4.0%	9.7%	34.2%	19.5%	18.1%	4.7%	0.0%	0.3%	8.1%	0.0%	1.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
Urumea	2.4%	6.9%	2.0%	4.0%	10.9%	0.0%	1.6%	0.4%	1.2%	0.0%	15.7%	2.4%	0.0%	0.0%	52.4%
Zadorra	14.4%	10.2%	23.4%	2.3%	20.2%	0.0%	0.0%	0.1%	25.1%	3.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Bidasoa	10.2%	8.5%	0.0%	3.4%	27.1%	0.0%	0.0%	0.0%	3.4%	0.0%	13.6%	32.2%	0.0%	0.0%	1.7%
Butroe	10.2%	5.3%	30.5%	0.0%	19.8%	3.2%	5.9%	0.5%	24.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Barbadun	6.6%	0.0%	47.2%	0.0%	11.3%	0.0%	0.0%	0.0%	34.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Ebro	11.5%	13.5%	72.1%	0.0%	1.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%
Total	7.6%	10.6%	27.1%	5.4%	24.7%	1.0%	0.6%	0.9%	15.9%	1.0%	1.9%	0.6%	0.0%	0.4%	2.0%

Sobre la base del mapa litológico homogenizado y con el apoyo del Mapa Hidrogeológico del País Vasco y del Atlas Hidrogeológico de la provincia de Burgos, se han obtenido las representaciones cartográficas de las zonas de Karst²⁷ y de Karst sensu estricto²⁸ dado que su comportamiento bajo la perspectiva de un modelo de procesos hidrológico es peculiar. Se trata de zonas de alta permeabilidad vertical que a su vez se relacionan con unos tiempos de respuesta muy breves y unas capacidades de regulación acuífera escasa. Es decir, en términos de procesos hidrológicos, su comportamiento es muy próximo a escorrentías superficiales, lo que puede inducir a “error” a un modelo de este tipo.

Las principales localizaciones de este tipo de litología se ubican en:

Tabla 62 Superficies de Karst por Unidad

	Karst (has)	Karst (%)	Karst estricto (has)	Karst estricto (%)
Urumea	289	1.0%	67	0.2%
Oria	12,999	14.5%	6,188	6.9%
Urola	4,496	13.1%	3,072	9.0%
Deba	6,500	12.1%	5,720	10.7%
Artibai	645	6.2%	601	5.8%
Lea	3,138	28.4%	3,138	28.4%
Oka	2,226	11.3%	1,959	9.9%
Butroe	22	0.1%		
Ibaizabal	16,071	8.9%	6,544	3.6%
Barbadun	1,113	9.1%	890	7.3%
Agüera	1,002	20.6%	846	17.4%
Karrantza	712	6.5%	467	4.2%
Omecillo	13,400	38.4%		
Baia	7,011	21.7%	512	1.6%
Zadorra	16,494	12.2%	1,291	1.0%
Inglares	3,673	37.2%		
Ega	25,642	46.6%	9,304	16.9%
Arakil	7,679	18.9%	5,965	14.6%
Ebro	490	2.0%	111	0.5%

²⁷ Calizas y Dolomías con porosidad alta por fisuración.

²⁸ Complejo Urgoniano

Ilustración 64 Zonas karsticas

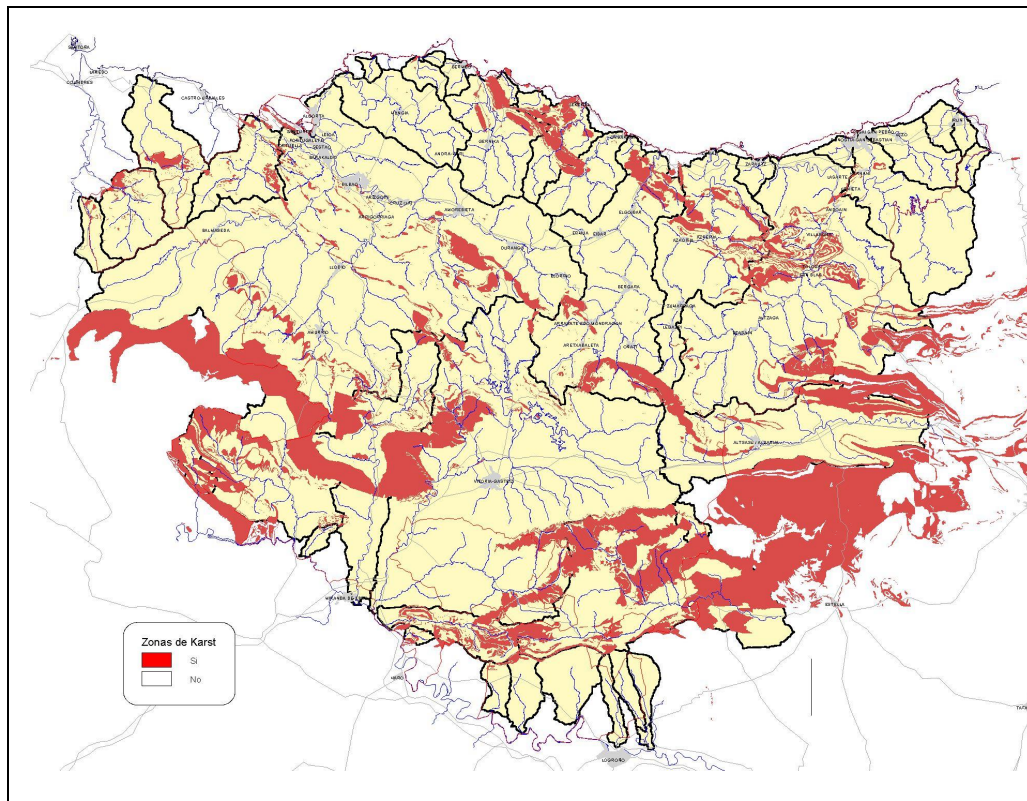
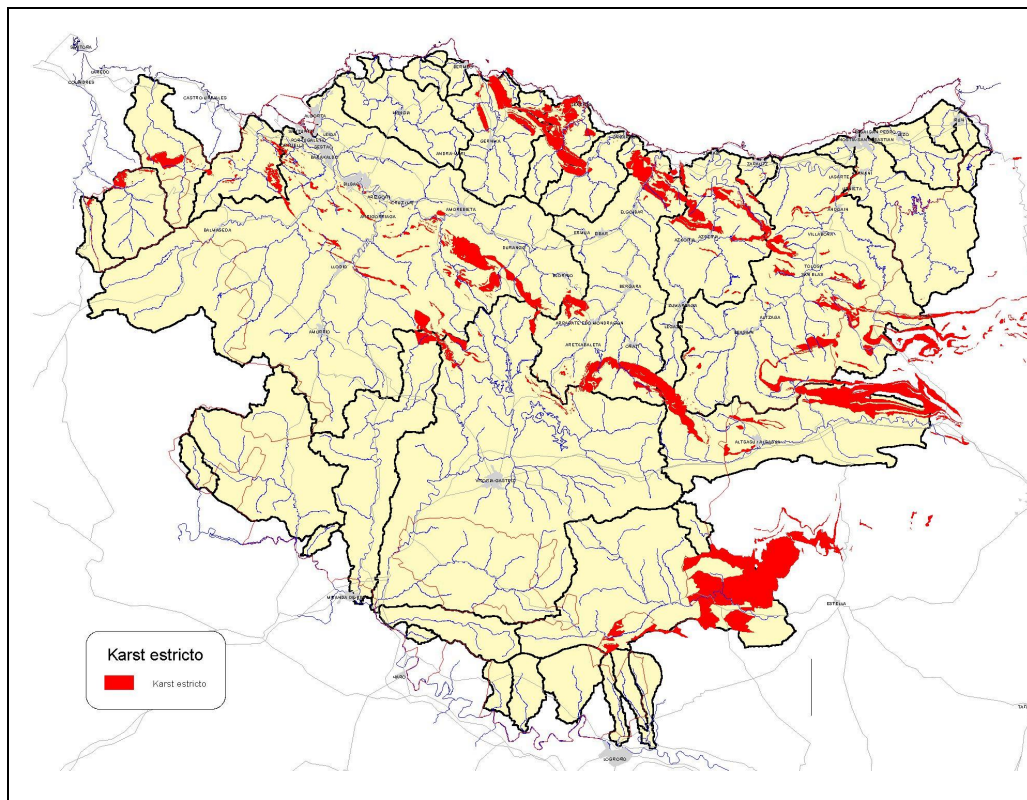


Ilustración 65 Zonas karsticas sensu estricto



Mapa de Permeabilidades.

Una información muy relevante manejada es el Mapa de Permeabilidades del País Vasco a escala 1:25.000 del EVE. Su concepto, según la propia memoria del documento es: “la capacidad de una formación rocosa para permitir el paso del agua a su través”. Al hablarse de formación rocosa, ha de entenderse que se refiere a la permeabilidad vertical profunda.

La caracterización de permeabilidad se refiere a cada una de las formaciones geológicas diferenciadas en la cartografía básica (Mapa geológico a escala 1/25.000 editado por el EVE). La asignación de una permeabilidad lleva aparejado un rango de coeficiente de infiltración de la lluvia útil. Los rangos de infiltración de la lluvia útil que les corresponden son las siguientes:

Tabla 63 Relación entre la permeabilidad y la infiltración

Permeabilidad	Rangos de infiltración (%)
Muy baja	0 - 5
Baja	5 - 20
Media	20 - 60
Alta	60 - 80
Muy Alta	80 - 100

La clasificación se ha extendido al resto de las zonas de estudio exteriores al mapa original mediante una extrapolación litológico funcional. En la siguiente tabla se recoge la presencia de cada uno de los tipos de permeabilidad en las Unidades de estudio. El mapa resultante se incluye en la lámina Nº 2

Tabla 64 Presencia de las clases de permeabilidad por Unidad

	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Alta, facies carbonatada	Muy Alta	Muy alta, facies carbonatada
Agüera	0.0%	73.5%	6.0%	0.0%	0.0%	3.6%	16.9%
Arakil	0.7%	69.7%	5.3%	2.8%	0.4%	15.7%	5.3%
Artibai	0.0%	76.1%	13.6%	4.5%	0.0%	0.0%	5.7%
Baia	2.9%	52.7%	12.7%	6.9%	1.1%	5.6%	18.1%
Deba	0.1%	73.4%	12.4%	0.4%	0.4%	1.7%	11.5%
Ega	2.0%	24.6%	15.8%	12.1%	5.0%	21.0%	19.5%
Ibaizabal	2.1%	73.5%	8.3%	6.8%	1.4%	3.8%	4.1%
Inglases	6.5%	20.8%	10.7%	22.6%	3.6%	6.5%	29.2%
Karrantza	0.0%	84.0%	11.0%	0.0%	0.6%	1.7%	2.8%
Lea	0.0%	65.4%	8.0%	1.1%	0.5%	1.1%	23.9%
Oiartzun	4.8%	76.7%	8.2%	6.8%	0.7%	0.0%	2.7%
Oka	4.3%	56.1%	21.6%	5.5%	1.2%	3.4%	7.9%
Omecillo	1.2%	38.9%	10.4%	8.5%	0.9%	17.7%	22.4%
Oria	1.9%	69.1%	8.6%	3.0%	1.5%	4.9%	11.0%
Urola	0.7%	78.0%	4.9%	2.1%	2.1%	0.5%	11.8%
Urumea	2.9%	86.2%	5.6%	3.5%	0.2%	0.4%	1.2%
Zadorra	0.0%	52.3%	24.5%	11.6%	1.0%	5.4%	5.2%

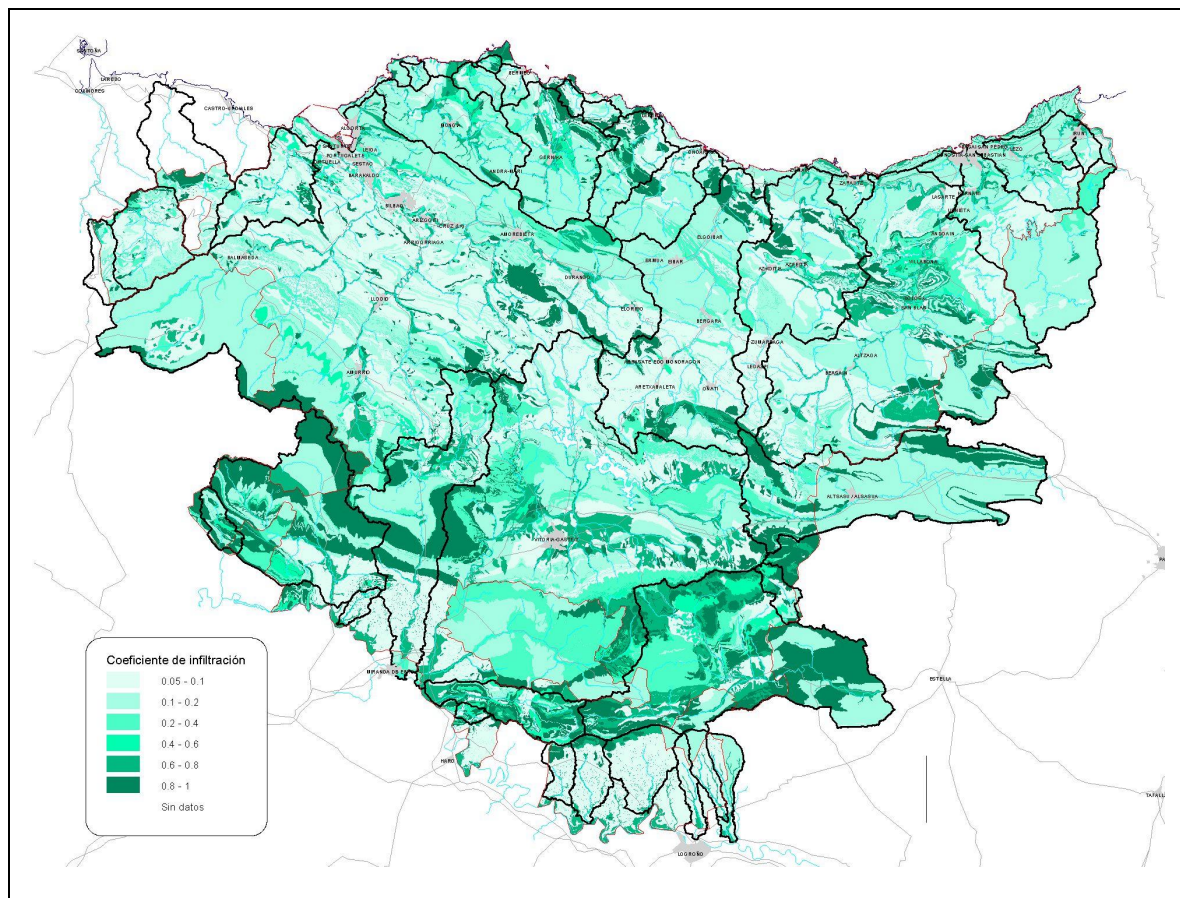
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Alta, facies carbonatada	Muy Alta	Muy alta, facies carbonatada
Bidasoa	0.0%	64.4%	27.9%	7.7%	0.0%	0.0%	0.0%
Butroe	0.3%	61.4%	23.9%	12.4%	0.0%	2.0%	0.0%
Barbadun	0.5%	81.9%	2.9%	4.9%	0.0%	1.5%	8.3%
Ebro	1.5%	78.6%	0.0%	11.4%	0.0%	5.9%	2.6%
Total	1.4%	63.3%	12.3%	6.8%	1.3%	6.0%	8.8%

La traducción de estas permeabilidades a coeficientes relacionados con la infiltración se aprecia en la Ilustración 66, cuya síntesis es la siguiente:

Tabla 65 Coeficiente de infiltración por Unidad

SISTEMAG	Coeficiente de infiltración en la zona			
	Mínimo	Máximo	Medio	Desviación Típica
Agüera	0.1000	0.9000	0.2992	0.3074
Arakil	0.0500	0.9000	0.3379	0.3159
Artibai	0.0500	0.9000	0.2195	0.2101
Baia	0.0500	0.9000	0.3964	0.3350
Deba	0.0500	1.0000	0.2528	0.2628
Ega	0.0500	1.0000	0.5685	0.3264
Ibaizabal	0.0500	1.0000	0.2577	0.2610
Inglares	0.0500	0.9000	0.5949	0.3189
Karrantza	0.0500	0.9000	0.1983	0.1888
Lea	0.0500	1.0000	0.3553	0.3380
Oiartzun	0.0500	0.9000	0.2149	0.1966
Oka	0.0500	1.0000	0.3061	0.2740
Omecillo	0.0500	0.9000	0.5344	0.3532
Oria	0.0500	1.0000	0.2900	0.2829
Urola	0.0500	0.9000	0.2511	0.2668
Urumea	0.0500	1.0000	0.1880	0.1604
Zadorra	0.0500	0.9000	0.3623	0.2875
Bidasoa	0.0500	1.0000	0.2608	0.1930
Butroe	0.0500	1.0000	0.2812	0.2412
Barbadun	0.0500	1.0000	0.2173	0.2458
Ebro	0.0500	0.9000	0.2532	0.2871

En este caso, no disponiendo de la litología, no se ha podido completar la información de la unidad Agüera en Cantabria.

Ilustración 66 Coeficiente de infiltración

Usos del suelo

La determinación de los usos del suelo se ha realizado mediante la utilización del “Mapa de Vegetación y usos del suelo a escala 1:25.000 del País Vasco” apoyado por el Mapa de Vegetación de Navarra y el de Cubierta Vegetal de la Provincia de Burgos.

También después de un proceso de homogeneización se ha obtenido un mapa general (lámina Nº 3). En la Tabla 66 se resume la presencia de cada clase de uso del suelo en cada Unidad Hidrológica.

Tabla 66 Presencia de clases de usos del suelo por unidad

	Cultivos agrícolas	Herbazal	Matorral	Bosque	Sin vegetación	Plantaciones forestales	Frutal secoano
Agüera	0.0%	27.6%	24.9%	21.1%	0.5%	25.9%	0.0%
Arakil	7.5%	27.0%	4.0%	14.0%	3.6%	43.9%	0.0%
Artibai	0.0%	22.5%	2.5%	7.8%	1.5%	65.7%	0.0%
Baia	14.3%	17.3%	23.4%	35.7%	3.5%	5.9%	0.0%
Deba	0.0%	19.5%	5.1%	15.3%	3.4%	56.7%	0.0%
Ega	27.4%	5.6%	9.0%	49.7%	1.1%	7.0%	0.0%
Ibaizabal	1.9%	25.9%	11.0%	15.2%	6.2%	39.8%	0.0%
Inglares	21.3%	9.6%	16.0%	41.6%	0.3%	11.2%	0.0%
Karrantza	0.0%	46.7%	23.7%	17.7%	0.5%	11.5%	0.0%
Lea	0.0%	23.6%	7.4%	11.0%	0.5%	57.6%	0.0%
Oiartzun	0.0%	28.2%	16.7%	16.1%	15.5%	23.5%	0.0%
Oka	0.0%	28.9%	3.2%	9.9%	2.5%	55.5%	0.0%
Omecillo	35.6%	7.0%	10.1%	36.6%	3.0%	7.7%	0.0%
Oria	0.0%	32.0%	6.4%	20.5%	2.5%	38.6%	0.0%
Urola	0.0%	26.6%	7.2%	18.2%	2.6%	45.4%	0.0%
Urumea	0.0%	26.7%	3.9%	12.3%	5.2%	51.9%	0.0%
Zadorra	41.0%	8.6%	14.6%	23.3%	5.6%	6.9%	0.0%
Bidasoa	0.0%	27.8%	11.8%	15.1%	9.0%	36.3%	0.0%
Butroe	0.0%	38.5%	10.1%	5.7%	3.5%	42.2%	0.0%
Barbadun	0.0%	35.2%	17.4%	9.2%	4.5%	33.7%	0.0%
Ebro	58.3%	19.7%	11.9%	5.5%	1.9%	2.4%	0.3%
Total	13.4%	21.3%	10.4%	20.6%	4.1%	30.2%	0.0%

Edafología

Para la edafología, quizás una de las variables ambientales más significativas, se ha contado con:

- Mapas de suelos a escala 1:25.000 de Bizkaia y Gipuzkoa y a escala 1:200.000 de Álava, combinados con datos descriptivos de los perfiles edáficos.
- Mapa de suelos de Navarra
- Mapa edafológico de Burgos

Adicionalmente se ha obtenido un conjunto de perfiles edáficos que documentan los mapas de suelos de Bizkaia y Gipuzkoa. No se han obtenido perfiles de Álava, Navarra y Burgos. Además, se ha presentado un problema adicional, relacionado con la clasificación empleada en cada fuente de datos. Las cartografías de las Diputaciones y de la provincia de Burgos han empleado la clasificación FAO, mientras que la edafología de Navarra ha empleado la

clasificación del US Bureau. En última instancia, se desarrolló una relación de correspondencia simplificada entre una clasificación y otra (véase la Tabla 74).

El mapa resultante se aprecia en la lámina Nº 4

Tabla 67 Presencia de clases de Suelos por Unidad

	Acrisol	Rendzina	Ranker	Cambisol	Litosol	Vertisol	Podsol	Luvisol	Regosol	Fluvisol	Gleysol	Andosol	Arenosol	Solonchack	Histosol	Resto
Bidasoa	0.0%	0.0%	0.0%	82.4%	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%	0.0%	2.3%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	10.1%
Oiartzun	0.0%	0.2%	0.0%	82.1%	0.2%	0.0%	0.0%	3.6%	0.0%	0.0%	1.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.2%
Urumea	0.0%	0.2%	15.9%	75.2%	0.1%	0.0%	0.0%	4.2%	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.0%
Oria	2.5%	0.0%	7.5%	38.5%	0.5%	0.0%	0.0%	47.0%	0.0%	0.3%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.8%
Urola	5.3%	0.8%	0.1%	48.2%	4.9%	0.0%	0.0%	34.8%	0.8%	2.6%	0.0%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	2.0%
Deba	13.7%	0.4%	2.0%	58.3%	3.4%	0.0%	0.0%	9.0%	8.8%	2.2%	0.0%	0.2%	0.0%	0.1%	0.0%	1.9%
Artibai	35.0%	0.9%	0.0%	54.0%	2.4%	0.0%	0.0%	2.6%	0.0%	4.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.8%
Lea	1.4%	0.5%	0.0%	77.7%	7.9%	0.0%	0.0%	9.0%	0.0%	2.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	1.1%
Oka	1.1%	0.4%	0.0%	79.7%	2.4%	0.0%	0.0%	6.5%	0.3%	4.2%	0.0%	0.0%	0.5%	2.2%	0.0%	2.8%
Butroe	6.9%	0.2%	0.0%	75.3%	0.1%	0.0%	0.0%	4.8%	0.9%	9.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	1.8%
Ibaizabal	2.9%	8.8%	6.6%	62.6%	3.5%	0.0%	0.0%	2.0%	2.0%	4.3%	2.3%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	4.8%
Barbadun	11.1%	0.0%	0.0%	74.9%	2.5%	0.0%	0.0%	2.6%	0.3%	1.7%	0.0%	0.0%	0.1%	0.8%	0.0%	6.2%
Agüera	39.7%	0.0%	0.0%	40.2%	3.4%	0.0%	0.0%	15.6%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%
Karrantza	38.9%	0.0%	0.0%	52.3%	1.6%	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%	1.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%
Omecillo	0.0%	32.6%	0.0%	31.2%	26.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%	3.6%	0.0%	4.0%	0.0%	0.0%	0.6%
Baia	2.5%	41.0%	13.9%	38.2%	2.2%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%
Zadorra	6.2%	24.4%	5.7%	45.3%	0.6%	6.7%	0.0%	2.4%	0.3%	0.4%	6.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%
Inglares	0.0%	37.2%	0.0%	54.0%	0.7%	0.0%	0.0%	3.9%	0.0%	0.0%	4.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Ega	0.0%	28.2%	11.7%	49.9%	2.2%	0.0%	0.5%	0.7%	0.5%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.9%
Arakil	1.5%	5.2%	5.6%	68.4%	1.5%	0.0%	0.1%	3.3%	0.0%	7.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.1%
Ebro	0.0%	10.5%	4.1%	78.2%	5.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%

En la zona de Gipuzkoa se dispuso además de información detallada de 206 perfiles edafológicos que correspondían a los siguientes tipos de suelos:

Tabla 68 Perfiles de suelos inicialmente disponibles para el estudio

Suelo	Nº de perfiles
Acrisol Gleico	9
Acrisol Húmico	6
Acrisol Ortico	10
Cambisol Crómico	5
Cambisol Dístico	35
Cambisol Eútrico	22
Cambisol Gleico	10
Cambisol Húmico	10
Rendsinas	11
Gleysol Eútrico	3
Gleysol Mólico	2
Fluvisol Calcáreo	1
Fluvisol Eútrico	6
Luvisol Crómico	8
Luvisol Gleico	12
Luvisol Calcico	3
Luvisol Ortico	39
Regosol Dístico	3
Regosol Eútrico	4
Ranker	7

8. **SIMULACIÓN**

8.1. Descripción del modelo de simulación

Para la simulación del proceso de conversión de la lluvia en escorrentía, se ha utilizado el modelo Tetis de la Universidad de Valencia por sus características idóneas para la ejecución del proyecto. Es un modelo capaz de obtener la respuesta hidrológica ocasionada por la precipitación de lluvia o de nieve, teniendo en cuenta los diferentes procesos físicos involucrados y empleando la modelación distribuida de tipo conceptual, lo que le permite simular todo el territorio en modo continuo y a lo largo de períodos de simulación extensos. Una descripción detallada del modelo se incluye en el Anejo nº 6, siguiendo a continuación una descripción somera de sus características fundamentales.

Tetis aborda la simulación de los siguientes procesos hidrológicos:

- i) Intercepción. Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados. En general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza el suelo porque se adhiere y humedece estos objetos, para posteriormente evaporarse. La intercepción puede despreciarse cuando se estudian los eventos de crecida. Sin embargo, cuando se desea conservar el balance hídrico este proceso debe ser tenido en cuenta, ya que puede llegar a ser importante.
- ii) Retención. También denominado almacenamiento en depresión, depende de la forma del terreno y de los usos del suelo. El agua retenida no es capaz de salir como escorrentía superficial, por lo tanto se debe evaporar o infiltrar en el suelo. El almacenamiento en depresión puede ser significativo y, en esos casos, puede modificar la respuesta de una cuenca.
- iii) Infiltración. Es el proceso de entrada de agua al suelo a través de la superficie del mismo. Este fenómeno es uno de los más importantes del balance hidrológico, ya que el agua no infiltrada es la escorrentía directa, no sujeta a la evapotranspiración.
- iv) Evapotranspiración. Proceso mediante el cual el agua pasa de un estado líquido o sólido a un estado gaseoso a través de la transferencia de energía calorífica. Para la planificación de los recursos hídricos este proceso debe ser considerado detalladamente.
- v) Fusión de nieve. Es el proceso por el cual se obtiene la cantidad de agua líquida producida por el derretimiento de la nieve que está acumulada en la superficie.
- vi) Percolación. Es el movimiento del agua infiltrada a través del perfil del suelo.
- vii) Recarga de acuífero. Agua percolada a través del suelo que alcanza a un acuífero.
- viii) Escorrentía superficial. Es la porción de lluvia que no es interceptada, detenida, evaporada o infiltrada y que fluye sobre las laderas.

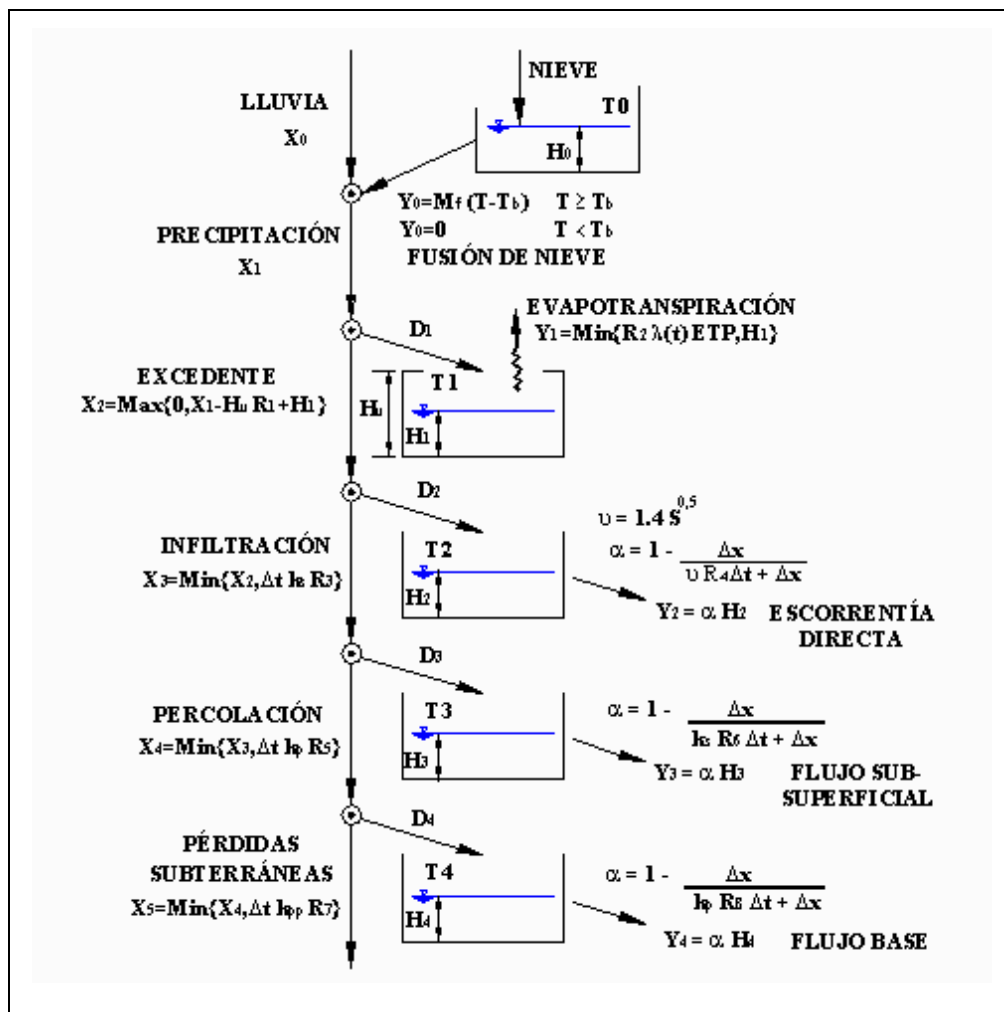
- ix) Flujo subsuperficial. Es el agua que ha sido previamente infiltrada y que circula a través del suelo.
- x) Flujo base. Es el agua infiltrada que circula a través de un acuífero.

Su característica distribuida le imprime un determinado carácter al tratamiento de los datos ya que es necesario generar la información relativa a las series temporales input (precipitación y ET0) distribuida en el espacio basándose en datos puntuales. Para ello se aplica el método del inverso de la distancia al cuadrado. Un problema común que afecta a este tipo de información es la interferencia que se ocasiona cuando se dispone de un número elevado de estaciones. Para evitar este tipo de problemas, la interpolación en el modelo TETIS es realizada hasta con las seis estaciones más cercanas al punto en cuestión, agilizando además el funcionamiento del modelo. Esta cifra se puede reducir a voluntad del usuario.

La representación de la producción de escorrentía se hace mediante esquemas conceptuales aplicados en cada celda y adaptados a su escala y al intervalo de tiempo de simulación. En la literatura se encuentran muchos esquemas conceptuales para representar la producción de escorrentía, la mayoría de ellos coincide en una representación esquemática que incluye varios tanques de almacenamiento interconectados entre sí. Estos esquemas se han utilizado con éxito tanto en modelos conceptuales agregados de simulación continua (Stanford, Sacramento, Tankmodel, GR-3, etc.) como en modelos que se pueden considerar distribuidos (Watflood, DVSM, SLURP, etc). En términos generales, en todos estos modelos se utiliza un grupo de tanques para representar conceptualmente la producción de escorrentía en lo que se puede considerar una unidad de respuesta hidrológica HRU.

En TETIS, la producción de la escorrentía se basa en la realización de un balance hídrico en cada celda, asumiendo que el agua se distribuye en cinco niveles o tanques de almacenamiento conceptuales y conectados entre sí, como puede observarse en la Ilustración 67.

Ilustración 67 Esquema conceptual del modelo TETIS



El flujo entre los tanques es función del agua almacenada en ellos, por lo que las variables de estado son los volúmenes almacenados en cada uno de los tanques. La función que relaciona el flujo con estas variables de estado es función de las características morfológicas de la celda e hidrológicas del suelo en la misma.

En los apartados siguientes se presentan sucintamente, con más detalle en el Anejo N° 6, las relaciones funcionales para el flujo entre los almacenamientos y hacia la red de drenaje.

8.1.1. El almacenamiento capilar en el suelo y las pérdidas por evaporotranspiración

El primer almacenamiento, denominado *almacenamiento capilar o estático*, T1, representa el agua que transita por la cuenca y que sólo sale de ella por evaporotranspiración, por lo tanto no forma parte de la escorrentía. Este almacenamiento representa la interceptación, la detención del agua en charcos y el agua que se retiene en el suelo por las fuerzas capilares.

La cantidad de agua que se deriva del primer nodo del conducto distribuidor N_1 y que no ingresa al almacenamiento estático, X_2 , depende del contenido de humedad del suelo (representado por la cantidad de agua almacenada en el tanque, H_1), de las características del suelo (representado parcialmente por el agua útil, H_u) y de la cantidad de lluvia X_1 . TETIS emplea la siguiente relación:

$$X_2 = \text{Max}[0, X_1 - H_u * R_1 + H_1]$$

Siendo R_1 un factor corrector que multiplica de forma directa el almacenamiento capilar o agua útil.

Se procede a estimar la cantidad de agua que representa la evapotranspiración Y_1 mediante una formulación simple:

$$Y_1 = \text{Min}[ETP \cdot R_2, H_1]$$

En donde ETP es la evapotranspiración potencial (o de referencia, que es como se refiere en este estudio) afectada por un coeficiente que refleja la vegetación actual y su distribución y R_2 es un factor corrector que debe ser cercano a uno.

De acuerdo con lo propuesto en el modelo, el agua que no ingresa al almacenamiento estático, T_1 , sigue su camino por el conducto de distribución, donde en los nodos siguientes se va derivando hacia los almacenamientos de las distintas componentes de la escorrentía.

8.1.2. El almacenamiento del flujo superficial en la ladera (respuesta rápida)

El segundo nivel representa el agua que se encuentra en la superficie y es susceptible de moverse superficialmente por la ladera (escorrentía directa) o de infiltrarse al nivel inferior. En este modelo el almacenamiento del flujo superficial, T_2 , representa el agua mientras fluye por la ladera. Se considera que el flujo en la ladera ocurre en una delgada capa que se va concentrando en una pequeña red de surcos y pequeñas depresiones o canales hasta que pasa a los elementos de la red de drenaje.

El almacenamiento del flujo superficial se alimenta del flujo derivado del conducto distribuidor, N_1 . La cantidad que se deriva para escorrentía superficial depende de la capacidad del suelo para dejar pasar el agua gravitacional y del estado del almacenamiento en la capa superior del suelo.

La capacidad para dejar pasar el agua gravitacional se puede asociar a la conductividad hidráulica en la capa superior del suelo (en condiciones de saturación). En este caso se tiene

en cuenta tanto la macroporosidad como la microporosidad. Se supone entonces que mientras no se tengan otras limitantes se puede dejar pasar al almacenamiento en la capa superior del suelo tanta agua como indica esta conductividad hidráulica del suelo. Hay que recordar que del flujo en el canal distribuidor ya se ha derivado previamente cierta cantidad de agua para el almacenamiento estático en el suelo y por lo tanto parece razonable considerar que la conductividad del suelo es la conductividad saturada, k_s .

La cantidad de agua que sigue por el conducto distribuidor X_3 , se relaciona con la capacidad del suelo para dejar pasar el agua a su interior k_s (una conductividad del suelo asociada a la cobertura), por el intervalo de tiempo Dt y con el flujo excedente del almacenamiento capilar X_2 , de acuerdo a la siguiente expresión:

$$X_3 = \text{Min}[X_2, \Delta t \cdot k_s \cdot R_3]$$

Siendo R_3 un factor corrector que afecta de forma directa al parámetro de la conductividad hidráulica saturada del suelo k_s .

Para el flujo superficial en cada celda se supone que la ladera se puede representar por un canal equivalente. El modelo TETIS emplea para la estimación del flujo que escurre por la ladera una expresión del siguiente tipo:

$$Y_2 = \text{Min}[H_2 \cdot \alpha, H_2]$$

Donde α depende de las características del terreno obtenidas de la topografía y del factor corrector R_4 , que debe encontrarse entre 0.01 y 10.0.

8.1.3. El almacenamiento de agua gravitacional en la capa superior del suelo

El tercer nivel se puede entender como el *agua gravitacional* almacenada en el suelo. Parte de este volumen pasa al nivel inferior por percolación y otra parte produce el flujo subsuperficial. El almacenamiento en la capa superior de suelo T3 representa el almacenamiento del agua mientras fluye lateralmente a través de la capa superior del suelo y hacia la red de drenaje.

De acuerdo con lo propuesto en el modelo (en el intervalo de tiempo Dt), se tiene una cantidad de agua gravitacional X_3 que se mueve verticalmente hacia el interior del suelo. De esta cantidad, una parte X_4 podrá percolar o seguir hacia la zona inferior del suelo, mientras que el resto del agua se deriva al almacenamiento superior del suelo, donde se convertirá en escorrentía subsuperficial.

La cantidad de agua que puede continuar hacia la zona inferior del suelo durante el intervalo de tiempo se puede asociar con el flujo excedente del almacenamiento del flujo superficial en ladera X_3 y la conductividad hidráulica en la capa inferior del suelo (subsuelo) en condiciones de saturación, que se conoce como capacidad de percolación k_p .

$$X_4 = \text{Min}[X_3, \Delta t \cdot k_p \cdot R_5]$$

Siendo R_5 un factor corrector que se recomienda ajustar el parámetro del suelo asociado a la conductividad hidráulica saturada de la roca k_p .

Para la producción de escurrentía subsuperficial en la ladera se hace una formulación análoga a la presentada en el almacenamiento T2 para obtener la siguiente relación:

$$a = 1 - \frac{\Delta x}{R_6 k_s \Delta t + \Delta x}$$

En donde se considera que R_6 es un factor corrector de la velocidad de infiltración o conductividad hidráulica saturada k_s . El modelo TETIS utiliza la siguiente expresión para estimar la cantidad del flujo que escurre subsuperficialmente:

$$Y_3 = \text{Min}[H_3 \cdot a, H_3]$$

8.1.4. El almacenamiento subterráneo (respuesta lenta)

El cuarto nivel representa al *acuífero*. Las salidas corresponden a las pérdidas subterráneas (para la cuenca modelada -o a errores de balance-), y el flujo base de los cauces.

El almacenamiento subterráneo se ha representado por un tanque T4, donde se considera el almacenamiento del agua gravitacional mientras fluye a través del interior del suelo hacia la red de drenaje, en lo que se podría considerar como el *acuífero*, y de donde sale para formar el flujo base.

De un modo similar a lo planteado anteriormente para los otros almacenamientos, en esta representación se pretende que, tanto la cantidad almacenada como el tiempo de residencia, sean coherentes con lo que en realidad ocurre en los *acuíferos* de la cuenca, ya sea que allí el

suelo esté formado por depósitos de materiales granulares, medios porosos, sistemas kársticos o sistemas de fracturas.

Para las pérdidas subterráneas el modelo emplea la siguiente expresión:

$$X_5 = \text{Min}[X_4, 0.1 \cdot k_p \cdot R_7]$$

En el modelo se ha contemplado la posibilidad de que parte del agua que llega al acuífero no se incorpora al flujo base en la cuenca en el punto de la cuenca donde se pretende simular. Para la representación del flujo a través del almacenamiento subterráneo en cada una de las celdas se utiliza la ecuación de continuidad y una ecuación que relaciona la tasa de flujo que sale de este almacenamiento con la cantidad de agua almacenada. Del mismo modo que en los almacenamiento anteriores y siendo R_8 un factor corrector, el modelo emplea la siguiente relación para estimar las salidas del almacenamiento subterráneo:

$$a = 1 - \frac{\Delta x}{R_8 \cdot k_p \cdot \Delta t + \Delta x}$$

$$Y_4 = \text{Min}[H_4 \cdot a, H_4]$$

Se procede entonces a calcular la velocidad del flujo para realizar la traslación hacia las celdas aguas abajo cuyo factor corrector es R_8 .

8.1.5. La traslación de la escorrentía: La onda cinemática geomorfológica

Para la traslación de la escorrentía se aplica una formulación que incluye elementos de la geometría hidráulica. Con estos elementos se puede hacer un análisis hidráulico razonable de las transferencias entre las celdas, sin requerir grandes volúmenes de información (generalmente bastante costosa) y sin recurrir a simplificaciones exageradas a escala cuenca.

La traslación de la escorrentía a lo largo de la cuenca se realiza considerando que el agua no abstraída circula sobre las laderas hasta alcanzar algún canal perteneciente a la red de drenaje natural de la cuenca y a partir de allí circula por la red drenaje en sí. Su estimación se puede hacer de acuerdo con las leyes de la hidráulica de los cauces naturales o con simplificaciones conceptuales. En el caso de Tetis, el modelo empleado es de la “onda cinemática”, que es una simplificación de las ecuaciones de Saint Venant al despreciar en la ecuación de conservación de la energía los términos correspondientes a los efectos inerciales y de presión. Por otra parte, las características hidráulicas de los cauces se obtienen con base en parámetros propios de la cuenca (o regionales si no se dispone de los propios) que se extraen de la información

geomorfológica de la cuenca. Por eso, esta nueva metodología se ha denominado de la Onda Cinemática Geomorfológica (en adelante OCG).

Según Leopold, Wolman y Miller²⁹ para una zona con condiciones climáticas y morfológicas homogéneas existe una relación entre el caudal a sección llena Q_b en un punto y el área de cuenca que drena a través de este punto Λ , de la siguiente manera:

$$Q_b \propto \Lambda^j$$

$$Q_b = k\Lambda^j$$

Los parámetros k y j son constantes de validez regional. En distintas regiones del mundo donde se ha analizado esta expresión se han obtenido valores para el exponente j entre 0.65 y 0.80. Leopold, Wolman y Miller proponen como valor promedio de gran aplicabilidad 0.75.

8.1.6. Otros procesos

Tetis incluye otras opciones de simulación que no se han aplicado en este estudio, pero que pueden ser de utilidad en el futuro. Dos de ellas son la fusión de nieve y la laminación en embalses.

El modelo de fusión de nieve tiene dos componentes básicas: una es la que tiene en cuenta la acumulación y la otra es la forma como se realiza la fusión. Para la fusión se encuentran dos aproximaciones clásicas, la primera corresponde a los métodos de tipo índice térmico o grado-día y los basados en conceptos físicos considerando el balance energético.

El modelo TETIS emplea el método índice de temperatura para la estimación de la fusión de la nieve, básicamente porque no se dispone de información completa de radiación solar neta, energía sensible, energía latente, calor del suelo y energía advectiva. Esta información es necesaria para la estimación de la fusión de la nieve en modelos que tienen en cuenta el balance energético aplicando leyes de conservación.

Tetis es capaz de analizar la laminación en los embalses considerando sus características físicas dadas por las curvas de desagüe en función de la altura de la lámina de agua. La estimación de la cantidad de agua que sale del embalse se realiza en una primera fase

²⁹ Leopold, L. B.; M.G. Wolman y J. P. Miller. 1964. *Fluvial Process in Geomorphology*. Freeman, San Francisco

empleando la ecuación de continuidad. También se ha incluido dentro del modelo la opción de realizar la laminación mediante el Puls Modificado.

8.1.7. Síntesis de los datos necesarios para el modelo

Para ejecutar el modelo se requiere la información básica, las capas de parámetros generales, los factores de corrección y los estados iniciales.

La información básica es aquella que proviene del modelo digital del terreno MDT y que se concreta en los siguientes mapas:

- Mapa con las direcciones de drenaje, para establecer las conectividades entre las diferentes celdas.
- Área de drenaje acumulada en cada celda. Se requiere para la estimación de la velocidad y el área del flujo en la metodología de traslación por medio de la onda cinemática geomorfológica.
- Mapa de pendientes, necesario para estimar la velocidad superficial de la escorrentía y para determinar la velocidad y el área del flujo mediante la metodología de la OCG
- Altura sobre el nivel del mar, es necesaria para la interpolación de la temperatura y de la altura de agua equivalente de nieve en cada celda.
- Mapa de la zona cubierta con nieve

La información del episodio de lluvia también es considerada como básica, ella debe incluir las series temporales de lluvia, niveles de embalses, caudales de salida en los embalses, caudales en las estaciones de aforo, evapotranspiración, altura equivalente de agua y temperatura.

Los parámetros del modelo son: los parámetros del suelo y de los parámetros geomorfológicos con validez regional. Los del suelo son: Altura de agua útil (Hu); Permeabilidad superficial o conductividad hidráulica saturada del suelo (ks); Y capacidad de percolación o conductividad hidráulica saturada del estrato rocoso (kp).

Los nueve parámetros geomorfológicos, son los exponentes y coeficientes de las siguientes ecuaciones:

- Área acumulada de la cuenca y caudal a sección llena: $\Lambda = k \cdot Q_b^j$
- Ancho de la sección transversal a sección llena y el caudal a sección llena: $w_b = a_1 \cdot Q_b^{a_1}$
- Ancho de la sección transversal w y el caudal: $w = Q^{a_2}$

- Diámetro del sedimento, la pendiente y la profundidad del flujo: $d = c_d \cdot (ys_o)^q$
- Coeficiente de rugosidad y el diámetro del sedimento: $n = c_n \cdot d^x$

Los factores correctores son: Almacenamiento estático R_1 ; Evapotranspiración R_2 ; Infiltración R_3 ; Escorrentía directa R_4 ; Percolación R_5 ; Flujo subsuperficial R_6 ; Pérdidas subterráneas R_7 ; Flujo base R_8 ; Y velocidad de la onda, R_9 .

Es necesario establecer también el estado de humedad al inicio del proceso de simulación en cada uno de los almacenamientos o tanques. Los tres almacenamientos que tienen relevancia dentro del estado inicial de humedad del suelo son: El almacenamiento capilar (dado como un porcentaje de la capacidad máxima del almacenamiento capilar); El estado de humedad en el suelo (una cantidad de agua disponible desde el inicio del episodio); Y el estado inicial del acuífero (cantidad de agua al inicio del evento).

Estas variables de estado se establecen globalmente, es decir, son iguales para todas las celdas en cada una de las regiones geomorfológicamente homogéneas. Para cada evento estos valores son variables y deben ser calibrados mediante un procedimiento de ensayo y error.

8.2. Estimación Inicial de los parámetros

8.2.1. *Introducción*

Tal como se ha comentado, los modelos distribuidos como Tetis requieren que los parámetros estén repartidos sobre la superficie del terreno de forma más o menos continua, respetando su variabilidad, y de una manera coherente con las variables ambientales. La correcta calibración del modelo requiere las dos fases ya citadas: la estimación inicial y la de los factores correctores. La primera, que es la que se refiere en este capítulo se realiza utilizando información descriptiva del territorio. La segunda, que se cita en el capítulo siguiente, se realiza comparando los resultados de la simulación con la medición de la realidad.

En este capítulo se describen las estimaciones iniciales de los siguientes parámetros:

1. conductividad hidráulica del suelo
2. conductividad hidráulica del sustrato del suelo
3. capacidad de almacenamiento hídrico del suelo
4. Abstracción inicial de la superficie del terreno (intercepción más almacenamiento superficial en depresiones)
5. factor de vegetación mensual para la evapotranspiración
6. coeficientes y exponentes de las funciones potenciales utilizadas en el submodelo de propagación en cauces

En el siguiente epígrafe se analiza la estimación de los tres primeros (parámetros hidrológicos del perfil del suelo) y en los tres siguientes los tres últimos.

8.2.2. *Estimación de los parámetros hidrológicos del perfil de suelo*

8.2.2.1. METODOLOGÍA

El objetivo es la estimación distribuida de las condiciones hidráulicas de un suelo, en función de una serie de informaciones puntuales (datos de los perfiles edáficos), extrapoladas espacialmente en función de otras variables ambientales. Es decir, se trata de establecer una relación funcional simple, tipo regresión, entre:

- a) Las **variables principales**, que son las directamente relacionadas con el comportamiento hidrológico del terreno (conductividad hidráulica del suelo y del sustrato, y capacidad de almacenamiento hídrico del suelo), y las
- b) **Variables ambientales**, que son todas aquellas variables que explican alguna parte de la variabilidad espacial de alguna de las variables principales.

Las fases principales del proceso son:

1. Generación de la capa temática correspondiente a las variables principales. Unidades cartográficas.
2. Asignación de valores modales de cada variable principal a cada unidad cartográfica mediante información puntual edáfica (de perfiles). A partir de aquí a estos valores se les denomina “observados”.
3. Creación de las unidades de muestreo mediante superposición de las unidades cartográficas y los mapas del resto de las variables ambientales.
4. Establecimiento de las regresiones entre los valores de las variables principales “observadas” y las ambientales
5. Obtención de los valores “estimados” de las variables principales para todas las celdas del territorio.

Las comillas del proceso anterior indican que aunque todos los valores son estimados (no es posible “medir” un parámetro de un modelo de simulación de este tipo en el terreno) los observados son los deducidos directamente de información “física” y los estimados los obtenidos en base a la aplicación de las correlaciones con los valores de las variables ambientales.

La regresión lineal empleada tiene la formulación clásica:

$$y_i = b_0 - \sum_{j=1}^k b_j x_{ij}$$

donde:

y_i : variable principal

i = celda de evaluación

x_{ij} : variable independiente de tipo ambiental j

b_j : coeficientes de la regresión

La estimación de los coeficientes de regresión se realizó mediante un ajuste por mínimos cuadrados ponderados. La ponderación corresponde al área de cada unidad de muestreo. Por tanto, la función objetivo a minimizar fue:

$$\sum_{i=1}^n w_i \left(y_i - b_0 - \sum_{j=1}^k b_j x_{ij} \right)$$

donde:

y_i : variable principal

x_{ij} : valor de la variable ambiental j en la unidad de muestreo i.

w_i : peso calculado como el área de cada unidad de muestreo.

b_i : coeficientes de regresión a estimar

Finalmente, el último paso fue la estimación de los valores de las variables principales en cada celda mediante la aplicación de los factores obtenidos en la regresión, pero forzando a que el valor medio en cada unidad cartográfica sea el valor modal de la variable principal. Es decir, para cada variable principal y unidad cartográfica, su valor estimado en celda viene dado por la siguiente expresión:

$$y_i^* = y_i + [E(y_i) - y^c]$$

donde:

y_i^* : valor de la variable principal estimado en cada celda de cada unidad cartográfica.

y_i : valor de la variable principal estimado mediante el modelo de variabilidad sin corrección, para cada celda de cada unidad cartográfica.

$E(y_i)$: valor medio para cada unidad cartográfica de la variable principal estimada mediante el modelo de variabilidad sin corrección.

y^c : valor modal original de la variable principal, asignado a cada unidad cartográfica.

El tamaño de celda utilizado para todos los cálculos es el seleccionado para del modelo de simulación : 500 por 500 metros.

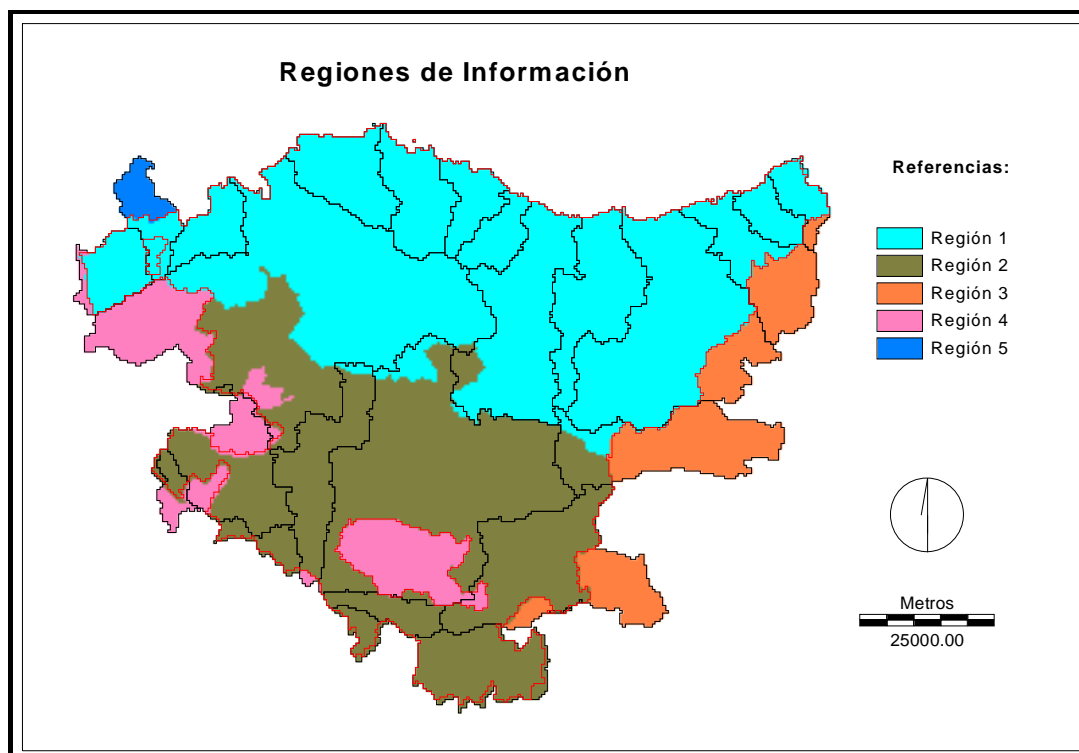
8.2.2.2. FUENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADA

Un detalle a señalar es la variabilidad en las fuentes de información existentes en el ámbito del estudio. Esto ha conducido a que, en algunos casos, se hayan mezclado criterios de clasificación, taxonomías y escalas distintas incluso para el mismo concepto. Sí es de señalar la homogeneidad de criterios entre Gipuzkoa y Bizkaia, lo que ha permitido considerarlas como una única fuente de información en lo que a las variables ambientales se refiere.

La Ilustración 68 y la Tabla 69 señalan la distribución de las diferentes áreas integradas en el ámbito de este estudio.

Tabla 69 Regiones de información homogénea en el ámbito del estudio

Región	Denominación	Comunidad Autónoma
Región 1	Gipuzkoa + Bizkaia	País Vasco
Región 2	Álava	País Vasco
Región 4	Burgos	Castilla y León
Región 3	Navarra	Navarra
Región 5	Santander	Cantabria

Ilustración 68 Distribución de las regiones de información

La Tabla 70 expone los diferentes tipos de información cartográfica original utilizada en función del tema tratado en el estudio. Dentro de la problemática de las escalas de la información, merece ser destacado el caso de las diferencias existentes entre los mapas de suelos de Gipuzkoa y Bizkaia (1:25.000) y el de Álava (1:200.000). En el caso de Castilla y León, la escala original de la información es de 1:500.000.

Este es un aspecto importante porque influye en la variabilidad entre celdas y entre sectores del territorio. Una unidad cartográfica delineada a 1:25.000, cubrirá una pequeña variación edáfica del terreno mientras que una unidad cartográfica delineada a escala 1:200.000 englobará una variación mayor de suelos.

Tabla 70 Información cartográfica utilizada en la estimación de parámetros hidrológicos

Tipo de Información	Mapas	Formato original y escala
Estructura geológica	Mapa Hidrogeológico del País Vasco, Mapa Hidrogeológico de Navarra. Mapas litológicos del País Vasco, Navarra y Castilla y León	Digital vectorial
Unidades Hidrogeológicas	Mapa Hidrogeológico del País Vasco, Mapa Hidrogeológico de Navarra.	Digital vectorial
Litología	Mapas litológicos del País Vasco, Navarra y Castilla y León	Digital vectorial
Topografía	Modelo digital del terreno	Digital raster, píxel de 25*25 m.
Uso del suelo	Mapas de cubierta del suelo de País Vasco, Navarra y Castilla - León	Digital vectorial
Tipos de suelos	Mapas de suelos de Gipuzkoa, Bizkaia, Álava, Navarra y Castilla - León	Digital vectorial
	Mapa de Suelos de la Comunidad Europea	Digital vectorial.

8.2.2.3. VARIABLES AMBIENTALES

- Dominios Hidrogeológicos

En este trabajo se ha realizado una extensión de los dominios hidrogeológicos originales hacia los territorios de Navarra y Castilla y León, incluidos en el ámbito del estudio. La misma no tiene otro fin que la parametrización de las propiedades hidrológicas del terreno.

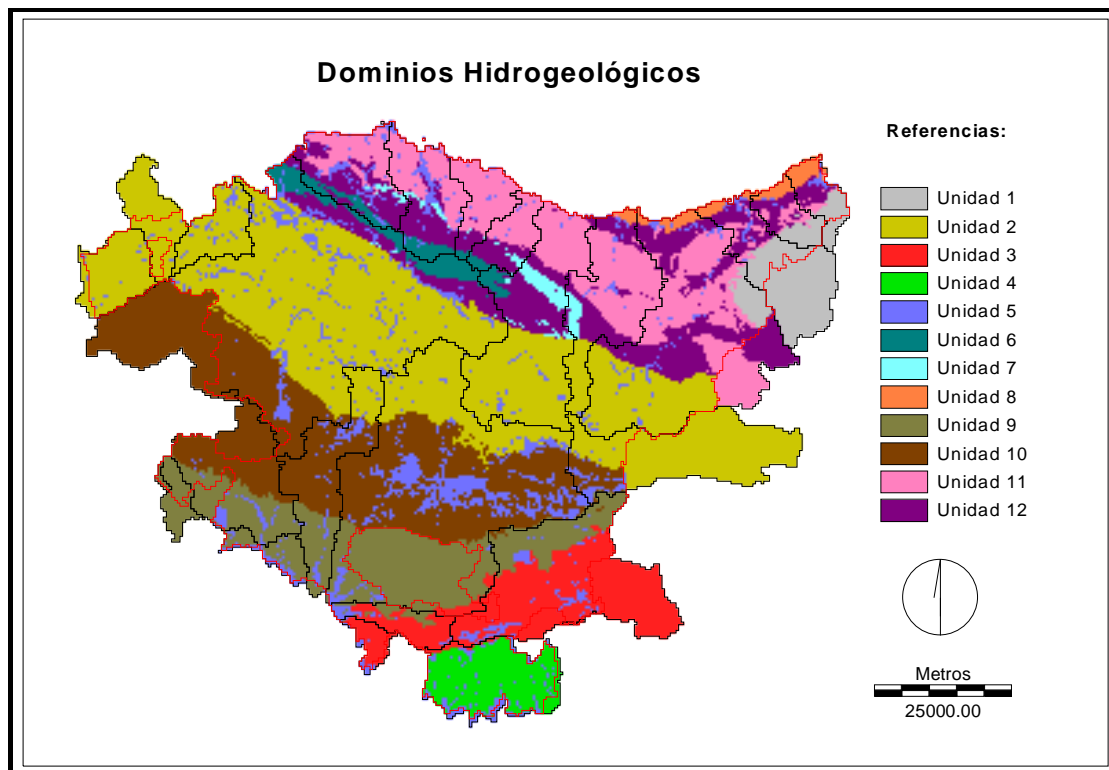
Para elaborar la cartografía de los Dominios Hidrogeológicos se partió de dos tipos de información:

- Mapas de litología correspondiente a los territorios de Gipuzkoa, Bizkaia, Álava, Navarra, Santander y Castilla y León, cada uno con su correspondiente leyenda.
- Información hidrogeológica correspondiente a Gipuzkoa, Bizkaia, Álava y Navarra.

Su denominación y distribución se observan en la Tabla 71 y en la Ilustración 69.

Tabla 71 Dominios hidrogeológicos

Unidad	Nombre
1	Paleozoico y granitoides
2	Anticlinorio Sur
3	Sierra de Cantabria
4	Cuenca del Ebro
5	Cuaternario
6	Sinclinal de Oiz
7	Complejo volcánico
8	Cadena costera
9	Sinclinal de Urbasa-Treviño
10	Plataforma alavesa
11	Anticlinorio Norte
12	Cretácico Superior

Ilustración 69 Distribución de los dominios hidrogeológicos

- Litología y litoestratigrafía regional

La litología que compone la mayor parte del ámbito del estudio es de edad cretácica. El comportamiento hidrológico de estos materiales es un elemento fundamental en este trabajo. La primera catalogación del comportamiento hidrológico de los principales tipos litológicos es la incluida en el Mapa de Permeabilidades, ya citado en el capítulo 7. Cabe recordar que se

distinguieron cinco categorías de permeabilidad, que se pueden resumir de la siguiente manera:

- .1.- Permeabilidades altas y muy altas: asignadas a aquellos términos litológicos normalmente constitutivos de acuíferos.
- .2.- Permeabilidades muy bajas: asignadas a los materiales que actúan de sellos a la infiltración, tales como limonitas, argilitas, etc.
- .3.- Permeabilidades medias y bajas, asignadas a los materiales constituidos sobre la base de alternancias o de litologías intermedias (areniscas y lutitas, calizas margosas, etc.)

La definición de cada categoría implicó un rango del coeficiente de infiltración de la lluvia útil. La relación entre rangos de permeabilidad y coeficientes de infiltración es la ya citada en la Tabla 63.

Esta clasificación, disponible en origen únicamente para el ámbito de la CAPV, fue extendida, reinterpretando la información litológica existente según los criterios expuestos en el mapa de permeabilidades y teniendo en cuenta las similitudes ambientales entre los casos estudiados, al resto del ámbito del estudio, tal como se indicó en el capítulo 7. El mapa así obtenido sirvió de base para corregir las estimaciones iniciales de K_p , tal como se describirá mas adelante.

- Suelos

El hecho de existir diferentes fuentes de información presenta el problema de la taxonomía y forma de clasificación. Partiendo de la clasificación de la CAPV fue necesario interpretar y correlacionar los diferentes términos taxonómicos en Castilla y León y Navarra.

La base para una taxonomía de aplicación hidrológica es aquella que se estructura alrededor de las características morfológicas del perfil. De esta forma es posible definir las cualidades hidrológicas del suelo y asociar a éstas con los parámetros de modelación. La base taxonómica particular de este caso fue la separación de los suelos en función del grado de desarrollo que presenten sus perfiles, es decir, en función del tipo y cantidad de horizontes edáficos que éstos presenten. Se definieron así tres categorías principales con las cuales establecer las divisiones principales entre tipos de suelos (Tabla 72).

Tabla 72 Categorías básicas de los suelos

Grupo	Denominación	Perfil tipo
1	Suelos sin horizontes edáficos definidos	Sin perfil definido.
2	Suelos con poco desarrollo de suelos	Usualmente con perfiles de tipo A/C o AC/C
3	Suelos desarrollados	Usualmente con perfiles del tipo A/B/C o más desarrollados

Así, los suelos que no presentan desarrollo en el perfil o éste es mínimo son los que más características comparten con los materiales parentales. Desde el punto de vista hidrológico, su característica común y más destacada es la marcada heterogeneidad lateral y vertical de los suelos. Las unidades cartográficas que contengan este tipo de suelo están asociadas a geoformas claramente diferenciables en el terreno, tales como depósitos coluviales o aluviales. Los límites externos de estas unidades, así como las superficies que las subdividen internamente, son superficies de discordancia de origen sedimentario o erosivo.

Avanzando en la evolución del perfil de suelos, surge la segunda categoría: los suelos que presentan diferentes horizontes (al menos dos) pero el grado de diferenciación es bajo. Así surgen suelos con perfiles AC o A/C, con un primer horizonte más o menos humificado, con cierto desarrollo de la estructura edáfica. Por debajo, se presenta un horizonte directamente relacionado al material parental. Se trata de suelos que, normalmente, no presentan gran profundidad, situándose en relieves y posiciones de paisaje geomorfológicamente activos. En términos hidrológicos, estos suelos participan fundamentalmente en la transmisión de flujos a lo largo de las laderas.

Finalmente, los suelos con desarrollo de horizontes en secuencia A/B/C indican el mayor desarrollo de perfil, respecto a los dos casos anteriores. Particularmente, la presencia del horizonte B, las características de su estructura edáfica, y la concentración de arcillas relativa al horizonte superior, indicarán la presencia o no de un nivel que impida la penetración profunda del agua y/o la presencia de dos secciones claras en el perfil: una superior con buenas condiciones para la transmisión del agua y otra inferior, con una gran capacidad de almacenamiento hídrico. La distribución regional de estas categorías de suelos se expone en la Ilustración 70.

Dentro de esta última categoría de suelos, existen tres casos que deben destacarse por su afección en las propiedades hidrológicas del suelo:

- i) La presencia o no de carbonatos de calcio en el perfil (Ilustración 71).
- ii) Las de condiciones de anegamiento parcial del perfil afectando al menos a los primeros 50 cm. del mismo (Ilustración 72). Dichas condiciones son conocidas como “condiciones gleycas” o de “procesos de gleyzación”.
- iii) Finalmente, cabe destacar que, dada la importancia que tienen los procesos kársticos en la región, la presencia o ausencia de suelos del orden de las Rendsinas resulta de particular importancia a la hora de la estimación del comportamiento hidrológico del terreno (Ilustración 73).

Usualmente, la presencia de carbonatos implica la reducción de su conductividad hidráulica y

su capacidad de almacenamiento hídrico, ya sea por su presencia diseminada en la matriz del suelo o por la generación de superficies cementadas o costras calcáreas. En el caso de estas últimas, su presencia y distribución está asociada a la estratigrafía reciente del terreno y, consecuentemente, a la evolución del suelo.

Ilustración 70 Distribución de los principales grupos de suelos

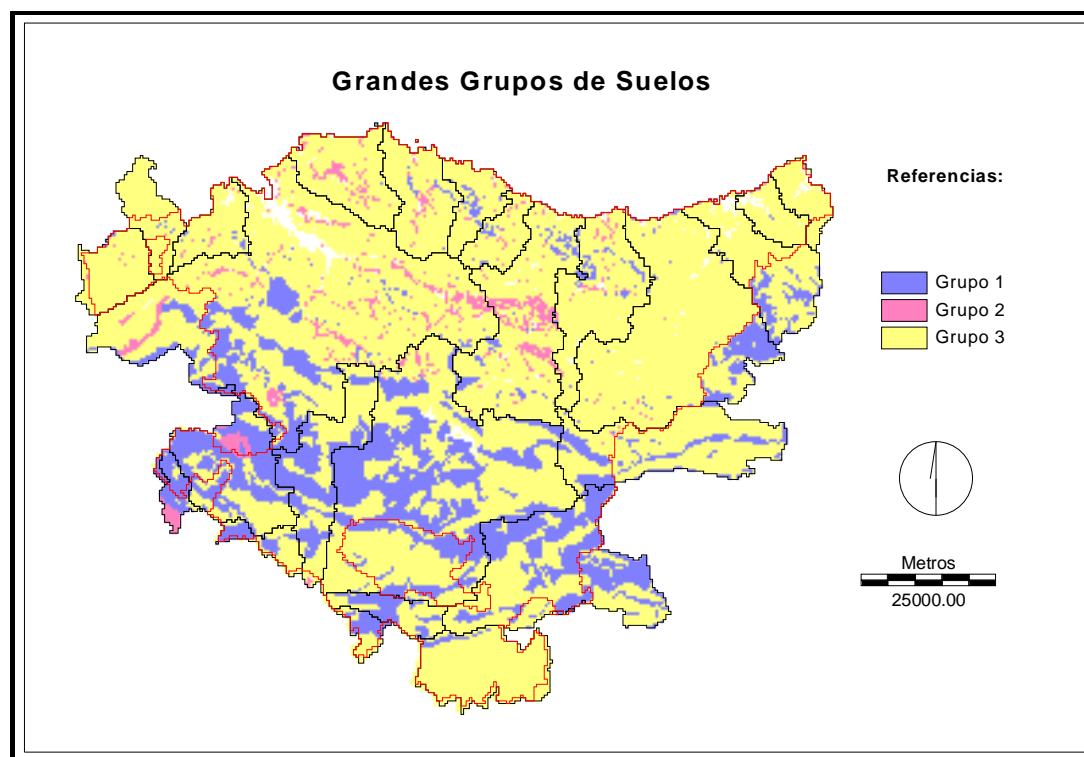


Ilustración 71 Presencia de concentración de carbonatos en el perfil, en la zona de estudio

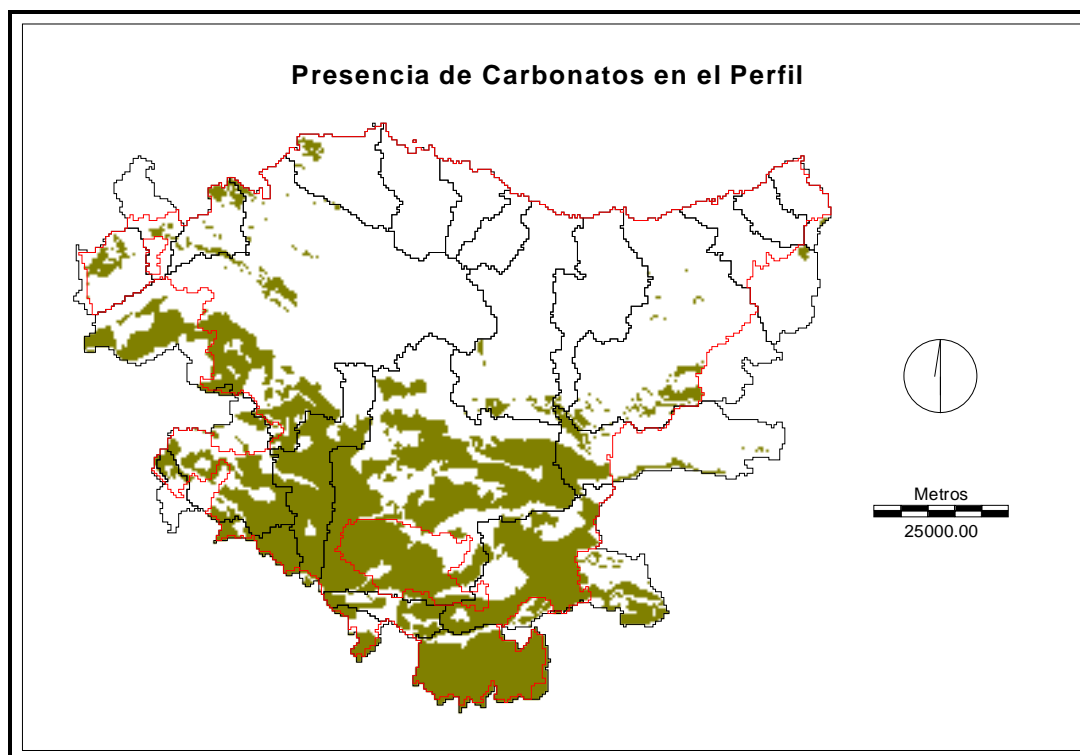


Ilustración 72 Presencia de características gleyicas, en la zona de estudio

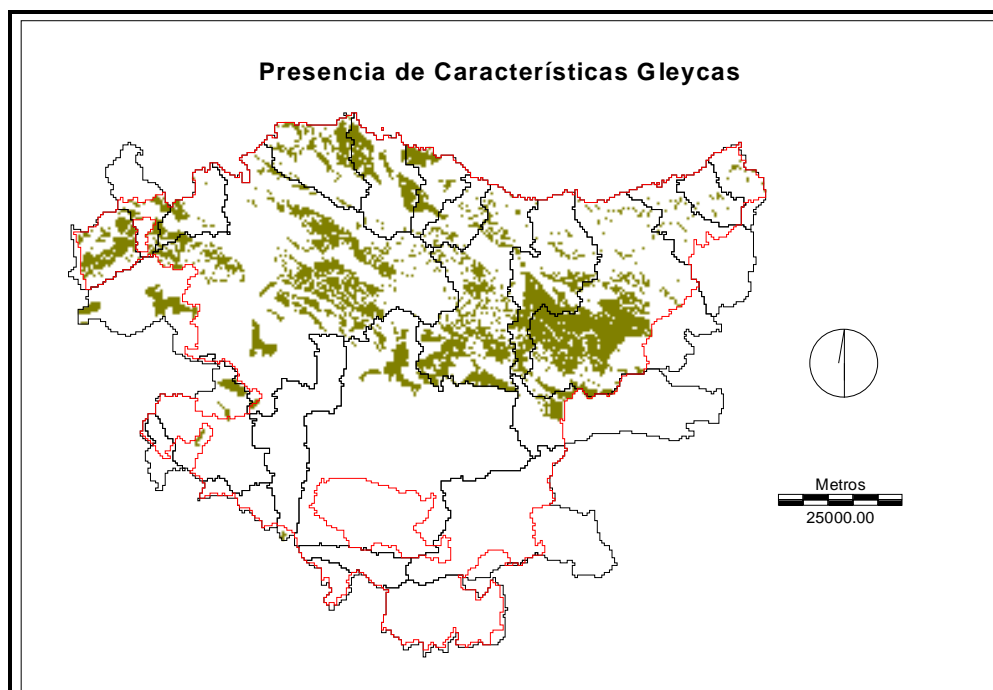
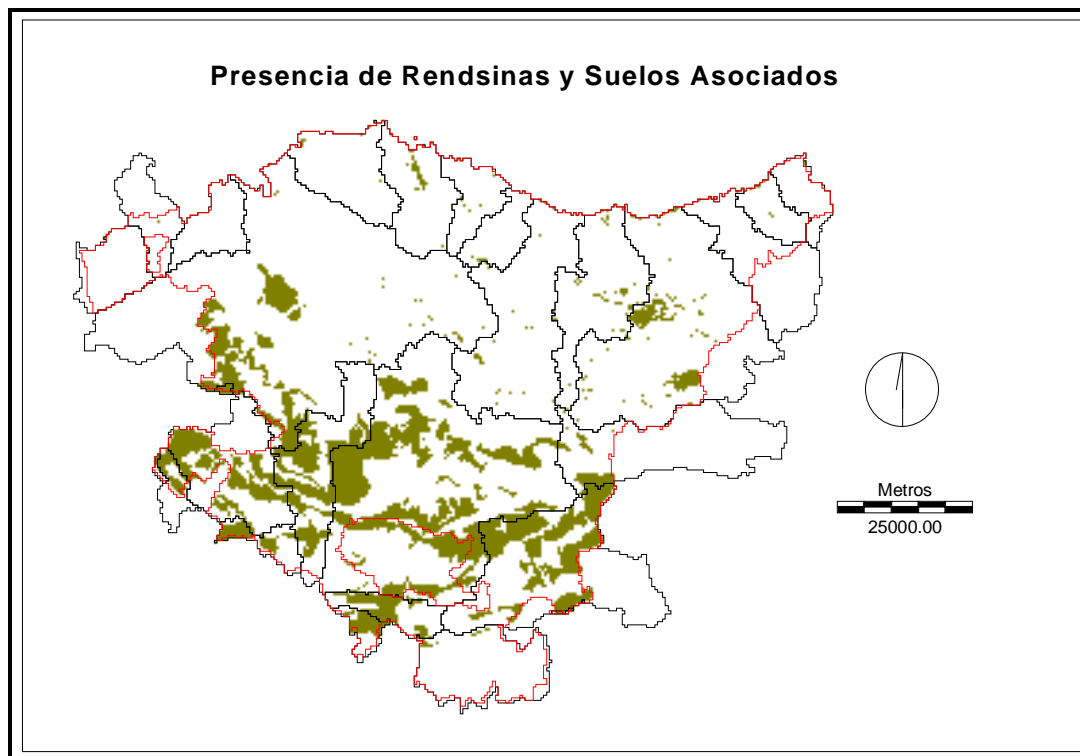


Ilustración 73 Distribución de la presencia de Rendsinas y de suelos asociados

La concentración de carbonatos en el interior del perfil es una situación especialmente presente en el sector Sur del área analizada, fundamentalmente en Álava y en una fracción del sector occidental de Bizkaia. Por el contrario, los problemas de gleyzación son dominantes en Gipuzkoa y Bizkaia. Finalmente, las Rendsinas se distribuyen en todo el territorio analizado, siendo más destacadas en la zona Sur, en Álava. Su distribución espacial coincide con la presencia de importantes afloramientos calizos en la región.

Los suelos zonales presentes en la vertiente Norte tienen un buen desarrollo evolutivo del perfil, en el que destaca la presencia de horizontes B cámbicos o argílicos. Pertenecen a los órdenes de los Cambisoles y de los Luvisoles.

En el sur la zonalidad de los suelos es algo menos clara. Sin embargo los Cambisoles y Luvisoles cumplen aquí el mismo rol que en el sector Norte. Se agregan a los anteriores las Rendsinas, suelos que originalmente no son zonales en sentido estricto, pero que en este caso, dada su extensión cartográfica y su grado de representatividad de las condiciones del terreno (entre ellas las hidrológicas) permite considerarlos como tal. El contraste entre estos tres órdenes es claro, tanto en lo que respecta a su perfil edáfico, como a las condiciones hidrológicas que representan.

Algunas de las variaciones observadas podrían relacionarse con las diferencias en las escalas de la información. Tal diferencia puede exagerar las características observadas en Álava respecto Gipuzkoa y Bizkaia. Dada la trascendencia de este tema, que es el soporte del

establecimiento de las unidades cartográficas sobre las que determinar los valores modales, a continuación se expone una síntesis de la distribución de los órdenes de suelos más importantes.

Gipuzkoa y Bizkaia

En general, el relieve es complejo, con laderas convexas y estrechos fondos aluviales. La dinámica dominante es de procesos de deslizamiento de laderas y la acumulación de materiales en las depresiones. El DUAYMA³⁰ indica que los valles presentan exceso de humedad y altos contenidos de materia orgánica, mientras que en las laderas la variedad edáfica está directamente controlada por la dinámica erosiva.

Los Territorios se encuentran dominados por suelos evolucionados, asociados entre sí. Así, los Cambisoles y Luvisoles son los suelos más frecuentes. Los suelos con problemas de gleyzación se localizan fundamentalmente en las partes bajas de la mitad central y Norte de Gipuzkoa (relieves Costero, Prelitoral e Intermedio, según DUAYMA). No se encuentran problemas de gleyzación en la zona occidental de Gipuzkoa, limitando con Navarra (Relieves Occidentales, según DUAYMA).

Los cauces de los principales cursos de agua se caracterizan por la presencia de suelos poco evolucionados, desarrollados partir de materiales fluviales recientes (Fluvisoles). Las Rendsinas aparecen asociadas a zonas afectadas por procesos kársticos, relacionados lateralmente a Luvisoles.

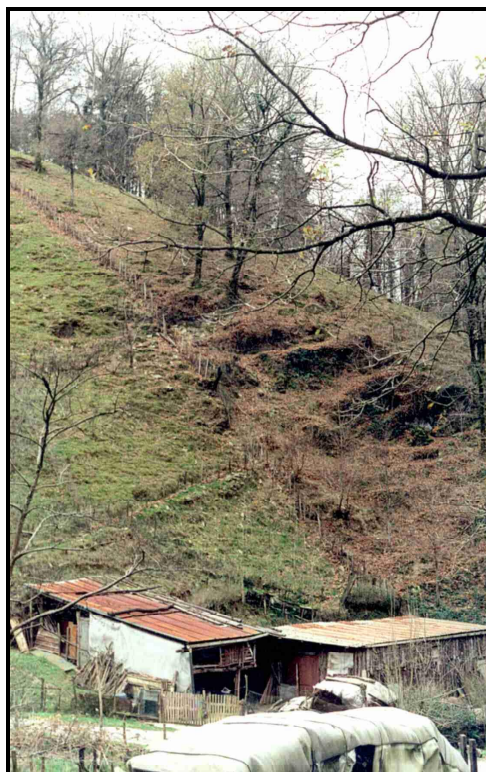
Finalmente, una estrecha banda costera es ocupada por suelos Ranker, asociados a grandes pendientes topográficas (Ilustración 74 e Ilustración 75).

³⁰ **Departamento de Urbanismo, Arquitectura y Medio Ambiente.** *Geomorfología y Edafología de Gipuzkoa.* Diputación Foral de Gipuzkoa. (No consta año de edición).

Ilustración 74 Vista parcial de un perfil de material de ladera. Cuenca del Latxe



Ilustración 75 Detalles de ladera con cambio de uso e indicios de deslizamiento



Navarra

Los suelos de Navarra son, en esencia similares a los adyacentes de Gipuzkoa y Álava, aunque desarrollados bajo condiciones de clima edáfico más restrictivas.

Los suelos dominantes son los Cambisoles, ocupando gran parte del territorio, mientras que las zonas más escarpadas las ocupan los Rankers. Los Luvisoles son suelos menores asociados a los Cambisoles, en especial en la zona del las cuencas del Urumea. Finalmente, los Fluvisoles destacan asociados a cauces de agua tales como el del Ega.

Álava

En Álava es posible distinguir la alternancia, acorde con el relieve, de Rankers, Cambisoles y Rendzinas. Los Rankers se localizan mayoritariamente alineados a las Sierras Septentrionales, hacia el límite con Gipuzkoa y Bizkaia. Se asocian especialmente con afloramientos silíceos con pendientes topográficas pronunciadas.

A medida que se avanza de Norte a Sur, el paisaje se suaviza, dominando los Cambisoles, intercalados por unidades cartográficas pertenecientes a las Rendzinas. Hacia el centro, coincidente con el afloramiento de litologías calizas afectadas por procesos de karst (ver Ilustración 86), las Rendzinas son el tipo de suelo dominante. En la Rioja Alavesa dominan los Cambisoles (ver Ilustración 76).

Ilustración 76 Campos de labor extensiva en secano de la Rioja alavesa



En zonas llanas con gran pluviosidad, como en el Puerto de Opakua (ver Ilustración 85) o la Sierra de Urbasa, el horizonte A puede alcanzar un gran espesor y un elevado contenido de

materia orgánica. Hacia el Sur, los Cambisoles vuelven a tener importancia, relegando a las Rendzinas a pequeñas unidades cartográficas.

Ordenes de suelos como Acrisoles, Luvisoles, Podsoles, Litosoles, Podsoluvisoles y Vertisoles ocupan zonas reducidas del paisaje, y su expresión cartográfica es mínima en comparación con los mencionados anteriormente.

Castilla y León

Los sectores de Castilla-León son fundamentalmente cuatro, dispuestos según el rumbo NO – SE. En el sector más al SE, dominan los Cambisoles, asociados fundamentalmente a Gleysoles, que ocupan la zonas más bajas del terreno.

Siguiendo el rumbo antes mencionado, se observa cómo los Litosoles toman importancia, asociados a afloramientos calizos. Finalmente, en el grupo situado en el extremo SO del conjunto se observa nuevamente la asociación entre Cambisoles, Gleysoles y Luvisoles, en ese orden de importancia. En el Mapa de suelos de Castilla-León, no se destaca la presencia de Rendzinas.

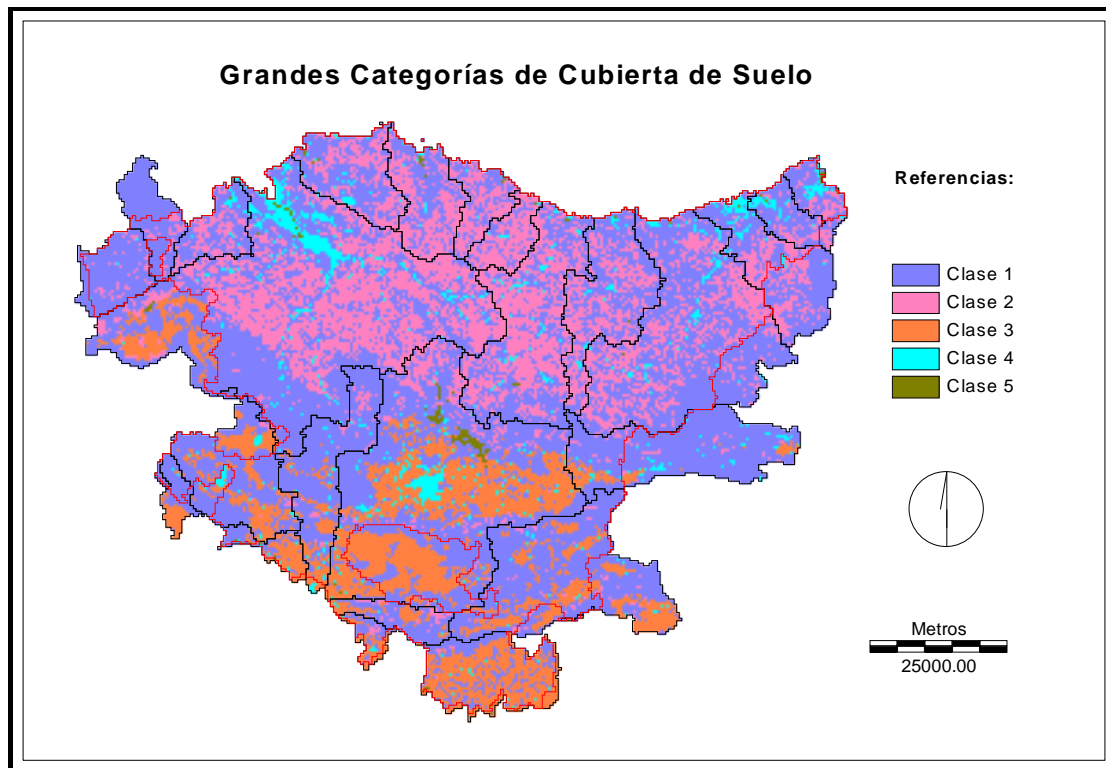
- Cubierta del suelo

Las principales categorías de usos del suelo se muestran en la Tabla 73 y en la Ilustración 77.

Tabla 73 Principales categorías de cubierta de suelo

Clase	Detalle
1	Bosques, matorrales y herbazales
2	Plantaciones forestales
3	Cultivos agrícolas
4	Urbano o sin vegetación
5	Ría y embalses

Ilustración 77 Distribución de las principales categorías de cubierta de suelo en el área de estudio



La figura anterior y las cifras recogidas en el capítulo Nº 7 destacan la presencia de cubiertas naturales (bosques, matorrales y herbazales), las plantaciones forestales y los cultivos agrícolas. La Ilustración 78 y la Ilustración 79 señalan algunas de las formas en que se configuran los bosques en el NE del terreno estudiado.

Las Ilustración 80 y la Ilustración 81 muestran dos ejemplos de la transición de cubierta de suelo en los valles y zonas relativamente llanas. Es frecuente observar aprovechamientos agrícolas de tipo intensivo o zonas de pastoreo. El uso del suelo en las fotos anteriores contrasta con la Rioja, donde la actividad vitivinícola es dominante (ver Ilustración 83). Otra forma de cubierta del suelo es la representante de la actividad de siega, tal como se observa en la Ilustración 84.

Finalmente, una mención a los fenómenos kársticos que se expresan con claridad en el paisaje, ya que generan un ambiente particular en cuanto a la distribución de humedad y heterogeneidad del terreno. La Ilustración 85, la Ilustración 86 y la Ilustración 87 son tres ejemplos del efecto de los procesos de karst, en diferentes sectores morfoclimáticos.

Ilustración 78 Margen derecha del río Araotz, cuenca del Deba

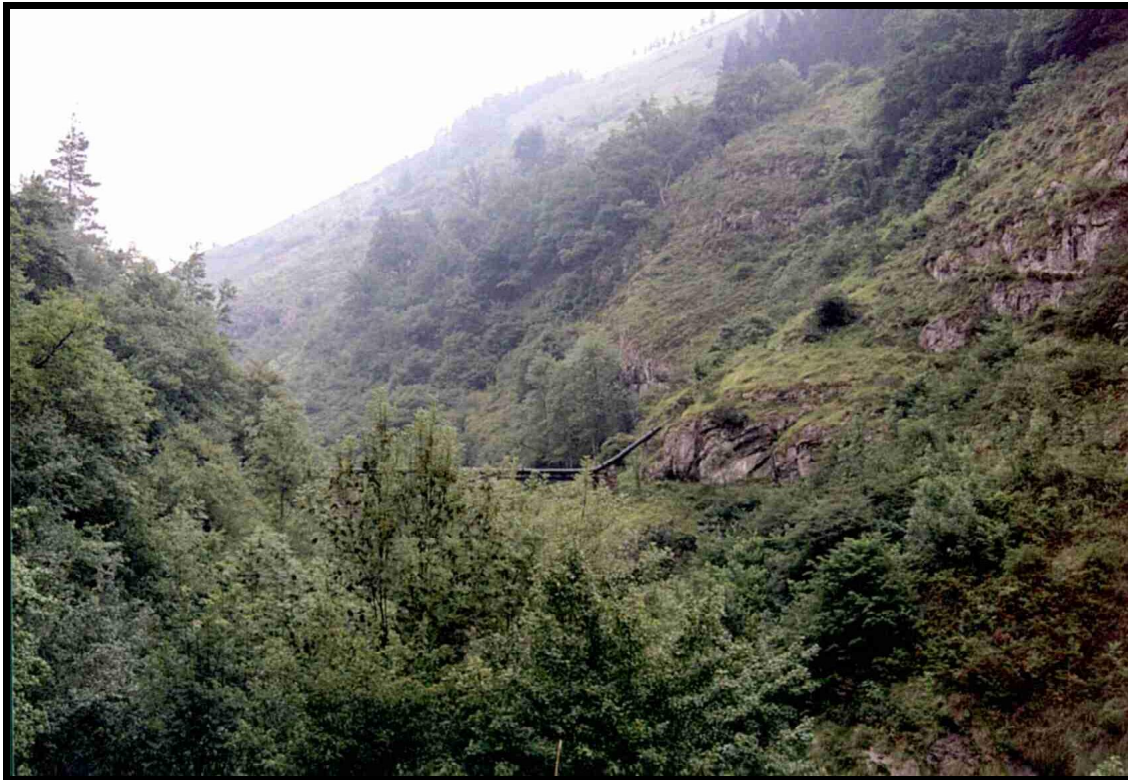


Ilustración 79 Cabecera del Urumea. Presa de Añarbe, vista hacia Gipuzkoa

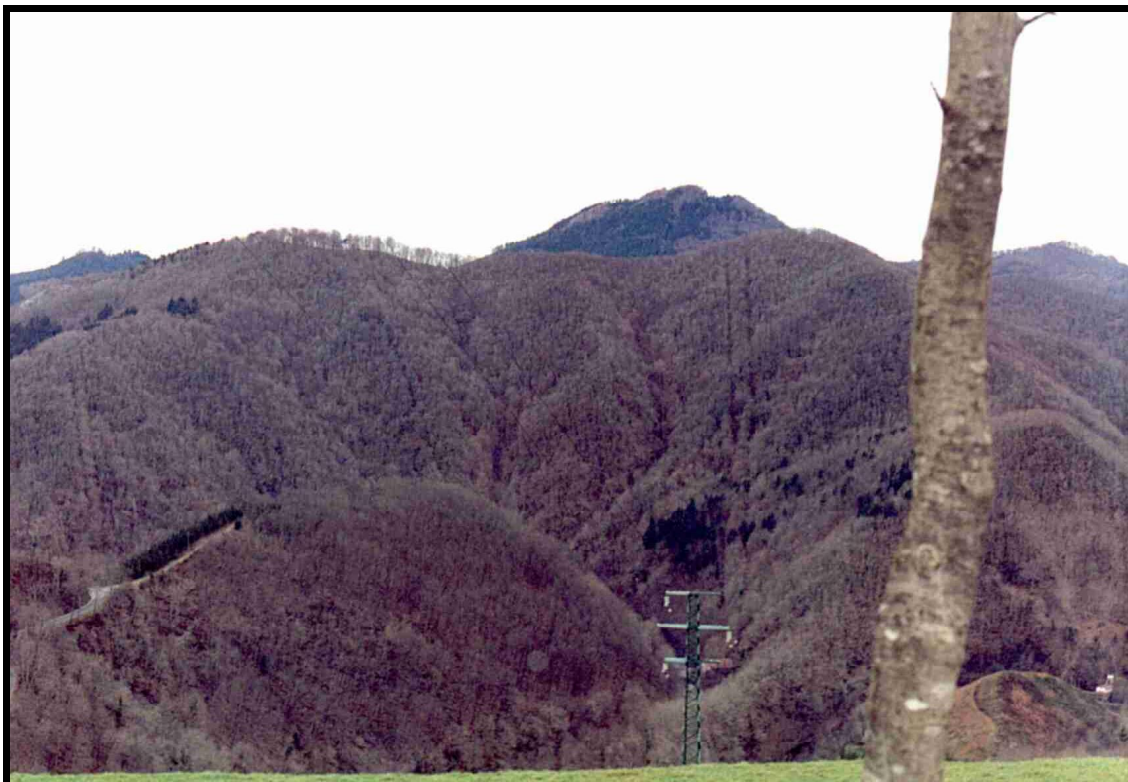


Ilustración 80 Alto Zadorra



Ilustración 81 Río Arratia, margen derecha



Ilustración 82 Cercanías de Opakua. Paisajes llanos



Ilustración 83 Rioja



Ilustración 84 Panorámica aguas abajo del río Karrantza desde el Alto de la Escrita



Ilustración 85 Paisaje en zona de karst. Puerto de Opakua



Ilustración 86 Lapiaz con vegetación baja en parches. Manantial de Osma



Ilustración 87 Cabecera del Baia



- Información topográfica

Sobre la base de la información topográfica se generaron diferentes capas de información: altimetría, pendiente topográfica, orientación de las pendientes, curvatura del relieve e índice topográfico. Además también se calcularon las direcciones de flujo, la red de drenaje y el número de celdas acumuladas como elementos esenciales para la estructuración y ejecución del modelo.

La curvatura del relieve fue calculada utilizando un filtro, en el cual se realiza una comparación entre las diferencias de cota topográfica entre el píxel central de ventana de 3 por 3 elementos, con relación a los 8 píxeles restantes.

El índice topográfico, definido por Beven³¹, es una mas de las variables ambientales y se considera un medio para señalar el grado de ‘similitud hidrológica’ existente dentro de una cuenca hidrográfica y de ésta respecto a otras unidades hidrológicas. En esencia, este índice relaciona la pendiente topográfica con la red de drenaje interna de la cuenca. La ecuación siguiente señala una forma operativa para su cálculo a partir de los datos de un modelo digital del terreno).

$$IT = \ln \left(\frac{n_a}{\tan(b)} \right)$$

donde:

n_a : número de celdas acumuladas aguas arriba de la celda analizada.

$\tan(b)$: pendiente topográfica.

8.2.2.4. VALORES MODALES

Los valores modales de las variables principales fueron deducidos a partir de la información contenida en la leyenda de los mapas de suelos disponibles (Álava, Gipuzkoa, Bizkaia, Navarra y Castilla y León y del Mapa de Suelos de la CE), los diferentes perfiles de suelos y las funciones de pedotransferencia propuestas por Rawls y Brakensiek (1983)³².

³¹ Beven, K; Lamb, R; Quinn, P.; Romanowicz, R. y Freer, J. *TOPMODEL*. En: Singh, V.P. (Ed.). *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications. 1995

³² Rawls, W. J. y Brakensiek; D. L. *Procedure to predict Green and Ampt infiltration parameters*. En: *Advances in Infiltration*; p.: 1021-112. ASAE Publication 11-83. USA; 1983

Además, para poder elaborar los valores modales de Navarra, se asimilaron los tipos de suelos clasificados según el Soil Taxonomy y los suelos clasificados según FAO (Tabla 74).

Tabla 74 Correspondencia aproximada entre tipos de suelos de Navarra y la clasificación FAO

Soil_Taxonomy	FAO (Orden)
Xerochrept típico y lítico-calcixerollico	Cambisol
Xerochrept típico	Cambisol
Xerochrept lítico-calcixerollico	Cambisol
Xerochrept calcixerollico	Cambisol
Haplumbret lítico o Dystrochrept lítico umbrico	Cambisol
Udorthent tip., lit. o Haplumbrept lit. o Dystrochrept tip.o lit.-umbrico	Cambisol
Udorthent típico, lítico o Haplumbrept lítico	Cambisol
Xerorthent o Udorthent lítico o típico y Haplumbrept entico	Cambisol
Eutrochrept típico	Cambisol
Dystrochrept típico	Cambisol
Dystrochrept calcixerollico	Cambisol
Pallexeralf petrocalcico y clásico	Luvisol
ROCA DOMINATE	Roca
Xerofluvent típico	Fluvisol
Xerorthent lítico	Ranker
Xerorthent típico	Ranker
Udorthent lítico y Hapludoll lítico	Ranker
Udorthent típico	Ranker

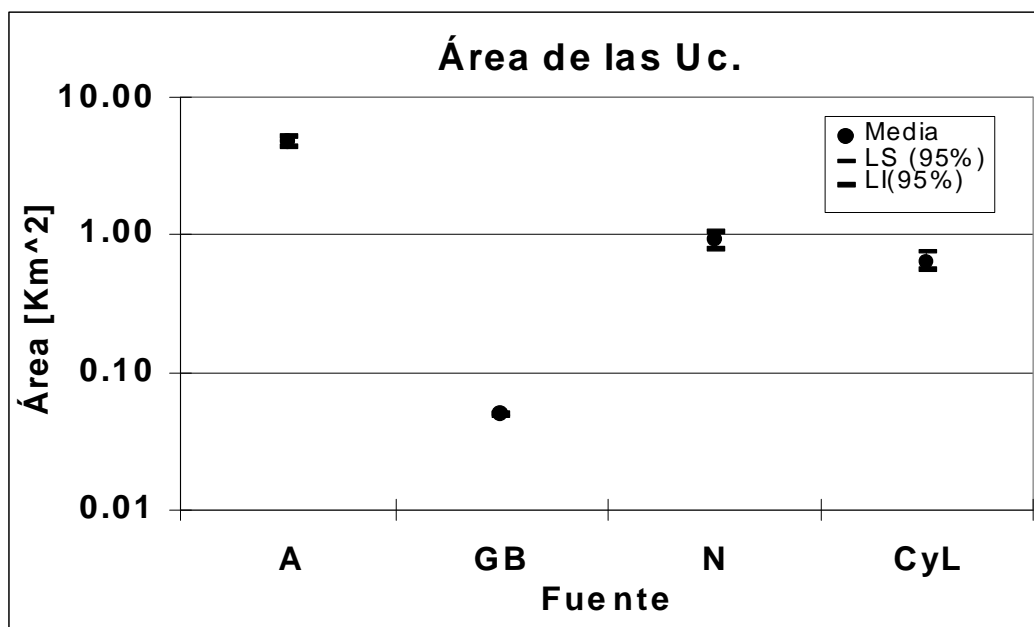
El proceso seguido para la obtención de los valores modales fue el siguiente. En primer lugar, se analizó el valor de H_u , K_s y K_p en cada horizonte de cada perfil sobre la base de las funciones de pedotransferencia ya citadas. Como las funciones de pedotransferencia se basan casi exclusivamente en la textura de la matriz del suelo, en una segunda etapa, los valores de K_p , K_s y H_u fueron modificados de acuerdo a las características morfológicas de cada perfil para dar cabida a otros aspectos como la macroporosidad, cementación, compactación, etc.

Cuando en este proceso se obtuvieron valores de K_p que no reflejaban adecuadamente el comportamiento hidrológico, habitualmente cuando la hidrología no era eminentemente edáfica, éstos se alteraron manualmente para reflejar el comportamiento conocido.

Esta operación se llevó a cabo en cada unidad cartográfica aunque muchas de ellas comparten los mismos datos de análisis. El total de unidades cartográficas obtenidas fue de 9835. La Tabla 75 señala la extensión media y la variabilidad del área de las unidades cartográficas. La mencionada tabla y la Ilustración 88 señalan con claridad la notable diferencia de tamaño de las unidades cartográficas utilizadas, según la escala del mapa de suelos del que proviene su delimitación.

Tabla 75 Valores medios de las superficies de las unidades cartográficas de suelos

Nº de unidades y superficie (Km ²)				
Mapa	Nº	Media	95% inferior	95% superior
Álava	407	4.79	4.355	5.277
Gipuzkoa y Bizkaia	28772	0.05	0.048	0.049
Navarra	179	0.91	0.791	1.057
Castilla y León	187	0.64	0.554	0.736

Ilustración 88 Tamaño medio de las unidades cartográficas³³

Una de las consecuencias más claras de este problema es la necesidad concreta de distribuir espacialmente los valores de H_u , K_s y K_p en los territorios de Álava, Navarra y Castilla y León con mucho mayor detalle que el tamaño de sus unidades cartográficas.

La Tabla 76 expone una síntesis de los valores modales asignados. La mayor parte de los valores asignados se pueden observar en la Tabla 77, en donde se recogen los valores modales de las unidades de muestreo (las unidades en donde, en una segunda fase, se analiza la variación de los valores modales relacionada con la de las variables ambientales). De forma espacial los valores modales se observan en la Ilustración 89, Ilustración 90, y en la Ilustración 91.

³³ (A=Alava, GB= Gipuzkoa y Bizkaia, N= Navarra y CyL= Castilla y León)

Tabla 76 Valores modales medios en las unidades cartográficas de suelo por tipo de suelo dominante

Unidad	Promedios			Mínimos			Máximos		
	Hu {mm}	Ks [cm/h]	Kp [cm/h]	Hu {mm}	Ks [cm/h]	Kp [cm/h]	Hu {mm}	Ks [cm/h]	Kp [cm/h]
Sin definición precisa	22.9	2.73	0.80	0.0	0.99	0.30	243.4	2.77	1.15
Acrisoles	251.4	2.37	0.51	192.8	0.73	0.32	278.7	4.62	0.63
Cambisoles	201.3	1.74	0.56	46.4	0.19	0.14	278.8	3.54	1.51
Rendsinas	58.9	0.66	0.45	50.8	0.41	0.22	176.5	2.13	1.39
Gleysoles	117.3	2.14	0.47	53.6	1.17	0.22	185.5	2.81	0.84
Litosoles	33.3	0.18	0.80	9.8	0.09	0.22	205.7	1.49	1.14
Fluvisoles	181.1	0.96	0.67	53.6	0.45	0.60	273.6	2.81	0.84
Luvisol	199.3	1.21	0.46	53.7	0.28	0.16	273.9	4.49	1.16
Podsol	147.2	2.77	1.15	147.2	2.77	1.15	147.2	2.77	1.15
Arenosol	42.4	1.75	1.37	36.0	0.63	0.46	185.5	2.34	1.63
Regosol	122.0	1.02	0.67	68.1	0.68	0.58	230.1	2.14	0.80
Roca dominante	97.2	1.09	0.85	0.3	0.30	0.30	243.4	2.23	1.16
Andosol	188.9	1.19	0.60	188.9	1.19	0.60	188.9	1.19	0.60
Ránker	97.4	1.32	0.77	27.3	0.29	0.22	266.4	3.98	1.30
Vertisol	51.6	0.90	0.85	36.0	0.46	0.47	240.1	0.99	0.99
Solonchack	66.3	0.18	0.21	60.6	0.17	0.16	73.3	0.20	0.26

Ilustración 89 Mapa de valores modales de Hu [mm]

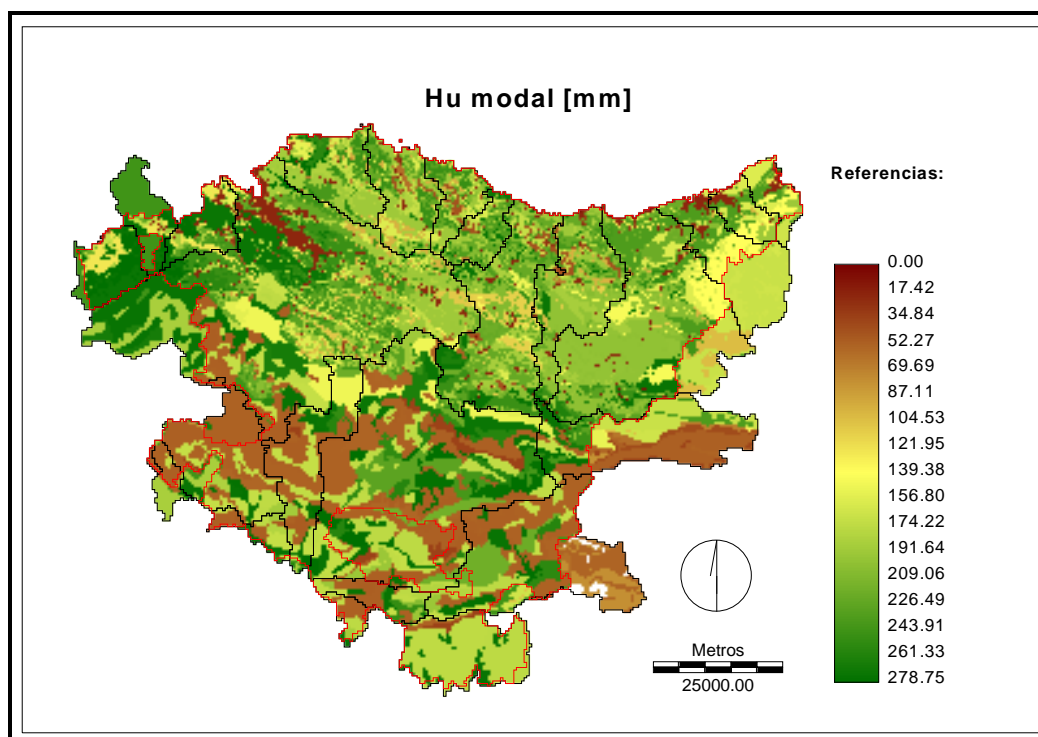


Ilustración 90 Mapa de valores modales de Ks [cm/h]

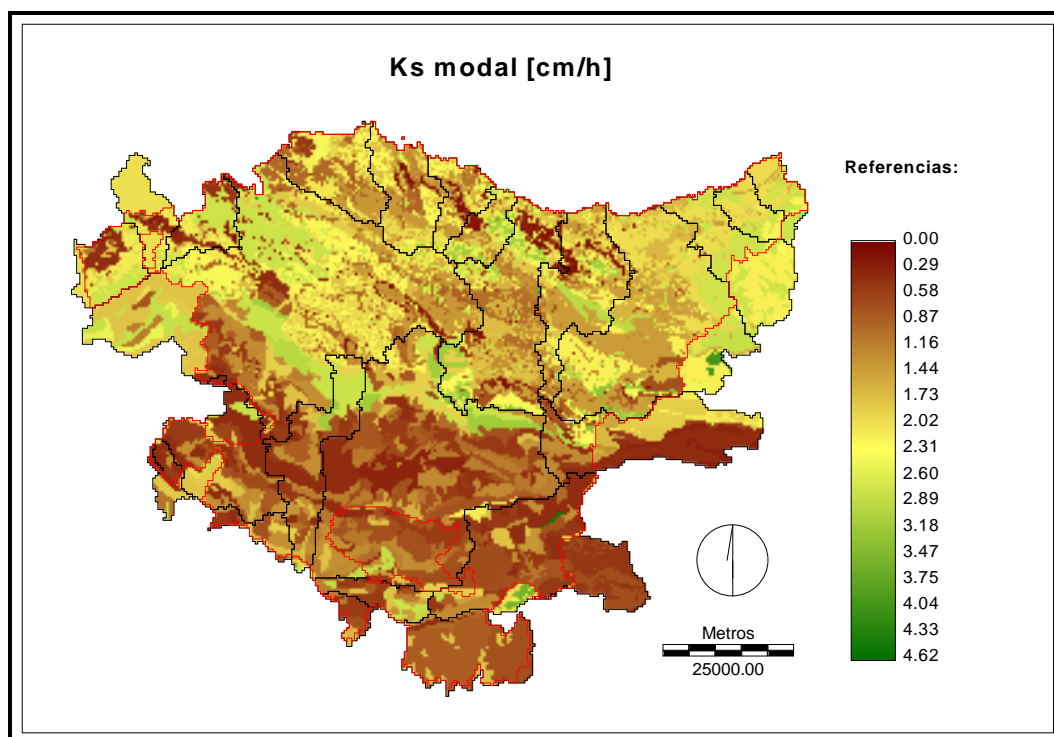
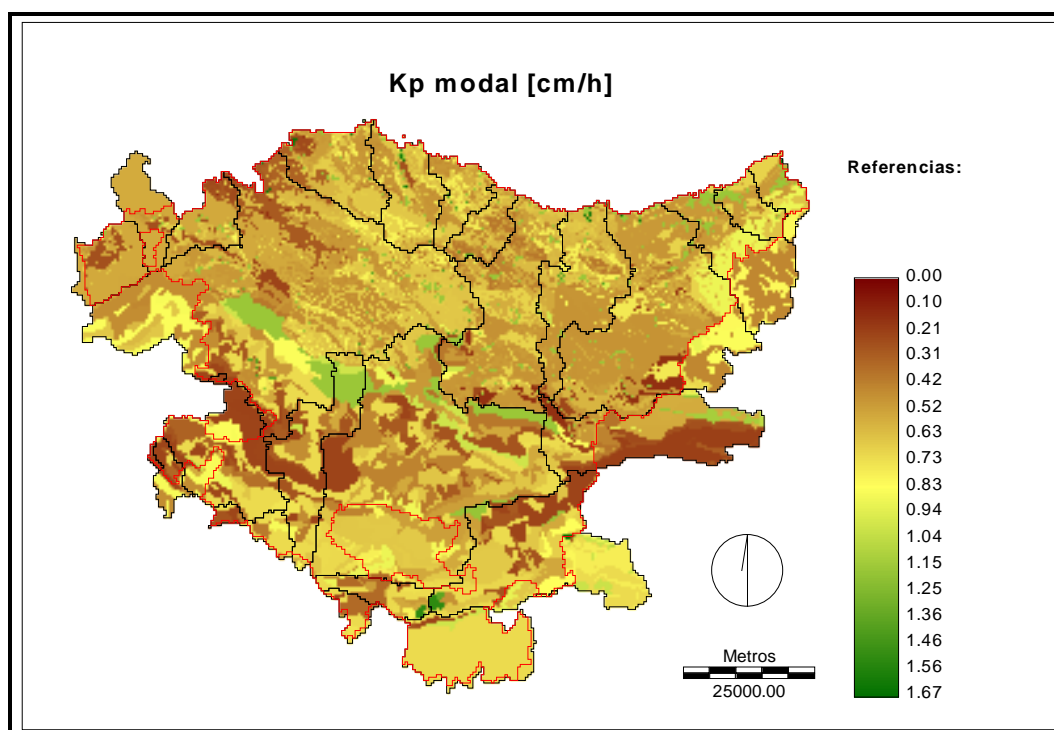


Ilustración 91 Mapa de valores modales de Kp [cm/h]



Para distribuir (“difuminar”) estos valores modales se ha utilizado la correlación entre los valores modales y las variables ambientales. Para ello se han seleccionado las unidades de muestreo mediante la intersección de las unidades cartográficas de suelos y de las variables

ambientales discretas. De todas ellas, se han utilizado las de mayor tamaño (más de 9 celdas), siendo un total de 356 unidades.

La tabla siguiente recoge los valores modales utilizados en las unidades muestrales seleccionadas, así como una síntesis de la información utilizada para su estimación.

Los valores de HU se incluyen transformados por la raíz cuadrada. Los valores de Ks y Kp transformados logarítmicamente.

Tabla 77 Valores modales de las unidades de muestreo

ID	Combinación de suelos	Caract. gleycas	Caract. calcáreas	Presenc. rendsinas	Sector	SQRT(Hu)	Ln(Ks)	Ln(Kp)
1	Cambisol cálcico	NO	SI	NO	A ³⁴	11.3	0.27	-0.17
2	Dystrochrept típico - Acrisol gleyco - Cambisol gleyco	SI	NO	NO	A	14.6	0.7	-0.76
3	Cambisol cálcico - Acrisol gleyco - Cambisol gleyco	SI	SI	NO	A	16.4	0.59	-0.51
4	Gleysol eutríco - Cambisol dístico - Ranker	SI	NO	NO	GB ³⁵	10.9	0.78	-0.51
5	Cambisol dístico - Ranker - Luvisol crómico	NO	NO	NO	GB	12.4	0.47	-0.39
6	Dystrochrept típico - Haplumbret lítico - Dystrochrept lítico húmbrico	NO	NO	NO	N ³⁶	12.9	0.89	-0.52
7	Luvisol órtico - Luvisol gleyco - Regosol eutríco	SI	NO	NO	GB	11.2	-0.02	-0.6
8	Fluvisol eutríco - Gleysol mólico - Cambisol dístico - Ranker	SI	NO	NO	GB	12.6	0.48	-0.25
9	Cambisol dístico - Ranker - Cambisol dístico - Ranker	NO	NO	NO	GB	11.8	1.01	-0.12
10	Cambisol dístico - Ranker - Cambisol dístico - Ranker	NO	NO	NO	GB	11.8	1.01	-0.12
11	Udorthent típico - Haplumbret lítico - Dystrochrept típico húmbrico - Haplumbret lítico - Dystrochrept lítico húmbrico	NO	NO	NO	N	12.8	0.93	-0.21
12	Udorthent típico lítico - Haplumbret lítico - Dystrochrept típico - húmbrico - Haplumbret lítico - Dystrochrept lítico húmbrico	NO	NO	NO	N	12.8	0.93	-0.21
13	Fluvisol eutríco - Gleysol mólico	SI	NO	NO	GB	9	0.48	-0.12
14	Fluvisol eutríco - Cambisol dístico - Ranker	NO	NO	NO	GB	12.6	0.48	-0.26
15	Dystrochrept típico - Haplumbret lítico - Dystrochrept lítico húmbrico	NO	NO	NO	N	12.9	0.89	-0.52
16	Cambisol dístico - Ranker - Cambisol dístico - Ranker	NO	NO	NO	GB	11.8	1.01	-0.12
17	Udorthent típico - Haplumbret lítico - Dystrochrept típico - húmbrico - Haplumbret lítico - Dystrochrept lítico húmbrico	NO	NO	NO	N	12.8	0.92	-0.21
18	Dystrochrept típico - Haplumbret lítico o Dystrochrept lítico húmbrico	NO	NO	NO	N	12.9	0.72	-0.52
19	Xerorthent típico - Haplumbret lítico - Dystrochrept lítico húmbrico	NO	NO	NO	N	11.5	0.78	-0.28
20	Haplumbret lítico - Dystrochrept lítico húmbrico - Cambisol dístico - Ranker	NO	NO	NO	GB	12.3	1.01	-0.16
21	Dystrochrept típico - Rendsina ochrica - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	10.1	0.05	-0.87
22	Udorthent típico - Haplumbret lítico - Dystrochrept típico húmbrico - Haplumbret lítico - Dystrochrept lítico húmbrico	NO	NO	NO	N	12.8	0.92	-0.21
23	Udorthent lítico - Hapludoll lítico - Dystrochrept típico	NO	NO	NO	N	11.5	0.9	-0.5
24	Udorthent lítico - Hapludoll lítico - Haplumbret lítico - Dystrochrept lítico húmbrico	NO	NO	NO	N	11.5	1.02	-0.19
25	Udorthent típico lítico - Haplumbret lítico - Dystrochrept típico húmbrico - Rendsina ochrica - Cambisol eutríco - Litosol	NO	NO	SI	A	10	0.33	-0.49
26	Cambisol cálcico - Cambisol cálcico - Cambisol vértico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	16.6	0.32	-0.39

³⁴ Álava, escala 1:200.000

³⁵ Gipuzkoa y Bizkaia, escala 1:25:0000

³⁶ Navarra, escala 1:200.000

ID	Combinación de suelos	Caract. gleycas	Caract. calcáreas	Presenc. rendsinas	Sector	SQRT(Hu)	Ln(Ks)	Ln(Kp)
27	Luvisol órtico - Fluvisol eutríco	NO	NO	NO	GB	9.4	0.62	-0.89
28	Arenosol - Rendsina	NO	NO	SI	GB	5.3	0.93	0.32
29	Rendsina ochrica - Litosol - Cambisol eutríco - Cambisol cálcico - Cambisol vértico	NO	SI	SI	A	11.7	-0.45	-0.9
30	Cambisol cálcico - Ranker - Acrisol órtico - Cambisol dystrico Litosol	NO	SI	NO	A	15.8	-0.28	-0.59
31	Luvisol órtico - Fluvisol eutríco	NO	NO	NO	GB	9.4	0.62	-0.21
32	Cambisol cálcico - Acrisol gleyco - Cambisol gleyco	SI	SI	NO	A	16.4	0.59	-0.51
33	Arenosol - Rendsina	NO	NO	SI	GB	5.3	0.93	0.32
34	Cambisol cálcico	NO	SI	NO	A	15.8	0.67	-0.53
35	Arenosol - Rendsina	NO	NO	SI	GB	5.3	0.93	0.32
36	Cambisol cálcico - Regosol calcárico - Rendsina ochrica - Acrisol gleyco - Cambisol gleyco	SI	SI	SI	A	14.7	0.15	-0.51
37	Cambisol cálcico - Cambisol eutríco - Rendsina ochrica	NO	SI	SI	A	10.6	-0.78	-0.54
38	Litosol - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	13.4	0.43	-0.24
39	Rendsina ochrica - Cambisol cálcico - Regosol calcárico - Cambisol eutríco - Regosol eutríco	NO	SI	SI	A	11.5	0.69	-0.46
40	Cambisol gleyco - Luvisol órtico - Acrisol gleyco - Cambisol gleyco	SI	NO	NO	GB	15.5	0.59	-0.7
41	Acrisol húmico - Cambisol gleyco - Cambisol dístrico - Cambisol húmico	SI	NO	NO	GB	14.5	0.99	-0.55
42	Cambisol dístrico - Cambisol húmico	NO	NO	NO	GB	9.2	0.9	-0.15
43	Cambisol eutríco - Cambisol dístrico - Cambisol húmico	NO	NO	NO	GB	13.8	0.55	-0.44
44	Luvisol órtico - Luvisol cálcico - Luvisol crómico	NO	SI	NO	GB	14.6	-0.08	-1.05
45	Cambisol crómico - Acrisol órtico - Arenosol - Rendsina	NO	NO	SI	GB	10.9	0.71	-0.2
46	Luvisol órtico - Fluvisol eutríco - Luvisol crómico	NO	NO	NO	GB	13.6	0.07	-0.61
47	Luvisol órtico - Fluvisol eutríco - Regosol eutríco - Cambisol eutríco	NO	NO	NO	GB	12.3	0.06	-0.51
48	Fluvisol crómico - Acrisol gleyco - Cambisol dístrico - Cambisol húmico	SI	NO	NO	GB	13.9	0.36	-0.44
49	Luvisol crómico	NO	NO	NO	GB	8.8	0.47	-0.26
50	Luvisol órtico - Fluvisol eutríco	NO	NO	NO	GB	9.4	0.62	-0.21
51	Fluvisol eutríco - Luvisol órtico - Fluvisol eutríco	NO	NO	NO	GB	15.2	0.55	-0.54
52	Luvisol gleyco - Acrisol húmico - Fluvisol eutríco	SI	NO	NO	GB	13.8	0.36	-0.56
53	Litosol - Rendsina	NO	NO	SI	GB	3.9	-0.3	0.14
54	Cambisol húmico - Cambisol dístrico - Cambisol dístrico - Cambisol húmico	NO	NO	NO	GB	13.2	0.73	-0.41
55	Cambisol gleyco - Cambisol dístrico - Luvisol crómico	SI	NO	NO	GB	14.4	0.36	-0.68
56	Luvisol cálcico - Luvisol órtico - Cambisol dístrico	NO	SI	NO	GB	16.5	0.35	-1.21
57	Cambisol cálcico - Rendsina ochrica - Cambisol cálcico - Litosol	NO	SI	SI	A	11.9	-0.03	-0.77
58	Rendsina ochrica - Cambisol cálcico - Regosol calcárico - Litosol - Ranker - Acrisol órtico - Cambisol dystrico	NO	SI	SI	A	7.3	-0.79	-1.39
59	Litosol - Rendsina ochrica - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	NO	SI	CyL ³⁷	13.9	0.38	-0.76
60	Arenosol lúvico - Litosol	NO	NO	SI	CyL	7.3	-0.69	-0.84
61	Arenosol lúvico - Cambisol cálcico	NO	SI	SI	A	15.1	0.3	-0.56
62	Litosol - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	13.4	0.43	-0.24
63	Rendsina ochrica - Cambisol cálcico Regosol calcárico - Litosol	NO	SI	SI	A	13.9	0.42	-0.72
64	Rendsina ochrica - Cambisol cálcico Litosol - Rendsina ochrica - Cambisol cálcico Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	14	0.38	-0.76
65	Litosol - Acrisol orthico	NO	NO	NO	A	15.1	0.87	-0.54
66	Rendsina ochrica - Cambisol cálcico lítico - Litosol	NO	SI	SI	A	14	0.38	-0.76
67	Cambisol cálcico - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	14.9	0.19	-0.34
68	Cambisol cálcico - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	14.9	0.19	-0.34
69	Cambisol cálcico - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	14.9	0.19	-0.34
70	Cambisol cálcico - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	14.9	0.19	-0.34
71	Cambisol cálcico - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	14.9	0.19	-0.34

³⁷ Castilla y León, escala 1:500.000

ID	Combinación de suelos	Caract. gleycas	Caract. calcáreas	Presenc. rendsinas	Sector	SQRT(Hu)	Ln(Ks)	Ln(Kp)
72	Cambisol cálcico – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	14.9	0.19	-0.34
73	Cambisol cálcico – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	14.9	0.19	-0.34
74	Cambisol cálcico – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	14.9	0.19	-0.34
75	Cambisol cálcico – Vertisol Cambisol vértico	NO	SI	NO	A	11.3	0.27	-0.17
76	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol – Cambisol cálcico	NO	SI	SI	A	12	-0.17	-0.92
77	Cambisol cálcico – Renzina óchrica Regosol calcárico – Rendsina ochrica – Litosol – Podsol orthico	NO	SI	SI	A	10.3	-0.14	-0.67
78	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol – Cambisol cálcico – Cambisol vértico Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	12	-0.41	-0.97
79	Cambisol cálcico – Regosol calcárico – Rendsina ochrica – Litosol – Podsol orthico	NO	SI	SI	A	10.3	-0.07	-0.67
80	Litosol – Rendsina ochrica – Regosol calcárico – Podsol orthico	NO	SI	SI	A	10.5	0.53	-0.14
81	Litosol – Rendsina ochrica – Litosol	NO	NO	SI	A	10.6	0.18	-0.49
82	Gleysol calcáreo Cambisol cálcico – Regosol calcárico	SI	SI	NO	A	13.4	0.43	-0.26
83	Litosol – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	13.4	0.21	-0.24
84	Rendsina ochrica Cambisol cálcico – Regosol calcárico – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	10.2	0.31	-0.39
85	Litosol – Rendsina ochrica Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	10.5	-0.01	-0.68
86	Cambisol cálcico – Regosol calcárico Litosol	NO	SI	NO	A	15.1	0.53	-0.53
87	Litosol – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	13.4	0.21	-0.24
88	Litosol – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	13.4	0.43	-0.24
89	Rendsina ochrica Litosol – Cambisol crómico Litosol	NO	NO	SI	A	13.9	0.44	-0.59
90	Litosol – Rendsina ochrica	NO	NO	SI	A	10.5	-0.15	-0.81
91	Cambisol cálcico – Regosol calcárico – Renzina óchrica – Cambisol cálcico – Cambisol vértico Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	15	-0.12	-0.43
92	Litosol – Cambisol cálcico	NO	SI	NO	A	15.1	0.57	-0.23
93	Cambisol cálcico – Renzina óchrica – Cambisol cálcico – Renzina óchrica Cambisol yesoso	NO	SI	SI	A	13.4	0.28	-0.35
94	Litosol – Cambisol cálcico – Renzina óchrica Cambisol yesoso	NO	SI	SI	A	13.7	0.45	-0.22
95	Litosol – Cambisol cálcico	NO	SI	NO	A	15.1	0.57	-0.23
96	Litosol – Cambisol cálcico – Renzina óchrica Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	13.4	0.36	-0.24
97	Litosol – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol	NO	SI	SI	A	10.5	-0.15	-0.45
98	Rendsina ochrica – Litosol – Cambisol crómico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol	NO	SI	SI	A	7.3	-0.75	-0.95
99	Sin definición precisa	NO	NO	NO	GB	4.6	1.02	0.14
100	Cambisol crómico – Cambisol eutrico – Cambisol gleyco – Cambisol dístrico	SI	NO	NO	GB	14.7	0.53	-0.69
101	Luvisol gleyco – Acrisol húmico – Cambisol dístrico – Cambisol gleyco	SI	NO	NO	GB	15	0.82	-0.7
102	Cambisol gleyco – Cambisol dístrico – Cambisol gleyco – Cambisol dístrico	SI	NO	NO	GB	15.7	0.8	-0.7
103	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol – Cambisol gleyco – Cambisol dístrico	NO	SI	SI	A	15.1	0.38	-0.76
104	Cambisol gleyco – Cambisol dístrico – Litosol – Rendsina	SI	NO	SI	GB	9.4	-0.41	-0.29
105	Cambisol dístrico – Cambisol gleyco – Cambisol dístrico	NO	NO	NO	GB	15.8	0.76	-0.58
106	Luvisol órtico – Rendsina – Acrisol gleyco – Cambisol dístrico	SI	NO	SI	GB	14.3	0.62	-0.44
107	Luvisol órtico – Luvisol gleyco – Cambisol dístrico – Cambisol gleyco	SI	NO	NO	GB	15	0.61	-0.7
108	Cambisol gleyco – Cambisol dístrico – Acrisol gleyco – Cambisol dístrico	SI	NO	NO	GB	16.2	0.78	-0.65
109	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol Cambisol gleyco – Cambisol dístrico	NO	SI	SI	A	15.1	0.38	-0.76
110	Cambisol gleyco – Cambisol dístrico – Acrisol gleyco – Cambisol dístrico	SI	NO	NO	GB	16.2	0.78	-0.65
111	Cambisol gleyco – Cambisol dístrico – Cambisol gleyco – Cambisol dístrico	SI	NO	NO	GB	15.6	0.72	-0.6
112	Acrisol húmico – Cambisol gleyco – Cambisol dístrico – Cambisol gleyco	SI	NO	NO	GB	15.6	1.03	-0.66
113	Cambisol dístrico – Acrisol húmico – Cambisol gleyco	NO	NO	NO	GB	15.8	0.76	-0.58
114	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol gleyco – Cambisol dístrico	SI	NO	NO	GB	14.9	0.57	-0.62
115	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Acrisol gleyco – Cambisol dístrico	SI	NO	NO	GB	15.4	0.55	-0.56

ID	Combinación de suelos	Caract. gleycas	Caract. calcáreas	Presenc. rendsinas	Sector	SQRT(Hu)	Ln(Ks)	Ln(Kp)
116	Acrisol húmico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol gleyco	SI	NO	NO	GB	15.6	1.03	-0.66
117	Xerochrept típico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	11.6	0.53	-0.84
118	Acrisol húmico – Cambisol gleyco – Cambisol gleyco – Luvisol órtico	SI	NO	NO	GB	15	0.87	-0.7
119	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol gleyco	SI	NO	NO	GB	15.4	0.73	-0.74
120	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	16.1	0.91	-0.65
121	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol eutríco	SI	NO	NO	GB	14.8	0.56	-0.57
122	Podsol orthico – Podsoluvisol dystrico – Acrisol orthico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	NO	NO	NO	A	14.9	0.76	-0.43
123	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol gleyco – Luvisol órtico	SI	NO	NO	GB	15.3	0.68	-0.72
124	Ranker Acrisol órtico – Cambisol dystrico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	NO	NO	NO	A	15	0.6	-0.43
125	Cambisol gleyco – Ranker Acrisol órtico – Cambisol dystrico	SI	NO	NO	GB	15.5	0.69	-0.62
126	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol gleyco	SI	NO	NO	GB	15.6	0.72	-0.6
127	Cambisol gleyco – Luvisol órtico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	15.5	0.67	-0.61
128	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol gleyco – Luvisol órtico	SI	NO	NO	GB	15.6	0.72	-0.6
129	Cambisol déstrico – Cambisol crómico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	NO	NO	NO	GB	15.5	0.7	-0.6
130	Arenosol – Rendsina – Cambisol déstrico – Cambisol crómico	NO	NO	SI	GB	13.7	0.73	-0.36
131	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Arenosol – Rendsina	SI	NO	SI	GB	15.6	0.72	-0.6
132	Cambisol eutríco – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	NO	NO	NO	GB	15.2	0.62	-0.55
133	Xerochrept típico – Rendsina ochrica – Cambisol eutríco – Litosol	NO	NO	SI	A	7.2	-0.53	-1.16
134	Cambisol gleyco - Xerochrept típico	SI	NO	NO	GB	15.5	0.69	-0.62
135	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol gleyco	SI	NO	NO	GB	15.6	0.72	-0.6
136	Xerochrept típico – Podsol orthico – Podsoluvisol dystrico – Acrisol orthico	NO	NO	NO	A	9.7	0.07	-0.7
137	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Xerochrept típico	SI	NO	NO	GB	15.6	0.72	-0.6
138	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	15.6	0.72	-0.6
139	Cambisol eutríco – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	NO	NO	NO	GB	15.2	0.62	-0.55
140	Xerochrept típico y lítico – calcixerollico – Podsol orthico – Podsoluvisol dystrico – Acrisol orthico	NO	SI	NO	A	9.7	0.07	-0.7
141	Luvisol crómico - Xerochrept típico y lítico – calcixerollico	NO	NO	NO	GB	15.1	0.54	-0.59
142	Eutrochrept típico	NO	NO	NO	GB	14.3	0.66	-0.59
143	Luvisol órtico – Luvisol cálcico – Acrisol órtico – Acrisol gleyco	SI	SI	NO	GB	15.2	0.42	-1.12
144	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Luvisol órtico – Luvisol cálcico	SI	NO	NO	GB	15.6	0.72	-0.6
145	Litosol – Rendsina – Cambisol déstrico – Cambisol gleyco	NO	NO	SI	GB	9.6	-0.37	-0.27
146	Eutrochrept típico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol	NO	SI	SI	A	13	-0.14	-1.04
147	Acrisol húmico – Cambisol gleyco – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	15.4	0.99	-0.68
148	Acrisol húmico – Cambisol gleyco – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	15.4	0.96	-0.7
149	Xerochrept típico y lítico – calcixerollico Cambisol déstrico	NO	SI	NO	GB	11.9	0.06	-1.06
150	Cambisol eutríco – Luvisol órtico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	14.9	0.57	-0.62
151	Luvisol órtico – Luvisol cálcico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	SI	SI	NO	GB	15.9	0.37	-1.07
152	Xerochrept típico – Cambisol déstrico	NO	NO	NO	GB	12.7	0.67	-0.74
153	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	16.1	0.91	-0.65
154	Eutrochrept típico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	14.3	0.71	-0.64
155	Eutrochrept típico – Cambisol déstrico	NO	NO	NO	GB	14.7	0.82	-0.58
156	Xerochrept típico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	11.5	-0.04	-1.12
157	Eutrochrept típico – Cambisol déstrico	NO	NO	NO	GB	14.7	0.7	-0.78
158	Xerorthent lítico – Cambisol gleyco – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	10.9	0.62	-0.65
159	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	16.1	0.91	-0.65
160	Xerochrept lítico – calcixerollico – Acrisol húmico – Cambisol gleyco	SI	SI	NO	GB	11.2	0.15	-1.1
161	Cambisol gleyco – Cambisol déstrico – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	16.1	0.91	-0.65
162	Xerorthent lítico	NO	NO	NO	GB	5.4	-0.12	-0.66
163	Cambisol eutríco – Luvisol órtico - Cambisol húmico	NO	NO	NO	GB	12	0.4	-0.38
164	Acrisol húmico – Cambisol gleyco – Cambisol húmico – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	13.8	0.93	-0.52
165	Luvisol órtico – Cambisol eutríco – Acrisol gleyco – Cambisol déstrico	SI	NO	NO	GB	15.5	0.56	-0.59

ID	Combinación de suelos	Caract. gleycas	Caract. calcáreas	Presenc. rendsinas	Sector	SQRT(Hu)	Ln(Ks)	Ln(Kp)
166	Cambisol eutricto – Luvisol órtico – Cambisol gleyco	SI	NO	NO	GB	14.6	0.51	-0.65
167	Cambisol gleyco – Cambisol dístrico – Cambisol eutricto – Luvisol órtico	SI	NO	NO	GB	15.6	0.72	-0.6
168	Luvisol órtico – Luvisol cálcico – Cambisol húmico	NO	SI	NO	GB	13	0.12	-0.84
169	Cambisol eutricto – Luvisol órtico – Cambisol crómico	NO	NO	NO	GB	13.9	0.28	-0.69
170	Luvisol crómico – Cambisol eutricto – Cambisol húmico – Cambisol dístrico	NO	NO	NO	GB	14.1	0.38	-0.47
171	Cambisol dístrico – Acrisol órtico – Cambisol húmico – Cambisol dístrico	NO	NO	NO	GB	13.1	0.87	-0.55
172	Cambisol dístrico – Acrisol órtico – Acrisol gleyco – Cambisol dístrico	SI	NO	NO	GB	15.2	0.91	-0.66
173	Cambisol gleyco – Cambisol dístrico – Acrisol gleyco – Cambisol dístrico	SI	NO	NO	GB	16.2	0.78	-0.65
174	Cambisol cálcico – Rensina óchrica – Podsol orthico – Podsoluvisol dystrico – Acrisol orthico	NO	SI	SI	A	12.6	0.64	-0.1
175	Acrisol húmico – Cambisol gleyco – Acrisol gleyco	SI	NO	NO	GB	15.8	0.88	-0.63
176	Cambisol gleyco – Cambisol dístrico – Acrisol húmico – Cambisol gleyco	SI	NO	NO	GB	15.6	0.72	-0.6
177	Podsol orthico – Podsoluvisol dystrico – Acrisol orthico – Cambisol gleyco – Cambisol dístrico	NO	NO	NO	A	14.9	0.76	-0.43
178	Litosol – Cambisol húmico	NO	NO	NO	CyL	15.1	0.58	-0.47
179	Vertisol Cambisol vértico – Litosol	NO	NO	NO	A	13.7	0.56	-0.49
180	Cambisol húmico – Cambisol cálcico – Cambisol vértico	NO	SI	NO	A	16.6	0.39	-0.61
181	Cambisol húmico – Vertisol Cambisol vértico	NO	NO	NO	A	11.3	0.28	-0.45
182	Litosol – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	10.4	0.21	-0.46
183	Rendsina ochrica – Cambisol eutricto Litosol	NO	NO	SI	A	13.9	0.53	-0.62
184	Cambisol húmico – Rendsina ochrica – Cambisol eutricto Litosol	NO	NO	SI	A	11.9	0.2	-0.78
185	Cambisol húmico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	11.9	-0.02	-0.91
186	Rendsina ochrica – Cambisol eutricto Litosol – Cambisol húmico	NO	NO	SI	A	13.9	0.53	-0.62
187	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol – Rendsina ochrica – Cambisol eutricto Litosol	NO	SI	SI	A	13.9	0.44	-0.67
188	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	13.9	0.44	-0.67
189	Litosol – Rendsina ochrica – Cambisol eutricto – Litosol	NO	NO	SI	A	10.4	0.21	-0.46
190	Litosol – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	10.5	-0.01	-0.68
191	Cambisol húmico – Litosol	NO	NO	NO	CyL	15.8	0.67	-0.62
192	Rendsina – Litosol – Cambisol húmico	NO	NO	SI	GB	14.1	0.38	-0.4
193	Rendsina ochrica – Litosol – Cambisol crómico – Cambisol eutricto – Regosol eutricto	NO	NO	SI	A	11.5	0.2	-0.62
194	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol – Acrisol orthico	NO	SI	SI	A	11.9	0.12	-1.21
195	Xerorthent lítico – Xerochrept calcixerollico	NO	SI	NO	N	8.1	-0.52	-0.3
196	Rendsina ochrica	NO	NO	SI	A	4	-0.77	-0.74
197	Cambisol cálcico – Rendsina óchrica	NO	SI	SI	A	6.8	-0.19	-0.17
198	Xerochrept lítico – calcixerollico – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	10.9	-0.04	-0.34
199	Cambisol dístrico – Cambisol crómico	NO	NO	NO	GB	10	0.85	-0.28
200	Eutrochrept típico – Udorthent lítico – Hapludoll lítico	NO	NO	NO	N	11.5	0.9	-0.5
201	Luvisol gleyco – Acrisol húmico – Cambisol húmico – Cambisol dístrico	SI	NO	NO	GB	13.3	0.73	-0.55
202	Luvisol órtico – Cambisol eutricto – Cambisol dístrico – Cambisol cálcico	NO	NO	NO	GB	14	0.16	-0.86
203	Luvisol órtico – Rendsina – Cambisol húmico – Cambisol dístrico	NO	NO	SI	GB	12.2	0.58	-0.33
204	Luvisol órtico – Cambisol eutricto – Cambisol húmico – Cambisol dístrico	NO	NO	NO	GB	13.4	0.52	-0.48
205	Luvisol órtico – Cambisol eutricto – Cambisol eutricto – Cambisol dístrico	NO	NO	NO	GB	14.6	0.48	-0.54
206	Cambisol eutricto – Cambisol húmico – Cambisol dístrico	NO	NO	NO	GB	13.2	0.5	-0.41
207	Luvisol órtico – Cambisol eutricto – Cambisol húmico – Cambisol dístrico	NO	NO	NO	GB	13.4	0.52	-0.48
208	Luvisol órtico – Cambisol eutricto – Cambisol dístrico – Cambisol cálcico	NO	NO	NO	GB	14	0.16	-0.86
209	Luvisol órtico – Cambisol eutricto – Cambisol eutricto – Luvisol órtico	NO	NO	NO	GB	14.2	0.36	-0.56
210	Luvisol órtico – Cambisol eutricto – Cambisol dístrico – Cambisol cálcico	NO	NO	NO	GB	14	0.16	-0.86
211	Luvisol órtico – Cambisol eutricto – Cambisol húmico – Cambisol dístrico	NO	NO	NO	GB	13.4	0.52	-0.48
212	Luvisol órtico – Rendsina – Cambisol húmico – Cambisol dístrico	NO	NO	SI	GB	12.2	0.58	-0.33
213	Luvisol órtico – Cambisol eutricto – Cambisol húmico – Cambisol dístrico	NO	NO	NO	GB	13.4	0.52	-0.48

ID	Combinación de suelos	Caract. gleycas	Caract. calcáreas	Presenc. rendsinas	Sector	SQRT(Hu)	Ln(Ks)	Ln(Kp)
214	Luvisol órtico – Cambisol eutrico – Cambisol húmico – Cambisol districo	NO	NO	NO	GB	13.4	0.52	-0.48
215	Cambisol cálcico – Regosol calcárico – Renzina óchrica – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	13.2	-0.25	-0.34
216	Cambisol cálcico – Regosol calcárico – Renzina óchrica – Cambisol cálcico – Cambisol vértico	NO	SI	SI	A	14.9	-0.05	-0.39
217	Cambisol cálcico – Cambisol vértico	NO	SI	NO	A	15.1	0.36	-0.37
218	Cambisol cálcico – Regosol calcárico – Renzina óchrica – Cambisol cálcico – Cambisol vértico	NO	SI	SI	A	14.9	-0.05	-0.39
219	Rendsina ochrica – Rendsina ochrica – Rendsina móllica – Litosol	NO	NO	SI	A	7.4	-0.9	-1.41
220	Cambisol cálcico – Renzina óchrica – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	13.1	0.26	-0.34
221	Cambisol cálcico – Renzina óchrica – Cambisol cálcico – Renzina óchrica Litosol	NO	SI	SI	A	13.1	0.19	-0.34
222	Rendsina ochrica – Rendsina ochrica – Litosol – Podsol orthico	NO	NO	SI	A	7.4	-0.65	-1.16
223	Rendsina ochrica – Rendsina móllica – Litosol – Rendsina ochrica	NO	NO	SI	A	14	0.38	-0.76
224	Litosol – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	SI	A	10.4	0.14	-0.53
225	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	13.9	0.44	-0.7
226	Cambisol cálcico – Cambisol eutrico – Regosol calcárico – Cambisol cálcico – Renzina óchrica	NO	SI	SI	A	13.5	0.65	0.04
227	Cambisol cálcico – Regosol calcárico – Renzina óchrica – Rendsina ochrica	NO	SI	SI	A	10.3	-0.61	-0.93
228	Luvisol órtico – Fluvisol eutrico – Litosol – Rendsina	NO	NO	SI	GB	8.6	-0.7	-0.22
229	Litosol – Rendsina – Cambisol districo – Cambisol cálcico	NO	NO	SI	GB	8.4	-0.84	-0.5
230	Luvisol órtico – Luvisol gleyco – Cambisol districo – Cambisol cálcico	SI	NO	NO	GB	13.9	0.15	-0.93
231	Cambisol gleyco – Cambisol districo – Cambisol éutrico	SI	NO	NO	GB	14.8	0.56	-0.57
232	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol cálcico – Cambisol districo	NO	SI	NO	GB	13.2	-0.12	-0.97
233	Luvisol órtico – Luvisol cálcico – Cambisol eutrico – Cambisol gleyco	SI	SI	NO	GB	15.2	0.19	-1.01
234	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol húmico – Cambisol districo	NO	NO	NO	GB	13.3	0.51	-0.45
235	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol districo – Cambisol cálcico	NO	NO	NO	GB	13.9	0.15	-0.83
236	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol eutrico	NO	NO	NO	GB	14	0.33	-0.48
237	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol húmico – Cambisol districo	NO	NO	NO	GB	13.3	0.51	-0.45
238	Luvisol órtico – Luvisol gleyco – Cambisol districo – Cambisol cálcico	SI	NO	NO	GB	13.9	0.15	-0.93
239	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol húmico – Cambisol districo	NO	NO	NO	GB	13.3	0.51	-0.45
240	Luvisol órtico – Cambisol húmico – Cambisol districo	NO	NO	NO	GB	13.6	0.54	-0.53
241	Fluvisol crómico – Acrisol gleyco – Cambisol húmico – Acrisol órtico	SI	NO	NO	GB	13.8	0.33	-0.47
242	Luvisol órtico – Cambisol eutrico – Cambisol districo	NO	NO	NO	GB	14.7	0.49	-0.59
243	Luvisol órtico – Luvisol gleyco – Cambisol cálcico – Cambisol districo	SI	SI	NO	GB	13.2	-0.12	-1.07
244	Luvisol órtico – Luvisol gleyco – Cambisol cálcico – Cambisol districo	SI	SI	NO	GB	13.2	-0.12	-1.07
245	Luvisol gleyco – Acrisol húmico – Cambisol cálcico – Cambisol districo	SI	SI	NO	GB	13.2	0.1	-1.06
246	Luvisol órtico – Cambisol cálcico – Cambisol districo	NO	SI	NO	GB	13.4	-0.09	-1.04
247	Luvisol órtico – Luvisol gleyco – Arenosol – Rendsina	SI	NO	SI	GB	10	0.6	-0.12
248	Luvisol gleyco – Acrisol húmico – Cambisol districo – Cambisol cálcico	SI	NO	NO	GB	13.9	0.36	-0.93
249	Luvisol órtico – Luvisol gleyco – Cambisol districo – Cambisol cálcico	SI	NO	NO	GB	13.9	0.15	-0.93
250	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Luvisol gleyco	NO	NO	NO	GB	15.2	0.62	-0.55
251	Fluvisol eutrico – Gleysol móllico – Cambisol cálcico – Cambisol districo	SI	SI	NO	GB	12.8	-0.32	-0.89
252	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol eutrico	NO	NO	NO	GB	14	0.33	-0.48
253	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol cálcico – Cambisol districo	NO	SI	NO	GB	13.2	-0.12	-0.97
254	Luvisol órtico – Luvisol cálcico – Cambisol cálcico – Cambisol districo	NO	SI	NO	GB	14.2	-0.33	-1.42
255	Xerochrept típico – Xerorthent lítico	NO	NO	NO	N	8.7	-0.07	-0.82
256	Luvisol órtico – Luvisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	NO	GB	15	0.12	-0.94
257	Cambisol crómico – Cambisol districo – Cambisol cálcico	NO	NO	NO	GB	13.6	0.08	-0.99
258	Luvisol cálcico – Luvisol órtico – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	NO	GB	13.9	-0.59	-1.58
259	Dystrochrept típico	NO	NO	NO	N	10.2	-0.23	-1.01
260	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol cálcico – Cambisol districo	NO	SI	NO	GB	13.2	-0.12	-0.97
261	Luvisol órtico – Cambisol cálcico – Cambisol districo	NO	SI	NO	GB	13.4	-0.09	-1.04

ID	Combinación de suelos	Caract. gleycas	Caract. calcáreas	Presenc. rendsinas	Sector	SQRT(Hu)	Ln(Ks)	Ln(Kp)
262	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	NO	GB	12.7	-0.26	-0.93
263	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol cálcico – Cambisol dístico	NO	SI	NO	GB	13.2	-0.12	-0.97
264	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol cálcico – Cambisol dístico	NO	SI	NO	GB	13.2	-0.12	-0.97
265	Xerochrept lítico calcixerollico – Cambisol eutrico – Luvisol órtico	NO	SI	NO	N	13.9	0.38	-0.77
266	Litosol – Rendsina – Cambisol cálcico – Cambisol dístico	NO	SI	SI	GB	7.7	-1.1	-0.63
267	Xerochrept típico – Rendsina ochrica – Litosol – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	8.2	0.06	-0.85
268	Xerorthent lítico – Cambisol gleyco – Cambisol dístico	SI	NO	NO	GB	10.9	-0.23	-1.08
269	Cambisol gleyco – Cambisol dístico – Cambisol dístico – Cambisol crómico	SI	NO	NO	GB	15.5	0.75	-0.7
270	Xerorthent lítico – Rendsina ochrica – Regosol calcárico – Podsol orthico	NO	SI	SI	A	6.8	-0.39	-0.79
271	Xerorthent lítico – Rendsina ochrica – Regosol calcárico – Podsol orthico	NO	SI	SI	A	6.8	-0.39	-0.79
272	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	NO	GB	12.7	-0.26	-0.93
273	Xerorthent lítico – Rendsina ochrica – Litosol – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	6.8	-0.73	-1.13
274	Xerochrept lítico – calcixerollico – Ranker	NO	SI	NO	A	11.8	0.1	-0.85
275	Xerochrept típico – Rendsina ochrica – Litosol – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	8.2	0.06	-0.85
276	Cambisol eutrico – Litosol – Luvisol crómico	NO	NO	NO	GB	10.2	-1.47	-0.35
277	Luvisol órtico – Luvisol gleyco – Cambisol eutrico – Luvisol crómico	SI	NO	NO	GB	14.6	0.25	-0.63
278	Luvisol cálcico – Luvisol órtico – Cambisol éutrico3	NO	SI	NO	GB	15.2	0	-1.13
279	Cambisol crómico – Cambisol eutrico – Cambisol eutrico	NO	NO	NO	GB	13.8	0.28	-0.56
280	Cambisol eutrico – Cambisol eutrico	NO	NO	NO	GB	13.8	0.31	-0.43
281	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol eutrico – Luvisol órtico	NO	NO	NO	GB	14.1	0.35	-0.53
282	Luvisol órtico – Cambisol eutrico – Litosol – Rendsina	NO	NO	SI	GB	8.7	-0.63	-0.22
283	Cambisol eutrico – Arenosol – Rendsina	NO	NO	SI	GB	9.9	0.58	0.03
284	Luvisol cálcico – Luvisol órtico – Luvisol crómico – Litosol	NO	SI	NO	GB	14.8	-0.8	-1.24
285	Cambisol crómico – Cambisol eutrico – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	NO	GB	12.5	-0.31	-1.01
286	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Luvisol crómico – Litosol	NO	NO	NO	GB	13.6	-0.47	-0.59
287	Luvisol cálcico – Luvisol órtico – Luvisol crómico	NO	SI	NO	GB	14.8	-0.19	-1.24
288	Acrisol húmico – Cambisol gleyco – Luvisol gleyco – Luvisol crómico	SI	NO	NO	GB	15	0.66	-0.71
289	Cambisol gleyco – Cambisol dístico – Cambisol eutrico	SI	NO	NO	GB	14.8	0.56	-0.57
290	Fluvisol eutrico – Gleysol móllico – Cambisol eutrico – Luvisol crómico	SI	NO	NO	GB	14.2	0.05	-0.46
291	Luvisol cálcico – Luvisol órtico – Cambisol eutrico	NO	SI	NO	GB	15.2	0	-1.13
292	Luvisol cálcico – Luvisol órtico – Cambisol eutrico	NO	SI	NO	GB	15.2	0	-1.13
293	Cambisol eutrico – Luvisol órtico – Cambisol eutrico	NO	NO	NO	GB	14	0.33	-0.48
294	Luvisol órtico – Cambisol eutrico	NO	NO	NO	GB	14.2	0.36	-0.56
295	Luvisol cálcico – Luvisol órtico – Litosol – Luvisol crómico	NO	SI	NO	GB	11.6	-1.1	-1.04
296	Litosol – Rendsina – Litosol – Luvisol crómico	NO	NO	SI	GB	4.9	-1.75	-0.07
297	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	10.1	-0.03	-0.63
298	Cambisol cálcico – Regosol calcárico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico	NO	SI	SI	A	14.9	0.12	-0.34
299	Rendsina ochrica – Litosol – Cambisol eutrico	NO	NO	SI	A	6.6	-0.31	-0.61
300	Cambisol cálcico – Rendsina ochrica Regosol calcárico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico	NO	SI	SI	A	10.2	-0.28	-0.81
301	Regosol cálcico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	SI	A	10.7	0.14	-0.57
302	Cambisol cálcico – Cambisol vértico – Regosol calcárico – Rendsina ochrica – Litosol – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	12	-0.41	-0.97
303	Fluvisol calcáreo – Acrisol gleyco – Cambisol gleyco	SI	SI	NO	A	11.8	0.08	-0.43
304	Rendsina ochrica – Litosol – Cambisol eutrico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	7.3	-0.64	-1.24
305	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico – Rendsina ochrica – Litosol Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	7.3	-0.61	-1.21
306	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol – Cambisol cálcico	NO	SI	SI	A	11.9	-0.03	-0.77
307	Rendsina ochrica – Cambisol eutrico Litosol – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	10.1	0.04	-0.56
308	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico – Cambisol cálcico	NO	SI	SI	A	11.9	0.12	-0.63

ID	Combinación de suelos	Caract. gleycas	Caract. calcáreas	Presenc. rendsinas	Sector	SQRT(Hu)	Ln(Ks)	Ln(Kp)
309	Rendsina ochrica – Regosol calcárico – Podsol orthico – Cambisol cálcico – Renzina óchrica Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	10.3	0.29	-0.24
310	Cambisol cálcico – Renzina óchrica – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol	NO	SI	SI	A	10.2	-0.32	-0.92
311	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	7.2	-0.46	-1.06
312	Rendsina ochrica – Cambisol eutrico Litosol – Cambisol cálcico	NO	SI	SI	A	11.9	0.19	-0.56
313	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico – Cambisol cálcico – Renzina óchrica – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	10.2	-0.1	-0.63
314	Cambisol eutrico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	NO	SI	GB	15.2	0.62	-0.55
315	Luvisol crómico – Cambisol crómico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol	NO	SI	SI	A	11.5	-0.43	-1.11
316	Luvisol crómico – Cambisol crómico – Luvisol crómico – Cambisol crómico	NO	NO	NO	GB	15.6	0.57	-0.61
317	Cambisol crómico – Luvisol crómico – Cambisol cálcico – Renzina óchrica – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	14	0.1	-0.56
318	Fluvisol crómico – Cambisol crómico – Luvisol crómico	NO	NO	NO	GB	15.4	0.46	-0.52
319	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Podsol orthico – Podsoluvisol dystrico – Acrisol orthico	NO	SI	SI	A	9.7	0.42	-0.31
320	Cambisol crómico – Luvisol crómico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico	NO	SI	SI	A	11.1	-0.29	-1.03
321	Luvisol crómico – Cambisol crómico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	11.5	-0.32	-1.01
322	Luvisol crómico – Cambisol crómico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	SI	A	11.4	-0.14	-0.83
323	Cambisol crómico – Luvisol crómico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol	NO	SI	SI	A	11.2	-0.4	-0.82
324	Luvisol crómico – Cambisol crómico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	11.5	-0.29	-0.97
325	Luvisol crómico – Cambisol crómico – Luvisol crómico – Cambisol crómico	NO	NO	NO	GB	15.6	0.57	-0.61
326	Luvisol crómico – Cambisol crómico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	SI	A	11.4	-0.14	-0.83
327	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	7.2	-0.5	-1.1
328	Luvisol crómico – Cambisol crómico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	SI	A	11.4	-0.14	-0.83
329	Luvisol crómico – Cambisol crómico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	SI	A	11.4	-0.14	-0.83
330	Cambisol crómico – Luvisol crómico – Luvisol crómico – Cambisol crómico	NO	NO	NO	GB	15.5	0.58	-0.62
331	Cambisol crómico – Luvisol crómico – Cambisol crómico – Luvisol crómico	NO	NO	NO	GB	15.5	0.58	-0.62
332	Luvisol crómico – Cambisol crómico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico	NO	SI	SI	A	11.4	-0.14	-0.83
333	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	7.3	-0.61	-1.21
334	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Cambisol eutrico – Acrisol orthico	NO	SI	SI	A	11.9	0.41	-0.92
335	Cambisol húmico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	11.9	-0.02	-1
336	Rendsina ochrica – Litosol – Cambisol eutrico – Cambisol cálcico – Renzina óchrica	NO	SI	SI	A	10.2	-0.17	-0.77
337	Litosol – Cambisol cálcico – Renzina óchrica	NO	SI	SI	A	10.2	0.43	-0.23
338	Litosol – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	8.2	-0.15	-0.81
339	Litosol – Litosol – Ranker – Acrisol orthico – Cambisol dystrico	NO	NO	NO	A	10.5	-0.15	-0.82
340	Luvisol crómico – Cambisol crómico – Litosol -	NO	NO	NO	GB	15.6	0.57	-0.61
341	Rendsina ochrica – Cambisol cálcico Litosol – Luvisol crómico – Cambisol crómico	NO	SI	SI	A	14	0.38	-0.76
342	Rendsina ochrica – Regosol calcárico – Podsol orthico – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Litosol	NO	SI	SI	A	7.4	-0.21	-0.8

ID	Combinación de suelos	Caract. gleycas	Caract. calcáreas	Presenc. rendsinas	Sector	SQRT(Hu)	Ln(Ks)	Ln(Kp)
343	Cambisol húmico – Cambisol cálcico – Renzina óchrica	NO	SI	SI	A	14.8	0.41	-0.55
344	Cambisol crómico – Luvisol crómico – Cambisol húmico	NO	NO	NO	GB	15.5	0.58	-0.62
345	Litosol – Rendsina ochrica – Cambisol cálcico – Regosol calcárico	NO	SI	SI	A	7.3	-0.04	-0.71
346	Gleysol calcáreo - Cambisol cálcico - Renzina óchrica	SI	SI	SI	A	10.2	0.65	-0.92
347	Xerochrept calcixerollico - Rendsina móllica	NO	SI	SI	A	8.1	-0.62	-0.92
348	Xerochrept calcixerollico - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	10.9	-0.04	-0.34
349	Xerochrept calcixerollico - Rendsina ochrica - Cambisol cálcico - Litosol	NO	SI	SI	A	8.1	-0.6	-0.36
350	Xerochrept calcixerollico - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	10.9	-0.04	-0.34
351	Xerochrept calcixerollico - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	10.9	-0.04	-0.34
352	Xerochrept calcixerollico - Rendsina ochrica	NO	SI	SI	A	8.1	-0.62	-0.92
353	Rendsina ochrica	NO	NO	SI	A	4	-0.77	-0.75
354	Rendsina ochrica	NO	NO	SI	A	4	-0.77	-0.75
355	Xerochrept lítico - calcixerollico - Cambisol cálcico - Regosol calcárico	NO	SI	NO	A	11	-0.25	-0.34
356	Rendsina ochrica	NO	NO	SI	A	4	-0.77	-0.75

8.2.2.5. ESTIMACIÓN EN LAS CELDAS

Para obtener la estimación de los valores de los parámetros en cada celda se utilizaron las variables ambientales que se recogen en la Tabla 78. Como paso previo, las variables principales fueron transformadas para permitir que sus valores se distribuyan más simétricamente alrededor de su valor medio (Tabla 79).

Tabla 78 Detalle de las variables ambientales utilizadas y su forma de expresión

Denominación	Cuantitativa (Normalizada)	Cuantitativa (Val. Originales)	dummy	Fuente
Conductividad hidráulica superficial del suelo	No	Si	No	Mapa de Suelos CEE
Cuencas sedimentarias	No	No	Si	EVE
Dominios estructurales	No	No	Si	EVE
Dominios hidrogeológicos	No	No	Si	EVE
Unidades estratigráficas	No	No	Si	EVE
Unidades litológicas	No	No	Si	EVE
Permeabilidad del terreno	Si	No	Si	EVE
Uso del suelo (I)	No	No	Si	GV
Uso del suelo (II)	No	No	Si	GV
Red fluvial principal	No	No	Si	MDT
Altimetría	Si	No	No	MDT
Pendiente topográfica	Si	No	No	MDT
Orientación de la pendiente	No	No	Si	MDT
Curvatura del relieve	Si	No	No	MDT
Índice topográfico	Si	No	No	MDT
Fuentes de información	No	No	Si	varios

Tabla 79 Transformaciones aplicadas a las variables principales

Variable	Transformación
Conductividad hidráulica del suelo	Logaritmo natural
Conductividad hidráulica del sustrato del suelo	Logaritmo natural
Capacidad de almacenamiento hídrico del suelo	Raíz cuadrada

Por último, todas las variables continuas fueron transformadas linealmente a fin de que quedasen expresadas en una escala continua entre 0 y 1.

$$y_n = \left(\frac{x - Min}{Max - Min} \right)$$

donde:

x : valor de la variable continua.

y_n : valor de la variable continua normalizada.

Max, Min : valores máximos mínimos absolutos de la variable continua.

Las variables ambientales tipo dummy se generaron al aplicar sobre la información cartográfica un criterio de clasificación excluyente, dividiéndolas en dos únicas categorías. Cada una de éstas fue elaborada de forma tal que represente los contrastes más claros y relevantes entre los valores de conductividad hidráulica saturada, dentro del área estudiada (Tabla 80). De esta forma, los elementos que no pertenecen a una clase fueron incluidos, por defecto, en la restante.

Las diferentes categorías fueron determinadas a priori basándose en la información auxiliar, y su validación se realizó comprobando las diferencias en los valores medios de conductividad hidráulica en cada una de ellas. De no considerarse suficiente las diferencias entre valores, el proceso se volvió a repetir hasta lograr el objetivo.

Tabla 80 Criterios de separación en variables dummy

Variable	Dummy = 1	Dummy = 0	Criterio de selección
Cuencas sedimentarias	Cuenca del Ebro	Resto de cuencas	Zonas con dinámica geomorfológica y sedimentaria diferente
Dominios estructurales	Sinclinal de Urbasa – Treviño Sierra de Cantabria	Resto del territorio	Zona afectadas por el sinclinal a partir del sinclinal de Urbasa hacia el sur, excepto Rioja Alavesa
Dominios hidrogeológicos	Plataforma Alavesa, Sinclinal de Urbasa – Treviño, Sierra de Cantabria, Cuenca del Ebro	Resto del territorio	Dominios hidrogeológicos no asociados a Gipuzkoa ni a Bizkaia
Unidades estratigráficas	Cretácico	Otras	Materiales asociados al intervalo cronoestratigráfico dominante en el territorio
Unidades litológicas	Materiales calcáreos	Otras	Materiales fracturados o fisurados, total o parcialmente afectados por procesos de karst y/o alteración por disolución
Permeabilidad del terreno	Alta y muy alta (Infiltración > 60%)	Infiltración < 60%	Materiales y terrenos asociados a altos valores de infiltración
Uso del suelo I	Bosque, pradera natural, pastizales, transición bosque-monte.	Áreas no ocupadas ni por monte ni bosque ni praderas o pastizales	Usos del suelo asociados a tipos contrastados de terrenos y de cubierta vegetal
Uso del suelo II	Aras urbanas, industriales, etc.; suelos cultivados o con forestación industrial	Áreas no afectadas directamente por el uso humano del suelo	Áreas con mayor o menor impacto directo del hombre sobre el suelo.
Altimetría	Alturas entre 600 y 1500 m.	Alturas entre 0 y 600 m.	Distinción de las zonas elevadas respecto de las deprimidas.
Red fluvial principal	Más de 4 celdas acumuladas	Menos de 47 celdas acumuladas	Terrenos con el mayor desarrollo de la red fluvial
Orientación de la pendiente	Acimut = (45 - 225)	Acimut = (-1); Acimut = (0 - 45 ; 225 - 360)	Vertientes con diferente exposición a las precipitaciones y con grados de insolación contrastados
Pendiente topográfica	Pendiente < 3%	Pendiente > 3%	Áreas con pendientes contrastadas
Índice topográfico	$\ln(I_t) < 2$	Otros	Distinción de las áreas de cabeceras respecto a las de cauce principal o de mayor orden
Curvatura del relieve	Curvatura < 0	Curvatura ≥ 0	Distinción de las zonas cóncavas respecto de las convexas o llanas
Fuentes de Información	Regiones de Álava, Castilla y León y Navarra	Regiones de Gipuzkoa y Bizkaia	Zonas con información original edafológica a escala gruesa respecto a zonas con información edafológica a mayor detalle

El análisis de la tendencia regional se basó en las 356 unidades de muestreo ya citadas, obteniéndose una ecuación de regresión para cada variable principal. La precisión de los resultados obtenidos supera en todos los casos un valor de R^2 del 80% (Tabla 81 e Ilustración 92, Ilustración 93 e Ilustración 94).

Tabla 81 Precisión de las estimaciones

Estimación	R^2
SQRT_Hu	85.9
Ln_Ks	91.8
Ln_Kp	81.3

Analizando los ajustes obtenidos en la regresión (Tabla 82, Tabla 83 y Tabla 84) puede comprobarse que existen variables ambientales que individualmente o combinadas con otras, forman parte de al menos dos de los tres ajustes. Así, la curvatura del paisaje aporta explicación a la variación espacial de la conductividad hidráulica. De la misma forma, el valor de la capacidad de almacenamiento hídrico deducido del Mapa de Suelos de la CE, la presencia de bosques y/o matorrales, la interacción de este tipo de uso del suelo con el tipo de estructura tectónica y la interacción entre la presencia de terrenos karstificados y la evidencia de facturación regional, son elementos del terreno que participan en la explicación de la variación espacial en las tres variables principales.

Finalmente, al observar el valor de los distintos coeficientes de ajuste, se puede comprobar que las variables ambientales relacionadas con la morfología del terreno (índice topográfico, hipsometría, etc.) tienen un peso determinante en la obtención del ajuste. De la misma forma, la estructura tectónica, la estratigrafía y el uso del suelo son las variables dummy que aisladamente favorecen al ajuste.

Ilustración 92 Ajuste de la estimación de SQRT_HU

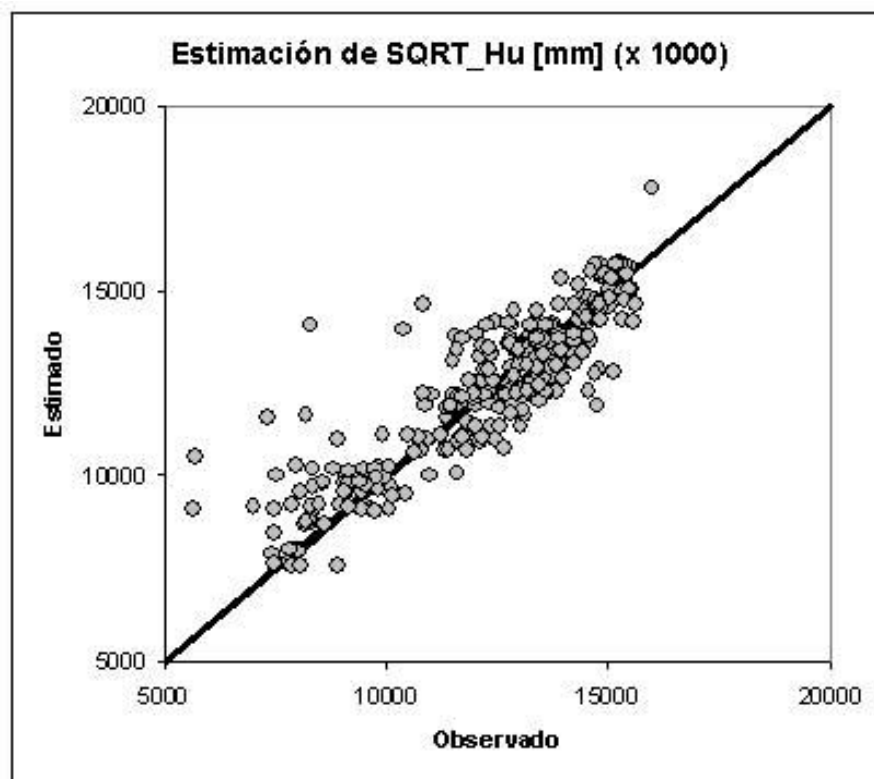


Ilustración 93 Ajuste de la estimación de Ln_KS

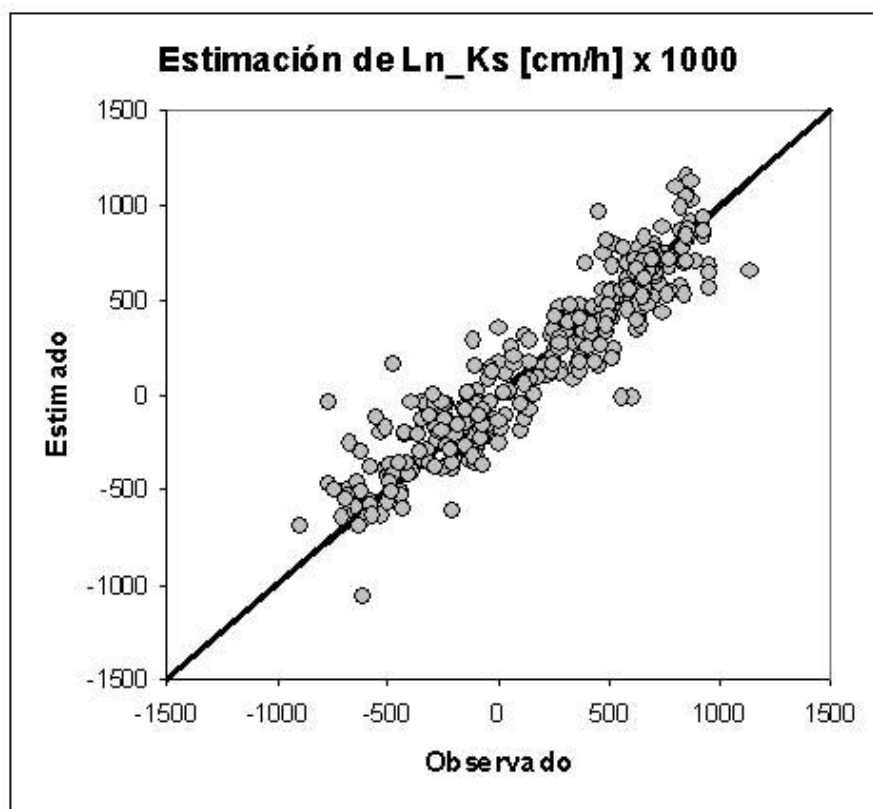


Ilustración 94 Ajuste de la estimación de Ln_KP

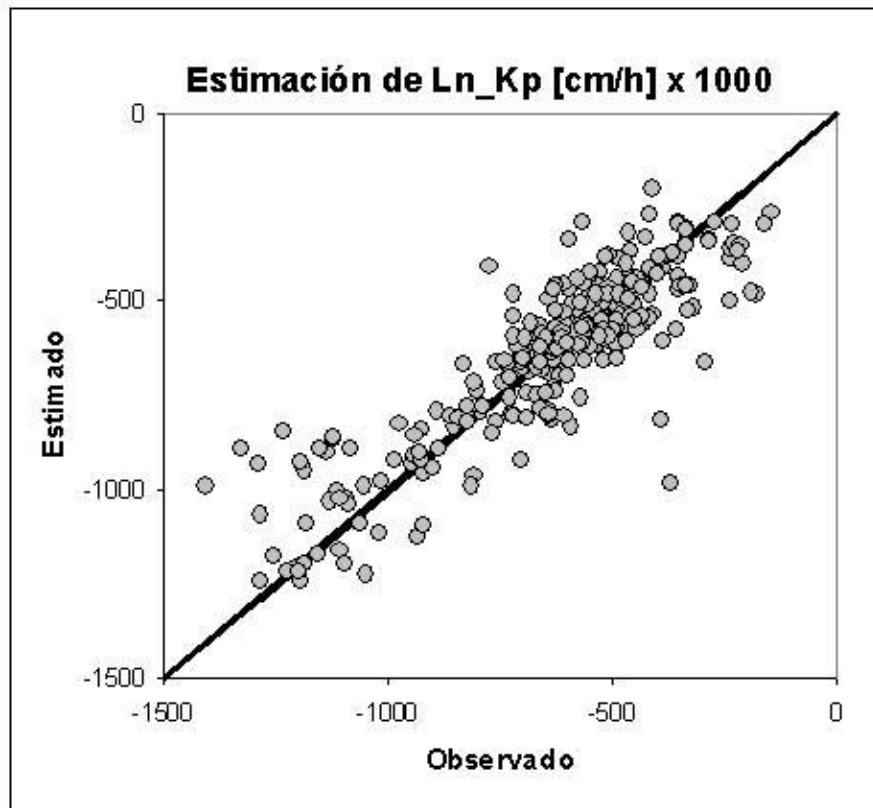


Tabla 82 Detalle del ajuste obtenido para la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo

Estimación de SQRT_HU [mm] *1000			
Variable			peso
Variables continuas			
Constante			10114.3
Modelo de elevación del terreno (valores homogeneizados entre 0 y 1) * 1000			9.311121
Variables discretas			
Cuencas sedimentarias			1191.83
Unidades hidrogeológicas			2023.31
Litología			16.43
Permeabilidad según EVE			-1054.64
Uso del suelo 1			4405.28
Uso del suelo 2			2946.04
Interacciones entre variables discretas			
Tectónica	vs	Estratigrafía	-2508.36
Tectónica	vs	Litología	1249.38
Tectónica	vs	Estratigrafía	1672.75
Tectónica	vs	Hipsometría	1115.67
Dominios hidrogeológicos	vs	Estratigrafía	4734.23
Dominios hidrogeológicos	vs	Litología	-2492.8
Dominios hidrogeológicos	vs	Permeabilidad (EVE)	-4090.48
Dominios hidrogeológicos	vs	Uso_1	-1265.53
Dominios hidrogeológicos	vs	Uso_2	-1736.23
Dominios hidrogeológicos	vs	Hipsometría	-1057.74
Dominios hidrogeológicos	vs	Orientación del terreno	-1291.94
Dominios hidrogeológicos	vs	Pendiente del terreno	812.821
Estratigrafía	vs	Litología	-1696.01
Estratigrafía	vs	Uso_2	1305.15
Estratigrafía	vs	Tipo de información	-1427.94
Litología	vs	Permeabilidad (EVE)	839.701
Litología	vs	Uso_1	-924.347
Litología	vs	Uso_2	-883.215
Permeabilidad (EVE)	vs	Uso_1	-1382.86
Permeabilidad (EVE)	vs	Pendiente del terreno	1423.52
Permeabilidad (EVE)	vs	Tipo de información	3414.39
Uso_1	vs	Uso_2	-3545.15
Uso_1	vs	Tipo de información	-2408.67
Orientación del terreno	vs	Tipo de información	904.583

Tabla 83 Detalle del ajuste obtenido para la conductividad hidráulica del suelo

Estimación de (Ln_Ks) *1000			
Variable			peso
Variables continuas			
Constante			-159.205
Curvatura del paisaje			-9.36926
Conductividad hidráulica del suelo (primeros 20 cm) según FAO *1000			9.73265
Modelo de elevación del terreno (valores homogeneizados entre 0 y 1) * 1000			-19.8108
Pendiente del terreno (valores homogeneizados entre 0 y 1) * 1000			5.88205
Variables discretas			
Estratigrafía			-212.862
Permeabilidad según EVE			-270.783
Uso2			67.838
Interacciones entre variables discretas			
Tectónica	vs	Estratigrafía	427.191
Tectónica	vs	Uso_1	-286.356
Tectónica	vs	Hipsometría	307.865
Dominios hidrogeológicos	vs	Estratigrafía	226.034
Dominios hidrogeológicos	vs	Litología	-136.459
Dominios hidrogeológicos	vs	Uso_2	-182.807
Dominios hidrogeológicos	vs	Orientación del terreno	-220.183
Dominios hidrogeológicos	vs	Pendiente del terreno	226.512
Estratigrafía	vs	Litología	-366.364
Estratigrafía	vs	Hipsometría	339.275
Litología	vs	Permeabilidad (EVE)	-167.835
Litología	vs	Uso_1	-71.3291
Litología	vs	Red hidrográfica	71.4124
Permeabilidad (EVE)	vs	Uso_1	-224.937
Permeabilidad (EVE)	vs	Hipsometría	235.928
Permeabilidad (EVE)	vs	Tipo de información	105.106
Uso_1	vs	Hipsometría	201.816
Hipsometría	vs	Pendiente del terreno	199.201
Orientación del terreno	vs	Pendiente del terreno	172.31
Orientación del terreno	vs	Tipo de información	138.145
Pendiente del terreno	vs	Tipo de información	-263.883

Tabla 84 Detalle del ajuste obtenido para la conductividad hidráulica del sustrato del suelo

Estimación de (Ln_Kp)*1000			
Variable			peso
Variables continuas			
Constante			287.369
Modelo de elevación del terreno (valores homogeneizados entre 0 y 1) * 1000			-3.80709
Variables discretas			
Cuencas sedimentarias			581.664
Tectónica			463.258
Unidades hidrogeológicas			-473.666
Estratigrafía			-272.178
Permeabilidad según EVE			-148.853
Interacciones entre variables discretas			
Tectónica	vs	Estratigrafía	-732.585
Tectónica	vs	Permeabilidad (EVE)	528.29
Dominios hidrogeológicos	vs	Estratigrafía	425.157
Dominios hidrogeológicos	vs	Permeabilidad (EVE)	-489.286
Dominios hidrogeológicos	vs	Uso_1	322.815
Dominios hidrogeológicos	vs	Uso_2	-175.962
Dominios hidrogeológicos	vs	Orientación del terreno	-162.23
Estratigrafía	vs	Litología	63.0135
Estratigrafía	vs	Permeabilidad (EVE)	267.423
Estratigrafía	vs	Hipsometría	106.45
Estratigrafía	vs	Pendiente del terreno	-188.722
Estratigrafía	vs	Tipo de información	210.569
Litología	vs	Uso_1	-135.081
Litología	vs	Hipsometría	-124.529
Litología	vs	Pendiente del terreno	227.557
Litología	vs	Tipo de información	-178.819
Uso_1	vs	Índice topográfico	40.4065
Uso_2	vs	Tipo de información	-194.654
Hipsometría	vs	Tipo de información	101.165
Orientación del terreno	vs	Tipo de información	120.266

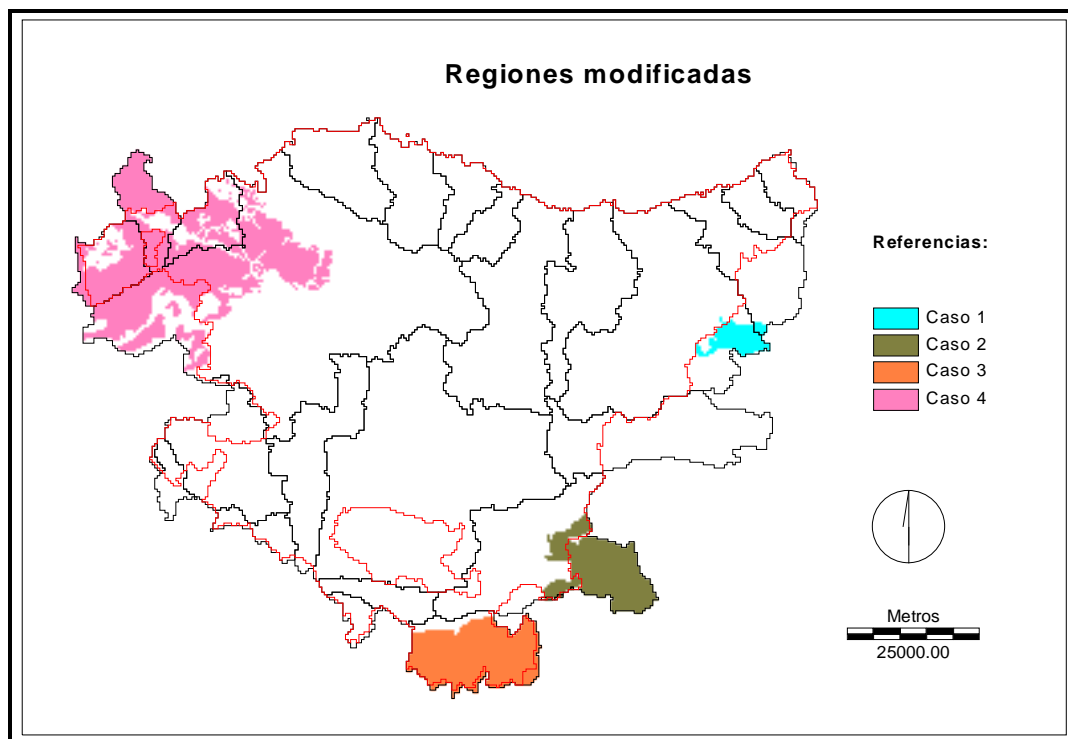
Una vez concluida la etapa de estimación de los coeficientes de las regresiones, se procedió a la validación de los resultados y la detección de casos y situaciones factibles de ser modificadas. Como resultado de ello, se realizaron los siguientes tipos de modificaciones en los resultados de la estimación.

En primer lugar se modificaron los valores modales de Hu, Ks y Kp en diferentes sectores del área de trabajo, tal como lo señala la Ilustración 95. En el Caso 1, se modificaron los valores de Hu, aumentándolos y los valores de Ks, reduciéndolos suavemente. En el caso 2, se procedió a

aumentar los valores de H_u y K_p . Finalmente, en los casos 3 y 4 se procedió a reducir suavemente los valores de H_u , permaneciendo sin cambio los valores de K_s y K_p .

Una vez realizadas las modificaciones, se procedió a una nueva estimación de valores con el mismo modelo de variabilidad, conservando por tanto la estimación de la tendencia obtenida en etapas anteriores.

Ilustración 95 Regiones afectadas por las modificaciones de los valores modales



Las estimaciones hasta este punto están centradas en el perfil del suelo. Este proceso carece de fiabilidad en las zonas de permeabilidad alta y muy alta del mapa de permeabilidad. Por ello se incrementaron por adición los valores estimados de K_p en las celdas incluidas en zonas de permeabilidad alta o muy alta de la lámina N°2.

En las celdas con suelos tipo rendsinas (Ilustración 73) se incrementó su permeabilidad K_s por adición. Finalmente se procedió a anular los valores de H_u y K_s en las celdas cuyo uso del suelo fuera urbano o se tratara de embalses o cuerpos de agua.

La Ilustración 96, la Ilustración 97 y la Ilustración 98 son los mapas de los resultados finales obtenidos a escala de celda. Cabe destacar la mayor homogeneidad en la variabilidad apreciada entre el Norte y el Sur, comparada con la situación que aparece al representar los valores modales a escala de unidad cartográfica.

Ilustración 96 Mapa final capacidad de almacenamiento hídrico del suelo

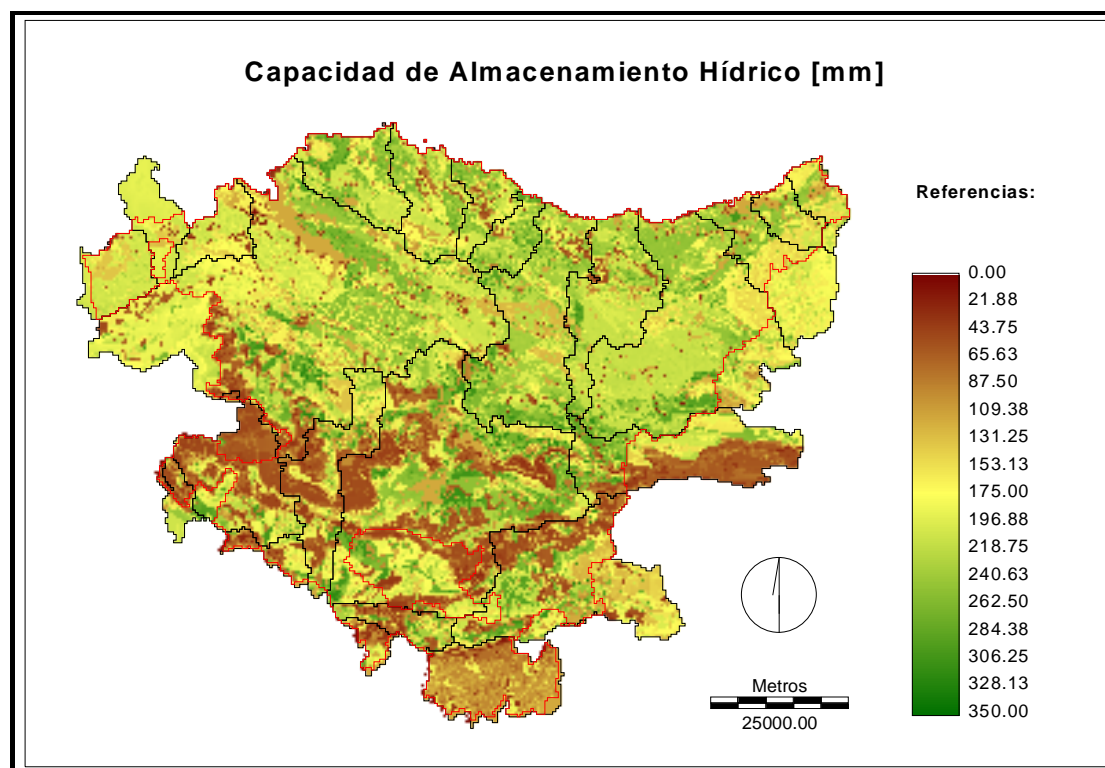


Ilustración 97 Mapa final de la conductividad hidráulica del suelo

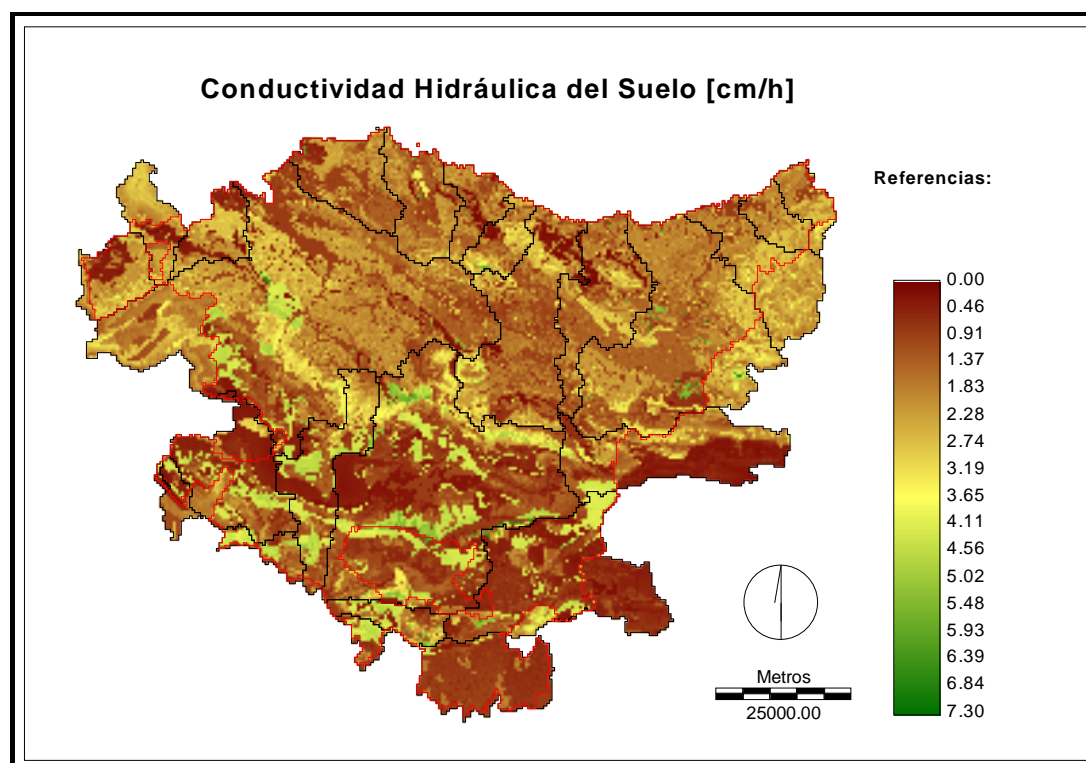
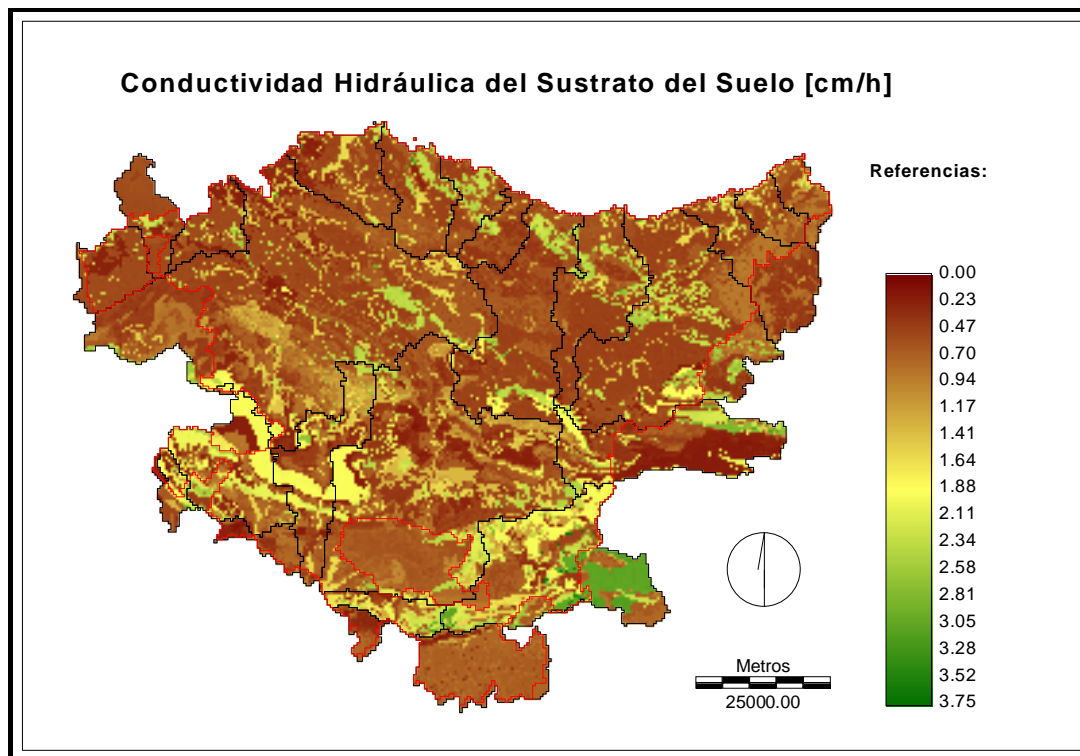


Ilustración 98 Mapa final de la conductividad hidráulica del sustrato del suelo

8.2.3. *Estimación de los valores de abstracción inicial superficial*

La abstracción inicial superficial es el almacenamiento estático sobre la superficie del suelo, del cual el agua sólo puede salir mediante su evaporación. La abstracción inicial superficial es la suma de:

1. El contenido de agua almacenada a causa la rugosidad del terreno
2. El contenido de agua retenida por la vegetación por medio de la intercepción de la precipitación.

En el modelo TETIS, esta característica se suma al almacenamiento capilar del suelo para constituir el parámetro de almacenamiento estático.

A diferencia de lo expresado para el caso de los parámetros hidrológicos del suelo, en estos casos existe menos conocimiento en lo que respecta a su distribución espacial y de las variables ambientales que influyen en estos procesos. De la misma forma, existe una reducida cantidad de información bibliográfica sobre valores de referencia, y/o funciones de transferencia.

En este trabajo, la estimación de la distribución espacial de la intercepción se elaboró a partir de asignar directamente valores modales a cada unidad cartográfica de cubierta del suelo. El criterio de asignación se especifica en la Tabla 85.

En el caso del almacenamiento en superficie, la estimación de su distribución espacial siguió dos caminos diferentes.

Por una parte, a cada categoría de cubierta de suelo le fue asignado un valor de referencia de almacenamiento en superficie. El criterio de asignación se recoge en la Tabla 86.

Y por otra parte, en función de la pendiente del terreno a cada píxel le fue asignado otro valor de referencia de almacenamiento en superficie. El criterio de asignación se indica en la Tabla 87. Finalmente, ambas estimaciones fueron sumadas a la de intercepción para generar una capa final de abstracción hidrológica inicial.

Tabla 85 Valores de referencia de intercepción asignados a las categorías de uso de suelo

Nombre	Intercepción [mm]
Bosque	9.0
Matorral	4.0
Herbazal	3.0
Urbano y baldío	0.0
Desnudo	0.0
Plantación forestal	9.0
Parques urbanos	3.0
Cultivos agrícolas	1.0

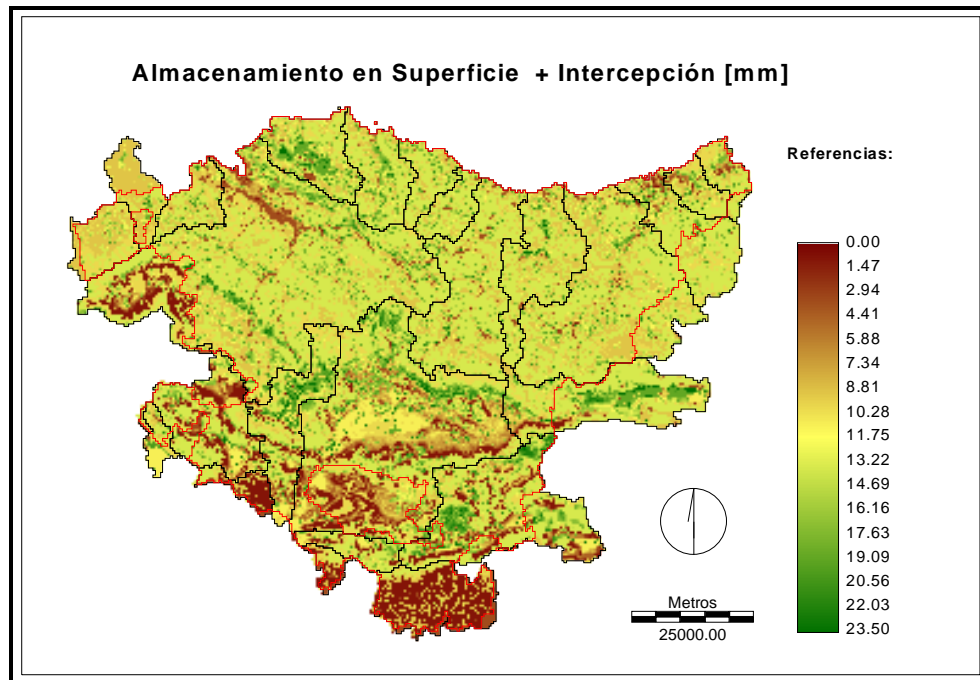
Tabla 86 Valores de referencia de almacenamiento en superficie, según categorías de uso de suelo

Nombre	Almacenamiento en superficie [mm]
Bosque	4.5
Matorral	6.0
Herbazal	6.0
Urbano y baldío	0.0
Desnudo	0.0
Plantación forestal	4.5
Parques urbanos	5.5
Cultivos agrícolas	0.0

Tabla 87 Valores de referencia de almacenamiento en superficie, según la pendiente topográfica

Pendiente (grados)	Almacenamiento
0	10
1	8.7
2	7.4
3	6.1
4	4.8
5	3.5
6	2.2
7	0.9
8	0.0
>8	0.0

Los resultados se exponen en la Ilustración 99. En ella se puede observar que el valor máximo de abstracción por almacenamiento superficial e intercepción no supera los 23.5 mm., lo cual puede considerarse como razonable.

Ilustración 99 Mapa de la abstracción inicial superficial

8.2.4. Estimación del factor de vegetación

Asociado a la cobertura del suelo se define el factor de vegetación, empleado para el cálculo de la evapotranspiración en el modelo hidrológico. Para ello, en primer lugar se han reclasificado las distintas categorías de usos del suelo/cubierta vegetal en las clases definidas en la Tabla 88, en las que se asume que el comportamiento a efectos de la evapotranspiración es homogéneo. La distribución espacial en el ámbito de estudio, se recoge en la Ilustración 100.

A cada clase se le ha asignado una variación temporal de su factor de vegetación, que se reflejan en la Tabla 89.

Tabla 88 Clases de uso del suelo/cubierta vegetal a efectos del factor de vegetación

Clase	Nombre
1	Bosque hoja perenne
2	Bosque hoja caduca
3	Cultivo arbóreo perenne
4	Cultivo arbóreo caduco
5	Matorral
6	Pradera natural
7	Cultivo estacional
8	Pastos cultivados
9	Sin vegetación o vegetación pobre
10	Zona urbana

Ilustración 100 Distribución espacial de las clases de factor de vegetación

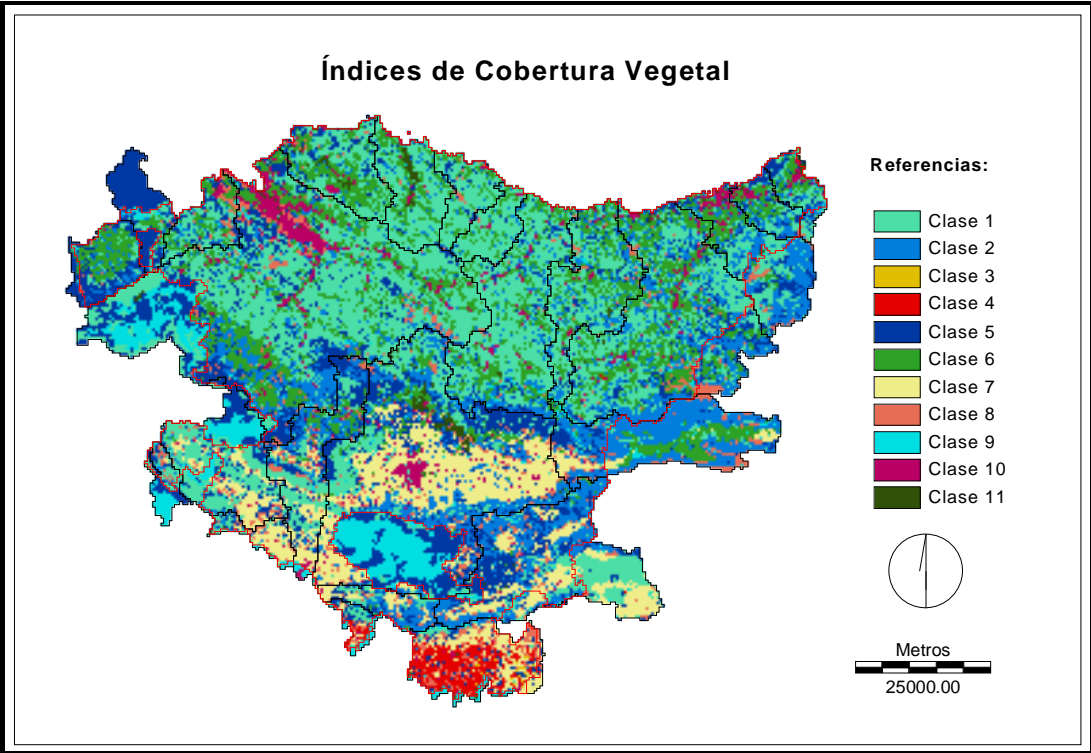


Tabla 89 Variación temporal de los factores de vegetación

Mes	Clase										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ENE	1.0	0.6	0.6	0.2	1.0	0.9	0.2	0.9	0.2	1.0	1.0
FEB	1.0	0.6	0.6	0.2	1.0	0.9	0.2	0.9	0.2	1.0	1.0
MAR	1.0	0.8	0.6	0.4	1.0	0.9	0.6	0.9	0.2	1.0	1.0
ABR	1.0	1.0	0.6	0.6	1.0	0.9	0.8	0.9	0.2	1.0	1.0
MAY	1.0	1.0	0.6	0.6	1.0	0.9	0.8	0.9	0.2	1.0	1.0
JUN	1.0	1.0	0.6	0.6	1.0	0.9	0.8	0.9	0.2	1.0	1.0
JUL	1.0	1.0	0.6	0.6	1.0	0.9	0.6	0.9	0.2	1.0	1.0
AGO	1.0	1.0	0.6	0.6	1.0	0.9	0.4	0.9	0.2	1.0	1.0
SEP	1.0	1.0	0.6	0.6	1.0	0.9	0.2	0.9	0.2	1.0	1.0
OCT	1.0	1.0	0.6	0.6	1.0	0.9	0.2	0.9	0.2	1.0	1.0
NOV	1.0	0.8	0.6	0.4	1.0	0.9	0.2	0.9	0.2	1.0	1.0
DIC	1.0	0.6	0.6	0.2	1.0	0.9	0.2	0.9	0.2	1.0	1.0

8.2.5. Estimación de los parámetros geomorfológicos

El modelo TETIS emplea nueve parámetros geomorfológicos para la simulación de la propagación de los hidrogramas a lo largo de la red de cauces. Debido a la escala temporal de este trabajo (un día) y al objetivo perseguido (simulación de recursos hídricos superficiales), no parece necesario realizar una estimación detallada de estos parámetros ya que su influencia en los resultados será escasa. Se han utilizado valores medios recomendados en la literatura³⁸, sobre todo, teniendo en cuenta que la calibración posterior del factor corrector de la velocidad del flujo ajustará los comportamientos promedio, ajuste que se considera suficiente a la escala temporal del estudio.

Las relaciones geomorfológicas resultantes de la aplicación de los valores de la literatura son:

- Área acumulada de la cuenca y caudal a sección llena

$$\Lambda = 0.6 \cdot Q_b^{0.75}$$

- Ancho de la sección transversal a sección llena y el caudal a sección llena

$$w_b = 3.26 \cdot Q_b^{0.5}$$

- Ancho de la sección transversal w y el caudal

$$w = Q^{0.2}$$

- Diámetro del sedimento, la pendiente y la profundidad del flujo

$$d = 20 \cdot (y_{s_o})^{1.25}$$

- Coeficiente de rugosidad y el diámetro del sedimento

$$n = 0.047 \cdot d^{1/6}$$

³⁸ Vélez, I. *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de crecidas*. Tesis doctoral en la Universidad Politécnica de Valencia, 2001.

8.3. Calibración de los factores correctores

8.3.1. *El proceso de calibración / validación*

En el capítulo anterior se han estimado inicialmente los parámetros del modelo, haciendo uso exclusivamente de información ambiental. En el capítulo actual se aborda la calibración final del modelo con datos reales input output y la validación de los resultados obtenidos.

En esta segunda fase se obtienen los factores correctores de los parámetros de tipo global en el proceso de calibración. Estos factores correctores tratan de corregir los errores siguientes:

- i) de estimación inicial de los parámetros
- ii) en la información hidrometeorológica de entrada al modelo
- iii) en el propio modelo
- iv) efectos de escala espacio-temporal

Los factores correctores son:

- 1.- Almacenamiento estático R_1 .
- 2.- Evapotranspiración R_2
- 3.- Infiltración R_3
- 4.- Escorrentía directa R_4
- 5.- Percolación R_5
- 6.- Flujo subsuperficial R_6
- 7.- Pérdidas subterráneas R_7
- 8.- Flujo base R_8
- 9.- Velocidad de la onda a lo largo de la red de cauces R_9
- 10.- Factor de interpolación de lluvia con la altura, b

Una vez calibrado el modelo en una cuenca, es necesario comprobar su validez en escenarios distintos al de calibración, de tal forma que se puede demostrar que se están simulando apropiadamente los procesos físicos dominantes.

Estos escenarios pueden ser:

- i) Validación temporal: en otro período de tiempo del mismo punto de calibración.
- ii) Validación espacial: en otro punto de la cuenca y mismo período de tiempo de calibración.

- iii) Validación espacio-temporal: en otro punto de la cuenca y período de tiempo distinto al de calibración.

La información pluviométrica diaria proveniente del INM está discretizada entre las 8 horas de la mañana y las 8 horas de la mañana del día siguiente, mientras que el resto de información pluviométrica y la información de aforos diarios es desde las 0 horas a las 24 horas del mismo día. Para homogeneizar los datos, dado su menor número, se ha aplicado a los datos de aforo y pluviométricos que no son del INM la corrección siguiente:

$$Y(t) = \frac{2}{3} X(t) + \frac{1}{3} X(t+1)$$

siendo X(t) el valor original del día t (con ventana de 0 a 24 horas) e Y(t) el valor corregido con la ventana temporal del INM.

8.3.2. Criterios de ajuste

La precisión en la simulación o predicción está dada por la medida de las diferencias entre lo simulado o predicho y lo realmente observado. Los criterios que se han utilizado han sido fundamentalmente los siguientes:

- Visualización conjunta de los hidrogramas observado y simulado.
- Balance general de agua. Se obtiene de la siguiente forma:

$$\%errVol = \frac{\hat{V}_p - V_o}{V_o} \times 100\%$$

Siendo \hat{V}_p el volumen total simulado y V_o el volumen total observado. Valores positivos indican subestimación y valores negativos sobrestimación.

- El coeficiente de eficiencia R^2 . Se estima según la siguiente expresión:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$$

Siendo \bar{Q} el valor medio de los caudales observados. También es conocido como el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe. Este coeficiente se ha evaluado tanto a escala diaria como mensual.

El criterio para aceptar una calibración es, en principio, subjetivo ya que en los criterios objetivos influyen la calidad de los datos que pueden enmascarar un comportamiento aceptable del modelo. En la literatura aparecen como aceptables calibraciones con un índice de Nash superior a 0,6 y se considera como excelente un valor superior a 0,8.

Lógicamente, los criterios de ajuste en validación son menos exigentes que en calibración. Por ello, se considera en la literatura como aceptable un índice de Nash superior a 0,5, siendo excelente las validaciones por encima de 0,7.

8.3.3. *Puntos de calibración y validación*

Aunque en principio, como se indicó en el capítulo 6 se consideraron todas las 113 estaciones de aforo que suponían puntos de medición distintos en la red de drenaje, posteriormente se han realizado filtrados en función de la disponibilidad conjunta de datos de precipitación y de aforo y de la existencia simultánea de datos a lo largo de las cuencas. Por ello finalmente se seleccionaron 71 estaciones para el proceso de calibración / validación.

Como se había seleccionado como escala de trabajo un tamaño de celda de 500 x 500m, que reduce a tiempos asumibles la calibración automática de cuencas de hasta 1000 km² con varios años de datos (tres días de procesamiento en un Pentium 4 a 2 GHz de velocidad), sin pérdida de precisión en los resultados de las simulaciones se han revisado y alterado las coordenadas de las estaciones de aforo para hacerlas coincidir con el esquema de celdas acumuladas de 500x500 m. En la Tabla 90 se muestran las nuevas coordenadas de los 71 puntos y su respectiva área de drenaje. Se incluye la columna con el área de drenaje estimada por el modelo Tetis, la cual varía de acuerdo a la nueva discretización espacial con respecto a las obtenidas con el MDT inicial.

Tabla 90 Localización de las estaciones de aforo empleadas en la calibración y la validación

Cuenca	Estación	Río	UTMX	UTMY	UTMX-Tetis	UTMY-Tetis	Sup GIS (km2)	Sup. TETIS (km2)
Bidasoa	F1Z1 Endara	Endara	599575	4791487	600000	4791000	6.28	5.75
Oiartzun	CHN107 Oiartzun	Oiartzun	591916	4794347	592500	4794000	33.57	35.5
Oiartzun	E1Z1 Oiartzun	Oiartzun	590556	4795682	590500	4795500	56.02	57.25
Urumea	D1W1 Añarbe	Añarbe	593537	4786631	593000	4786000	47.06	46.75
Urumea	D2Z1 Ereñozu	Urumea	586314	4788243	586500	4788000	216.17	212.50
Urumea	CHN105 Ereñozu	Urumea	586072	4788630	586000	4788500	216.82	213.00
Oria	C1Z2 Estanda	Estanda	563701	4766917	563500	4767000	54.89	57.00
Oria	C2Z1 Agauntza	Agauntza	567111	4763165	567000	4762000	70.67	73.00
Oria	C3T1 Amundarain	Zaldibia	569320	4764215	569500	4764000	16	16.25
Oria	C5Z1 Alegia	Oria medio	573047	4772479	573000	4772500	330.18	344.00
Oria	C7Z1 Belauntza	Zelai	577553	4777108	576000	4776000	28.58	32.75
Oria	C8Z1 Andoain	Leitzaran	580084	4784631	580500	4783500	114.02	114.75
Oria	CHN080 Andoain	Oria	579205	4786840	579000	4785500	778.44	785.25
Oria	C9Z1 Lasarte	Oria	579537	4789327	579537	4789327	791.93	805.50
Urola	B1Z1 Aitzu	Urola	555192	4773691	555000	4773500	56.49	59.75
Urola	B1Z2 Ibai Eder	Ibaieder	560566	4780543	560000	4781000	65.32	64.50
Urola	B2S1 Granadaerre	Granadaerreka	567665	4783250	567000	4783500	2.02	2.25
Urola	B2Z1 Aizarnazabal	Urola	561436	4789525	561000	4789500	273.14	277.50
Urola	CHN109 Etxabe	Urola	562231	4790957	562000	4791000	307.1	310.50
Deba	A1Z3 Urkulu	Urkulu	543083	4762461	543500	4761000	10.07	8.00
Deba	A1Z2 Zubillaga	Oinati	545877	4767884	546000	4767500	99.35	106.25
Deba	A1Z1 San Prudentzio	Deba alto	545076	4770206	544500	4770000	122.96	127.25
Deba	A2Z1 Aixola	Aixola	540642	4778125	540500	4778500	4.68	4.50
Deba	A3Z1 Altzola	Deba	548997	4787833	548000	4786000	460.92	469.00
Artibai	AR01 Iruzubieta	Artibai alto	538580	4789618	538500	4789000	24.15	25.50
Artibai	CHN141 Berriatua	Artibai	543520	4795664	543000	4794500	93.16	94.00
Lea	LE01 Aulestia	Lea medio	535907	4794274	536500	4794500	39.06	37.75
Lea	LE11 Arbina	Arbina	540832	4798154	540500	4798500	16.66	14.75
Oka	OK01 Muxika	Oka medio	525325	4793010	525500	4792500	31.31	28.75
Oka	SA06 Olalde	Oma	528580	4799657	528000	4800500	5.5	7.25
Ibaizabal	IB21 Oromiño	Orobio	526365	4782396	526500	4782500	21.85	20.50
Ibaizabal	IB03 Amorebieta	Ibaizabal medio	521800	4785098	522000	4785000	233.46	225.00
Ibaizabal	UNDU Undúrraga / E. Undúrraga	Arratia	520457	4771150	521000	4770500	28.34	31.25
Ibaizabal	IB32 Urkizu	Arratia	518620	4781370	518500	4781000	128.44	136.50
Ibaizabal	CHN164 Lemoa	Arratia	518700	4783375	518500	4783000	138.15	143.75
Ibaizabal	NB05 Abusu	Ibaizabal	507125	4788280	508000	4788500	1001.53	1021.00
Ibaizabal	NB11 Orozko	Altube	506973	4770422	506500	4769500	117.93	118.00
Ibaizabal	NB01 Saratxo	Nerbioi alto	499783	4764591	499000	4763500	87.69	93.50
Ibaizabal	NB04 Zarátamo	Nerbioi	509916	4785232	509000	4784500	509.45	522.25
Ibaizabal	CHN177 Ordunte / E. Ordunte	Ordunte	476942	4778676	476500	4778500	44.16	46.25
Ibaizabal	KD01 Balmaseda	Kadagua	482310	4780490	482000	4780000	195.64	208.75
Ibaizabal	CHN175 Herrerías en Güeñes	Herrerías	496502	4783174	496500	4782500	254.44	258.25
Ibaizabal	KD12 Herrerías	Herrerías	496487	4783298	496500	4782500	254.50	258.25
Ibaizabal	CHN163 Lemoa	Ibaizabal medio	520014	4784467	519500	4784500	252.41	256.00
Ibaizabal	NB02 Gardea	Nerbioi	501695	4774945	500500	4772500	188.69	193.50
Ibaizabal	ARTZ Artziniega	Artziniega	485325	4772575	485000	4772500	12.97	12.00
Ibaizabal	MARO. Maroño	Izoria	495375	4766350	495500	4766000	20.51	21.50
Ibaizabal	IB01 Elorrio	Ibaizabal	536000	4775388	536000	4775500	29.4	29.75
Agüera	CHN186 Guriezo	Agüera	473992	4801936	473500	4800500	127.29	118.75

Cuenca	Estación	Río	UTMX	UTMY	UTMX-Tetis	UTMY-Tetis	Sup GIS (km2)	Sup. TETIS (km2)
Karrantza	KR01 Karrantza	Karrantza	468940	4788870	468940	4788870	110.56	114.75
Omecillo	OSM2 Osma-2	Tumecillo	494844	4748960	495000	4751000	70.83	71.50
Omecillo	OSM1 Osma-1	Tumecillo	494990	4750120	495000	4749500	77.39	79.00
Omecillo	CHE188 Berguenda	Omecillo	496340	4736163	496000	4736000	349.77	345.75
Baia	APRI Aprikano	Baia	508520	4744470	508500	4744500	205.76	196.25
Baia	POBE Pobes	Baia	507896	4739960	507500	4739500	241.1	234.50
Baia	CHE165 Miranda / Baia	Baia	505836	4726133	506000	4726000	322.61	306.75
Zadorra	H152 Audikana	Zadorra	542105	4748329	543500	4747500	84.65	89.50
Zadorra	H154 Ozaeta	Barrundia	541428	4751258	541500	4751500	88.74	86.00
Zadorra	CHE108 E. Urrúnaga	Sta. Engrazia	528220	4756420	528500	4756000	142.59	142.00
Zadorra	CHE221 Larrinoa	Zalla	521960	4757780	522000	4757500	21.56	19.25
Zadorra	CHE107 E. Ullibarri	Zadorra alto	531412	4753098	531500	4752500	272.36	272.50
Zadorra	H153 Ochandiano	Urkiola	528001	4765557	528000	4765500	35.35	34.75
Zadorra	CHE75 Berantevilla	Ayuda	509725	4725578	511000	4725500	307.76	308.00
Zadorra	CHE074 Arce / Zadorra	Zadorra	508519	4725103	508500	4724500	1356.18	1358.50
Inglares	SA01 Peñacerrada	Inglares	522219	4721511	522500	4721500	48.3	48.25
Inglares	OCIO Ocio	Inglares	513576	4722500	513500	4722500	85.79	86.00
Ega	CHE6 Marañón	Ega medio	545859	4719917	547000	4720000	88.5	89.00
Ega	G313 Ancín	Ega	564800	4723800	564000	4724000	477.35	472.50
Ega	G314 Murieta	Ega	571700	4723150	572000	4722500	553.06	544.75
Ega	SA05 Zarpia	Larrondoa	557562	4737400	557500	4737500	10.98	11
Arakil	G433 Echarren / Arakil	Arakil	593699	4752287	592500	4753000	407	401.5

8.3.4. Calibración

El proceso de calibración se llevó a cabo de forma aislada para cada cuenca o sistema hidrológico. Teniendo en cuenta que se ha pretendido obtener un único modelo por cada cuenca y que posteriormente a la calibración es necesario proceder a la validación espacial, que garantiza la validez del modelo en zonas no aforadas, y a la validación temporal, que garantiza su validez en situaciones hidrológicas variables, en esta fase de calibración se ha utilizado, en la medida de lo posible, una estación de aforos por cuenca. En la elección de la estación de calibración se ha tendido a que se trate de la situada más aguas abajo, bien en la cuenca completa, bien en cada una de las zonas en las que haya sido necesario dividir cada unidad. El resto de las estaciones de aforo se han utilizado en las fases de validación.

Así, en total se han empleado 22 estaciones en la fase de calibración, una por cuenca, con las excepciones del Ibaizabal, en donde el Kadagua y el Herrerías se calibraron aparte aunque posteriormente dos de las calibraciones confluyeron, el Ega en el que se emplearon tres estaciones y el Bidasoa, sistema en el que la única estación disponible no se pudo utilizar. Posteriormente se incluyó una estación mas en el Oria y se eliminó una del Ega.

Simplificando el proceso de calibración seguido, en una primera fase se han calibrado de forma automática todos los factores correctores, para, a la vista de los resultados obtenidos, ser modificados subjetivamente buscando un modelo hidrológico más robusto. Los criterios concretos de modificación seguidos en cada cuenca se recogen en el Anejo nº 1.

En la calibración automática de los factores correctores se han empleado los rangos y el valor inicial mostrados en la Tabla 91, como referencia a efectos de la búsqueda de los valores óptimos. Sin embargo, en algunos casos en fases posteriores de estimación, estos valores se han alterado para obtener un mejor ajuste. En la mayor parte de los casos en esta fase se ha empleado una selección de las estaciones pluviométricas más representativas y completas de cada cuenca, con el fin de disminuir los tiempos de computación.

Tabla 91 Rango y valor inicial de los factores correctores empleados

Factor corrector	Mínimo	Máximo	Inicial
R1 - Almacenamiento capilar	0.50	3.00	1.00
R2 – Evapotranspiración	0.70	1.50	1.00
R3 – Infiltración	0.00	0.40	0.10
R4 – Escorrentía directa	0.00	0.8	0.30
R5 – Percolación	0.00	0.40	0.05
R6 – Flujo subsuperficial	100.00	2000.00	300.00
R7 – Pérdidas subterráneas	0.00	0.20	0.00
R8 – Flujo base	20.00	200.00	50.00
R9 – Velocidad del flujo	0.60	1.50	1.00
<i>b</i> – Factor de interpolación de lluvia	0.0000	0.0500	0.0010

En cuanto al balance global de una cuenca, hay dos parámetros que juegan papeles contrarios y que pueden ajustar el cierre del mismo, pero con implicaciones diferentes en cuanto al ciclo simulado:

- i) El análisis de la precipitación anual visto en el capítulo de Pluviometría, muestra que en una buena parte de las cuencas, existe un incremento de la precipitación con la altura, uno de los parámetros del modelo. Si se da por válido el dato de aportación superficial registrado y la ET0 estimada, esto supone incrementar el flujo restante del balance, es decir, crear en algunos casos una vía de cierre de balance que englobe tanto a los flujos no medidos en las estaciones de aforo como a errores de balance.
- ii) Pero debido a la posición de las estaciones de aforo y a la hidrogeología, la parte del flujo subterráneo no registrado como flujo base debe ser mínima. Es decir, el flujo considerado como pérdidas subterráneas (factor corrector R7) debe ser lo mínimo posible o inexistente.

En el caso de que con factores de incremento de precipitación nulos aún sea necesario recurrir a las pérdidas para cerrar el balance, éstas representarán flujos no medidos o errores en algunas medidas. Existe una segunda situación, que es la que se puede presentar cuando un factor de incremento de la precipitación explique mejor la precipitación en algunas zonas de la cuenca, pero que obligue en otras a la utilización de factores de percolación o de errores de cierre. En estos casos y aunque los índices de ajuste y los análisis pluviométricos pudieran indicar una presencia significativa de los factores de incremento de la precipitación se ha tendido a su minimización en aras de la claridad de los conceptos del balance. Este juego con el factor de interpolación de la lluvia se ha realizado tanto en la fase de calibración automática como en la fase de calibración final.

8.3.4.1. CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA INICIAL

En las Tablas siguientes se recogen los valores de los factores correctores obtenidos durante esta primera fase, empleando la calibración automática disponible en el programa TETIS. Se incluye el índice de Nash y Sutcliffe a escala diaria y mensual y el error en volumen, con el fin de aportar un criterio para determinar la bondad de los factores correctores seleccionados durante la calibración automática.

Los resultados desde el punto de vista de la eficiencia conseguida son magníficos: excelente en todos los puntos de calibración, salvo los resultados diarios en Zarpia (Ega), que sólo pueden calificarse de aceptables. Aunque en este caso, hay que tener en cuenta la fuerte

componente hidrogeológica de la cuenca, su pequeño tamaño y que sólo se disponen de 9 meses de datos.

Los errores en volumen han resultado significativos en los casos del Urumea en Ereñozu, el Urola en Etxabe, el Oka en Muxika, el Inglares en Ocio y el Ega en Maraño. En Ereñozu y Etxabe puede haber problemas de observación (de hecho, la validación espacial en las estaciones DZ1 Ereñozu y B2Z1 Aizarnazabal son mejores que en las propias estaciones de calibración, como puede observarse en la tabla de resumen de resultados de la validación, pero en los otros tres últimos casos hay claramente serias dudas sobre la fiabilidad de la serie de aportaciones observadas (ver los comentarios correspondientes del Anejo nº1).

Tabla 92 Resultados de la calibración automática en la zona Norte.

Sistema	Estación	Área TETIS km²	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8	R-9	b	Err. Vol. (%)	R² día	R² mes
Oiartzun	E1Z1 Arditurri	57.25	1.97	0.91	0.064	0.421	0.051	309.6	0.093	57.9	1.34	0.0000	1.74	0.883	0.971
Urumea	CHN105 Ereñozu	218.00	1.80	1.20	0.096	0.214	0.043	298.5	0.000	56.9	1.31	0.0058	-7.05	0.794	0.896
Oria	C9Z1 Lasarte	805.50	1.64	1.19	0.037	0.135	0.026	398.7	0.000	30.1	1.22	0.0026	1.34	0.931	0.981
Urola	CHN109 Etxabe	310.25	1.08	0.92	0.042	0.333	0.031	226.9	0.002	35.5	1.16	0.0000	-10.85	0.905	0.963
Deba	A3Z1 Altzola	469.00	1.25	0.97	0.060	0.397	0.031	341.0	0.119	42.0	1.30	0.0056	-0.23	0.925	0.976
Artibai	AR01 Iruzubieta	25.50	0.52	0.83	0.027	0.256	0.041	181.2	0.110	38.8	1.00	0.0000	-0.40	0.738	0.842
Lea	LE01 Aulestia	37.75	0.61	0.71	0.040	0.200	0.034	466.0	0.000	102.0	0.97	0.0000	5.08	0.725	0.787
Oka	OK01 Muxika	28.75	0.63	0.87	0.027	0.141	0.020	211.2	0.000	25.3	1.31	0.0015	-9.25	0.817	0.918
Ibaizabal	NB05 Abusu	1021.00	0.62	1.00	0.035	0.438	0.024	675.5	0.001	58.1	1.56	0.0000	-5.02	0.912	0.953
Ibaizabal	KD01 Balmaseda	202.00	1.39	1.25	0.043	0.439	0.018	225.4	0.000	91.7	0.90	0.0059	-1.05	0.896	0.939
Ibaizabal	KD12 Herrerías	259.75	1.480	1.210	0.043	0.439	0.024	225.37	0.434	91.650	0.895	0.003950	0.06	0.852	0.925
Agüera	CHN186 Guriezo	118.75	0.57	1.11	0.029	0.455	0.020	746.6	0.000	162.1	1.39	0.0113	-4.96	0.743	0.863
Karrantza	KR01 Karrantza	114.75	1.80	1.28	0.045	0.232	0.044	242.0	0.291	74.7	1.18	0.0083	-1.73	0.887	0.953

Tabla 93 Resultados de la calibración automática en la zona Sur.

Sistema	Estación	Área TETIS km²	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8	R-9	b	Err. Vol. (%)	R² día	R² mes
Omecillo	CHE188 Berguenda	350.75	1.55	0.90	0.346	0.290	0.050	601.7	0.031	118.9	1.31	0.0000	-3.20	0.814	0.966
Baia	CHE165 Miranda	294.00	1.13	0.75	0.031	0.263	0.016	138.1	0.000	117.9	1.28	0.0013	-0.81	0.817	0.917
Zadorra	CHE074 Arce	1357.25	1.10	1.10	0.150	0.400	0.030	500.0	0.000	60.0	1.40	0.0060	-2.17	0.764	0.974
Inglares	OCIO Ocio	84.75	1.38	1.08	0.071	0.147	0.248	854.7	0.084	30.1	0.98	0.0000	-10.26	0.817	0.818
Ega	G313 Ancín	494.00	1.20	0.71	0.288	0.196	0.029	905.2	0.006	33.6	1.14	0.0000	-5.11	0.803	0.882
Ega	CHE006 Maraño	84.00	1.65	0.75	0.169	0.268	0.050	389.1	0.000	5.8	1.10	0.0006	11.02	0.748	0.759
Ega	SA05 Zarpia	10.75	0.82	1.06	0.680	0.173	0.182	828.5	0.000	44.0	0.92	0.0140	0.59	0.601	0.701
Arakil	G433 Etxarren	402.75	1.98	0.99	0.103	0.154	0.020	553.9	0.000	258.0	1.33	0.0000	1.68	0.812	0.921

En lo que respecta a los valores obtenidos de los factores correctores, en principio se observan variaciones espaciales en algunos casos no asumibles, por lo que será necesario en la calibración final incrementar la coherencia entre los factores correctores obtenidos en las cuencas vecinas.

Un resumen con el balance hídrico en cada cuenca se muestra en la Tabla 94 y en la Tabla 95. El balance es global y se realiza para toda la cuenca vertiente a la estación de aforos, teniendo en cuenta la precipitación, la evapotranspiración estimada por el modelo, el volumen de escorrentía observado y el volumen simulado. Se presentan también los porcentajes con

respecto al flujo total de las diferentes componentes del flujo (escorrentía directa, interflujo y flujo base). Estos balances deben tomarse como indicativos, no sólo porque estas calibraciones no son las definitivas, sino también por la corta longitud de la simulación.

Tabla 94 Calibración automática Zona Norte. Balance hídrico en los períodos de calibración.

Sistema	Estación	Área TETIS km ²	Ppt. mm/año	ETr mm/año	Pérd. mm/año	Q Obs. mm/año	Q Sim. mm/año	ED %	IT %	FB %
Oiartzun	E1Z1 Arditurri	57.25	2096.7	659.2	150.4	1264.8	1286.8	13.0	49.6	37.4
Urumea	CHN105 Ereñozu	218.00	2210.0	900.7	0.0	1397.5	1298.2	1.7	56.6	41.6
Oria	C9Z1 Lasarte	805.50	1719.1	839.7	0.0	778.2	784.5	21.5	41.0	37.1
Urola	CHN109 Etxabe	310.25	1573.5	749.4	3.0	1001.4	892.8	39.3	33.6	26.9
Deba	A3Z1 Altzola	469.00	1661.5	815.2	175.7	670.7	669.1	24.0	53.4	22.7
Artibai	AR01 Iruzubieta	25.50	1433.0	650.4	104.1	657.4	654.7	31.8	39.8	28.4
Lea	LE01 Aulestia	37.75	1345.7	575.0	0.0	733.3	770.6	29.9	33.0	37.1
Oka	OK01 Muxika	28.75	1417.9	661.4	0.0	780.1	707.9	26.9	44.4	29.0
Ibaizabal	NB05 Abusu	1021.00	1262.7	719.0	1.3	628.1	596.6	32.1	33.1	34.8
Ibaizabal	KD01 Balmaseda	202.00	1615.4	748.5	0.6	764.6	622.5	20.2	45.4	34.4
Ibaizabal	KD12 Herrerías	259.75	1302.0	836.0	157.0	259.5	259.7	35.2	63.0	1.8
Agüera	CHN186 Guriezo	118.75	1505.9	745.0	0.0	827.2	786.2	31.4	40.9	27.7
Karrantza	KR01 Karrantza	114.75	2008.0	925.5	0.0	643.3	632.3	41.6	45.3	13.1

Tabla 95 Calibración automática Zona Sur. Balance hídricos en los períodos de calibración.

Sistema	Estación	Área TETIS km ²	Ppt. mm/año	ETr mm/año	Pérd. mm/año	Q Obs. mm/año	Q Sim. mm/año	ED %	IT %	FB %
Omecillo	CHE188 Berguenda	350.75	858.0	633.9	30.4	214.1	214.0	10.8	23.7	66.5
Baia	CHE165 Miranda	294.00	1032.2	544.2	0.0	544.7	540.4	34.1	36.1	29.8
Zadorra	CHE074 Arce	1357.25	889.2	539.7	0.0	317.8	310.9	15.0	37.3	47.7
Inglares	OCIO Ocio	84.75	792.1	689.9	75.9	163.1	146.5	18.6	1.7	88.3
Ega	G313 Ancín	494.00	765.7	473.0	9.7	298.2	283.0	5.9	30.7	63.4
Ega	CHE006 Marañón	84.00	862.0	561.0	0.0	271.1	301.0	5.0	20.0	75.0
Ega	SA05 Zarpia	10.75	1684.0	731.0	0.0	773.4	778.0	1.0	6.0	94.0
Arakil	G433 Etxarren	402.75	1252.8	578.8	0.0	662.3	673.5	30.6	46.0	23.4

Analizando los resultados de la calibración automática para cada cuenca, el balance de agua y el reparto de las tres componentes del flujo, se aprecian los siguientes hechos:

- i) Las cuencas del Oiartzun, Urumea y Karrantza presentan valores de lluvia anual promedio superiores a los 2000 mm, lo cual puede ser exagerado, por lo que se ha revisado la información de lluvia para estas zonas y, en todo caso, hay que tratar de reducir el incremento producido por el factor de la altura en los casos del Urumea y Karrantza.
- ii) Por contra, se observan valores muy bajos de evapotranspiración (por debajo de los 600 mm/año) en las cuencas del Baia, Zadorra, Ega, Lea, Oka y Arakil, por lo que se ha optado por un aumento en la cantidad de agua que entra al sistema para que esté disponible y sea evaporada. Este hecho parece abundar en la necesidad

- de aplicar el factor de interpolación de lluvia en la calibración, siempre y cuando no se descuadre el resto del balance (especialmente las pérdidas subterráneas).
- iii) La existencia de pérdidas suele coincidir con una minimización del otro flujo de salida del sistema, la ETR, o con un aumento extraordinario de la precipitación a través del coeficiente beta. Por ello estas situaciones se revisan con detalle para localizar otras áreas del espacio de optimización que reflejen otros regímenes hidrológicos. Hay que señalar que este concepto de pérdidas incluye tanto a los flujos no medidos en las estaciones de aforo, como a todo tipo de procesos no controlados o errores de cierre de balance que no son posibles de eliminar.
 - iv) En las cuencas del Ega y Urumea las proporciones de escorrentía directa son muy bajas, por lo que se han revisado los factores correctores y realizado calibraciones modificando el rango inicial de la calibración y forzando al modelo para que genere este tipo de escorrentía.
 - v) En las simulaciones de las cuencas del Zarpia e Inglares no se observa una clara componente de interflujo, por lo que se deben revisar sus factores correctores y realizado nuevas calibraciones.
 - vi) En Karrantza, la componente del flujo base ha resultado pequeña en la simulación y por lo tanto se ha revisado en este sentido.
 - vii) Finalmente, aunque los factores correctores en las estaciones de calibración del Ibaizabal (Abusu, Balmaseda y Herrerías) son distintos, cabe hacer algún intento de conseguir un único modelo hidrológico para toda la cuenca, si fuera posible.

8.3.4.2. CALIBRACIÓN FINAL

Una vez se han revisado los factores correctores y el balance hídrico en cada sistema hidrológico, se ha procedido a homogenizar los factores correctores, realizando modificaciones controladas a los mismos, realizando, si es necesario, nuevas calibraciones en distintos puntos de la cuenca. Los objetivos fundamentales perseguidos han sido:

- i) Introducir en la fase de calibración la totalidad de las estaciones pluviométricas de las que se tienen datos.
- ii) Reducir las pérdidas subterráneas, en aquellas cuencas que las presentan.
- iii) Buscar que los factores correctores y, en menor medida los balances, de las diferentes cuencas sean más coherentes entre sí.

En esta memoria sólo se presentan los resultados últimos de todo el proceso de calibración final. En las tablas siguientes se recogen los factores correctores definitivos, incluyendo también el factor de interpolación de la lluvia (*b*). En el caso del Oria, en esta fase se ha añadido la calibración final en Amundarain, en el Ibaizabal fue posible integrar el Herrerías en

el modelo principal, mientras que en el Ega no se ha continuado con la calibración de la estación de Marañón.

Lógicamente, en la mayoría de los casos se han deteriorado los indicadores de eficiencia respecto de la calibración automática. Las excepciones han sido el Urumea en Ereñozu, el Lea en Aulestia, el Ega en Ancín y el Arakil en Etxarren que mejoran significativamente a nivel diario y mensual, y los resultados diarios del Oria en Lasarte y del Urola en Etxabe que a nivel diario mejoran ligeramente.

Tabla 96 Resultados de la calibración final en la zona Norte

Sistema	Estación	Área TETIS km²	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8	R-9	b	Err. Vol. (%)	R² día	R² mes
Oiartzun	E1Z1 Oiartzun	57.25	1.67	1.04	0.068	0.421	0.040	448.8	0.000	38.8	1.34	0.0000	1.82	0.870	0.962
Urumea	CHN105 Ereñozu	213.00	1.00	0.97	0.096	0.214	0.043	289.5	0.000	56.9	1.31	0.0025	-5.97	0.824	0.928
Oria	C9Z1 Lasarte	805.50	1.25	1.00	0.037	0.135	0.026	398.7	0.000	30.1	1.22	0.0013	0.82	0.932	0.976
Oria	C3T1 Amundarain	16.25	0.81	0.81	0.045	0.325	0.005	688.2	0.000	252.8	1.22	0.0070	-13.14	0.683	0.765
Urola	CHN109 Etxabe	310.50	0.90	0.92	0.052	0.333	0.031	333.2	0.000	43.8	1.30	0.0025	-9.66	0.907	0.955
Deba	A3Z1 Altzola	469.00	1.08	0.97	0.053	0.397	0.021	354.8	0.000	36.1	1.30	0.0022	-1.99	0.900	0.949
Artibai	AR01 Iruzubieta	25.50	1.00	0.92	0.029	0.256	0.030	372.9	0.000	87.4	1.30	0.0000	-6.60	0.596	0.666
Lea	LE01 Aulestia	37.75	0.70	0.83	0.040	0.200	0.034	466.0	0.000	102.0	0.97	0.0000	-4.36	0.784	0.816
Oka	OK01 Muxika	28.75	0.63	0.87	0.027	0.141	0.020	211.2	0.000	25.3	1.31	0.0015	-3.14	0.813	0.901
Ibaizabal	NB05 Abusu	1021.00	1.00	1.00	0.035	0.438	0.015	510.3	0.000	24.2	1.56	0.0031	-2.31	0.793	0.904
Ibaizabal	KD01 Balmaseda	208.75	1.00	1.00	0.070	0.438	0.035	320.0	0.000	45.8	1.56	0.0031	-18.69	0.777	0.779
Agüera	CHN186 Guriezo	118.75	0.70	1.00	0.029	0.455	0.020	746.6	0.000	162.1	1.39	0.0000	-36.57	0.732	0.799
Karrantza	KR01 Karrantza	114.75	1.19	0.95	0.039	0.473	0.024	220.8	0.000	28.3	1.23	0.0000	-6.71	0.864	0.888

Tabla 97 Resultados de la calibración final en la zona Sur

Sistema	Estación	Área TETIS km²	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8	R-9	b	Err. Vol. (%)	R² día	R² mes
Omecillo	CHE188 Berguenda	345.75	1.72	1.00	0.059	0.290	0.021	150.2	0.000	69.5	1.31	0.0000	1.86	0.749	0.936
Baia	CHE165 Miranda	306.75	0.90	0.90	0.031	0.263	0.016	138.1	0.000	117.9	1.28	0.0040	-12.68	0.813	0.897
Zadorra	CHE074 Arce	1358.50	0.80	1.05	0.150	0.400	0.030	500.0	0.000	95.0	1.40	0.0060	21.16	0.665	0.901
Inglares	OCIO Ocio	86.00	1.38	1.08	0.071	0.147	0.248	854.7	0.080	30.1	0.98	0.0000	-6.43	0.791	0.772
Ega	G313 Ancin	472.50	1.20	0.71	0.288	0.196	0.029	905.2	0.006	33.6	1.14	0.0000	2.59	0.821	0.910
Ega	SA05 Zarpia	11.00	0.82	1.06	0.680	0.173	0.182	828.5	0.000	44.0	0.92	0.0140	34.07	0.499	0.476
Arakil	G433 Etxarren	401.50	1.00	0.99	0.096	0.236	0.020	621.6	0.000	126.8	1.33	0.0035	7.87	0.836	0.926

Los errores en volumen son en algunos casos significativos, aunque en las estaciones de Balmaseda (Ibaizabal) y Guriezo (Agüera) se explican por los errores sistemáticos de observación y en Arce (Zadorra) por errores de observación puntuales. En este último caso, en realidad el error en volumen para todo el período de observación de la estación es del 9,1%, pero no repartido homogéneamente como se detalla en el Anejo 1 correspondiente a la cuenca del Zadorra.

Como se resume en la siguiente tabla, la calibración final a escala mensual ha sido excelente en la mayoría de los puntos de calibración (14 de 20), mientras que a escala diaria se reduce a 10 las calibraciones excelentes y en dos estaciones se han obtenido resultados deficientes. Estas estaciones son las del Ega en Zarpia y la del Artibai en Iruzubieta. En el primer caso no

ha sido posible obtener mejores resultados, dado que la estación recoge las descargas de un manantial cárstico y se dispone de sólo 9 meses de observación, mientras que en el segundo caso se ha preferido sacrificar la eficiencia obtenida en la calibración automática en aras de utilizar un modelo más coherente con las cuencas del entorno.

Tabla 98 Nivel de calidad del proceso de calibración

	Resultados diarios	Resultados mensuales
Deficiente ($R^2 < 0,6$)	2	1
Aceptable	8	5
Excelente ($R^2 > 0,8$)	10	14

Las ilustraciones siguientes muestran un ejemplo intermedio de resultado excelente en la calibración final, a escalas mensual y diaria. En estos casos, se reproducen perfectamente tanto los episodios de crecidas, como los períodos secos, siendo de destacar la bondad del ajuste en las curvas de recesión de los hidrogramas a escala diaria.

Ilustración 101 Ejemplo de calibración. Hidrogramas mensuales observado y simulado en Altzola

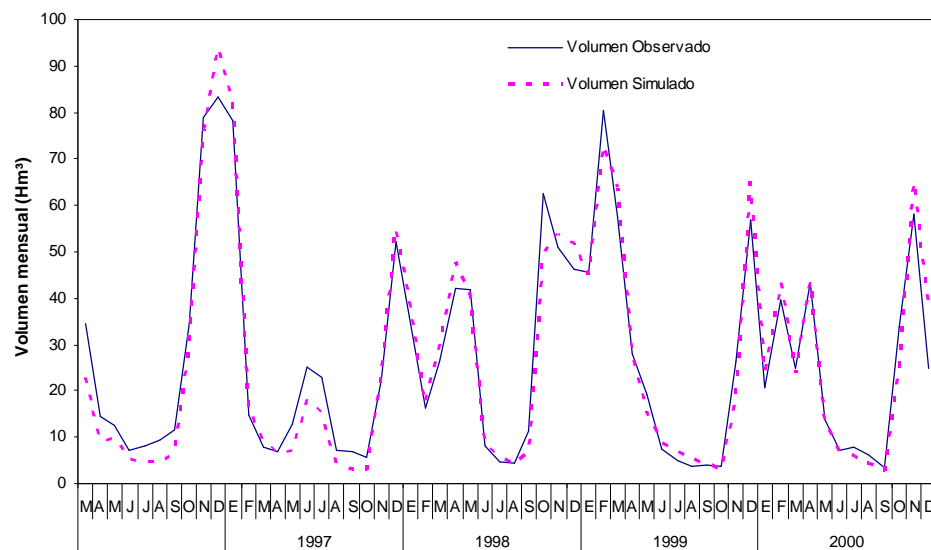
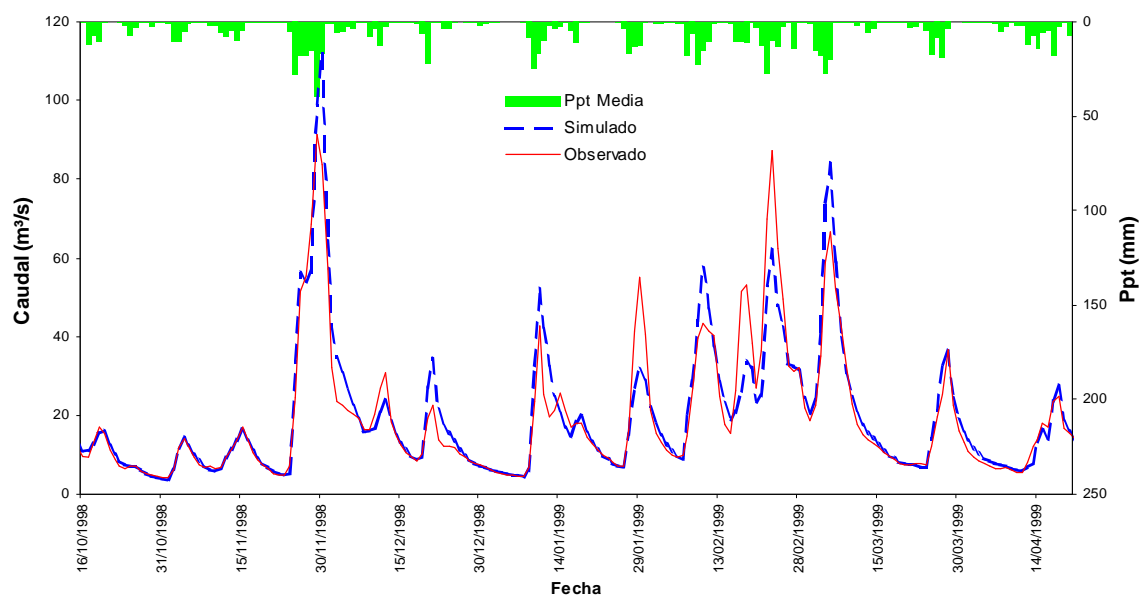


Ilustración 102 Ejemplo de calibración. Hidrogramas diarios observado y simulado en Altzola.



Los resultados del balance hídrico durante el período de simulación (50 años salvo en Artibai, Lea, Oka e Inglares que han sido 40 años por falta de recubrimiento temporal de la precipitación y/o evapotranspiración potencial) empleando los factores correctores finales, se muestran en la Tabla 99 y en la Tabla 100. Si bien ha sido posible eliminar las pérdidas subterráneas en casi todos los casos (salvo el Inglares y el Ega en Ancín), las posibles disfunciones en el reparto de los flujos o en los balances prácticamente se mantienen, lo que apunta a que no eran tales y responden a la realidad de cada cuenca.

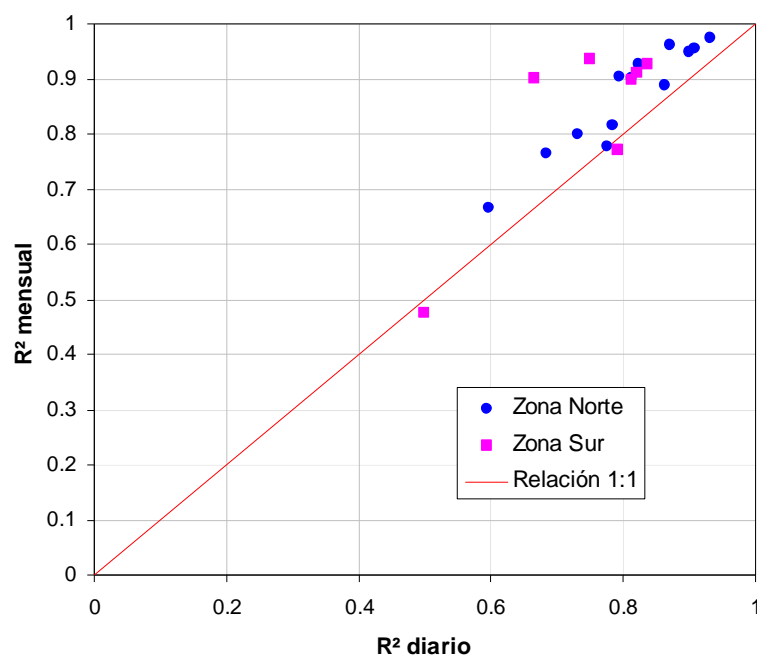
Tabla 99 Balance hídrico en el período de simulación. Factores definitivos Zona Norte

Sistema	Estación	Área TETIS km²	Ppt mm/año	ETP mm/año	ETr mm/año	Q Obs mm/año	Q Sim mm/año	Pérd. mm/año	ED %	IT %	FB %
Oiartzun	E1Z1 Oiartzun	57.25	1975	856	791	1281	1182	0	10.8	49.4	39.7
Urumea	CHN105 Ereñozu	213.00	2341	829	795	1598	1546	0	3.6	59.6	36.8
Oria	C9Z1 Lasarte	805.50	1643	822	754	797.1	886.3	0	26.7	38.6	34.7
Oria	C3T1 Amundarain	16.25	2167	928	602	1674	1566	0	24.5	59.2	16.3
Urola	CHN109 Etxabe	310.50	1589	794	720	934	867	0	23.5	41.2	35.3
Deba	A3Z1 Altzola	469.00	1597	851	758	636	837	0	27.7	47.8	24.5
Artibai	AR01 Iruzubieta	25.50	1594	800	753	571	838	0	31.1	41.4	27.5
Lea	LE01 Aulestia	37.75	1519	726	664	692	857	0	30.1	35.2	34.7
Oka	OK01 Muxika	28.75	1497	763	671	788	824	0	32.1	37.2	30.7
Ibaizabal	NB05 Abusu	1021.00	1436	924	768	575	667	0	33.2	42.5	24.3
Ibaizabal	KD01 Balmaseda	208.75	1321	897	526	736	793	0	20.2	42.5	37.3
Agüera	CHN186 Guerizo	118.75	1273	799	629	1257	640	0	36.2	41.3	22.5
Karrantza	KR01 Karrantza	114.75	1325	787	687	525	638	0	36.2	41.1	22.7

Tabla 100 Balance hídrico en el período de simulación. Factores definitivos. Zona Sur

Sistema	Estación	Área TETIS km ²	Ppt mm/año	ETP mm/año	ETr mm/año	Vol Obs mm/año	Vol Sim mm/año	Pérd. mm/año	ED %	IT %	FB %
Omecillo	CHE188 Berguenda	345.75	776	956	529	244	246	0	28.4	24.4	47.2
Baia	CHE165 Miranda	306.75	1066	741	547	595	517	0	28.1	35.5	36.4
Zadorra	CHE074 Arce	1358.50	1012	934	518	441	491	0	11.9	39.0	49.1
Inglares	OCIO Ocio	86.00	754	1026	596	200	110	48	16.3	1.4	82.3
Ega	G313 Ancin	472.50	871	655	487	270	369	14	2.4	28.0	69.6
Ega	SA05 Zarpia	11.00	1871	967	818	760	1049	0	0.0	1.5	98.5
Arakil	G433 Etxarren	401.50	1314	765	559	692	751	0	24.7	44.8	30.5

La ilustración siguiente representa la relación entre el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe mensual y diario mostrando que la correlación entre ambas es muy alta. Además, como era de esperar se observa que el índice mensual mejora con respecto al índice diario, salvo en los caso de las estaciones de Zarpia en el Ega y Ocio en el Inglares.

**Ilustración 103 Comparación entre el índice de eficiencia mensual y diario en calibración final.**

En la ilustración siguiente se presenta la relación entre el área de la cuenca vertiente y el índice de Nash y Sutcliffe mensual obtenido en la calibración final de cada estación. En este gráfico se observa que conforme se incrementa la superficie de la cuenca la calibración mejora y sobre todo disminuye su dispersión. Esto es debido fundamentalmente a la precisión de la información espacial con la que se parte en la estimación inicial de parámetros, de tal forma que en las cuencas más pequeñas la repercusión de este error inicial es mayor y más difícil su corrección con los factores correctores. Además, a mayor superficie, los procesos hidrológicos

tienden a ser más generales y, por lo tanto, mejor simulados mediante un modelo de procesos. La conclusión es idéntica con el índice de eficiencia diario.

También se concluye, de las tablas y figuras anteriores, que el nivel de calibración es semejante en las cuencas vertientes al Norte y en las que lo hacen al Sur.

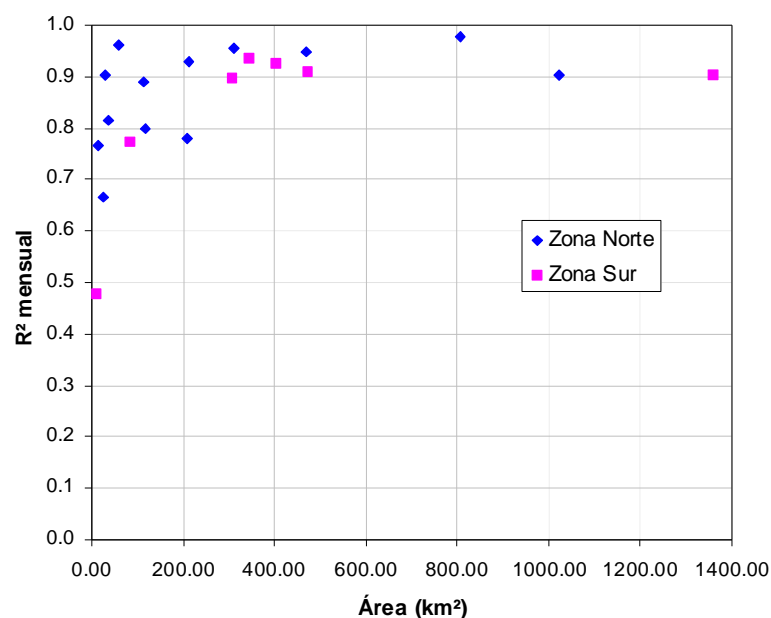


Ilustración 104 Variación del índice de eficiencia mensual con la superficie en la calibración final.

8.3.5. Validación

Con los factores correctores calibrados en el apartado anterior, se ha procedido a su validación temporal y espacial. Para ello se ha utilizado donde ha sido posible el resto de la información de la estación empleada en calibración para la validación temporal y el resto de las estaciones de aforo no empleadas en calibración para la validación espacio-temporal. Se presentan los resultados de validación espacio-temporal en 62 estaciones de aforo. Se ha desestimado presentar los resultados de validación por mala calidad comprobada de los datos observados las estaciones de Guriezo en Agüera, Ordunte y Balmaseda en Ibaizabal, Ocio y Peñacerrada en el Inglares y Marañón en el Ega. Por haber utilizado todo el período de observación en la fase de calibración, no se han validado temporalmente las estaciones de Oiartzun en Oiartzun, Lasarte en Oria, Altzola en el Deba y Zarpia en el Ega.

Para este proceso se emplearon todas las estaciones pluviométricas disponibles en cada cuenca, con algunas modificaciones de la precipitación que se describen en el Anejo 1 en las cuencas del Ibaizabal y Zadorra. Se ha aplicado a los datos pluviométricos no provenientes del INM y a todos los de aforos la corrección temporal de 1/3 ya descrita anteriormente.

Un resumen con los resultados de eficiencia en la validación realizada se recoge en la Tabla 102, mientras que en la Ilustración 105 se representa la evolución del índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe mensual en función de la superficie de la cuenca vertiente. No se han incluido en la gráfica aquellos índices negativos que indican que la validación es mala. La Ilustración 106 muestra un ejemplo de validación espacio-temporal.

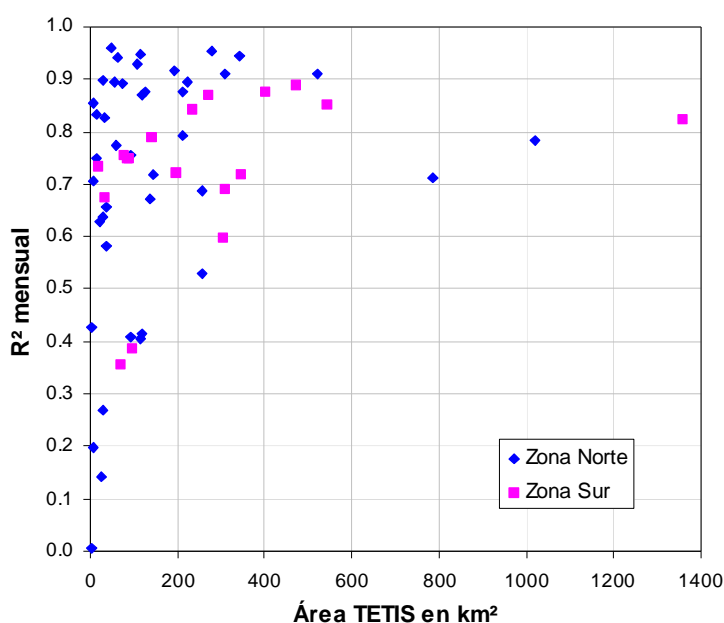


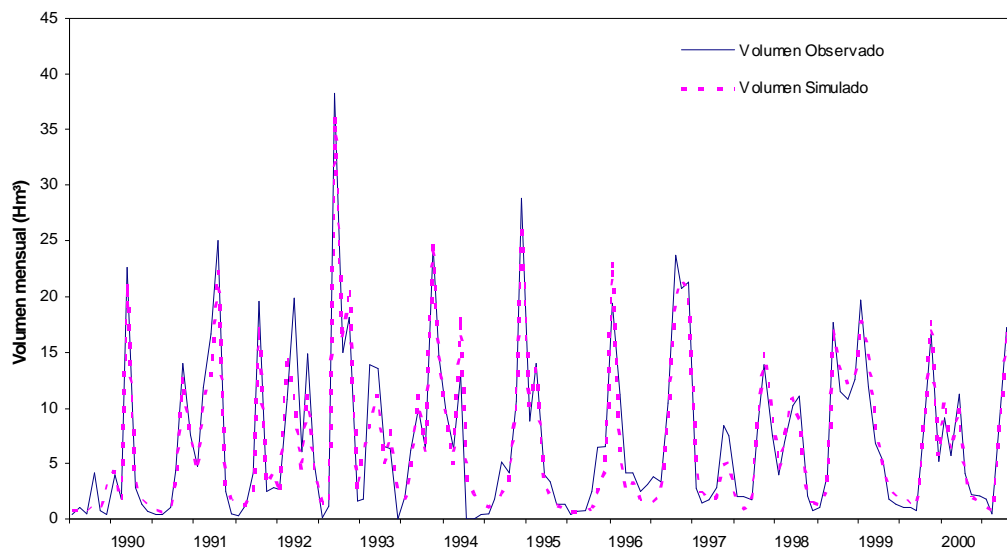
Ilustración 105 Variación del índice de eficiencia mensual con la superficie durante la validación

La Tabla 101 sintetiza los resultados de bondad de la validación en las 62 estaciones analizadas, según los índices de eficiencia R^2 diario y mensual. De nuevo y como era de esperar, la eficiencia mensual es mejor que la diaria, aunque en ambos casos hay un número significativo de validaciones deficientes.

Tabla 101 Nivel de calidad del proceso de validación espacio-temporal

	Resultados diarios	Resultados mensuales
Deficiente ($R^2 < 0,5$)	21 (33%)	12 (19%)
Aceptable	17 (27%)	10 (16%)
Excelente ($R^2 > 0,7$)	24 (40%)	40 (65%)

Ilustración 106 Ejemplo de validación espacio-temporal. Hidrogramas mensuales en Zubillaga



Todos los casos de mala validación se originan por alguno o combinación de los siguientes factores:

- i) Cuencas muy pequeñas, en las que el error en los mapas de parámetros iniciales es probable que sea grande.
- ii) Cuencas con un comportamiento hidrogeológico de tipo kárstico importante, para el cual no están preparados los modelos de simulación de recursos superficiales.
- iii) Estaciones de aforo con errores de observación por un mal tarado de la curva de aforo, precisión en caudales de estiaje y/o de otro tipo.
- iv) Errores en la medición de la lluvia, fundamentalmente por una mala representación espacial.

Por ello, se puede concluir que los resultados de la validación han sido satisfactorios y es posible realizar una simulación fiable. Eso sí, teniendo en cuenta que su fiabilidad va a depender de:

- El tamaño de la cuenca, de tal forma que por encima de los 100 km² el resultado esperable será excelente y para tamaños menores se deteriorará la eficiencia conforme disminuye su superficie. En cuencas muy pequeñas la eficiencia será una cuestión de “suerte”, en la medida que los mapas iniciales de parámetros hayan “acertado” los valores de las pocas celdas que componen estas cuencas.
- La importancia de la hidrogeología kárstica comparada con el tamaño de la cuenca.
- La representatividad de la precipitación espacial utilizada en la simulación.

Tabla 102 Resumen de resultados de eficiencia en la validación espacial y temporal

Sistema	Estación	Utiliza FC de:	Desde	Hasta	Área TETIS km ²	Vol Obs Hm ³	Vol Sim Hm ³	Err Vol %	R ² día	R ² mes
Bidasoa	F1Z1 Endara	Oiartzun	15/9/96	30/9/99	5.75	33.9	27.7	-18.159	0.002	0.705
Oiartzun	CHN107 Oiartzun	Oiartzun	1/10/70	31/12/00	35.50	1587.8	1333.6	-18.769	0.670	0.656
Urumea	CHN105 Ereñozu	Urumea	1/10/69	31/12/00	213.00	10645.5	10150.5	-4.650	0.753	0.877
Urumea	D2Z1 Ereñozu	Urumea	20/10/92	31/12/00	212.50	2509.8	2513.5	0.146	0.832	0.792
Urumea	D1W1 Añarbe	Urumea	15/11/99	31/12/00	46.75	83.5	96.0	14.950	0.629	0.960
Oria	C2Z1 Agauntza	Oria	20/5/87	31/12/00	73.00	623.2	662.1	6.233	0.803	0.892
Oria	C7Z1 Belauntza	Oria	13/12/90	31/12/00	32.75	367.2	372.7	1.494	0.668	0.828
Oria	C8Z1 Andoain L	Oria	27/4/95	31/12/00	114.75	723.7	707.5	-2.242	0.777	0.946
Oria	CHN080 Andoain O	Oria	1/10/52	31/12/00	785.25	32903.2	31942.0	-2.921	0.676	0.712
Oria	C5Z1 Alegia	Oria	20/2/94	31/12/00	344.00	1356.7	1262.2	-6.967	0.867	0.945
Oria	C3T1 Amundarain	Amundarain	1/12/85	31/12/00	16.25	403.5	341.6	-15.344	0.638	0.748
Oria	C1Z2 Estanda	Oria	31/7/91	31/12/00	57.00	331.9	289.6	-12.749	0.816	0.896
Urola	CHN109 Etxabe	Urola	12/2/91	31/12/00	310.50	2868.0	2524.1	-11.993	0.882	0.909
Urola	B1Z2 Ibai Eder	Urola	12/2/91	31/12/00	64.50	513.3	542.4	5.666	0.845	0.942
Urola	B2S1 Granadaerre	Urola	15/10/86	10/10/95	2.25	48.8	17.0	-65.130	0.352	0.006
Urola	B1Z1 Aitzu	Urola	16/3/99	31/12/00	59.75	58.8	81.4	38.440	0.785	0.775
Urola	B2Z1 Aizarnazabal	Urola	8/5/96	31/12/00	277.50	1007.0	992.2	-1.467	0.917	0.953
Deba	A2Z1 Aixola	Deba	30/6/86	31/12/00	4.50	43.2	55.3	27.892	-0.094	0.427
Deba	A1Z3 Urkulu	Deba	29/12/87	31/12/00	8.00	78.8	81.8	3.731	0.688	0.855
Deba	A1Z2 Zubillaga	Deba	7/8/89	31/12/00	106.25	961.5	905.1	-5.868	0.796	0.929
Deba	A1Z1 San Prudentzio	Deba	14/7/95	31/12/00	127.25	375.4	320.7	-14.561	0.766	0.877
Artibai	AR01 Iruzubieta	Artibai	12/2/87	31/12/00	25.50	193.0	223.0	15.556	0.415	0.143
Artibai	CHN141 Berriatua	Artibai	1/10/70	31/12/00	94.00	2742.9	2117.3	-22.808	0.235	0.409
Lea	LE01 Aulestia	Lea	11/2/87	31/12/00	37.75	338.7	347.7	2.666	0.778	0.583
Lea	LE11 Arbina	Lea	12/2/87	31/12/00	14.75	101.3	116.3	14.830	0.826	0.834
Oka	OK01 Muxika	Oka	20/11/98	31/12/00	28.75	48.0	46.8	-2.440	0.812	0.898
Oka	SA06 Olalde	Oka	1/10/99	31/12/00	7.25	10.9	6.5	-40.306	0.400	0.197
Ibaizabal	NB05 Abusu	Ibaizabal	1/10/92	31/12/00	1021.00	4677.6	5052.4	8.012	0.792	0.784
Ibaizabal	NB01 Saratxo	Ibaizabal	10/3/89	31/12/00	93.50	401.2	529.8	32.061	0.634	0.756
Ibaizabal	CHN164 Lemoa	Ibaizabal	22/7/93	31/12/00	143.75	905.8	689.1	-23.926	0.540	0.719
Ibaizabal	CHN163 Lemona	Ibaizabal	1/10/70	31/12/00	256.00	7967.1	6209.0	-22.067	0.488	0.687
Ibaizabal	NB04 Zaratamo	Ibaizabal	25/7/87	31/12/00	522.25	3268.6	3221.9	-1.429	0.804	0.911
Ibaizabal	UNDU Undurraga	Ibaizabal	1/3/74	31/12/00	31.25	736.1	723.9	-1.666	0.493	0.637
Ibaizabal	IB32 Urkizu	Ibaizabal	1/1/90	31/12/00	136.50	815.1	1088.0	33.475	0.729	0.671
Ibaizabal	NB11 Orozco	Ibaizabal	1/8/92	31/12/00	118.00	484.2	476.8	-1.534	0.706	0.871

Sistema	Estación	Utiliza FC de:	Desde	Hasta	Área TETIS km²	Vol Obs Hm³	Vol Sim Hm³	Err Vol %	R² día	R² mes
Ibaizabal	NB02 Gardea	Ibaizabal	1/10/95	31/12/00	193.50	363.1	377.6	3.978	0.706	0.917
Ibaizabal	IB21 Oromiño	Ibaizabal	27/12/89	31/12/00	20.50	156.9	172.6	9.997	0.130	-0.313
Ibaizabal	CHN175 Güeñes	Ibaizabal	1/10/70	31/12/00	258.25	4789.3	2887.7	-39.706	0.341	0.529
Ibaizabal	KD12 Herrerías	Ibaizabal	1/5/00	1/1/04	258.25	241.6	288.7	19.501	0.795	0.869
Ibaizabal	E. Maroño	Ibaizabal	26/2/75	20/2/88	21.50	168.0	125.8	-25.098	0.492	0.630
Ibaizabal	IB01 Elorrio	Ibaizabal	29/9/00	31/12/00	29.75	8.6	8.3	-3.884	0.215	0.269
Ibaizabal	IB03 Amorebieta	Ibaizabal	7/7/98	31/12/00	225.00	454.8	395.4	-13.069	0.803	0.895
Ibaizabal	ARTZ Artziniega	Ibaizabal	25/2/71	10/7/83	12.00	89.4	68.4	-23.441	-0.397	-0.176
Karrantza	KR01 Karrantza	Karrantza	1/3/87	31/12/00	114.75	587.7	635.9	8.194	0.290	0.405
Omecillo	CHE188 Berguenda	Omecillo	1/12/80	30/9/99	345.75	1553.9	1428.2	-8.091	0.540	0.718
Omecillo	OSM1 Osma1	Omecillo	1/3/86	31/12/00	79.00	455.7	482.0	5.744	0.385	0.755
Omecillo	OSM2 Osma2	Omecillo	1/3/86	31/12/00	71.50	273.5	471.5	72.419	0.109	0.355
Baia	APRI Aprikano	Baia	1/6/85	31/12/96	196.25	1323.9	1330.0	0.462	0.522	0.720
Baia	POBE Pobes	Baia	1/6/85	31/12/96	234.50	1409.7	1500.7	6.451	0.598	0.842
Baia	CHE165 Miranda	Baia	1/10/78	30/9/98	306.75	3512.8	3132.1	-10.837	0.494	0.599
Zadorra	CHE074 Arce	Zadorra	1/10/66	26/10/99	1358.50	19722.0	21512.0	9.077	0.653	0.823
Zadorra	CHE108 Urrunaga	Zadorra	1/1/51	30/9/95	142.00	73471.7	57633.3	-21.557	0.396	0.791
Zadorra	CHE107 Ullibarri	Zadorra	1/1/51	30/9/95	272.50	7174.7	7016.2	-2.208	0.590	0.870
Zadorra	H152 Audicana	Zadorra	1/11/72	26/10/99	89.50	1168.0	1117.4	-4.328	0.570	0.750
Zadorra	H154 Ozaeta	Zadorra	1/12/72	31/12/00	86.00	1518.8	1688.4	11.171	0.656	0.749
Zadorra	CHE221 Larrinoa	Zadorra	19/10/80	30/9/99	19.25	359.9	283.2	-21.313	0.687	0.733
Zadorra	CHE075 Berantevilla	Zadorra	1/1/51	26/10/99	308.00	5079.9	5312.3	4.576	0.563	0.690
Zadorra	H153 Ochandiano	Zadorra	1/10/83	31/12/00	34.75	716.6	468.0	-34.693	0.437	0.674
Zadorra	CHE204 Matauko	Zadorra	1/10/72	30/9/80	98.00	329.5	324.4	-1.559	0.364	0.388
Ega	G313 Ancin	Ega	30/9/86	31/12/00	472.50	1777.8	1820.5	2.400	0.777	0.889
Ega	G314 Murieta	Ega	1/10/86	31/12/00	544.75	2268.6	2128.9	-6.161	0.733	0.850
Arakil	G433 Etxarren	Etxarren	11/5/89	31/12/00	401.50	3199.4	3110.8	-2.769	0.758	0.876

8.4. Simulación

Una vez establecido y calibrado el modelo se han construido y ejecutado las estructuras de simulación correspondientes al intervalo de tiempo de 1951 a 2000, con lo que se han obtenido las series de recursos naturales en los puntos del territorio seleccionados.

En los sistemas Artibai, Lea, Oka y Butroe las simulaciones se han realizado para el período 1961/2000 debido a carencias insalvables en los datos de precipitación y/o ETP. En el sistema Inglares, se ha llevado a cabo la misma reducción de período debido a la presencia inicial de unos datos de precipitación aparentemente erróneos y de difícil corrección.

Más detalles del proceso de simulación se detallan en el Anejo Nº 1.

8.4.1. *Puntos de simulación*

En la Tabla 103 y en la Ilustración 107 se recogen los 123 puntos seleccionados para obtener los resultados de las simulaciones en las cuencas del País Vasco, con su localización real y la localización equivalente en el MDT de 500 m empleado por el modelo. La tipología de los puntos responde a:

A = punto de aforo (ya utilizados en calibración o validación)

E = punto de interés coincidente con la cerrada de un embalse

D = punto de interés sin aforo, que o bien son desembocaduras al mar o puntos límite de la CAPV.

Tabla 103 Listado de los puntos de simulación, tipología y su localización

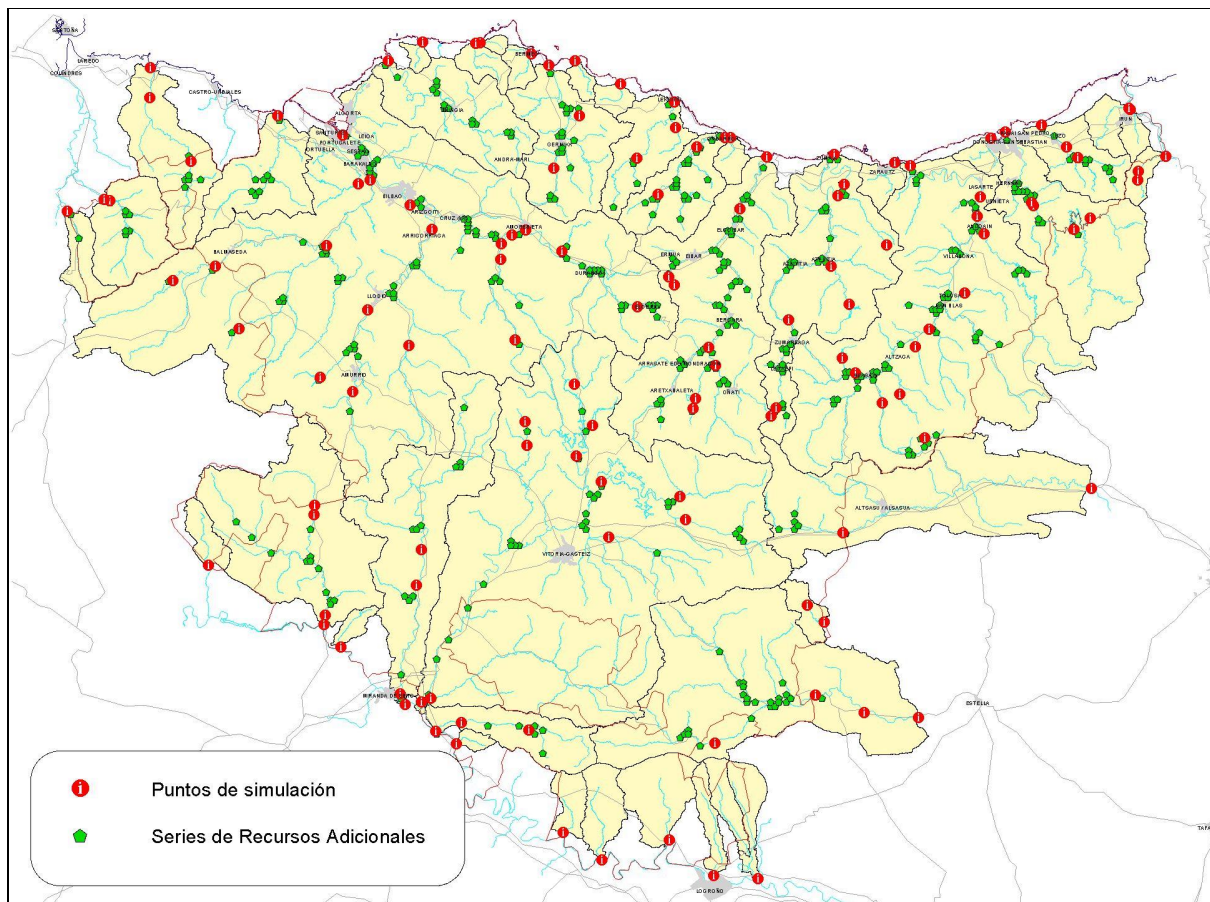
Sistema	Río	Punto	Tipo	UTMX	UTMY	UTMX Tetis	UTMY- Tetis	Sup GIS (km ²)	Sup TETIS (km ²)
Agüera	Agüera	Agüera CAPV	D	479214	4793860	479000	4794500	59,61	60,75
Agüera	Agüera	CHN186 Guriezo	A	473992	4801936	473500	4800500	127,29	118,75
Agüera	Agüera	Agüera	D	474049	4805800	474000	4805500	149,90	144,70
Arakil	Arakil	Arakil CAPV	D	562119	4746619	5625500	4746500	86,50	85,50
Arakil	Arakil	G433 Echarren /Arakil	A/D	593699	4752287	592500	4753000	407,00	401,50
Artibai	Artibai	AR01 Iruzubieta	A	538580	4789618	538500	4789000	24,15	25,50
Artibai	Artibai	CHN141 Berriatua	A	543520	4795664	543000	4794500	93,16	94,00
Artibai	Artibai	Artibai	D	547087	4796900	545500	4796500	104,50	106,75
Baia	Baia	APRI Aprikano	A	508520	4744470	508500	4744500	205,76	196,25
Baia	Baia	POBE Pobes	A	507896	4739960	507500	4739500	241,10	234,50

Sistema	Río	Punto	Tipo	UTMX	UTMY	UTMX Tetis	UTMY-Tetis	Sup GIS (km ²)	Sup TETIS (km ²)
Baia	Baia	CHE165 Miranda / Baia	A/D	505836	4726133	506000	4726000	322,61	306,50
Barbadun	Barbadun	Barbadun	D	490312	4799649	490500	4799000	123,30	123,75
Bidasoa	Endara	F1Z1 Endara	A	599575	4791487	600000	4791000	6,28	5,75
Bidasoa	Endara	E. San Antón	E	599639	4792556	599500	4792500	10,93	10,75
Bidasoa	Aldabe	Aldabe	D	598623	4800422	599000	4800000	16,10	15,50
Bidasoa	Endara	Endara	D	603182	4794461	603000	4794000	20,00	19,25
Bidasoa	Jaizubia	Jaizubia	D	598424	4800636	598000	4800500	28,60	33,00
Butroe	Arcega	Arcega	D	515962	4808900	516500	4809000	5,70	5,00
Butroe	Andraka	Andraka	D	508662	4809025	508500	4808500	8,90	7,50
Butroe	Estepona	Estepona	D	515400	4808875	515500	4808500	24,60	24,25
Butroe	Butroe	Butroe	D	504299	4806650	504000	4806000	172,30	175,00
Deba	Aixola	A2Z1 Aixola	A	540642	4778125	540500	4778500	4,68	4,50
Deba	Aixola	E. Aixola	E	539995	4779170	540000	4779500	7,71	7,75
Deba	Urkulu	A1Z3 Urkulu	A	543083	4762461	543500	4761000	10,07	8,00
Deba	Urkulu	E. Urkulu	E	543399	4763711	543000	4762000	14,51	13,00
Deba	Saturraran	Saturraran	D	547813	4796854	548500	4796500	17,60	17,25
Deba	Oinati	A1Z2 Zubillaga	A	545877	4767884	546000	4767500	99,35	106,25
Deba	Deba alto	A1Z1 San Prudentzio	A	545076	4770206	544500	4770000	122,96	127,25
Deba	Deba	A3Z1 Altzola	A	548997	4787833	548000	4786000	460,92	469,00
Deba	Deba	Deba	D	552412	4794400	552000	4793000	519,90	531,75
Ebro	Valahonda	Valahonda	D	512999	4719837	513000	4719500	8,80	8,25
Ebro	El-Lago	El-Lago	D	498262	4732124	497500	4732500	13,80	15,25
Ebro	Puron	Puron	D	481432	4742493	481500	4742500	27,90	27,00
Ebro	Herrera	Herrera	D	526524	4708500	527000	4709000	28,30	27,25
Ebro	Yecora	Yecora	D	545717	4703082	546000	4703500	28,00	28,75
Ebro	Riomayor	Riomayor	D	531449	4705074	532000	4706000	48,40	49,75
Ebro	Barriobusto	Barriobusto	D	551325	4702650	550500	4703500	66,00	63,75
Ebro	San Gines	San Gines	D	540024	4707600	540000	4707500	79,10	75,75
Ega	Larrondoa	SA05 Zarpia	A	557562	4737400	557500	4737500	10,98	11,00
Ega	Larrondoa	Larrondoa	D	559750	4735312	559500	4735500	25,50	27,00
Ega	Ega medio	CHE6 Marañón	A	545859	4719917	547000	4720000	88,50	89,00
Ega	Ega	Ega CAPV	D	558643	4725998	559500	4725500	414,18	403,25
Ega	Ega	G313 Ancín	A	564800	4723800	564000	4724000	477,35	472,50
Ega	Ega	G314 Murieta	A	571700	4723150	572000	4723000	553,10	544,75
Ibaizabal	Artziniega	E. Artziniega	E	485325	4772575	484500	4772000	12,97	12,00
Ibaizabal	Orobio	IB21 Oromiño	A	526365	4782396	526500	4782500	21,85	20,50
Ibaizabal	Izoria	E. Maroño	E	495640	4766412	495500	4766000	21,56	21,50
Ibaizabal	Galindo	E. Gorostiza	E	500487	4790986	500500	4791000	23,89	24,75
Ibaizabal	Ibaizabal	IB01 Elorrio	A	536000	4775388	536000	4775500	29,42	29,75
Ibaizabal	Arratia	UNDU Undurraga / E. Undurraga	A / E	520457	4771150	521000	4770500	28,34	31,25

Sistema	Río	Punto	Tipo	UTMX	UTMY	UTMX Tetis	UTMY- Tetis	Sup GIS (km ²)	Sup TETIS (km ²)
Ibaizabal	Ordunte	CHN177 Ordunte / E. Ordunte	A/E	476942	4778676	476500	4778500	44,16	46,25
Ibaizabal	Nerbioi	NB01 Saratxo	A	499783	4764591	499000	4763500	87,69	93,50
Ibaizabal	Altube	NB11 Orozko	A	506973	4770422	506500	4769500	117,93	118,00
Ibaizabal	Arratia	IB32 Urkizu	A	518620	4781370	518500	4781000	128,44	136,50
Ibaizabal	Arratia	CHN164 Lemoa	A	518700	4783375	518500	4783000	138,15	143,75
Ibaizabal	Nerbioi	NB02 Gardea	A	501695	4774945	500500	4772500	188,69	193,50
Ibaizabal	Kadagua	KD01 Balmaseda	A	482310	4780490	482000	4780000	195,64	209,50
Ibaizabal	Ibaizabal	IB03 Amorebieta	A	521800	4785098	522000	4785000	233,46	225,00
Ibaizabal	Ibaizabal	CHN163 Lemoa	A	520014	4784467	519500	4784500	252,41	256,00
Ibaizabal	Herrerías	CHN175 Herrerías en Güeñes	A	496502	4783174	496500	4782500	254,44	258,25
Ibaizabal	Nerbioi	NB04 Zarátamo	A	509916	4785232	509000	4784500	509,45	522,25
Ibaizabal	Kadagua	Desague Kadagua	D	502000	4791500	502000	4791500		593,00
Ibaizabal	Ibaizabal	NB05 Abusu	A	507125	4788280	508000	4788500	1001,53	1021,00
Ibaizabal	Ibaizabal	Ibaizabal	D	498524	4797224	499000	4797000	1798,90	1843,75
Inglares	Inglares	SA01 Peñacerrada	A	522219	4721511	522500	4721500	48,30	48,25
Inglares	Inglares	OCIO Ocio	A	513576	4722500	513500	4722500	85,79	86,00
Inglares	Inglares	Inglares	D	510350	4721400	510500	4721000	98,60	97,50
Karrantza	Calera	Calera	D	463529	4787493	464000	4787000	39,30	38,50
Karrantza	Karrantza	KR01 / Karrantza CAPV	A	468940	4788870	468940	4788870	110,56	113,25
Lea	Arbina	LE11 Arbina	A	540832	4798154	540500	4798500	16,66	14,75
Lea	Ea	Ea	D	533812	4803674	533500	4804000	16,00	18,50
Lea	Lea	LE01 Aulestia	A	535907	4794274	536500	4794500	39,06	37,75
Lea	Lea	Lea	D	540711	4801400	540000	4801000	95,60	82,00
Oiartzun	Oiartzun	CHN107 Oiartzun	A	591916	4794347	592500	4794000	33,57	35,50
Oiartzun	Oiartzun	E1Z1 Oiartzun	A	590556	4795682	590500	4795500	56,02	57,25
Oiartzun	Oiartzun	Oiartzun	D	587343	4798477	587500	4798000	85,80	81,00
Oka	Oma	SA06 Olalde	A	528580	4799657	528000	4800500	5,50	7,25
Oka	Laga	Laga	D	528024	4806649	527500	4806000	11,60	12,50
Oka	Artigas	Artigas	D	522499	4807537	522500	4807500	16,90	17,25
Oka	Oka	OK01 Muxika	A	525325	4793010	525500	4792500	31,31	28,75
Oka	Oka	Oka	D	524700	4806100	525000	4805000	180,30	184,00
Omecillo	Tumecillo	OSM2 Osma-2	A	494844	4748960	495000	4751000	70,83	71,50
Omecillo	Tumecillo	OSM1 Osma-1	A	494990	4750120	495000	4749500	77,39	79,00
Omecillo	Omecillo	CHE188 Berguenda	A	496340	4736163	496000	4736000	349,77	347,00
Omecillo	Omecillo	Omecillo	D	496174	4734924	496000	4735500	351,90	350,75
Oria	Agauntza	E. Lareo	E	572517	4758685	572000	4758500	0,30	0,25
Oria	Arrian	E. Arrian	E	562044	4768866	562000	4768500	7,86	9,25
Oria	Mallotza	E. Ibiur	E	571289	4770301	570500	4775500	11,67	11,50
Oria	Zaldibia	C3T1 Amundarain	A	569320	4764215	569500	4764000	16,00	16,25
Oria	Iñurritza	D. Iñurritza	D	568725	4793700	567500	4793000	23,80	20,00

Sistema	Río	Punto	Tipo	UTMX	UTMY	UTMX Tetis	UTMY-Tetis	Sup GIS (km ²)	Sup TETIS (km ²)
Oria	Zelai	C7Z1 Belautanza	A	577553	4777108	576000	4776000	28,58	32,75
Oria	Estanda	Estanda	A	563701	4766917	563500	4767000	54,89	57,00
Oria	Agauntza	C1Z2 Agauntza	A	567111	4763165	567000	4762000	70,67	73,00
Oria	Leizaran	C8Z1 Andoain	A	580084	4784631	580500	4783500	114,02	114,75
Oria	Oria	C5Z1 Alegia	A	573047	4772479	573000	4772500	330,18	344,00
Oria	Oria	N080 Andoain	A	579205	4786840	579000	4785500	778,44	775,50
Oria	Oria	C9Z1 Lasarte	A	579537	4789327	579537	4789327	791,93	805,50
Oria	Oria	D. Oria	D	570700	4793274	571000	4792000	875,60	874,75
Urola	Granadaerreka	B2S1 Granadaerre	A	567665	4783250	567000	4783500	2,02	2,25
Urola	Barrendiola	E. Barrendiola	E	553642	4762511	553500	4765000	3,79	4,00
Urola	Ibaieder	E. Ibaieder	E	562901	4775664	563000	4775500	29,15	29,00
Urola	Urola	B1Z1 Aitzu	A	555192	4773691	555000	4773500	56,49	59,50
Urola	Ibaieder	B1Z2 Ibai Eder	A	560566	4780543	560000	4781000	65,32	65,25
Urola	Urola	B2Z1 Aizarnazabal	A	561436	4789525	561000	4789500	273,14	277,25
Urola	Urola	CHN109 Etxabe	A	562231	4790957	562000	4791000	307,10	310,25
Urola	Urola	Urola	D	561000	4794762	561000	4794500	342,20	345,75
Urumea	Igara	Igara	D	580949	4796774	581000	4796500	18,00	19,25
Urumea	Añarbe	D1Z1 Añarbe	A	593537	4786631	593000	4785500	47,06	46,75
Urumea	Añarbe	E. Añarbe	E	591477	4785239	591500	4785500	64,23	60,75
Urumea	Urumea	D2Z1 Ereñozu	A	586314	4788243	586500	4788000	216,17	212,50
Urumea	Urumea	CHN105 Ereñozu	A	586072	4788630	586000	4788500	216,82	213,00
Urumea	Urumea	Urumea	D	582774	4797625	583000	4796500	272,80	268,25
Zadorra	Albina	E. Albina	E	530259	4760287	529500	4759500	9,95	9,75
Zadorra	Zalla	E. Gorbea II	E	521715	4760728	522000	4759000	10,11	10,00
Zadorra	Zalla	CHE221 Larrinoa	A	521960	4757780	522000	4757500	21,56	19,25
Zadorra	Urkiola	H153 Otxandio	A	528001	4765557	528000	4765500	35,35	34,75
Zadorra	Barrundia	H154 Ozaeta	A	541428	4751258	541500	4751500	88,74	86,00
Zadorra	Zadorra	H152 Audicana	A	542105	4748329	543500	4747500	84,65	89,50
Zadorra	Alegría	CHE204 Matauko	A	532320	4746080	533500	4745500	93,61	98,00
Zadorra	Sta. Engrazia	CHE108 E. Urrúnaga	A/E	528220	4756420	528500	4756000	142,59	140,75
Zadorra	Zadorra alto	CHE107 E. Ullibarri	A/E	531412	4753098	531500	4752500	272,36	271,75
Zadorra	Ayuda	CHE75 Berantevilla	A	509725	4725578	511000	4725500	307,76	308,00
Zadorra	Zadorra	CHE074 Arce/Zadorra	A/D	508519	4725103	508500	4724500	1356,18	1357,25

En una segunda fase de simulación se han generado series adicionales de recursos en 444 puntos de la red de drenaje para su utilización en los estudios de estado del abastecimiento. En estos puntos no se han detallado los balances de flujo. La ubicación de estos puntos se recoge también en la siguiente figura.

Ilustración 107 Ubicación de los puntos de simulación

8.4.2. Resultados

Un resumen del balance hídrico del período 1951-2000 (con las excepciones de las cuencas del Artibai, Lea, Oka e Inglares, que son de 1961 al 2000 por falta de recubrimiento temporal de la precipitación y/o evapotranspiración potencial) en los puntos de simulación se muestra en la Tabla 106, que refleja los principales resultados de este estudio. Para la cuenca vertiente a cada punto, se recogen los principales flujos involucrados (en mm/año):

- La precipitación media sobre la cuenca (Ppt)
- La evapotranspiración potencial media sobre la cuenca (ETP)

Y los outputs del balance de la cuenca:

- La evapotranspiración real media sobre la cuenca (Etr)
- La aportación superficial en el punto considerado (Apo)
- Las pérdidas medias sobre la cuenca, como la parte de la recarga del acuífero no recogida en el punto considerado (PS) o los errores de cierre de balance.

Además, se explicita el reparto porcentual de la aportación superficial, distinguiendo entre los diferentes componentes del flujo:

- Escorrentía directa (ED)
- Interflujo o flujo subsuperficial (IT)
- Flujo base (FB)

En la Tabla 104 y en la Tabla 105 se resumen los resultados del balance por cuencas vertientes al Norte y al Sur. Cabe destacar la mayor magnitud de los flujos en las cuencas del Norte, debido fundamentalmente a su mayor precipitación. Así, la aportación específica media en el Norte es de 867 mm/año, mientras que en el Sur la aportación específica media es de 460 mm/año. Los datos del Sur en realidad serían menores si se exceptuara la cuenca del río Larrondoa en el Ega, con una excepcional precipitación.

El punto de ET real mínima en la zona Sur es la cuenca del río Barriobusto, con una proporción muy elevada de escorrentía directa, que justifica una baja disponibilidad de agua para la ET.

Tabla 104 Resumen de flujos específicos (mm/año) en las cuencas de la zona Norte

	Precip.	ETP	ET real	Aportación	Pérd. Subt.
Mínimo	1049	632	436	469	0
Máximo	2558	966	870	1773	2
Media	1590	833	723	867	0

Tabla 105 Resumen de flujos específicos (mm/año) en las cuencas de la zona Sur

	Precip.	ETP	ET real	Aportación	Pérd. Subt.
Mínimo	466	655	185	106	0
Máximo	1871	1037	818	1049	51
Media	1003	900	536	460	5

Los valores promedio no están ponderados en función de la superficie sino que son la media de todas las series obtenidas.

Por último, la Ilustración 108 y la Ilustración 109 representan la evolución de la aportación específica con la superficie para las dos zonas. Aunque la dispersión observada se debe fundamentalmente a la dispersión de la precipitación, se puede apreciar un amortiguamiento conforme se incrementa la superficie y un sesgo positivo (mucho mayor en el Norte), que se traducen en unos valores medianos de la aportación ligeramente inferiores a los medios: del orden de los 800 mm/año en el Norte y 400 mm/año en el Sur.

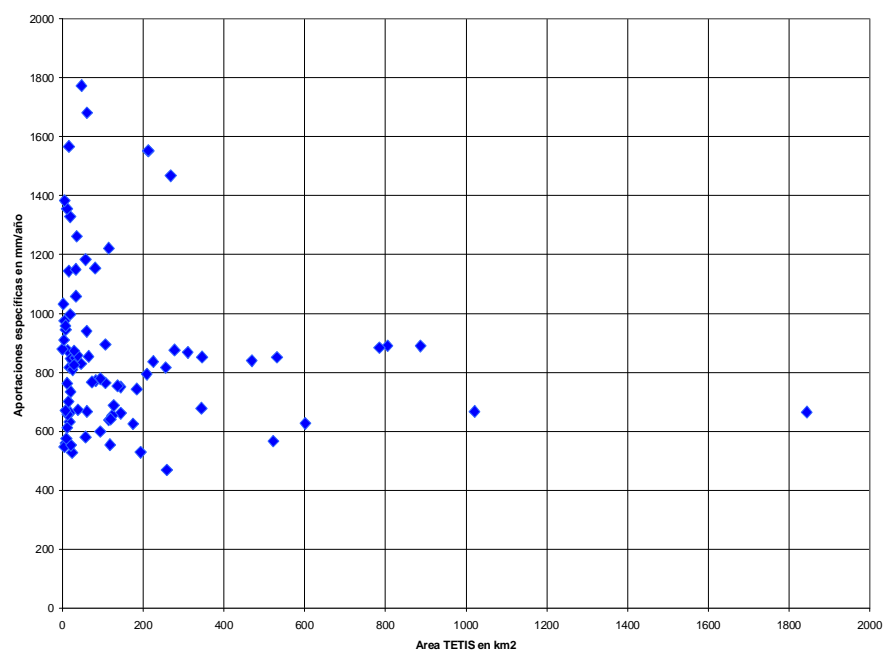


Ilustración 108 Evolución de la aportación específica con la superficie en las cuencas.
Zona Norte

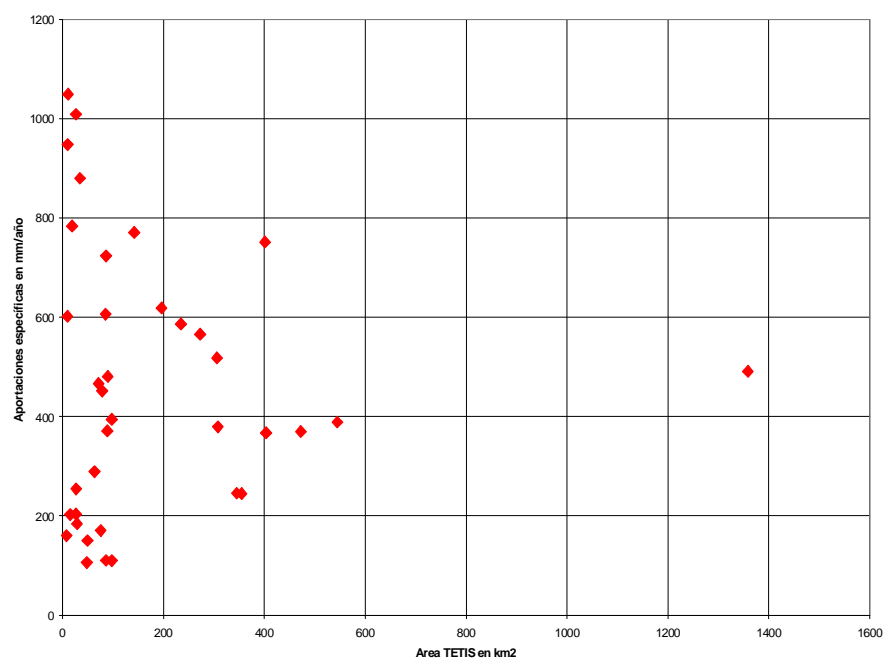


Ilustración 109 Evolución de la aportación específica con la superficie en las cuencas.
Zona Sur

Tabla 106 Resumen del balance hídrico por simulación del período 1951-2000

Sistema	Río	Punto	Área Tetis km ²	Ppt mm/año	ETP mm/año	ETr mm/año	Apo. mm/año	Apo. Hm ³ /año	PS mm/año	ED % Qsim	IT % Qsim	FB % Qsim
Bidasoa	Endara	F1Z1 Endara	5.75	2,215	849	831	1,383	8.0	0	9.2	50.8	40.0
Bidasoa	Endara	E. San Antón	10.75	2,187	847	829	1,356	14.6	0	8.5	51.6	39.9
Bidasoa	Aldabe	Aldabe	15.50	1,843	850	699	1,143	17.7	0	26.9	39.0	34.1
Bidasoa	Endara	Endara	19.25	2,131	846	801	1,328	25.6	0	7.0	52.2	40.9
Bidasoa	Jaizubia	Jaizubia	33.00	1,728	857	669	1,058	34.9	0	33.6	35.9	30.5
Oiartzun	Oiartzun	CHN107 Oiartzun	35.50	2,070	859	807	1,262	44.8	0	9.0	51.3	39.7
Oiartzun	Oiartzun	E1Z1 Oiartzun	57.25	1,975	856	791	1,183	67.7	0	10.8	49.4	39.7
Oiartzun	Oiartzun	D. Oiartzun	81.00	1,905	851	750	1,154	93.5	0	16.9	45.2	37.9
Urumea	Igara	Igara	19.25	1,516	669	521	997	19.2	0	27.4	38.5	34.1
Urumea	Añarbe	D1Z1 Añarbe	46.75	2,558	822	782	1,773	82.9	0	4.8	63.0	32.1
Urumea	Añarbe	E. Añarbe	60.75	2,466	826	783	1,681	102.1	0	4.6	61.0	34.4
Urumea	Urumea	D2Z1 Ereñozu	212.50	2,343	832	795	1,553	330.1	0	3.6	59.6	36.8
Urumea	Urumea	CHN105 Ereñozu	213.00	2,341	832	795	1,552	330.6	0	3.6	59.6	36.8
Urumea	Urumea	Urumea	268.25	2,216	816	750	1,467	393.6	0	7.7	56.1	36.2
Oria	Agauntza	E. Lareo	0.25	1,586	748	706	879	0.2	0	27.1	45.2	27.8
Oria	Arrian	E. Arrian	9.25	1,364	859	790	575	5.3	0	29.7	41.6	28.7
Oria	Mallotza	E. Ibiur	11.50	1,536	846	775	763	8.8	0	23.0	19.5	57.5
Oria	Zaldibia	C3T1 Amundarain*	16.25	2,167	632	602	1,567	25.5	0	24.5	59.2	16.3
Oria	Iñurritza	D. Iñurritza	20.00	1,467	828	736	735	14.7	0	30.1	42.2	27.7
Oria	Zelai	C7Z1 Belautanza	32.75	1,931	839	779	1,150	37.6	0	33.5	31.7	34.9
Oria	Estanda	Estanda	57.00	1,368	863	787	580	33.1	0	22.2	49.4	28.4
Oria	Agauntza	C1Z2 Agauntza	73.00	1,503	784	734	767	56.0	0	26.4	36.4	37.3
Oria	Leizaran	C8Z1 Andoain	114.75	2,029	845	813	1,221	140.1	0	19.2	46.5	34.3
Oria	Oria	C5Z1 Alegia	344.00	1,433	825	756	678	233.2	0	26.7	39.8	33.5
Oria	Oria	N080 Andoain	775.50	1,641	822	755	884	694.0	0	26.4	38.6	35.0
Oria	Oria	C9Z1 Lasarte	805.50	1,643	824	756	890	716.8	0	26.7	38.6	34.7
Oria	Oria	D. Oria	887.25	1,637	820	751	890	789.4	0	27.0	39.0	34.0
Urola	Granadaerreka	B2S1 Granadaerreka	2.25	1,746	778	715	1,032	2.3	0	33.2	38.3	28.5
Urola	Barrendiola	E. Barrendiola	4.00	1,662	799	750	910	3.6	0	22.0	46.6	31.3
Urola	Ibaieder	E. Ibaieder	29.00	1,612	790	741	873	25.3	0	14.0	48.4	37.6
Urola	Urola	B1Z1 Aitzu	59.50	1,645	793	707	940	56.1	0	26.4	44.3	29.2
Urola	Ibaieder	B1Z2 Ibai Eder	65.25	1,595	792	743	854	55.1	0	12.9	50.4	36.7
Urola	Urola	B2Z1 Aizamazabal	277.25	1,596	797	722	876	243.2	0	23.1	42.0	34.9
Urola	Urola	CHN109 Etxabe	310.25	1,589	794	720	868	269.5	0	23.5	41.2	35.3
Urola	Urola	Urola	345.75	1,567	792	714	852	294.9	0	24.0	40.7	35.3
Deba	Aixola	A2Z1 Aixola	4.50	1,743	833	767	975	4.4	0	37.2	37.4	25.3
Deba	Aixola	E. Aixola	7.75	1,734	832	774	959	7.4	0	34.3	40.9	24.8
Deba	Urkulu	A1Z3 Urkulu	8.00	1,624	805	678	945	7.6	0	30.4	21.8	47.8
Deba	Urkulu	E. Urkulu	13.00	1,582	822	708	874	11.4	0	33.1	18.1	48.8
Deba	Saturraran	Saturraran	17.25	1,597	847	782	817	14.1	0	30.5	40.8	28.6
Deba	Oinati	A1Z2 Zubillaga	106.25	1,610	790	714	895	95.1	0	26.8	44.5	28.7
Deba	Deba alto	A1Z1 San Prudentzio	127.25	1,457	875	772	688	87.5	0	23.6	50.8	25.6
Deba	Deba	A3Z1 Altzola	469.00	1,597	852	759	839	393.6	0	27.7	47.8	24.5
Deba	Deba	Deba	531.75	1,614	851	761	852	452.9	0	29.1	46.8	24.2
Artibai	Artibai	AR01 Iruzubieta	25.50	1,594	800	753	839	21.4	0	31.1	41.4	27.5
Artibai	Artibai	CHN141 Berriatua	94.00	1,529	804	747	779	73.2	0	37.9	36.4	25.7
Artibai	Artibai	Artibai	106.75	1,514	804	747	764	81.6	0	37.3	36.1	26.6
Lea	Arbina	LE11 Arbina	14.75	1,358	726	660	700	10.3	0	27.6	33.0	39.3
Lea	Ea	Ea	19.25	1,305	723	645	663	12.3	0	22.4	35.3	42.1
Lea	Lea	LE01 Aulestia	37.75	1,519	726	664	857	32.4	0	30.1	35.2	34.7
Lea	Lea	Lea	82.00	1,422	726	652	772	63.3	0	33.3	28.3	38.3
Oka	Oma	SA06 Olalde	7.25	1,357	756	687	670	4.9	0	34.6	16.8	48.5
Oka	Laga	Laga	12.50	1,329	757	672	658	8.2	0	33.1	25.6	41.3
Oka	Artigas	Artigas	17.25	1,320	761	686	633	10.9	0	22.9	47.4	29.7
Oka	Oka	OK01 Muxika	28.75	1,497	763	671	825	23.7	0	32.1	37.2	30.7
Oka	Oka	Oka	184.00	1,409	760	665	743	136.7	0	34.9	34.1	31.0
Butroe	Arcega	Arcega	5.00	1,262	885	716	547	2.7	2	23.1	34.4	42.4
Butroe	Andraka	Andraka	7.50	1,279	886	719	559	4.2	1	43.3	29.6	27.0
Butroe	Estepona	Estepona	24.25	1,267	885	741	528	12.8	1	17.2	40.1	42.5

Sistema	Río	Punto	Área Tetis km ²	Ppt mm/año	ETP mm/año	ETr mm/año	Apo. mm/año	Apo. Hm ³ /año	PS mm/año	ED % Qsim	IT % Qsim	FB % Qsim
Butroe	Butroe	Butroe	175.00	1,324	885	701	625	109.4	1	35.2	31.5	33.2
Ibaizabal	Artziniega	E. Artziniega*	12.00	1,049	922	436	613	7.4	0	37.0	45.0	18.0
Ibaizabal	Orobio	IB21 Oromiño	20.50	1,673	894	826	846	17.3	0	25.6	47.9	26.6
Ibaizabal	Izoria	E. Maroño	21.50	1,239	935	686	553	11.9	0	34.7	41.9	23.4
Ibaizabal	Galindo	E. Gorostiza*	24.75	1,588	848	777	809	20.0	0	19.0	60.8	20.2
Ibaizabal	Ibaizabal	IB01 Elorrio	29.75	1,634	882	782	851	25.3	0	43.4	38.1	18.6
Ibaizabal	Arratia	Undurraga / E. Undurraga	31.25	1,708	957	857	850	26.6	0	26.4	42.9	30.7
Ibaizabal	Ordunte	CHN177 E. Ordunte*	46.25	1,504	888	673	829	38.4	0	15.9	51.6	32.5
Ibaizabal	Nerbioi	NB01 Saratxo	93.50	1,298	914	698	599	56.0	0	37.2	31.5	31.3
Ibaizabal	Altube	NB11 Orozko	118.00	1,291	898	736	554	65.4	0	24.9	43.9	31.3
Ibaizabal	Arratia	IB32 Urkizu	136.50	1,626	965	870	754	103.0	0	28.3	44.3	27.4
Ibaizabal	Arratia	CHN164 Lemoa	143.75	1,619	966	868	750	107.9	0	28.7	44.2	27.2
Ibaizabal	Nerbioi	NB02 Gardea	193.50	1,233	927	704	529	102.3	0	34.2	37.1	28.7
Ibaizabal	Kadagua	KD01 Balmaseda*	209.50	1,321	897	526	794	165.7	0	20.2	42.5	37.3
Ibaizabal	Ibaizabal	IB03 Amorebieta	225.00	1,607	895	769	837	188.3	0	40.7	37.0	22.3
Ibaizabal	Ibaizabal	CHN163 Lemona	256.00	1,593	900	776	817	209.1	0	39.5	38.1	22.4
Ibaizabal	Herrerías	CHN175 HerreríasGüeñes*	258.25	1,085	923	616	469	121.1	0	26.0	51.9	22.0
Ibaizabal	Nerbioi	NB04 Zarátamo	522.25	1,315	924	748	566	295.8	0	27.9	45.3	26.9
Ibaizabal	Kadagua	Desague Kadagua*	593.00	1,236	903	608	627	377.4	0	29.1	50.4	20.4
Ibaizabal	Ibaizabal	NB05 Abusu	1,021.00	1,436	924	768	667	681.4	0	33.2	42.5	24.3
Ibaizabal	Ibaizabal	Ibaizabal **	1,843.50	1,357	908	691	665	1,226.5	0	34.8	43.6	21.6
Barbadun	Barbadun	Barbadun	123.75	1,235	775	582	655	81.0	1	39.5	35.1	25.3
Agüera	Agüera	Agüera CAPV	60.75	1,289	790	624	667	40.5	0	40.4	37.4	22.2
Agüera	Agüera	CHN186 Guíezo	118.75	1,273	799	629	641	76.1	0	36.2	41.3	22.5
Agüera	Agüera	Agüera	144.75	1,266	801	607	662	95.8	0	39.5	39.5	20.9
Karrantza	Calera	Calera	38.50	1,328	790	654	673	25.9	0	42.3	35.8	21.9
Karrantza	Karrantza	KR01Karrantza / CAPV	113.25	1,325	787	687	638	73.3	0	36.2	41.1	22.7
Omecillo	Tumecillo	OSM2 Osma-2	71.50	851	947	382	467	33.4	0	39.0	20.7	40.4
Omecillo	Tumecillo	OSM1 Osma-1	79.00	845	949	391	452	35.7	0	38.0	21.1	40.8
Omecillo	Omecillo	CHE188 Berguenda	347.00	776	956	529	246	85.0	0	28.4	24.4	47.2
Omecillo	Omecillo	Omecillo	350.75	773	956	527	245	86.8	0	28.4	24.7	46.9
Baia	Baia	APRI Aprikano	196.25	1,212	739	592	619	121.4	0	27.4	37.3	35.3
Baia	Baia	POBE Pobes	234.50	1,169	740	581	587	137.6	0	29.3	34.9	35.9
Baia	Baia	CHE165 Miranda / Baia	306.50	1,066	741	547	518	158.8	0	28.1	35.5	36.4
Zadorra	Albina	E. Albina	9.75	1,324	932	718	602	5.9	0	10.2	49.7	40.1
Zadorra	Zalla	E. Gorbea II	10.00	1,723	943	772	948	9.5	0	6.5	33.2	60.3
Zadorra	Zalla	CHE221 Larrinoa	19.25	1,547	946	759	784	15.1	0	6.0	36.3	57.7
Zadorra	Urkiola	H153 Otxandio	34.75	1,672	919	788	880	30.6	0	4.4	56.6	39.0
Zadorra	Barrundia	H154 Ozaeta	86.00	1,426	864	698	724	62.2	0	4.1	45.4	50.6
Zadorra	Zadorra	H152 Audikana	89.50	997	914	512	481	43.0	0	5.5	35.9	58.6
Zadorra	Alegria	CHE204 Matauko	98.00	908	954	511	394	38.6	0	9.8	35.3	54.8
Zadorra	Sta. Engrazia	CHE108 E. Urrúnaga	140.75	1,500	938	726	771	109.4	0	9.6	52.1	38.3
Zadorra	Zadorra alto	CHE107 E. Ullibarri	271.75	1,132	907	562	566	154.1	0	12.3	40.0	47.7
Zadorra	Ayuda	CHE75 Berantevilla	308.00	789	948	406	379	116.8	0	3.3	36.0	60.6
Zadorra	Zadorra	CHE074 Arce/Zadorra	1,357.25	1,012	934	518	491	667.0	0	11.9	39.1	49.1
Inglases	Inglases	SA01 Peñacerrada	48.25	804	1,037	648	106	5.1	51	12.2	0.6	87.2
Inglases	Inglases	OCIO Ocio	86.00	754	1,026	596	110	9.5	48	16.2	1.4	82.3
Inglases	Inglases	Inglases	97.50	736	1,023	581	110	10.8	45	21.3	1.3	77.4
Ega	Larrondoa	SA05 Zarpia	11.00	1,871	967	818	1,049	11.5	0	0.0	1.5	98.5
Ega	Larrondoa	Larrondoa	27.00	1,723	970	711	1,009	27.2	0	8.4	1.2	90.4
Ega	Ega medio	CHE6 Marañón	89.00	874	657	493	371	33.0	13	2.9	30.1	67.0
Ega	Ega	Ega CAPV	403.25	867	655	486	367	148.2	13	2.3	29.4	68.3
Ega	Ega	G313 Ancín	472.50	871	655	487	370	174.7	14	2.4	28.0	69.6
Ega	Ega	G314 Murieta	544.75	876	656	472	389	211.9	15	7.8	25.8	66.4
Arakil	Arakil	Arakil CAPV	85.50	1,141	756	530	606	51.8	0	13.0	37.6	49.3
Arakil	Arakil	G433 Echarren /Arakil	401.50	1,314	765	559	751	301.7	0	24.7	44.9	30.5
Ebro	Valahonda	Valahonda	8.25	575	964	413	160	1.3	0	16.0	48.6	35.4
Ebro	El-Lago	El-Lago	15.25	663	976	457	203	3.1	0	0.7	47.1	52.2
Ebro	Puron	Puron	27.00	765	900	559	204	5.5	0	32.5	21.4	46.1
Ebro	Herrera	Herrera	27.25	554	1,005	298	255	6.9	0	64.7	13.3	22.0
Ebro	Yecora	Yecora	28.75	466	1,031	280	184	5.3	0	60.2	12.0	27.8

<i>Sistema</i>	<i>Río</i>	<i>Punto</i>	<i>Área Tetis km²</i>	<i>Ppt mm/año</i>	<i>ETP mm/año</i>	<i>ETr mm/año</i>	<i>Apo. mm/año</i>	<i>Apo. Hm³/año</i>	<i>PS mm/año</i>	<i>ED % Qsim</i>	<i>IT % Qsim</i>	<i>FB % Qsim</i>
Ebro	Riomayor	Riomayor	49.75	525	1,004	372	150	7.5	0	11.0	30.6	58.4
Ebro	Barriobusto	Barriobusto	63.75	475	1,019	185	289	18.4	0	87.2	4.1	8.8
Ebro	San Gines	San Gines	75.75	523	1,008	350	171	12.9	0	20.0	25.0	54.9

En la Tabla 107 se resume la columna de las aportaciones totales anuales por unidad hidrológica. Se ha seleccionado un único punto por unidad, salvo que se trate de cuencas vertientes independientes. El punto seleccionado ha sido el de desagüe o el punto más bajo en el ámbito de la CAPV, según los casos.

Tabla 107 Síntesis de las aportaciones totales en las Cuencas. Período 1951-2000

<i>Sistema</i>	<i>Río</i>	Aportación anual (hm3)
Bidasoa	Aldabe	17.7
Bidasoa	Endara	25.6
Bidasoa	Jaizubia	34.9
Oiartzun	Oiartzun	93.5
Urumea	Igara	19.2
Urumea	Urumea	393.6
Oria	Iñurritza	14.7
Oria	Oria	789.4
Urola	Urola	294.9
Deba	Deba	452.9
Deba	Saturrarán	14.1
Artibai	Artibai	81.6
Lea	Ea	12.3
Lea	Lea	63.3
Oka	Artigas	10.9
Oka	Laga	8.2
Oka	Oka	136.7
Butroe	Andraka	4.2
Butroe	Arcega	2.7
Butroe	Butroe	109.4
Butroe	Estepona	12.8
Ibaizabal	Ibaizabal	1226.5
Barbadun	Barbadun	81.0
Agüera	Agüera	40.5
Karrantza	Calera	25.9
Karrantza	Karrantza	73.3
Omecillo	Omecillo	86.8
Baia	Baia	158.8
Zadorra	Zadorra	667.0
Inglares	Inglares	10.8
Ega	Ega	148.2

Sistema	Rio	Aportación anual (hm3)
Ega	Larrondoa	27.2
Arakil	Arakil	51.8
Ebro	Barriobusto	18.4
Ebro	El-Lago	3.1
Ebro	Herrera	6.9
Ebro	Puron	5.5
Ebro	Riomayor	7.5
Ebro	San Gines	12.9
Ebro	Valahonda	1.3
Ebro	Yecora	5.3

La suma de la columna de las aportaciones totaliza 5251 hm³/año. La síntesis por Unidad Hidrológica es:

Tabla 108 Síntesis de las aportaciones totales en las Unidades. Período 1951-2000

Unidad Hidrológica	Aportación anual (hm3)
Bidasoa	78.2
Oiartzun	93.5
Urumea	412.8
Oria	804.1
Urola	294.9
Deba	467.0
Artibai	81.6
Lea	75.5
Oka	155.8
Butroe	129.1
Ibaizabal	1226.5
Barbadun	81.0
Agüera	40.5
Karrantza	99.2
Omecillo	86.8
Baia	158.8
Zadorra	667.0
Inglares	10.8
Ega	175.4
Arakil	51.8
Ebro	61.0

8.4.3. Comparación con otros estudios

En la Tabla 109 se comparan los resultados de los estudios antecedentes con los actuales, analizando las aportaciones específicas. En terminos generales, se puede observar que las aportaciones específicas actuales son ligeramente inferiores a las de los estudios antecedentes.

Tabla 109 Comparación de resultados. Aportación específica anual

Estudio actual			Estudios antecedentes			Ratio
Sistema	Punto	Aportación específica (mm/año)	codigo	Denominación	Aportación específica (mm/año)	
Oiartzun	D. Oiartzun	1,154	102-02	Oyartzun completo	1,214	95%
Urumea	Urumea	1,467	103-05	Urumea completo	1,496	98%
Oria	C8Z1 Andoain	1,221	104-04	Leizarán completo	991	123%
Oria	D. Oria	890	104-05	Oria completo	953	93%
Oria	N080 Andoain	884	104-03	Oria en Andoain	892	99%
Urola	Urola	852	105-04	Urola completo	1,040	82%
Deba	Deba	852	106-05	Deva completo	878	97%
Artibai	Artibai	764	107-02	Artibay (completo)	838	91%
Lea	Lea	772	108-01	Oiz (completo)	893	86%
Oka	Oka	743	109-03	Oca (completo)	944	79%
Butroe	Butroe	625	110-02	Butrón (completo)	600	104%
Ibaizabal	CHN164 Lemoa	750	111-09	Arratia completo)	763	98%
Ibaizabal	CHN177 E. Ordunte*	829	111-12	Presa de Ordunte	625	133%
Ibaizabal	Desague Kadagua*	627	111-19	Cadagua en Zaramillo	568	110%
Ibaizabal	NB04 Zarátamo	566	111-05	Nervión en Miravalles	745	76%
Ibaizabal	Ibaizabal	665		Elaboración propia	674	99%
Omecillo	Omecillo	245	148	Omecillo completo	385	64%
Baia	CHE165 Miranda / Baia	518	208	Bayas completo	547	95%
Zadorra	CHE074 Arce/Zadorra	491	211	Zadorra completo	431	114%
Zadorra	CHE107 E. Ullibarri	566	209	Zadorra EA 107 (Ullibarri)	565	100%
Zadorra	CHE108 E. Urrúnaga	771	214	Sta. Engracia en Urrunaga	817	94%
Zadorra	CHE75 Berantevilla	379	221	Ayuda completo	287	132%
Inglares	Inglares	110	222	Inglares completo	187	59%
Ega	CHE6 Maraión	371	226	Ega en e.a.nº6 (Maraión)	335	111%
Ega	Ega CAPV	367	228	Ega en p. de Arquijas	397	93%
Arakil	G433 Echarren /Arakil	751	338	Araquil en e.a.nº68 (Asiain)	1,168	64%

Las desviaciones mayores se localizan en el Inglares, Arakil y Omecillo una parte, y en el Zadorra por la Otra.

El Inglares, el Arakil y el Omecillo presentan aportaciones específicas en el entorno del 60 - 65% de las antecedentes. Por exceso sólo en las subcuencas del Ayuda (Zadorra), Ordunte (Kadagua-Ibaizabal) y Leizarán (Oria) encontramos diferencias significativas (en el entorno del 130% de los estudios anteriores). Analizando Unidades Hidrológicas completas, las diferencias por exceso son siempre inferiores al 14% del Zadorra.

La mayor parte de la cuencas se sitúan en un conjunto intermedio que, según los resultados de este estudio, tienen una aportación específica entre el 90% y el 100% de la de los estudios antecedentes. Entre ellas cabe citar a Oiartzun, Urumea, Oria, Deba, Artibai, Butroe, Ibaizabal, Baia, y Ega.

Expresando los valores en hm^3 y considerando el punto mas bajo posible en cada cuenca y donde las superficies son semejantes se obtienen los resultados de la Tabla 110.

Tabla 110 Comparación de resultados. Aportación total anual (hm^3)

Sistema	Punto	Aportación anual (hm^3)	codigo	Denominación	Aportación anual (hm^3)	Relacion
Oiartzun	D. Oiartzun	93.5	102-02	Oyartzun completo	92.6	101%
Urumea	Urumea	393.6	103-05	Urumea completo	402.5	98%
Oria	D. Oria	789.4	104-05	Oria completo	846.1	93%
Urola	Urola	294.9	105-04	Urola completo	371.3	79%
Deba	Deba	452.9	106-05	Deva completo	475.7	95%
Artibai	Artibai	81.6	107-02	Artibay (completo)	88.7	92%
Lea	Lea	63.3	108-01	Oiz (completo)	75.6	84%
Oka	Oka	136.7	109-03	Oca (completo)	136.6	100%
Butroe	Butroe	109.4	110-02	Butrón (completo)	109.9	99%
Ibaizabal	Ibaizabal **	1,226.5	111-05	Elaboración propia	1,244.9	99%
Omecillo	Omecillo	86.8	148	Omecillo completo	140.0	62%
Baia	CHE165 Miranda / Baia	158.8	208	Bayas completo	165.0	96%
Zadorra	CHE074 Arce/Zadorra	667.0	211	Zadorra completo	592.0	113%
Inglares	Inglares	10.8	222	Inglares completo	18.0	60%
Ega	Ega CAPV	148.2	228	Ega en p. de Arquijas	186.0	80%

Aunque la tabla no cubre todo el ámbito del estudio y en algunos casos las superficies no son estrictamente comparables, sí puede aportar una idea de la comparación global. La totalización de esta tabla supone una cifra de unos $4700 \text{ hm}^3/\text{año}$, un 95% del total de la columna de los estudios antecedentes, unos $4900 \text{ hm}^3/\text{año}$.