

## CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA DEL ACUIFERO CUATERNARIO DE DURANGO

Recibido: 1990-01-05

Iñaki ARRATE JORRIN \*  
Iñigo ARRIZABALAGA VALBUENA \*\*  
Iñaki ANTIGÜEDAD AUZMENDI \*

\* Area de Geodinámica. Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea.

\*\* Ente Vasco de la Energía.

---

### RESUMEN: Caracterización hidrogeológica del acuífero cuaternario de Durango

En el presente estudio se ofrece una visión del actual conocimiento hidrogeológico de los materiales detríticos que constituyen el denominado Acuífero Cuaternario de Durango, tanto en lo que concierne a su funcionamiento hidrodinámico y sus conexiones con el curso superficial como en los aspectos relacionados con las características hidroquímicas y de calidad del agua del acuífero.

**Palabras clave:** Depósitos detríticos cuaternarios, hidrodinámica, hidroquímica, calidad del agua, Durango, Bizkaia, País Vasco.

### ABSTRACT: Hydrogeological characterization of the quaternary aquifer from Durango

In this paper, the present hydrogeologic knowledge of the detrital materials in the Quaternary Aquifer from Durango is presented. As the hydrodynamic behaviour and its relationships with the superficial course as the aspects related with the hydrochemical characteristics and water quality of the aquifer are studied.

**Key words:** Detrital aquifer, hydrodynamic, hydrochemistry, water quality, Durango, Bizkaia, Basque Country.

### LABURPENA: Durangoko akuifero koaternarioaren ezagupen hidrogeologikoa

Honako ikerketa honetan, Durangoko Akuifero Koaternarioa deritzoguna osotzen duten material detritikoen gaur egungo ezagupen hidrogeologikoari buruzko ikuspena erakusten dugu. Ikerketa honetan bai akuiferoaren jokaera hidrodinamikoa eta lurgaineko ureekiko loturak eta bai bere ezaugarri hidrokimikoak eta uren kalitatea bera ere aztertu ditugu.

**Gako hitzak:** Akuifero detritikoa, hidrodinamika, hidrokimika, ura-kalitatea, Durango, Bizkaia, Euskal Herria.

---

## 1.- SITUACION GEOGRAFICA

El Acuífero Cuaternario de Durango se encuentra en la Cuenca Alta del río Ibaizabal. Se extiende desde la localidad de Elorrio, al SE, hasta el estrechamiento existente a la altura de la confluencia de los ríos Ibaizabal y Orobios, punto que se ha escogido como límite occidental del área de estudio. Ocupa una superficie aproximada de 13 km<sup>2</sup>.

Pertenece administrativamente a los municipios de Durango, Berriz, Zaldibar, Izurza, Mañaria, Abadiño, Apatamonasterio y Elorrio.

Las principales cumbres de la zona están constituidas al N por el macizo del Oiz (1029 m.). Entre el valle y dicho monte se encuentran diversas lomas de moderada pendiente y escasa altitud. Al S se dispone la Sierra de Aramatz-Anboto, con cotas que superan los 1.000 m. (Alluitz, 1034 m.; Anboto, 1327 m.) y pronunciadas pendientes, en general más acusadas que en la vertiente N de la cuenca.

## 2.- CONTEXTO GEOLOGICO

Los materiales más antiguos que afloran en la cuenca alta del río Ibaizabal (figura 1) son los correspondientes al "Complejo Purbeck-Weald" (1) (Pujalte, 1977). Se trata de una potente unidad constituida por arcillas negras, ricas en materia orgánica, con intercalaciones frecuentes de areniscas de grano fino. Esporádicamente aparecen niveles calcáreo-arcillosos y dolomíticos. Su edad comprende desde el Berriasiense al Barremiense. Aflora en el borde S de la cuenca.

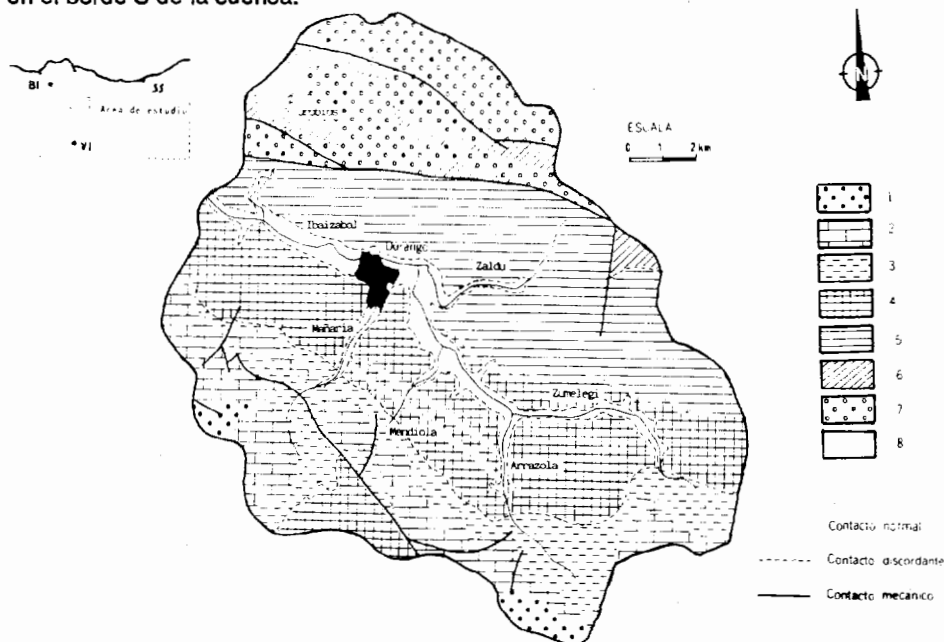


Figura 1: Mapa geológico de la Cuenca Alta del río Ibaizabal.

Por encima se sitúan los materiales del "Complejo Urganiano" (Rat, 1959). Bajo esta denominación se designa a una serie de materiales depositados durante el período Aptiense-Albiense inferior, relacionados con la implantación de grandes conjuntos arrecifales, que dan lugar a los relieves más importantes de la cuenca. La litología corresponde fundamentalmente a calizas grises masivas con rudistas y corales (2), que pasan lateralmente a calizas arcillosas y margas (3). Sobre estas formaciones se dispone un tramo constituido por arcillas negras y micáceas.

Discordantemente sobre el anterior se encuentra el "Complejo Supraurgoniano" (4) (Rat, 1959). Constituido por arcillas más o menos calcáreas, de color negro, ricas en materia orgánica, interestratificadas con pequeños bancos de areniscas que se hacen más numerosos y potentes hacia la parte superior. Presenta intercalaciones de rocas volcánicas (Feuille et al., 1983). Su edad comprende desde el Albiense superior hasta el Cenomaniense inferior, siendo el ambiente sedimentario marino deltaico. El afloramiento de estos depósitos ocupa gran parte de la cuenca, en su zona central y meridional.

Sobre estos materiales se dispone el Cretácico superior (5). Su miembro inferior está constituido por margas arcillosas ligeramente limosas, de color gris, concordantes sobre los depósitos infrayacentes, y de edad Cenomaniense medio-Turonense inferior. El miembro superior consta de margas y calizas grises en bancos centimétricos, con intercalaciones de niveles volcánicos de espesor variable (Mathey, 1986). Su edad es Turoniense medio-Coniaciense inferior.

Los materiales terciarios ocupan la parte N de la cuenca. Están constituidos por una sucesión de calizas margosas y arenosas de edad Daniense-Ipresiense (6) y de areniscas, calizas y arcillas de edad Luteciense (7).

Los materiales cuaternarios (8), depósitos detríticos de origen y naturaleza diversa (fluvial, eluvial, coluvial), se tratarán con más detalle en el apartado 3.

En cuanto al contexto estructural, la Cuenca Alta del río Ibaizabal se sitúa entre las prolongaciones meridionales del flanco S del Sinclínorio de Bizkaia, que hace aflorar los materiales más jóvenes de la sucesión; y del flanco N del Anticlinorio de Bilbao, caracterizado por la presencia de facies wealdenses y urgonianas predominantemente. Las direcciones estructurales presentes, así pues, coinciden plenamente con las principales directrices tectónicas de la región oriental de la Cuenca Vasco-Cantábrica y condicionan de una forma decisiva la implantación de la red fluvial, y por tanto, la distribución de los depósitos objeto de estudio.

### **3.- GEOLOGIA DEL ACUIFERO**

#### **3.1.- Bordes y sustrato**

Desde las proximidades de Abadiño hasta el límite occidental del estudio los depósitos cuaternarios recubren el contacto entre los materiales del Cretácico superior, de muy baja permeabilidad, y del Complejo Supraurgoniano, que si bien se pueden considerar, en conjunto, de baja permeabilidad, localmente pueden constituir acuíferos multicapa de pequeña entidad. En el resto del área de estudio los bordes están constituidos exclusivamente por materiales supraurgonianos, salvo en el caso del valle del río Mañaria, que llega a contactar lateralmente con calizas urgonianas, de alta permeabilidad, a la altura de la localidad que da nombre al curso de agua.

Por último, hay que señalar que en algunos sectores (Izurza-Abadiño) los materiales fluviales enlazan con recubrimientos no consolidados coluviales y eluviales, de irregular extensión y espesor, y con una permeabilidad notable en algunos casos.

### 3.2.- Material acuífero

Este apartado se basa en la información de 190 sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) realizados mediante el dispositivo Schlumberger simétrico sobre el aluvial, y 8 perfiles de refracción sísmica superficial, así como de un total de 42 columnas de sondeos mecánicos y 8 columnas levantadas en puntos en los que se ha podido observar directamente dicha formación.

Las columnas observables en los puntos de acceso directo a la formación aluvial, presentan, a grandes rasgos, un alto grado de semejanza, con un nivel inferior constituido por cantos rodados de naturaleza areniscosa cuyo diámetro oscila entre 4 y 20 cm., generalmente imbricados, e incluidos en una matriz arcillo-arenosa. Por encima pueden aparecer en ocasiones niveles decimétricos de limos y arenas limpias. Por último, el techo está constituido por arcillas y limos. Las resistividades obtenidas oscilan entre 30 y 70  $\Omega\text{m}$  para el término superior y entre 100 y 700  $\Omega\text{m}$  para el inferior, siendo la relación volumétrica entre los diferentes niveles muy variable. Estas disposiciones litológicas corresponden a secuencias positivas de relleno de canal, y se ajustan perfectamente a la dinámica del río Ibaizabal, con un tramo basal en el que predominan los cantos, asociado a los estadios de flujo alto, al que se superpone un tramo superior en el que dominan facies de llanura fluvial.

En la figura 2 se representa un mapa de isopacas de la formación cuaternaria, en el que se aprecia que la zona más occidental del depósito, comprendida entre las confluencias de Orobios y Mañaria con el Ibaizabal, presenta potencias de material acuífero inferiores a 6 m. Entre las localidades de Durango y Matiena se observan los máximos espesores de la formación, con potencias constatadas superiores a los 12 m. Al S, en la zona comprendida entre las confluencias de los ríos Zumelegi-Arrazola y Zaldu-Ibaizabal, los espesores medios son del orden de 6-7 m., pudiendo llegar a los 10 m. en las proximidades del barrio de Muntzaraz.

En cuanto a los depósitos relacionados con los afluentes que se incorporan al Ibaizabal, hay que señalar que mientras en el caso del río Zaldu se observan potencias no superiores a los 5 m., los materiales detríticos que rellenan el fondo del valle del río Zumelegi poseen espesores medios de 6 m., rebasando en varias ocasiones los 10 m. En esta zona adquieren gran importancia los depósitos coluviales, de carácter fundamentalmente arcilloso. No se dispone de datos correspondientes a los materiales asociados a los ríos Mañaria y Arrazola.

Por otra parte, se ha reconocido la existencia de al menos tres importantes niveles de acumulación fluvial de interés hidrogeológico. Exponente del más antiguo de ellos es el depósito situado en las proximidades del cementerio de Durango (corte B-B'), dispuesto a 2.5 m. sobre el nivel de acumulación actual, y con una potencia máxima constatada de 10-12 m. Al segundo nivel corresponden la práctica totalidad de los depósitos fluviales del sector estudiado. Los espesores, muy variables, oscilan entre 2 y 10 m. aproximadamente. Por último, el nivel de acumulación más reciente (corte C-C'), de carácter marcadamente local, se desarrolla con posterioridad a un encajamiento de 1.5-5 m. sufrido por el talweg en uno de los últimos estadios evolutivos del sistema fluvial (hecho observable en la mayor parte de los sectores de cabecera de los ríos vasco-cantábricos). A este nivel de acumulación pertenecen los materiales situados en la ribera NE del río Ibaizabal a su paso por Abadiño, con potencias de hasta 6 m. Esta incisión, que supone la desconexión total o estacional entre el curso de agua superficial y los materiales acuíferos en los numerosos

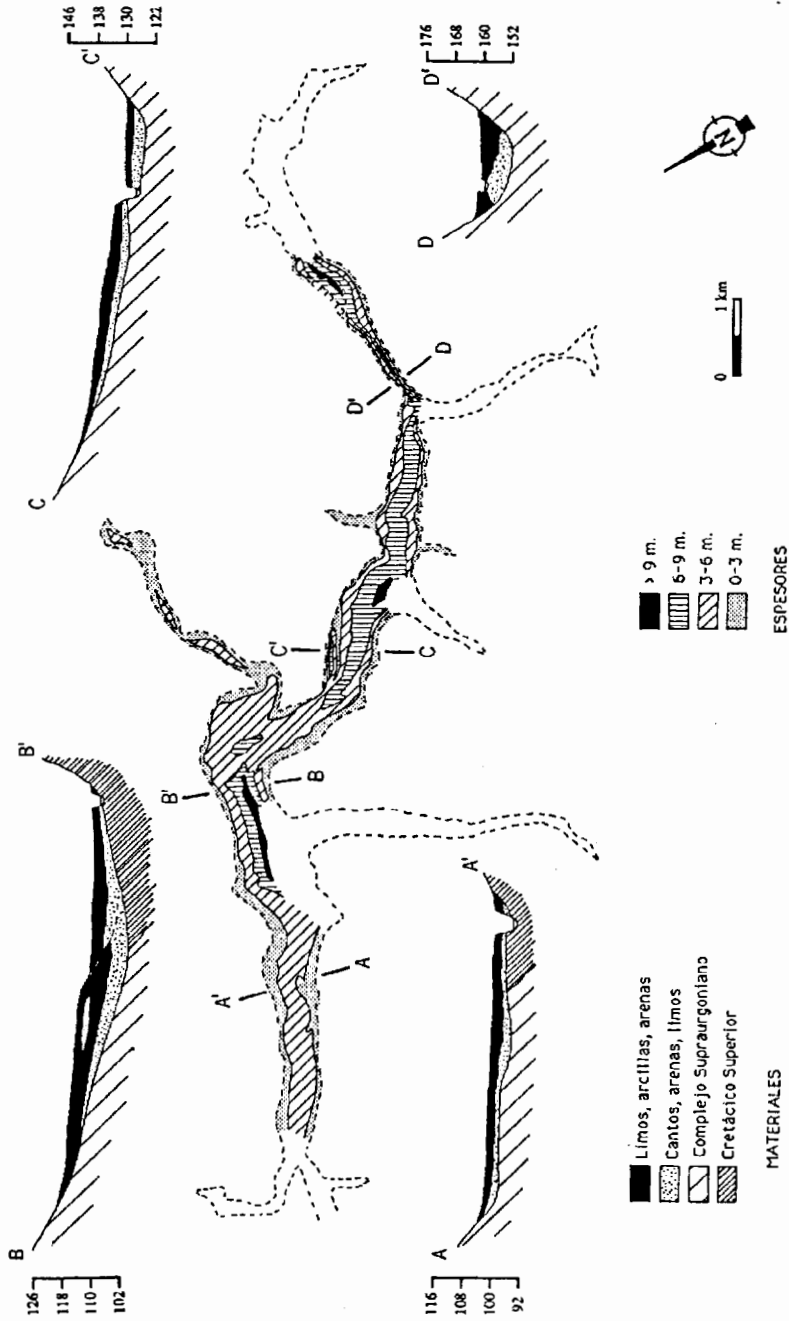


Figura 2: Mapa de isopacas y cortes seriados a través del aluvial.

sectores del área estudiada en los que la potencia del segundo nivel de acumulación fluvial es inferior al grado de encajamiento condicionará de forma notable, como se verá más adelante, el funcionamiento hidrogeológico del acuífero.

#### 4.- HIDROMETEOROLOGIA

##### 4.1.- Pluviometría.

En la elaboración de este estudio se han utilizado valores de precipitación de la serie de la estación de Durango, durante el periodo 1967-1976 (Arrizabalaga, 1986). La distribución media mensual de la precipitación registrada en mm., es la siguiente:

ENE	143	ABR	155	JUL	41	OCT	114
FEB	169	MAY	116	AGO	79	NOV	180
MAY	160	JUN	77	SEP	98	DIC	179

PP media anual: 1511 mm.

##### 4.2.- Termometría

Las temperaturas medias mensuales registradas en la estación de Durango durante el periodo 1968-1980 son, en °c (Arrizabalaga, 1986):

ENE	6.47	ABR	9.38	JUL	18.50	OCT	14.12
FEB	7.37	MAY	12.63	AGO	18.34	NOV	9.38
MAR	7.85	JUN	15.86	SEP	16.90	DIC	7.37

##### 4.3.- Evapotranspiración

La aplicación del método de Thornthwaite (Arrizabalaga, 1986) indica una ETP anual de 677.9 mm. El balance del suelo, para una capacidad de campo de 50 mm da como resultado una ETR anual de 619 mm (41 %), con una lluvia útil de 892 mm. (59 % del total precipitado).

#### 5.- HIDROGEOLOGIA

##### 5.1.- Inventario de puntos de agua

Se han inventariado en la zona de estudio un total de 129 puntos agua, de los cuales 88 captan directamente el acuífero fluvial y 34 explotan materiales no consolidados de origen coluvial y eluvial situados tanto sobre materiales del Cretácico superior como del Complejo Supraurgoniano, y que localmente pueden poseer cierta importancia. El resto de los puntos inventariados corresponde a puntos de agua superficial en los que se han efectuado medidas de nivel (figura 3).

Únicamente existe un sondeo de captación (nº 62786), que explota probablemente varios niveles de areniscas del Supraurgoniano, intercalados entre lutitas negras, y dispuestos infrayacentemente a los depósitos aluviales.

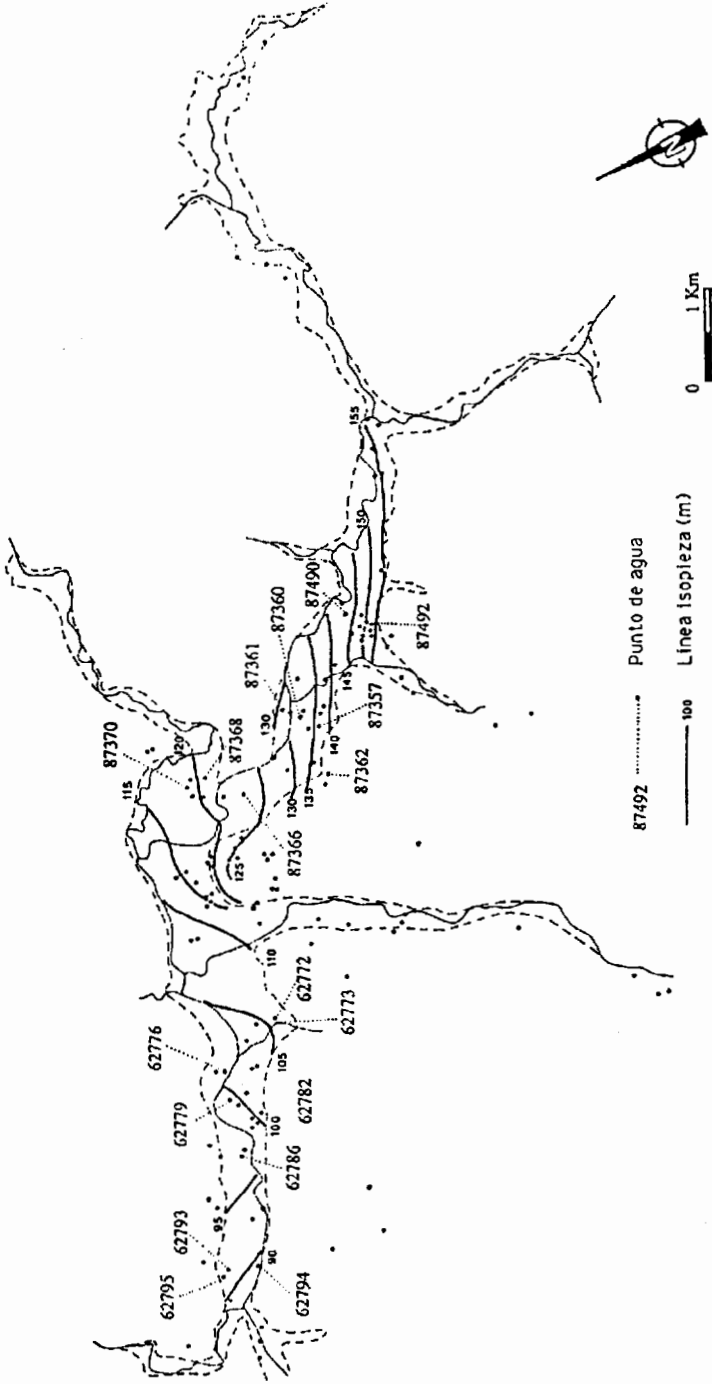


Figura 3: inventario de puntos de agua. Superficie piezométrica (18-10-88). Situación de los pozos citados en el texto.

Los pozos, de carácter artesanal, tienen profundidades entre los 3 y 10 m., evidentemente limitadas por la potencia del relleno cuaternario. Los diámetros están comprendidos entre 40 cm. y 1 m. El revestimiento se realiza en gran parte de las ocasiones con hormigón, permitiéndose el flujo hacia el pozo únicamente en su zona inferior, lo cual impide el establecimiento de los parámetros hidráulicos del acuífero mediante la técnica de ensayos de bombeo. En los pozos más antiguos, el revestimiento consta únicamente del apilamiento progresivo de cantos rodados procedentes de la propia excavación.

La extracción del agua se realiza en la mayoría de los casos mediante pequeñas bombas centrífugas de superficie. En cuanto al uso del agua, los pozos fueron construidos principalmente para satisfacer las demandas del abastecimiento doméstico de los distintos caseríos. Tras la instalación de la red de distribución general, y la implantación de determinadas industrias sobre la superficie de los depósitos cuaternarios, que realizan sus vertidos al Ibaizabal o directamente sobre la superficie del aluvial con la consiguiente degradación de la calidad del agua del acuífero, el agua procedente de los pozos se ha destinado fundamentalmente al regadío de pequeñas parcelas de cultivo durante los meses estivales, si bien existen varios casos en los que la captación se destina todavía al abastecimiento doméstico de agua potable.

## 5.2.- Superficie piezométrica

Se han realizado ocho campañas de medida de niveles piezométricos con fechas 17-3-83, 23-6-83, 20-11-83, 21-2-84 (Arrizabalaga, 1986), 27-9-88, 18-10-88, 21-1-89, 2-6-89 (realizadas expresamente en el marco del presente estudio).

Las medidas, efectuadas en más de 60 pozos y puntos de agua superficiales, fueron tomadas con sonda eléctrica, y las cotas absolutas de los puntos controlados se dedujeron de mapas topográficos de gran precisión, escala 1:1.000, por lo que estas pueden considerarse suficientemente fiables. La base cartográfica elegida para la representación es de escala 1:20.000 con equidistancia entre curvas isopiezas de 5 m.

En las figuras 3 y 4 se observa la superficie piezométrica correspondiente a los días 2-6-89 y 18-10-88, representativas de estadios de flujo altos y bajos respectivamente. Las principales conclusiones que pueden deducirse son la siguientes:

1. A la vista de los mapas parece deducirse que las variaciones experimentadas por la superficie piezométrica son muy pequeñas. Sin embargo, hay que tener en cuenta las relativas altas pendientes que posee la superficie del depósito aluvial (entre el pozo más occidental y el más oriental existe una diferencia de cota absoluta de 90 m. aproximadamente). Así, la influencia de las variaciones estacionales del nivel piezométrico, cuya magnitud oscila entre 0.2 y 2.5 m. en una escala de representación como la utilizada, es reducida.

2. El río Ibaizabal se encuentra desconectado periódicamente del acuífero en la mayor parte de los tramos de su cauce como consecuencia del citado encajamiento sufrido por el sistema fluvial en uno de sus últimos estadios evolutivos. La magnitud de la incisión (1.5-5 m.) supera incluso, en numerosas ocasiones, la potencia de los depósitos aluviales, ya que el río Ibaizabal discurre por lo general muy próximo al borde de los depósitos, en zonas cuyo espesor no suele superar los 4 m.

Se deduce así una conexión discontinua entre las aguas superficiales y subterráneas en gran parte de la longitud de los cauces, de manera que los cursos de agua superficiales pueden individualizar determinados sectores del acuífero fluvial. En estos casos, la



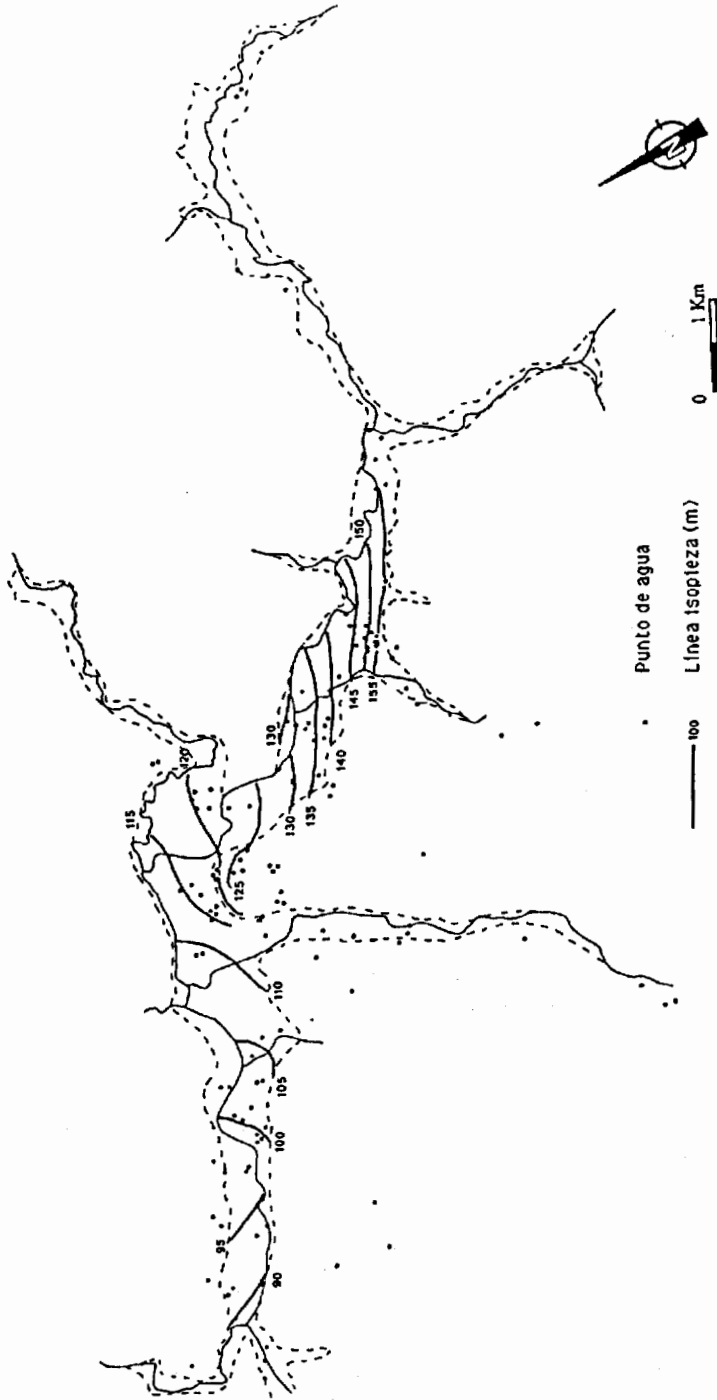


Figura 4: Superficie piezométrica (2-6-89).

conexión se reduce únicamente a épocas de crecida, en las que el curso superficial se comporta de manera influente. El depósito, por tanto, no se corresponde con el concepto de "acuífero subordinado a curso de agua" (Castany, 1985).

3. La distribución de los gradientes hidráulicos en las zonas controladas del aluvial subdivide el acuífero en dos zonas:

A. Desde la confluencia de los ríos Zumelegi y Arrazola hasta el barrio de Astola. Esta zona presenta gradientes hidráulicos elevados, comprendidos entre 0.020 y 0.025. La circulación se realiza ortogonalmente a los bordes del acuífero, y por tanto, al curso de agua superficial.

B. Desde Astola hasta las proximidades de la confluencia de los ríos Ibaizabal y Orobios. En esta zona los gradientes oscilan entre 0.004 y 0.007 aproximadamente.

Esta distribución puede ser debida a un incremento de la transmisividad en el sentido del flujo como consecuencia del aumento de la sección de acuífero, considerando que la permeabilidad de los materiales se mantiene aproximadamente constante (dada la similitud de las columnas litológicas en los diversos sectores del depósito fluvial). Por otra parte, este aumento del espaciamiento podría estar relacionado con la superficie topográfica, ya que en zonas de recarga importante y transmisividad media-baja (Custodio, 1976) existe una estrecha relación entre gradientes hidráulicos y topográficos. Esta relación se muestra claramente en la figura 5 para la fecha 21-9-88.

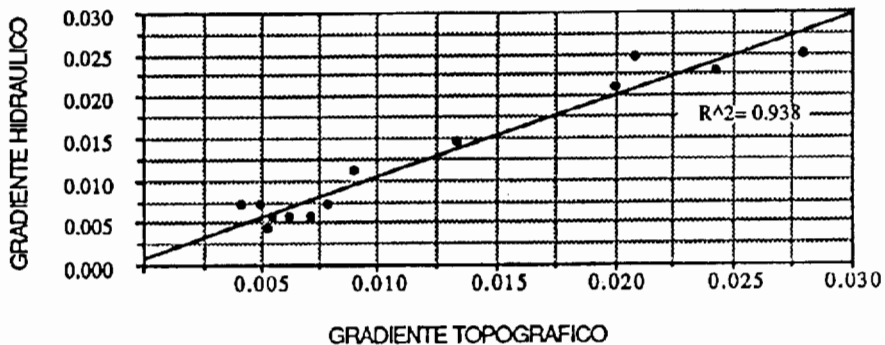


Figura 5: Relación entre gradientes hidráulicos y topográficos.

4. Los mapas piezométricos indican una clara conexión hidráulica entre los depósitos fluviales y los materiales eluviales y coluviales con los que enlazan en ciertos sectores. Las direcciones de flujo muestran así mismo que una proporción importante de la recarga debe proceder de dichos materiales.

5. El cauce del río Ibaizabal constituye el principal eje de drenaje del acuífero. En las zonas en las que se observan los depósitos aluviales colgados, y dada la disposición de las isopiezas, el drenaje debería ser perceptible en época de aguas bajas, a modo de descarga difusa. Sin embargo, esto no sucede en ninguno de los puntos observados. Este hecho es debido probablemente a que, si bien el flujo de manera general se corresponde con los sentidos deducidos de los mapas piezométricos, a una escala menor al espaciamiento de los puntos de control de niveles este drenaje puede ser controlado por estructuras locales más transmisivas.

### 5.3.- Funcionamiento hidráulico

Los depósitos aluviales asociados al río Ibaizabal constituyen un acuífero permeable por porosidad intergranular. Su funcionamiento es de carácter libre. Sin embargo, en determinados puntos se ha podido constatar la existencia de fenómenos locales de semiconfinamiento.

La alimentación del sistema procede de la infiltración eficaz de las lluvias caídas directamente sobre la superficie de los depósitos aluviales, así como de la aportación lateral de los materiales no consolidados que constituyen el borde de la formación aluvial. En épocas de importantes precipitaciones el río puede comportarse como influente, tanto en aquellas zonas que presentan una conexión continua entre aguas superficiales y subterráneas como en las que dicha relación es discontinua.

Por otra parte, hay que considerar la posibilidad de entradas laterales ocultas, procedentes tanto del complejo Supraurgoniano, como del Urganiano. Así, en el sector más occidental del área de estudio, el primero está constituido por una alternancia de finos niveles de lutitas negras con potentes bancos de areniscas, conjunto que proporciona en los S.E.V. realizados en este área resistividades de hasta 900  $\Omega$ m. inmediatamente por debajo de los depósitos no consolidados. Estos materiales supraurgonianos constituyen un acuífero multicapa de régimen confinado, susceptible de alimentar al acuífero aluvial suprayacente.

Las salidas, dado que el volumen bombeado en los pozos es exiguo, se producen básicamente por la descarga efectuada hacia los cursos de agua superficiales.

## 6.- HIDROQUIMICA. CALIDAD DEL AGUA

Se han realizado 7 campañas de muestreo (10-12-82, 21-3-83, 23-6-83, 2011-83, 21-2-84, 16-9-84, 15-11-88), analizándose más de cien muestras procedentes del acuífero aluvial, de los materiales no consolidados de borde y del curso de agua superficial.

Dado el volumen de datos disponible se precisa para su interpretación de un método estadístico que, conservando la mayor parte de la información recogida, facilite la obtención de conclusiones. La técnica escogida ha sido el Análisis en Componentes Principales (A.C.P.).

### 6.1.- Componentes mayoritarios

La figura 6 representa mediante diagramas de Stiff los contenidos medios en elementos mayoritarios obtenidos en cada pozo. En ella se pueden apreciar de una forma cualitativa las notables variaciones espaciales existentes en las concentraciones de dichos elementos.

Con el fin de conocer la evolución espacio-temporal del quimismo se ha aplicado el A.C.P. en fechas de trazado de superficies piezométricas y que abarcan los estadios de flujo más característicos: 21-2-84 (flujo alto), 23-6-83 (flujo bajo) y 20 11 83 (flujo intermedio):

La representación en los planos factoriales ha manifestado la existencia de tres agrupaciones en la nube de puntos (figura 7):

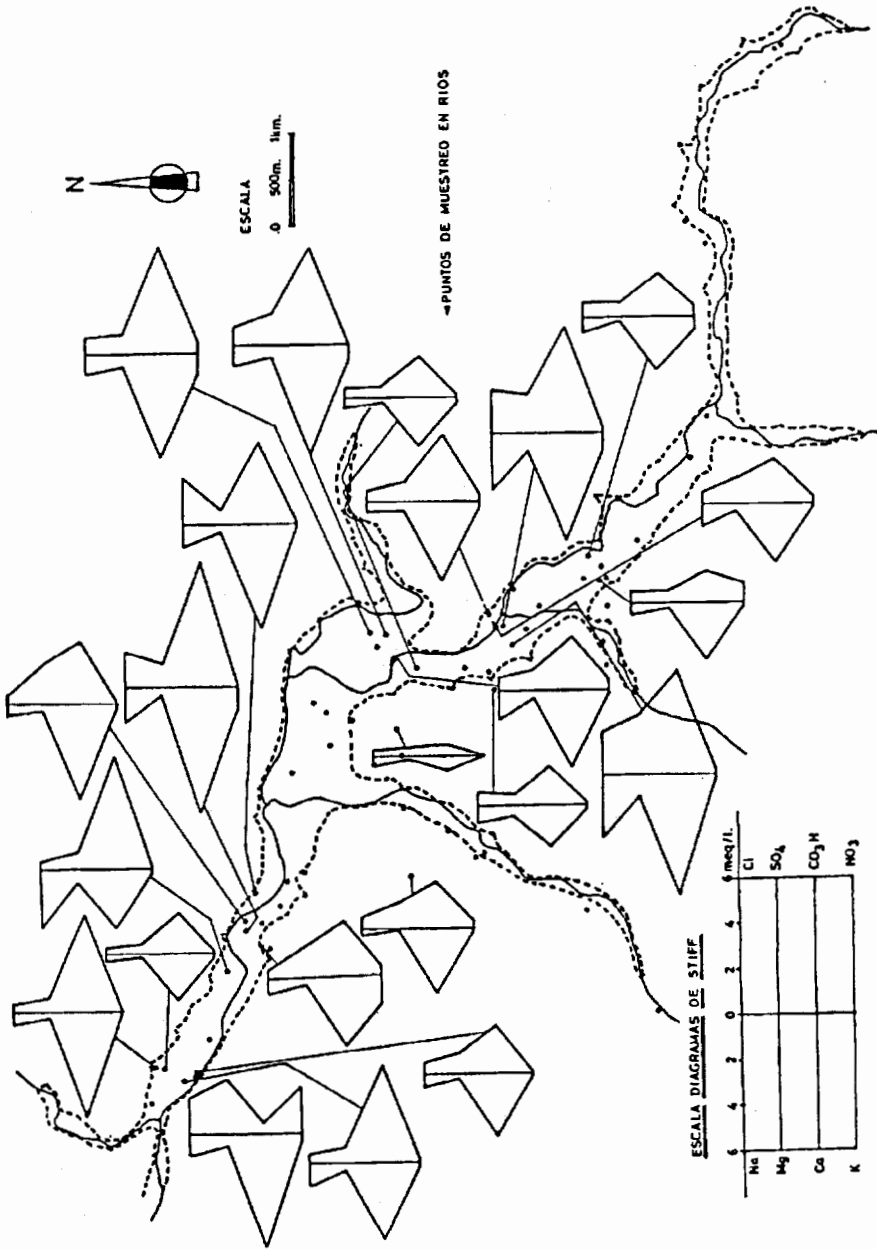


Figura 6: Contenidos medios en elementos mayoritarios.

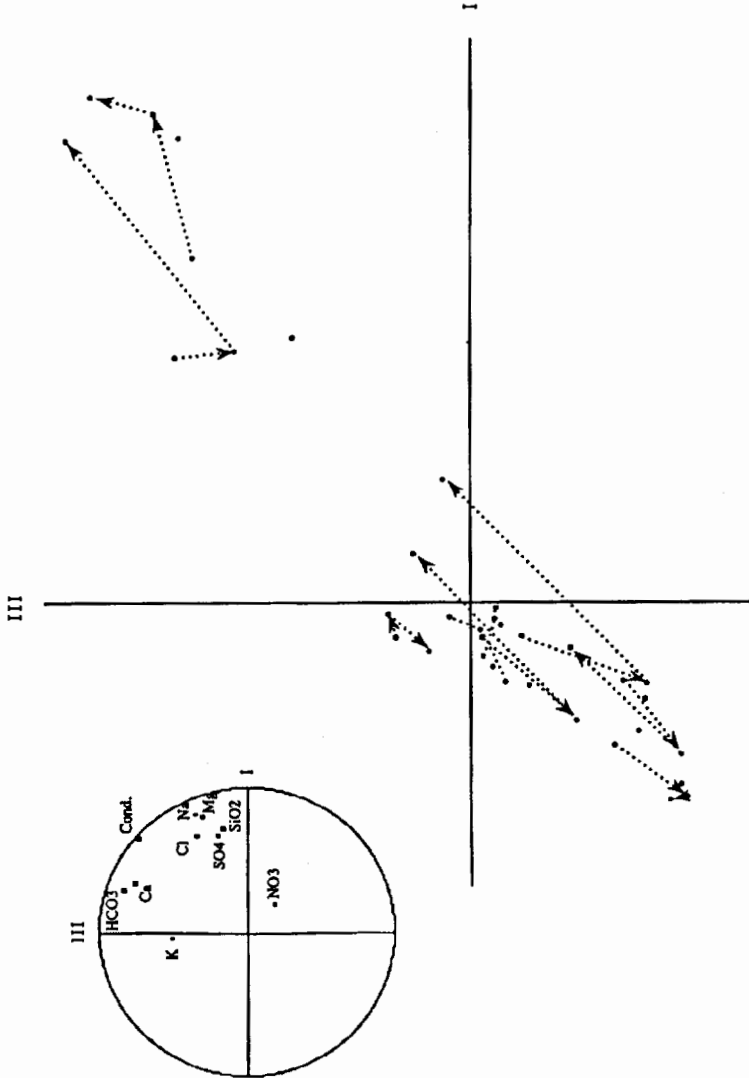


Figura 7: Evolución temporal de los contenidos en elementos mayoritarios para las fechas 23-6-83, 20-11-83 y 21-2-84 (Plano I-III).

A. Zona I. Representada por los pozos nº. 62793, 87366, 87492. En ellos se produce una concentración en estadios de flujo bajo y una dilución en los de flujo alto, pero siempre dentro de unos estrechos límites. Son las muestras menos mineralizadas.

B. Zona II. Representada por los pozos nº. 62786, 62794, 87361. Corresponden a aguas más mineralizadas, pero con un intervalo de variación del quimismo inferior.

C. Zona III. Pozos nº. 87368, 87370, 87357, 87360. Son las muestras más mineralizadas. Las oscilaciones estacionales del quimismo son acusadas.

Hay que señalar que los grupos deducidos únicamente pretenden mostrar la diferente evolución temporal que presenta el quimismo de las aguas en los diferentes puntos de control, incluso en pozos muy próximos, y no hacen referencia a una clasificación espacial de dichos puntos. Esto es debido a que no es posible la realización de un análisis espacial y /o temporal simple, como consecuencia de que, como se verá más adelante, los contenidos en numerosos elementos (tanto mayoritarios como minoritarios o traza) están controlados fundamentalmente por la naturaleza y frecuencia de los vertidos procedentes de las numerosas industrias dispuestas sobre la superficie del aluvial.

## 6.2.- Componentes asociados a actividad agrícola

La superficie del depósito fluvial está sometida a una notable actividad agrícola. Si bien se trata de pequeñas parcelas de carácter familiar, la utilización de abono, principalmente estiércol, incide en el quimismo del agua del acuífero, produciéndose un notable incremento de las concentraciones de elementos típicamente asociados al abonado ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$ , P, K, etc.).

El abonado principal se realiza a finales de invierno. A finales de la primavera y principios de verano se efectúa un segundo abonado de menor entidad. En consecuencia es predecible que las máximas concentraciones de los distintos compuestos se produzcan en primavera y verano, y las mínimas en invierno.

La aplicación de la técnica del Análisis Factorial ha mostrado que la evolución de las concentraciones de los elementos relacionados con la actividad agrícola presenta un carácter marcadamente cíclico, especialmente en los casos de  $\text{NH}_3$  y  $\text{NO}_2^-$ . Si bien las grandes líneas de distribución espacio/temporal de estos compuestos están marcadas por el período, tipo, distribución y magnitud del abono empleado, los procesos biológicos intervienen de una manera fundamental, modificando las proporciones existentes entre los diferentes compuestos nitrogenados.

Así, en regiones templadas los procesos de nitrificación y desnitrificación son muy rápidos, provocando las máximas concentraciones de nitratos durante la primavera y verano (Moore y Ramamoorthy, 1984b). Debido a que a finales de invierno el proceso de transformación de las formas orgánicas e inorgánicas del nitrógeno en  $\text{NO}_3^-$  no ha culminado, se detecta una proporción significativa de nitritos en los muestreos realizados en dicho período. Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y K en verano, como era de esperar, han sido las mayores, al unirse los procesos anteriormente comentados a un estadio de flujo bajo. Por último, los muestreos realizados en otoño detectan los contenidos más bajos en todo el ciclo.

## 6.3.- Elementos minoritarios. Calidad del agua.

Se puede afirmar que la calidad del agua en el acuífero está condicionada por los elementos menores (al margen de elevados contenidos en elementos mayoritarios y

relacionados con la actividad agrícola). Sus concentraciones nos conducen a considerar la calidad, tanto en el acuífero como en el Ibaizabal, como muy baja, superando cada muestra los límites admitidos (B.O.E, 18-6-82) en al menos dos elementos menores, y adquiriendo en el caso de los fenoles, Hg, Cd y Sb proporciones alarmantes. Este hecho es debido a la existencia de un número superior a 140 empresas contaminantes en el sector que vierten sus residuos a los cauces o a la superficie del depósito fluvial sin previa o deficiente depuración (Ura, 1981), de las cuales un 85 % están relacionadas con procesos de metalurgia y galvanotecnia. Sin embargo, es de esperar que esta situación mejore notablemente a corto plazo como consecuencia de la próxima entrada en funcionamiento de los tres colectores (uno de ellos ya finalizado) y la depuradora de aguas residuales de la Cuenca Alta del río Ibaizabal.

La distribución espacial de las concentraciones más elevadas a lo largo de las distintas campañas señala la existencia de al menos cinco grandes focos de contaminación, que salvo el último, relacionado posiblemente con una empresa papelera, corresponden fundamentalmente a distintas industrias galvanotécnicas y fundiciones, abundantes en el sector del Alto Ibaizabal:

- A. El primer foco está en la proximidades de los pozos nº. 77357 y 77360.
- B. El segundo foco se encuentra próximo a los pozos nº. 87369 y 87370.
- C. Situado al NW de la localidad de Durango, cercano al pozo nº. 62776 .
- D. Próximo a los pozos nº. 62772 y 62773.
- E. Localizado en las proximidades de los pozos 62793 y 62795.

Hay que señalar que estos focos coinciden con la zona III definida en el análisis de elementos mayoritarios. Se puede deducir, por tanto, que en general las muestras más mineralizadas se corresponden con las más contaminadas.

Considerando las máximas concentraciones existentes en cada uno de los pozos, se obtiene la siguiente distribución de éstas a lo largo de cinco campañas, para el acuífero y curso de agua superficial. Se adjuntan los caudales del río Mañaria a su paso por Izurza en el día del muestreo como indicativo del carácter del flujo.

Campaña	% Máximas acuífero	% Máximas Ibaizabal	Q Mañaria (l/s)
2 (21-3-83)	30.4	24.7	2400
3 (23-6-83)	15.2	17.0	70
4 (20-11-83)	23.0	32.5	45
5 (21-2-84)	5.3	3.8	282
6 (16-9-84)	26.1	22.0	81

Se observa que existe una distribución temporal inhomogénea de las concentraciones máximas, no existiendo una relación simple entre los estadios de flujo y el grado de contaminación. Pese a todo, se puede considerar que por lo general, los contenidos son más altos en condiciones de flujo bajo tanto en el acuífero (como consecuencia de un proceso de concentración de los efluentes industriales que accidental o intencionadamente han sido depositados sobre la superficie de los materiales fluviales) como en el Ibaizabal (controlados por la deteriorada calidad química del agua del acuífero y por los vertidos directos al cauce). En condiciones de flujo elevado se produce generalmente un proceso de dilución. Sin embargo, en tales condiciones (campaña 2) las proporciones de máximas concentraciones pueden llegar a ser muy elevadas. Este hecho se debe probablemente a que numerosos vertidos intencionados son realizados en época de crecida. En la misma campaña, el elevado porcentaje en el acuífero es explicable mediante la relación de influencia del curso de agua superficial.

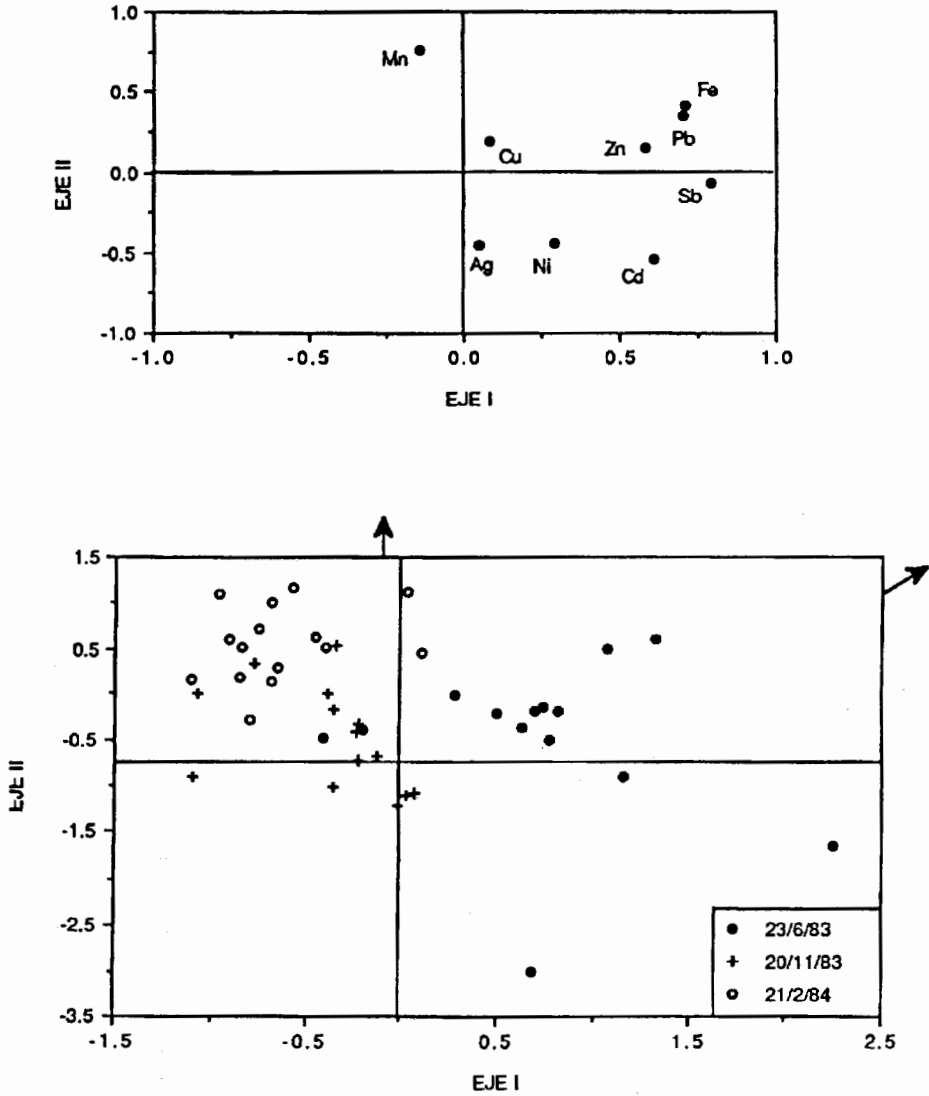


Figura 8: Evolución de la concentración en elementos menores para las fechas 23-6-83, 20-11-83 y 21-2-84 (Plano I-II).



Con el fin de conocer más profundamente la evolución espacial y temporal del quimismo y agrupar aguas con caracteres químicos semejantes, se ha aplicado la técnica del A.C.P. Las campañas consideradas (figura 8) han sido las realizadas con fecha 23-6-83 (núm. 3), 20-11-83 (núm. 4) y 21-2-84 (núm. 5) correspondientes a estadios de flujo bajo, intermedio y alto respectivamente.

Se puede observar que cada una de las campañas coincide con un agrupamiento general de muestras en los planos factoriales. Así, a la primera campaña, realizada en condiciones de estiaje, corresponden las aguas con mayor concentración en los elementos considerados, caracterizadas por altos contenidos en Sb, Fe y Pb y por el carácter disperso de la distribución de los puntos en los tres planos factoriales. La segunda campaña, efectuada tras unas precipitaciones de débil intensidad, presenta una distribución menos dispersa, indicando una moderada dilución, con bajos contenidos en la totalidad de los elementos considerados, si bien ciertos puntos poseen elevadas concentraciones en Mn. La tercera campaña, coincidente con una época de importante recarga, presenta una distribución más concentrada de los casos como consecuencia de una importante dilución. Los contenidos en Sb, Fe y Pb disminuyen, mientras que se produce un incremento relativo general en las concentraciones de Mn.

En el caso del Fe, su evolución es debida probablemente al incremento del oxígeno disuelto y Eh como consecuencia de las recargas externas, de manera que se produce la precipitación del Fe que se encuentra en forma iónica +2 como  $Fe^{+2}$ . Esta precipitación puede arrastrar además por coprecipitación otros elementos metálicos, tales como Pb, Zn, As y Sb (Moore & Ramamoorthy, 1984a).

Los contenidos relativos en Mn, máximos en la cuarta campaña son debidos a que, si bien el Mn iónico precipita al aumentar el potencial de oxidación-reducción del medio, las variaciones de Eh en las aguas naturales se sitúan con frecuencia dentro del dominio de estabilidad del  $Mn^{+2}$ , por lo cual permanece en disolución (Chauve et al., 1986).

Hay que señalar que la interpretación de estos planos debe realizarse teniendo en cuenta que las concentraciones en elementos menores están relacionadas con la actividad industrial de la zona. Dado el elevado número de focos potenciales de contaminación y la consideración conjunta de concentraciones debidas a vertidos intencionados y accidentales, no es posible la realización de un análisis espacial y/o temporal simple. Esta circunstancia impide la posibilidad de un análisis cluster con resultados satisfactorios. A pesar de todo, la distribución de los diferentes casos en los planos factoriales a lo largo de las campañas consideradas permite la agrupación de los puntos de agua en los siguientes grupos:

Grupo 1. Pozos nº 87357, 87368, 87370 y 62793. A ellos pertenecen las muestras más contaminadas. Los casos correspondientes se alejan notablemente de la nube general en la campaña 2 como consecuencia de los elevados contenidos en los elementos evaluados, y en algunos casos en los muestreos 3 y 4.

Grupo 2. Pozos nº 62794, 62782, 62779, 62776, 87361, 77360, 87492 y 87490. Estos puntos poseen elevadas concentraciones en Fe, Sb y Pb en condiciones de estiaje. En aguas medias y altas se produce un descenso generalizado de las concentraciones en la práctica totalidad de los elementos (salvo Mn).

Grupo 3. En este grupo se incluyen los pozos en los que la evolución del quimismo no se ajusta a los grupos anteriores (nº 62795, 87366, 87362)

## 7.- EVALUACION DE RECURSOS

En este apartado se pretende dar una idea semicuantitativa de los parámetros volumétricos relacionados con el acuífero. Dada la ausencia de datos fiables de transmisividades, coeficientes de infiltración, entradas, salidas, etc., los datos que se presentan son meramente aproximativos.

Un cálculo basado en la proporción de lluvia eficaz y de la superficie del acuífero indica unos recursos de 11.6 Hm<sup>3</sup>/año para los depósitos fluviales y de 6 Hm<sup>3</sup>/año para los materiales no consolidados de borde, suponiendo que el total de lluvia eficaz se infiltra. Es más aceptable, dada la naturaleza de los depósitos de llanura de inundación, y aunque no se dispone de datos fiables, suponer un coeficiente de infiltración de un 20 %, con lo que se obtienen unos recursos anuales totales de 3.5 Hm<sup>3</sup>/año, sin tener en cuenta la existencia de las citadas entradas laterales ocultas y las relaciones de influencia por parte del río Ibaizabal. Por otra parte, hay que señalar el riesgo que supone basar la estimación de las reservas en la fórmula de Thornthwaite en un acuífero en el que el nivel piezométrico se encuentra muy próximo a la superficie topográfica, ya que en estas condiciones probablemente también existen procesos de evapotranspiración en la superficie del manto freático.

Una nueva aproximación a los recursos del cuaternario se puede realizar teniendo en cuenta que la fluctuación anual media de los niveles piezométricos es de 1 m. aproximadamente. Suponiendo una porosidad eficaz de 0.1 para aluviones recientes (Castany, 1971) se obtiene un volumen dinámico mínimo de 1.3 Hm<sup>3</sup>.

Por otra parte, hay que señalar que el grado de contaminación que presenta actualmente el agua del río Ibaizabal excluye la posibilidad de provocar una realimentación inducida (en caso de una eventual explotación en un sector cuya calidad del agua subterránea lo permita) en aquellas zonas de conexión hidráulica continua entre el curso de agua y el acuífero, ya que probablemente el poder autodepurador de los depósitos fluviales sería insuficiente.

## CONCLUSIONES

El trazado de la superficie piezométrica en condiciones hidrogeológicas distintas, junto a la información geológica tratada ha permitido una aproximación al conocimiento del funcionamiento hidráulico del Acuífero Cuaternario de Durango.

Los depósitos fluviales asociados al río Ibaizabal constituyen un acuífero permeable por porosidad intergranular de funcionamiento libre (si bien localmente se han constatado fenómenos de semiconfinamiento), desconectado en la mayor parte de las ocasiones total o estacionalmente del curso de agua superficial. La alimentación del sistema procede de la infiltración eficaz de las lluvias caídas directamente sobre la superficie de los depósitos fluviales, de la aportación lateral de los depósitos no consolidados que constituyen el borde de dicha formación, de las probables entradas ocultas relacionadas con materiales urgonianos y supraurgonianos, y de las eventuales relaciones de influencia por parte del Ibaizabal. Las salidas se producen básicamente por la descarga efectuada hacia los cursos de agua superficiales.

Por otra parte, se ha puesto de manifiesto mediante la técnica del A.C.P. el control efectuado por los vertidos procedentes de las diversas industrias situadas sobre la superficie del aluvial en la distribución espacio/temporal de las concentraciones de

elementos, tanto mayoritarios como menores y traza, así como el carácter estacional y cíclico de los contenidos en elementos relacionados con la actividad agrícola.

Por último, hay que señalar que el Acuífero Cuaternario de Durango se localiza en un punto estratégico de la red fluvial del alto Ibaizabal, confluyendo toda la aportación de la cuenca en él. Se trata de unos 150 Hm<sup>3</sup>/año de agua cuya calidad es sistemáticamente degradada, bien por los vertidos directos al cauce de la industria emplazada en el cuaternario, bien a través de los vertidos de residuos sobre la superficie del acuífero. Aunque se están dando los pasos para acabar con la primera actuación, se corre el riesgo de ignorar la segunda, con lo que el problema sigue planteado con las mismas dimensiones.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestra gratitud a los geólogos Menchu Crespo, quién recopiló en su día gran parte de los datos tratados en este estudio, y Agustín Larrea, por su colaboración en la determinación de la geometría del acuífero. Así mismo, agradecemos a la U.P.V./E.H.U. la financiación de este estudio mediante el Proyecto de Investigación 121.310-5/87.

## REFERENCIAS

- ARRIZABALAGA, I. (1986).- Contribución al estudio hidrogeológico de los materiales cuaternarios de Gernika y Durango. Tesis de Licenciatura. U.P.V./E.H.U.
- B.O.E. (1982).- Reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público. nº. 154.
- CASTANY, G. (1971).- Tratado práctico de las aguas subterráneas. Ed. Omega. Barcelona.
- CASTANY, G. (1985).- Liaisons hydrauliques entre les aquifères et les cours d'eau. *Stygologia* 1, pp. 1-25.
- CHAUVE, P.; MANIA, J.; MIGNOT, C.; RECOULES, A.; REMY, F.; TRUCHE, C. (1986).- Paramètres physico-chimiques, lithologiques et hydrologiques influençant l'évolution dans le temps des teneurs en Fe et Mn. Critique des résultats obtenus sur des champs expérimentaux de la plaine alluviale de la Saone (Franche-Comté). *Journal of Hydrology*, 86, pp. 367-390.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. (1976).- Hidrología subterránea. Vol. I y II. Barcelona.
- FEUILLE, P.; PASCAL, A.; RAT, P. (1983).- Le système deltaïque de Valmasèda (Albien supérieur-Cénomanién inférieur. In *Vue sur le Crétacé basco-cantabrique et Nord-Iberique. Une marge et son arrière pays, ses environnements sédimentaires. Mém. Géol. Univ. Dijon*, Vol. 9, pp. 117-122.
- MATHEY, B. (1986).- Les flyschs Crétacé supérieur de Pyrénées basques. Age, anatomie, origine du matériel, milieu de dépôt et relations avec l'ouverture du Golfe de Gascogne. These. Univ. de Bourgogne.
- MOORE, J.; RAMAMOORTHY, S. (1984a).- Heavy metals in natural waters. Applied monitoring and impact assessment. Ed. Springer-Verlag.
- MOORE, J.W. y RAMAMOORTHY, S. (1984b).- Organic Chemicals in Natural Waters. Applied monitoring and impact assessment. Ed. Springer Verlag, Berlin. 289 pp.
- PUJALTE, V. (1977).- El Complejo Purbeck-Weald de Santander: Estratigrafía y sedimentología. Tesis Doctoral. U.P.V.
- RAT, P. (1959).- Les pays crétacés basco-cantabriques (Espagne). Pub. de l'Université de Dijon, XVIII. Presses Universitaires de France.
- URA (1981).- Día Mundial del Medio Ambiente. Gobierno Vasco. Departamento de Política Territorial y Obras Públicas.