KARAITZA

NÚMERO 7

UNIÓN DE ESPELEÓLOGOS VASCOS
EUSKAL ESPELEOLOGOEN ELKARGOA
UNION DE SPELEOLOGUES BASQUES

Donostia - S. Sebastián
1998

Sistema Arriluxe (Karst de Abodi-Berrendi).

UNION DE ESPELEOLOGOS VASCOS.
EUSKAL ESPELEOLOGOEN ELKARGOA.
UNION DE SPELEOLOGUES BASQUES.

Paseo Mikeletegi, 67 - Torre de Arbide
Apdo. 563
20080 Donostia - San Sebastián.
Spain.
uev@mail.sendanet.es

JUNTA DIRECTIVA

PRESIDENTE:	**Félix ALANGUA**
VICEPRESIDENTE:	**David DIEZ THALE**
SECRETARIO:	**Román MUÑOZ**
TESORERO:	**Koldo SANSINENEA**
VOCAL POR ARABA:	**Javier CUADRADO**
VOCAL POR BIZKAIA:	**Iñaki LATASA**
VOCAL POR GIPUZKOA:	**Peio ZABALETA**
VOCAL POR NAFARROA:	**Jokin ORCE**

Número de Inscripción en el Registro de Asociaciones del Gobierno Vasco: Sección Primera, G/204/86.

La revista KARAITZA se publica anualmente por miembros de Euskal Espeleologoen Elkargoa - Unión de Espeleólogos Vascos en Donostia - San Sebastián (Gipuzkoa). Es una publicación que está abierta a todo trabajo de interés espeleológico, particularmente a aquellos referidos al karst del País Vasco.

La Comisión Editora de Karaitza está integrada por: José Javier Maeztu (Director), Cándido García, Jesús Mª Lz. de Ipiña, Félix Alangua, Carlos Eraña, Txomin Ugalde y Román Muñoz.

Todos los originales y correspondencia deben ser enviados a: Comisión Editora Karaitza. Grupo Espeleológico Alavés. Apartado Correos 21. 01080 Vitoria-Gasteiz. Spain. Para la redacción de originales se seguirán las pautas expuestas en «Instrucciones a los Autores», que aparecen en la contracarátula de este número, preferiblemente en disquete sistema Macintosh (Word) o PC (Word - Word Perfect).

La Comisión Editora de Karaitza no se hace responsable de las ideas y opiniones desarrolladas por los autores en los artículos que son de su exclusiva responsabilidad.

Los grupos de Espeleología que integran EEE-UEV han contado para su funcionamiento con la colaboración de los Departamentos de Cultura y Deportes de las Diputaciones Forales de Alava, Guipúzcoa, Vizcaya, del Departamento de Obras Públicas, Transporte y Comunicaciones del Gobierno de Navarra y del Departamento de Cultura del Gobierno Vasco.

Fotografía de Portada: Sistema de Arriluxe (Karst de Abodi-Berrendi) Foto:Koldo Aranguren (GES)
Maquetación: PRN Sistemas, S.L. - Valladolid, 20 - Vitoria-Gasteiz
Impresión: Evagraf, S. Coop. Ltda. - Alibarra, 64 - Vitoria-Gasteiz
Depósito Legal: SS-110/92
ISSN: 1133-5505

BERRENDIPEA Y EL KARST DE ABODI-BERRENDI
ÚLTIMAS INVESTIGACIONES ESPELEOLÓGICAS

Arturo HERMOSO DE MENDOZA, Pedro Mª MARTINEZ JUANGO, Victor ABENDAÑO y Oskar ARENAZA.
SATORRAK ESPELEOLOGI TALDEA (GES)
Descalzos 37 bajo bis 31001 Iruñea- Nafarroa

(Recibido en Mayo de 1998)

RESUMEN

Este pretende ser el resumen de los estudios realizados hasta ahora por el G.E. Satorrak (Iruña) en el macizo de Abodi-Berrendi; aunque sin ignorar los trabajos que han llevado a cabo otros grupos, sobre todo de Iparralde. Será una manera de dar a conocer la gran riqueza espeleológica que encierra y que a pesar de intuirse desde antaño ha sido descubierta en la última década y hasta ahora nunca se ha publicado. Se citan una serie de aspectos geográficos, geológicos e hidrológicos relacionados con el karst, así como una descripción y topografía de las cavidades más interesantes que se pueden encontrar en el macizo.

LABURPENA

Lan honek Abodi-Berrendi izeneko multzo karstikoan Satorrrak taldeak egindako ikerketen laburpena izan nahi du. Satorraken lanaz gain, Iparraldeko beste talde batzuren lana ere aipatzen du. Zonalde honek duen aberastasun espeleologikoa aspaldiko susmatu bazen ere, hamarkada honetara arte ez da ikertua eta argitaratua izan. Lanean karstaren ezaugarri geografiko, geologiko eta hidrogeologiko zenbait azaldu ondoren, aurkitutako leize eta harpe interesgarrienen deskipzioa eta topografia argitaratzen dira.

ABSTRACT

This article summarizes the studies that have been made to date by the Satorrak team in the Abodi-Berrendi massif, without forgetting the efforts of other teams, mainly from Iparralde. The objective is to make this magnificent speleological treasure known; although its existence had been known of for years, it was not discovered until the last decade and nothing has been published in this respect until now. A number of geographical, geological and hydrological aspects are referred to in relation to the karst, and a detailed description and topographic definition is offered for the most significant caverns that are contained in the massif.

INTRODUCCIÓN

El macizo de Abodi-Berrendi, a pesar de su importante mole calcárea y de las referencias de algunas simas conocidas en la zona, no ha sido objeto de estudio exhaustivo hasta finales de la década de los 80 cuando grupos de Iparralde exploraron y topografiaron algunas de las cavidades más conocidas. El nacedero de Berrendipea, las Hermanas Elukiate y otras simas empezaban a dar una idea del potencial del macizo. Posteriormente y ya en los 90 el G. E. Satorrak se tomó como objetivo su prospección sistemática, así como el estudio del funcionamiento kárstico del nacedero de Berrendipea.

El estudio de las aguas subterráneas de Navarra, realizado hace más de 10 años, delimita una serie de zonas con importante capacidad de absorción y almacenamiento. Una de ellas es la denominada Pamplona-Ochagavia; dentro de ella se incluye el macizo de Abodi-Berrendi. En efecto, sobre el río Irati en su orilla izquierda, aguas arriba de Orbaiceta y tras recorrer dos kilómetros desde la mole rocosa de Berrendi, se encuentra un importante nacedero enclavado en calizas del Paleoceno.

El área de captación, cavidades existentes, circulación de agua, etc. han sido los objetivos de nuestro estudio. Teníamos conocimiento de su potencial a partir de datos aportados por el servicio de espeleología de la Diputación Foral de Navarra, por espeleólogos de Iparrralde del Comité Departamental número 64., espe-

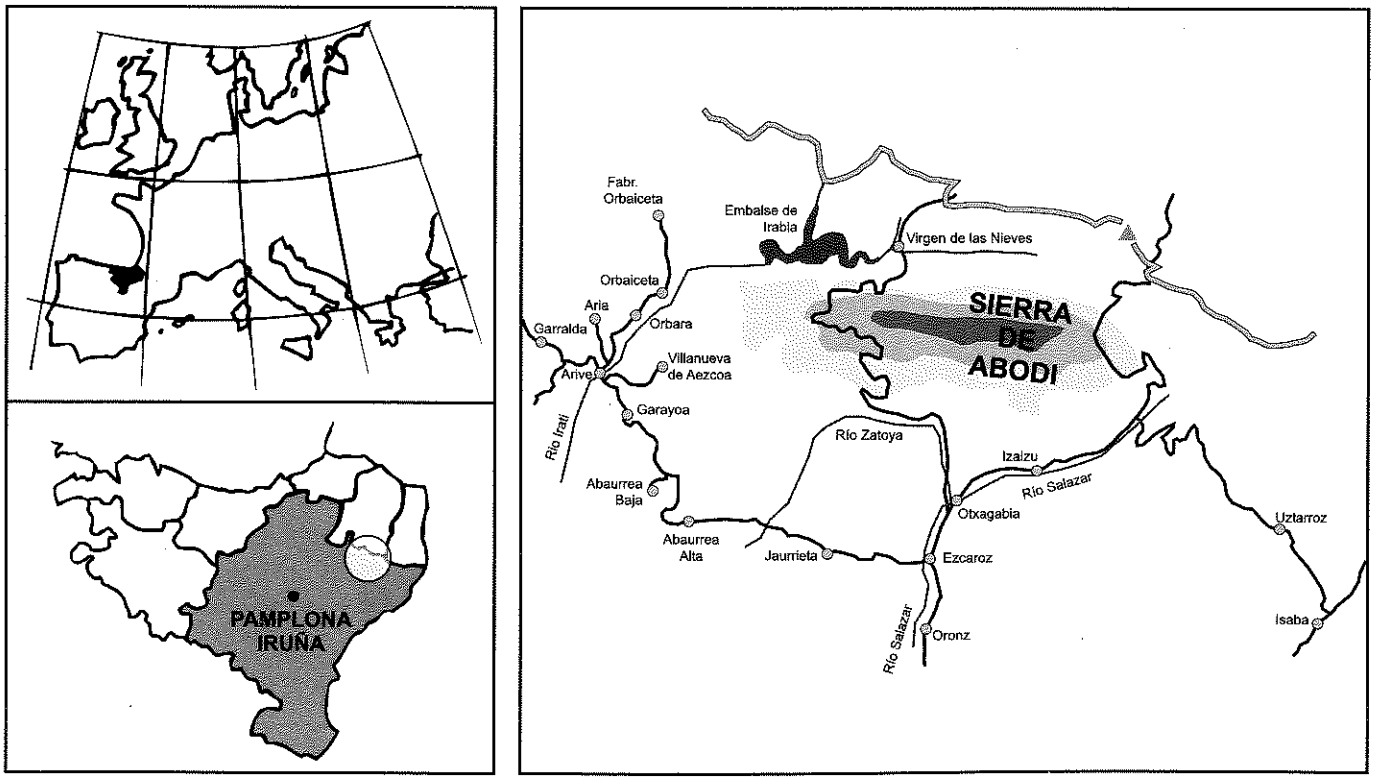


Figura 1.- Situación geográfica de la Sierra de Abodi

cialmente Gilles Parent y otros que obraban en nuestro poder de anteriores visitas a la zona. El estudio espeleológico realizado en 1992 en las inmediaciones de Berrendi denotó que la cuenca de captación era más grande de lo sospechado y habría que buscar en Abodi más datos sobre su funcionamiento. La cavidad más importante descubierta fue Beitzagien Askaldea, un importante sumidero de más de 1 km de desarrollo en clara relación con el nacedero.

Todo ello hacía interesante la realización de prospecciones en la zona de Abodi. Por otro lado las estrechas relaciones llevadas con pastores y habitantes del lugar nos permitieron explorar cavidades que hasta ahora sólo ellos conocían. Posteriormente se han realizado campañas en zonas como Arburuas y Arrobegia, localizándose importantes cavidades como sumideros y simas verticales superiores a los 100 metros. Han quedado para el futuro algunas incógnitas y desobstrucciones en el macizo, así como algunas zonas para prospectar; sin embargo será la coloración y realización de muestreos en el nacedero de Berrendipea la labor más importante a realizar. Ella nos permitirá corroborar nuestras hipótesis y aportar datos más precisos sobre el funcionamiento y características de este sistema kárstico.

CONTEXTO GEOGRAFICO

La Sierra de Abodi-Berrendi, con una extensión de 50 km^2, es una de las más importantes de la Navarra prepirenaica. Se presenta como una larga y alta loma redondeada, tendida de E a W y al N de Aezkoa y Zaraitzu y que separa estos valles de los bosques de Irati. Se extiende desde la alta llanura de Burguete hasta Pikatua (Salazar) sobre una longitud aproximada de 18 a 20 km. entre el río Urtxuria y el Irati al N y un piedemonte suavemente ondulado de 1000-1200 m. de altitud principalmente recorrido por el río Zatoia al S.

Situada a una distancia de 90 km. de Iruñea, al pie de ella encontramos pueblos tan conocidos como Orbaizta, Otsagi, Herriberri o Izaltzu. Las rutas de acceso más utilizadas son desde Zaraitzu, a través del puerto de Abodi tomando la carretera que desde Otsagi conduce a Virgen de las Nieves o desde Aezkoa, a través de las pistas que desde Herriberri y Orbaizta conducen a Berrendi y la Selva de Irati.

Es una sierra calcárea (calizas paleocenas) asimétrica en sentido N-S plegada y fracturada, con escarpadura más pronunciada y hasta espectacular en algunos tramos de la vertiente meridional, jalonada por una falla E-W. Consta de una cornisa calcárea dominante y un suave talud recubierto de gelifractos.

Esto resulta patente en el sector W de la sierra entre Berrendi y la carretera de Irati. El desnivel es del orden de los 300-350 m. Formada por el flysh terciario, alcanza la cota de 1.520 m. y se alarga hacia el W para unirse con la de Berrendi que corta en picado el valle de Aezkoa. Sigue la dirección pirenaica y culmina en el vértice de Abodi cercano a su terminación oriental. Se trata de un claro sinclinal donde sus máximas alturas las tenemos en el cresterío del macizo por su parte central, Abodi (1537 m.), Idorroquia (1492 m.) y Goñiburu (1464 m.). Otras alturas destacables son: Berrendi (1354 m.), Auztarri (1412 m.), Arrizabala (1469 m.) y Gaztambidea (1455 m.) esta última ya muy cerca del Ori.

Climatología

Desde el punto de vista climático, la zona de Salazar-Aezkoa constituye un área de transición entre las características subatlánticas, que dominan en el NW, y las submediterráneas, propias del SE.

Mientras las cabeceras de los valles, especialmente las orientales, ofrecen ya aspectos subalpinos. De este modo la sierra de Abodi-Berrendi constituye una auténtica frontera bio-climática.

La altitud , orientación , y forma de los valles, explican las variaciones térmico-pluviométricas de la zona. A grandes rasgos,

Campas de Arrondoportillo (Paso Tapla). Al fondo la Borda de Arriluxe. Foto GES.

al W, el clima es de tipo oceánico con tendencia al subalpino originado por la altura. En concreto la zona visitada no se encuentra a barlovento de los vientos húmedos del NW-W, por lo que su humedad se diferencia de los montes que forman la divisoria al N y W del valle.

En la sierra de Abodi la influencia de la altitud se hace notar en sus inviernos fríos, en los que el número de días con heladas en cotas cercanas a los 1400 m. supera los 100 al año (entre los meses de septiembre y mayo). La temperatura media es de 10°C en las zonas bajas y de 8°C en las más altas y expuestas. Siendo la temperatura media del mes más frio de 0°C y la media más cálida de 21°C.

La pluviosidad se encuentra entre 1400-1600 mm. Los días de lluvia y nieve rondan los 120 al año. Las evaporación potencial ronda los 600 l/m^2, representando la evaporación de los meses de verano entre un 52-56% del total anual. El clima en la clasificación de Thornthwaite aparece como A Bi rb'3, esto es, perhúmedo con evaporación baja, concentrada en los meses de verano y superávit de agua durante todo el año.

Vegetación y actividad humana

La vertiente N de la Sierra está dominada por el imponente hayedo-abetal de Irati, el mayor de Europa, aunque existen otras unidades importantes como el bosque de Gibelea con ejemplares de considerable porte. Por su parte S encontramos otras masas forestales como el Bosque de Zubías cuya madera es aprovechada por los habitantes de Otsagi.

Actualmente el aspecto de la Sierra de Abodi no dista mucho del que ofrecía antaño, cuando empezó a eliminarse el arbolado con el fin de convertirla en pastizal. El bosque original se ha conservado en las zonas más agrestes coincidiendo con el afloramiento del escarpe calizo. Robles y hayas cubren zonas próximas donde aflora la roca con ejemplares de buen porte (buen ejemplo es la cantera de Gibelea). Las áreas lenarizadas cuentan con robles y hayas jóvenes, espinos, boj, avellanos, pino silvestre y otras especies arbustivas como el tejo y el serval crecen de forma exuberante dificultando enormemente la prospección pero proporcionando bellos paisajes casi selváticos.

Los prados y tierras de labor (patata), ocupan los terrenos impermeables; esto es, la ladera sur de Berrendi y Abodi y en algunas zonas altas donde predominan las txabolas y bordas, tanto para la explotación de la ganadería (principalmente vacuno) como para la agricultura. En el verano es muy característico observar los grandes rebaños de ovejas que han trashumado desde la Bardena para aprovechar los ricos pastos de verano. El contacto con estos pastores que conocen la sierra desde siempre ha sido para nosotros enormemente valioso.

MARCO GEOLOGICO

Desde el punto de vista geológico y basándonos en la hoja geológica realizada de Otxagabia 1: 50.000 (I.G.M, 1.978); se trata de una serie de depósitos, preferentemente del Cretácico Superior, Paleoceno y Eoceno, los cuales han sufrido importantes esfuerzos orogénicos y procesos denudativos.

Litológicamente observamos:

1. Arcillas Calcáreas del Cretácico Superior del Maastrichtiense en la base.

Estos materiales separan claramente las zonas permeables de las impermeables, claro ejemplo lo tenemos en los nacederos de Kakolla y de Berrendipea. Forman el límite inferior del conjunto. Se encuentra formando un cierre por el sur y W de la sierra de Abodi y su extremo occidental, Berrendi. Posee una potencia, superior a los 200 m. Aparecen subyacentes a otros conjuntos kársticos ya explorados por nosotros como Garralda, Abaurrea, Hiriberri. Sobre ellas encontramos;

2. Calizas Paleocenas (Daniense-Montiense).

Calizas microcristalinas de color gris. Presentan una potencia en torno a los 200-250 m. (corregimos el espesor citado en trabajos anteriores, después de los descubrimientos espeleológicos). En esta formación se desarrolla parte del karst, ocupando zonas considerables, pero no en el eje del sinclinal. Forman relieves importantes, algunas veces abruptos (paredes de Berrendi, borde S de Abodi) al producirse la erosión selectiva de las margas del Cretácico Superior. Las encontramos en zonas altas de Berrendi, Arrobegia, Arburúas o Irati.

3. Margas del Paleoceno.

Materiales formados por la alternancia de arcillas calcáreas y calizas arcillosas grises. No alcanzan gran potencia y se encuentran sobre las anteriores formando parte del núcleo del sinclinal. No ocupan gran extensión, prolongándose al Este donde se pierden bajo el flysch Eoceno pirenaico. La transición con la capa anterior es gradual y algunas cavidades como la primera parte de Arriluxe y Artaxiozulo aprovechan la existencia de calizas para

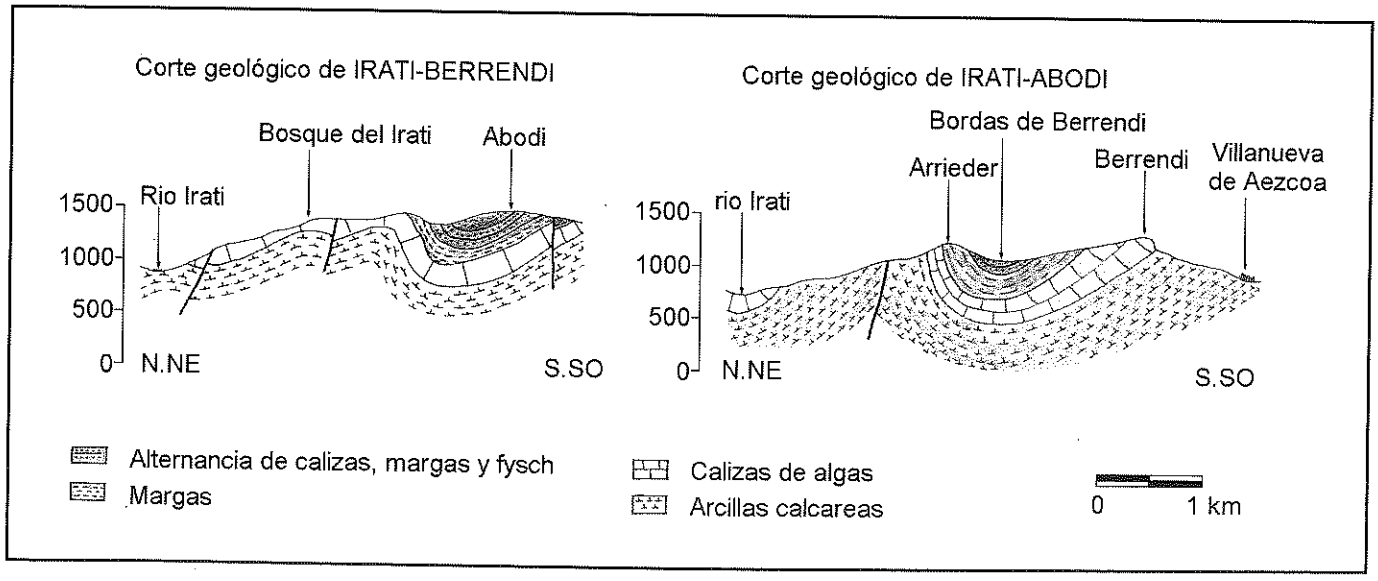


Figura 2.- Corte geológico

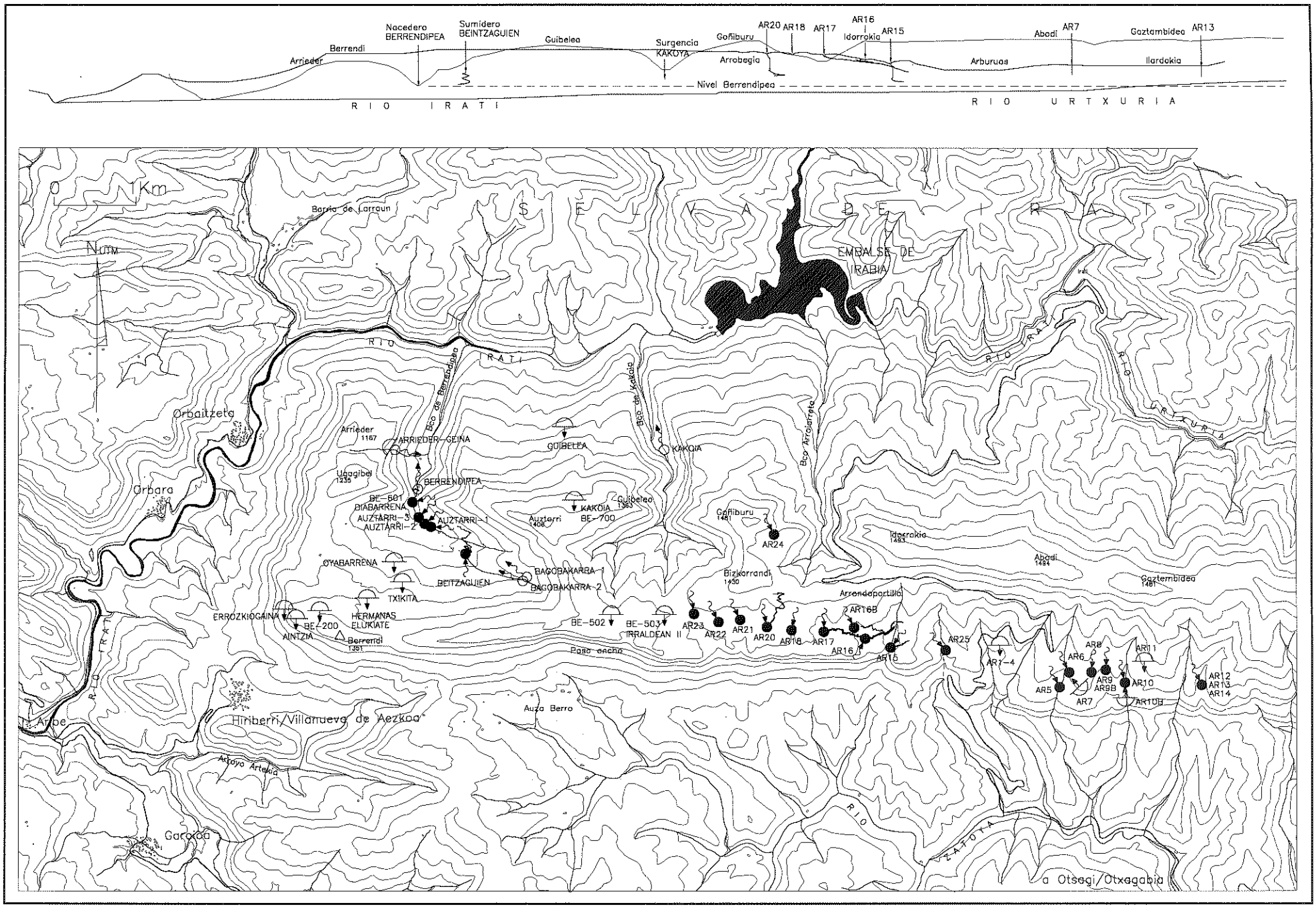


Figura 3.- Plano de situación de las principales cavidades.

conducir las aguas coincidentes con el contacto de las calizas formando meandros de desarrollo horizontal con techos plano sin llegar al paquete calizo.

4. Alternancia de Calizas, Margas y Flysch (Eoceno Inferior).

Materiales formados por la alternancia de calizas, margas, areniscas, areniscas calcáreas y arcillas grises (flysch). Ocupan el núcleo del sinclinal (eje) prolongándose de W-E, desde las laderas del monte Buztinzuri hasta la sierra de Abodi.

Estos materiales desarrollan un grosor de 150-200 m. ocupando laderas de pastos de la zona superior de la sierra.

5. Cuenca flysch del Eoceno Pirenaico.

Extraordinaria cuenca de materiales turbidíticos con una potencia que llegan a alcanzar los 3.000m. formando el cierre S y E del conjunto.

Estructuralmente estos materiales forman una serie de pliegues con W-E de gran longitud, que forman sinclinales y anticlinales y que se han visto influenciados por la formación de los macizos de Kintoa, Alduides y el domo de Oroz Betelu.

Geología estructural

Observamos un gran sinclinal, núcleo de sistema, con la alineación siguiente: desde el Valle de Aezkoa y en las cercanías de Orbara, éste se prolonga al E hacia Abodi en donde, una vez atravesado el macizo de Berrendi, se convierte en un sinclinal tumbado (ya en la sierra de Abodi), para finalizar en un sinclinal normal al N de Izaltzu. Parece probable que la zona se ha deformado por la posible acción de la fase orogénica de Monte Perdido o más seguro por la de Gabarnie, con la formación de los pliegues de dirección W-E. También se ha visto influenciada por el afloramiento del domo de Oroz Betelu, que hizo que los niveles inferiores al flish eocénico se acercaran a la superficie topográfica y tomaran las capas calizas importancia creciente.

Se trata de un sinclinal disimétrico con su alpe sur con un buzamiento inferior a los 30° y su alpe norte con un buzamiento alrededor de los 60°, que pasa a ser volcado en la zona próxima al paso de Tapla (carretera a Selva Irati). Por la parte norte se encuentra un anticlinal, también disimétrico, cuyo alpe norte desciende suavemente hacia el río Irati. El eje de éste anticlinal disimétrico pasa por las cumbres de Auztarri, Goñiburu, Idorrokia y Abodi.

Existe una gran falla que comenzando al E de Berrendi se prolonga al W hasta las inmediaciones de la carretera del Orhi. Se trata del límite Sur del sistema y origina la formación de los escarpes de la sierra. Por otro lado y relacionadas con ésta, se encuentran una serie de pequeñas fallas en la zona comprendida por Paso ancho, Sur de Tapla y Arrobegia. La acción de estas fallas origina importantes fenómenos espeleológicos.

Las calizas se encuentran fisuradas con diaclasas que presentan las siguientes direcciones dominantes:

- dirección de eje del plegamiento cercano a W-E.
- dirección perpendicular al eje del plegamiento, SW-NE.

En los sinclinales, las primeras se encuentran cerradas. La fisuración perpendicular próxima a NE-SW es abierta en zonas de Berrendi, Martxate, Gibelea, Paso Ancho, Arrobegia o Artaxio; siendo éstas responsables de la principal captación de agua en la zona . El desarrollo de las cavidades AR-16, AR-25, AR-20, AR-22 son buenos ejemplos de ésta fisuración. Es así mismo muy importante en la captación el papel de los contactos entre materiales de distinta permeabilidad, ya que en ellos se originan pérdidas de volumen importante. En el caso de Arriluxe (AR-17) el agua es conducida durante casi 1´5 km. coincidente con la línea de contacto y recogiendo el agua de otros sumideros AR-15 (Artaxiozulo) y AR-16 (Taplaburu).

No obstante la dirección y buzamiento de los estratos conduce las aguas a Berrendipea, es la fracturación NE-SW la que las conduce al eje del sinclinal. En el caso de Beitzagien Askaldea incluso se llega a rebasar este eje.

HIDROLOGIA

La mayor parte de las aguas que recibe el macizo son tributarias del Irati ya que, pese al elevado régimen pluviométrico de la sierra de Abodi, ésta apenas si aporta algo al caudal del río Zatoia. Esto puede contrastarse en la pequeña estación de aforo situada aguas arriba de Otsagi.

Las características litológicas, estructurales, climáticas y morfológicas del macizo, han dado lugar al asentamiento de un sistema kárstico, en el cual se sumen la mayor parte de las aguas precipitadas tras un mayor o menor recorrido en superficie.

La hipótesis que aunque bastante evidente, debiera ser comprobada mediante coloración, es que éste sistema kárstico drena en su mayoría hacia la surgencia de Berrendipea y por ello al río Irati. Siguiendo las prospeciones y exploraciones del grupo durante estos años y de las de unos años atrás realizadas sobre todo por grupos de Iparralde, en los referido a este tema encontramos de E a W los diferentes fenómenos kársticos:

Naçederos

1. **Nacedero de Berrendipea.**

En la orilla izquierda de Irati a unos 3 km. aguas arriba del pueblo de Orbaitzeta, encontramos una regata de dos kilómetros de recorrido proveniente del nacedero de Berrendipea. Recoge las aguas de todas las calizas del conjunto en donde no se han distinguido otros posibles afloramientos. El desagüe se hace a la cota 900, debajo de un farallón calizo, estimándose en estiaje unos 150 l/s, manando el agua a 15 m. de distancia desde la pared, entre bloques y piedras. Sin embargo en una visita en crecida, éste aportaba un caudal del orden de 4.000 l/s. y surgiendo el agua de la boca de entrada al nacedero, pudiéndose determinar una diferencia de 4 m. de altura respecto a la cota de estiaje. Se trata, en principio, de la surgencia más importante de todo el conjunto estudiado a falta de los esperados datos técnicos de una futura coloración.

2. **Surgencia de Arrieder-geina.**

Localizada en la ladera oriental del monte Arrieder-gorria. Boca impenetrable llegando a secarse en verano. En carga se estima un caudal de hasta 10 l/s. Suponemos que es el desagüe de la zona comprendida entre el Arrieder-gorria y Ugagibel.

3. **Surgencias de Bagobakarra.**

Estas pequeñas fuentes se encuentran situadas en las cercanías del collado denominado "paso ancho" entre los montes Auztarri, Abodi y Berrendi. Tales fuentes llegan a secarse en verano y recogen las aguas del citado collado y de parte de las faldas Sur del Auztarri. En épocas lluviosas llegan a manar un caudal del orden no superior a 15 l/s, siendo estos absorbidos totalmente por el sumidero de Beiztaguien.

4. En épocas lluviosas se conoce la existencia de alguna pequeña fuente sin importancia, cercana a una de las curvas fuertes del puerto que asciende al collado de Tapla. Aproximadamente a la altura del km. 8,5 de la carretera que sube de Otsagi a la virgen de las Nieves. Se calcula un caudal no superior a 15 l/s, vertiendo sus aguas al río Zatoya.

5. Las fuentes y escorrentías detectadas en los barrancos de Arraiarreta y Kakoia por su caudal y altitud no guardan relación con los ríos subterráneos explorados. Estos forman parte del anticlinal N.

En ningún caso existe una surgencia importante que pueda dar explicación al volumen de agua perdida en relación al valle Salazar y tan sólo Berrendipea dispone de caudal suficiente para ser la fuente principal del sistema kárstico estudiado.

Pérdidas.

Distintas corrientes superficiales alimentan el sistema kárstico de Abodi-Berrendi y con los descubrimientos espeleológicos realizados se ha podido desplazar hasta la zona de Ilardokia el límite Oriental supuesto de recarga.. Estos son de Este a Oeste los fenómenos localizados:

Zona de Arburuas

Se han localizado y explorado 8 sumideros en la zona de Arburuas, estimando una recarga al sistema entre 60-100 l /sg. La totalidad de las aguas sumidas proceden de regatas de las faldas Sur del monte Abodi con caudales comprendidos entre 15-20 l/sg. en algunos casos,.

La distancia en linea recta entre el sumidero más alejado y el nacedero es 5 km. Entre los sumideros explorados destacamos, AR-13 con -113 mts y AR-15 con -101 m. de desnivel respectivamente.

Zona de Arrobegia

A caballo en Arburuas y Berrendi, englobamos una amplia zona cercana al puerto de Abodi (Arrondoportillo), en el cual se han estudiado una decena de sumideros importantes, estimando un módulo de absorción total aproximado de 200-250 l/sg. Todos ellos procedentes de las faldas altas de los montes Goñiburu, Idorrokia, así como del mismo puerto de Arrondoportillo. Se trata de la zona más interesante explorada, donde las perdidas estudiadas, con o sin cavernamiento, reflejan nuevamente el potencial hídrico del sistema. Salvo 2 ó 3 sumideros que filtran aguas al Norte, el resto lo hacen de manera sistemática en las regatas de la parte Sur. Citar el sistema de Arriluxe (AR-17), con más de dos kilómetros de desarrollo y -320 mts de profundidad. También la sima de Platzeagabizkar (AR-20), que alcanza -250 mts es un claro ejemplo de la envergadura de los colectores explorados.

Zona de Berrendi

La tercera zona comprendida entre el collado de Paso Ancho y el Monte Ugagibel, abarca una amplia zona situada al W donde incluimos la cima del monte Berrendi y su sierra, así como al monte Auztarri al Norte. Fue la primera zona estudiada , y entre los sumideros localizados el volumen hídrico no llega a los 50 l/s, tratándose de la zona más pobre en cuanto al caudal infiltrado. Entre las perdidas localizadas, el sumidero de Beitzagien es el más importante, siendo su desarrollo cercano al kilómetro. La regata posterior al nacedero de Berrendipea, sume parte de sus aguas a unos 300 mts. de la confluencia con el mismo río Irati. Próximo a éste, un estrato calizo aparece en el nivel freático siendo el causante del descenso de volumen hídrico.

GEOMORFOLOGIA

Exokarst

Por la altura y situación geográfica de la sierra de Abodi-Berrendi (900-1.500 mts.), la zona posee un exokarst muy característico que, tanto la erosión eólica como la abundancia de nieves en épocas invernales han moldeado un paisaje suavizando considerablemente las cimas y promontorios. A todo lo largo de la falda Sur del macizo y de cara al valle Salazar y las Abaurreas es donde encontramos los mayores modelados kársticos.

Lenares o Lapiaces.

Aunque en la mayor parte del conjunto el suelo vegetal cubre las rocas y se desarrolla una comunidad vegetal compleja, hay superficies en las que la roca aparece desnuda, destacando la parte alta del macizo. Concretamente la zona prospectada se trata de una estrecha franja, de dirección E-W, de fuerte lapiaz en tramos. En su parte S, cara al valle, éste forma paredes abruptas de hasta más de 150 m. de desnivel. Ubicados en las laderas de Auztarri, Buztinzuri, Arrieder-geina y puntos del cresterío de Abodi y Berrendi. Algunos son de tipo Roundkarren como los de Arrobegia, otros Klufkarren como Arrondoportillo y el cresterío de Abodi. Presenta todas sus formas como kamenitzas, microformas y acanaladuras y constituye una importante forma de absorción de agua en el macizo.

Dolinas.

No son muy abundantes las dolinas en la zona sur de Abodi-Berrendi, ni llegan a tener las dimensiones vistas en Aralar o Larra. No obstante se encuentran algunas de tamaño considerable y hasta 15 m. de profundidad. Estas se encuentran siguiendo las líneas de rotura y contacto más importantes, alternadas con fuerte vegetación y lapiaz.

En Arrobegia existen neveros, pozos de nieve (Collignon B. 1988) de gran tamaño que se forman en una gran dolina en el contacto de materiales. Estos conservan nieve durante buena parte del año. Existen otras dolinas formadas por la infiltración de las regatas como pueden ser las entradas de AR-16 y AR-20, y grandes depresiones originadas en la zona lenarizada salpicada de fuerte vegetación.

En Berrendi se han observado dolinas de colapso o hundimiento de hasta 50 m. de diámetro en las zonas de Arrieder-geina, Buztinzuri y Ugagibel.

Cañones.

La acción erosiva de las aguas superficiales recogidas fuera del karst no han llegado a tallar en las calizas cañones propiamente dichos. Si acaso comentar el barranco formado por la AR-25 (Iluntxetabizkar) donde las aguas en fuertes crecidas, colmatan el sumidero y saltan vertiente abajo llegando a modelar la roca pero sin profundizar en demasía.

Valles cerrados.

La mayor parte de ellos no alcanzan a llegar al Rio Zatoya, ya que después de discurrir por terrenos margosos encuentran la barra de calizas y se infiltran en la zona de contacto. Existen claros ejemplos en las zonas de Arrobegia, como los que conforman las regatas de Arriluxe y Platzeagabizkar. Su formación es más compleja debido a zonas de diferentes debilidades estructurales, con o sin circulación de agua.

ENDOKARST.

La especificidad de las calizas no termina en el exterior, aunque en la zona visitada las formas exokársticas no sean muy vistosas. En nuestro caso hemos podido encontrar sumideros y simas, teniendo que concurrir estas condiciones. Buen ejemplo de ello es toda la zona de Arrobegia.

Existencia de circulación de agua importante. La existencia de grandes formas de alimentación está condicionadas, a que estas sean final de valles cerrados o ciegos, en donde las aguas procedentes de estratos arcillosos y margosos dan oportunidades de crecimiento a los conductos subterráneos, como los sumideros.

En las formas endokársticas tenemos:

Simas.

Con forma de huso en su mayoría, son de longitud dispar desde menos de 10 m. a más de 140 m. de desnivel. Presentan signos de

Galería Principal del Sistema de Arriluxe (Foto GES)

corrosión química en forma de acanaladuras o tubos de órgano. Otros aprovechan la circulación de agua para proseguir por meandros y galerías siguiendo planos de estratificación como la sima de Platzeagabizkar.

Es una característica importante la situación de la cavidad para formar simas. Así se han formando imponentes pozos muertos en la zona de Arburúas, como los de Aixko e Ilardokia, ambos con -115 m. Sin embargo en la sima de Arriluxe las aguas recorren horizontalmente el contacto en un recorrido de más de un kilómetro hasta que encuentran la caliza y la perforan con un enorme pozo de -140 m. llamado de Iluntxeta.

Las medidas tanto en anchura como en altura son muy diversas, aunque la segunda domina sobre la primera. Suelen ser amplios y son abundantes los de forma cilíndrica o elipsoidal. Sin embargo abundan los pozos limpios y perfectamente verticales.

Existen simas en Berrendi que poseen lagos interiores de considerables dimensiones, como la sima Be-200, simas Elukiate, etc, de régimen vadoso. Algunas de éstas cavidades se encuentran catalogadas (catalogo espeleológico de Navarra).

Sumideros.

De E a W de toda la falda sur de Abodi así como en zonas de Berrendi y Auztarri, se extienden una serie de barrancos que conducen el agua de escorrentía. Se han descubierto y explorado varias pérdidas de agua (sumideros) con resultados diversos, espeleológicamente hablando. Ya se han enumerado anteriormente en el apartado de Hidrología.

Depósitos.

Diversos depósitos pueden encontrarse en las cavidades visitadas, siendo los autóctonos los más frecuentes. Entre estos, los bloques caídos del techo y las paredes, que son la mayoría de tamaño desigual, con predominio de los de gran tamaño, de aristas vivas, limpios (con recubrimiento de arcillas). Estos cubren los fondos de salas, pozos y meandros en algún caso hasta obstruirlos. En los lugares con circulación de agua existen cantos rodados de pequeño y mediano tamaño, arenas y limos que contienen restos de vegetales, ramas e incluso huesecillos. Tal es el caso de los sumideros de Arriluxe (AR-17) y Platzeagabizkar (AR-18 y AR-20).

Los depósitos químicos son muy abundantes, concretamente en el sumidero de Arriluxe. Aparecen desde la sala inicial hasta lo más profundo de la citada galería, suelen ser ejemplares de estalactitas de caudal o macarrones y estalagmitas de consideración. Quizás las coladas recubriendo paredes e incluso suelos, son los espeleotemas más a tener en cuenta, formando en tramos del recorrido vistosos conjuntos que llegan incluso a obstruir el meandro. En esta cavidad y debido a techos planos es típico encontrar "cortinas de colada" a favor de la fisuración.

En el sumidero de Platzeagabizkar (AR-20), en la galería inferior, encontramos preciosos procesos de reconstrucción en las coladas de suelo. Por ello en las zonas de escaso desnivel, los procesos de reconstrucción químicos favorecidos por la continua infiltración rápida del agua tienen gran importancia.

Basuras.

Por ser zona de uso agrícola y ganadero se encuentran restos de animales con relativa facilidad. También es fácil ver plásticos y frascos de productos químicos empleados para animales y depósitos de plaguicidas. El caso más notorio es la sima AR-7, próxima a una pista, que por su situación recoge basuras vertidas desde la misma. Se tiene constancia de una caída masiva de ganado ovino, unas 120 cabezas, a la cavidad AR-20 (Platzeagabizkar) en Agosto del presente año (1.998) con las posteriores consecuencias de putrefacción y emisión de nitritos contaminan-

tes. Todavía no se han tomado las medidas necesarias, sobre todo informativas, para concienciar a los ganaderos y usuarios del monte en el serio peligro que estas acciones constituyen para las fuentes de las que ellos mismos son beneficiarios. Asimismo sería muy aconsejable la protección de las cavidades y su señalización. El riesgo de contaminación del nacedero de Berrendipea es muy patente.

GÉNESIS DE CAVIDADES.

En la formación de cavidades se distinguen dos tipos; las abiertas en los contactos de materiales de distinta permeabilidad y los conductos de circulación existentes en las calizas. Las primeras son formas de absorción del karst, recogen las aguas de arroyada de zonas más o menos extensas. Las aguas que discurren por terrenos impermeables se sumen al encontrar terrenos calizos con fisuración. Se encuentran en toda la superficie del karst, algunas actualmente por motivo de desmantelamiento de la cobertura permeable (más deleznable) se encuentran lejos del contacto. La evolución tendría los siguientes pasos: cavidades como AR-16 bis, AR-22, AR-23 y AR-24, sumideros en los cuales las calizas todavía no son visibles, dan paso a otros como AR-25, AR-16, AR-17, AR-18, AR-20, AR-21, muy próximas al contacto, pero ya en la zona de las calizas. Por último otras ya lejos de los terrenos impermeables, en pleno lapiaz como el caso de las simas de AR-18bis, AR-19 y AR-19 bis.

La gran mayoría de los sumideros explorados presentan fuerte circulación de agua. Se observa circulación en el seno de las calizas en los sumideros en las zonas de Arrobegia y Arburúas. Estos se han formado a partir de la ampliación de diaclasas de dirección NE-SW o N-S como ocurre en AR-20 paralelo a los empujes orogénicos. En algunos momentos la circulación aprovecha la fisuración E-W paralela a los pliegues, vista solo en el caso de Arriluxe (AR-17). Para profundizar en las calizas se aprovecha del buzamiento, cortando los paquetes calizos en todo momento.

En Berrendi la evolución ha sido prácticamente la misma: cavidades como S. Autarri-2, sumidero en el cual las calizas todavía no son visibles , dan paso a otras como S. Beitzaguien y S. Auztarri-1 muy próximos al conducto, pero ya con la regata en la zona de influencia. Por último otras ya lejos de los terrenos impermeables como el caso de la sima de Gibelea y la BE-200.

La mayoría presenta forma lenticular en los pozos de acceso, siendo más complejos en caso de proseguir, tal es el caso de Gibelea y la BE-200. Algunas, las referidas a los sumideros explorados presentan circulación de agua, mientras el resto tiene una actividad esporádica, como las simas BE-200 y las hermanas Elukiate.

CAVIDADES MAS IMPORTANTES

BERRENDI

BE-200. Nacedero de Berrendipea.

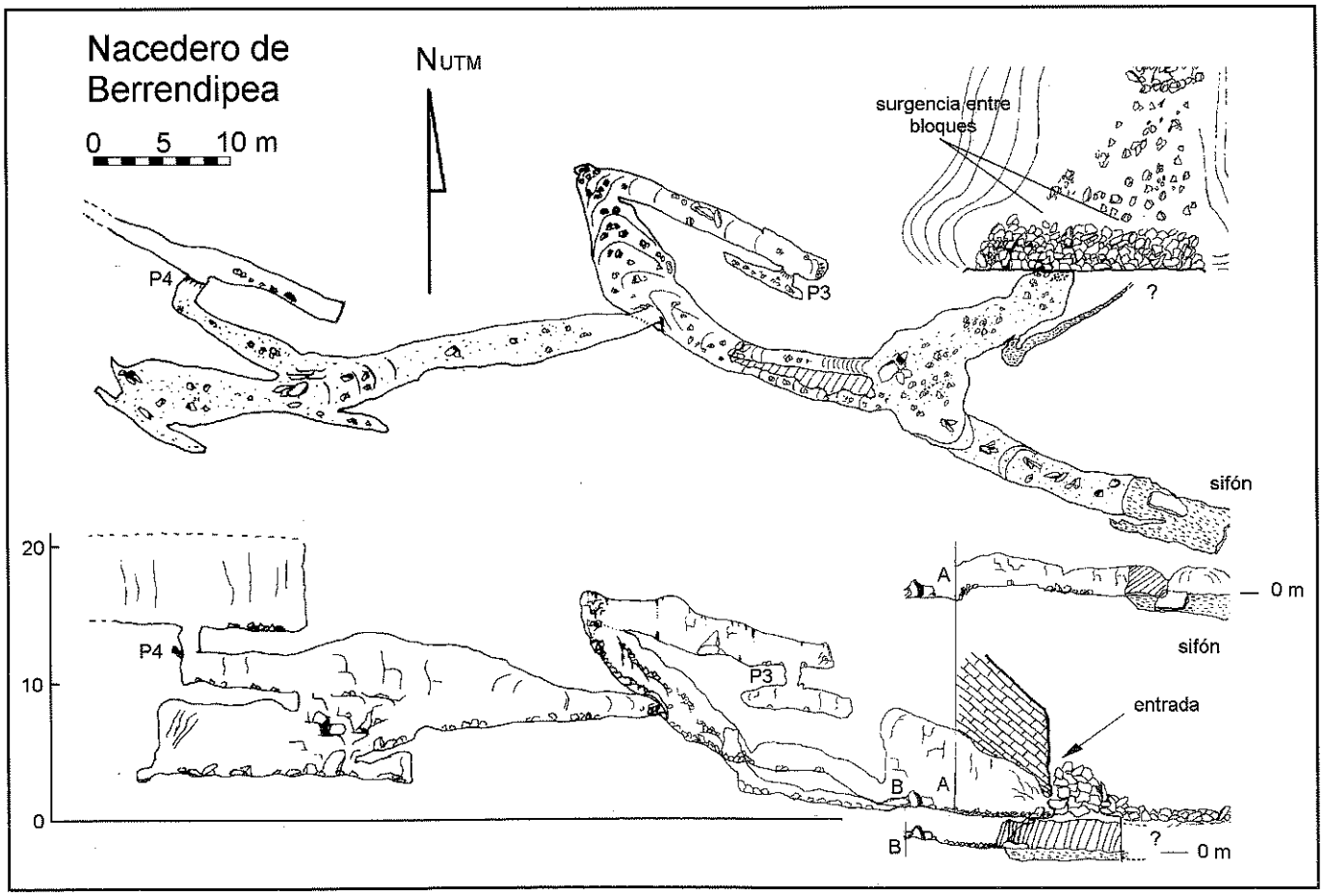
Coordenadas UTM: E 646.640; N 4.759.067

Altitud: 900 m.

Dimensiones: Desarrollo = 135 m; Desnivel = +15 m.

Las aguas surgen al pie de un farallón calizo de 20 m. de anchura teniendo un buzamiento de 50° N-S. Es penetrable por un caos de bloques bastante peligroso al que se accede por su parte más occidental a través de un pequeño destrepe. El paso oprimido de entrada nos da acceso al interior del nacedero, donde primeramente a la izquierda hay una diaclasa sifonante tras un paso bajo, la cual a los 8 mts. se hace impenetrable, y por su dirección sea la causante de las aguas de Berrendipea.

Siguiendo por la galería principal a los 15 m. existe otra bifurcación a su izquierda donde conduce en 30 m. de reco-

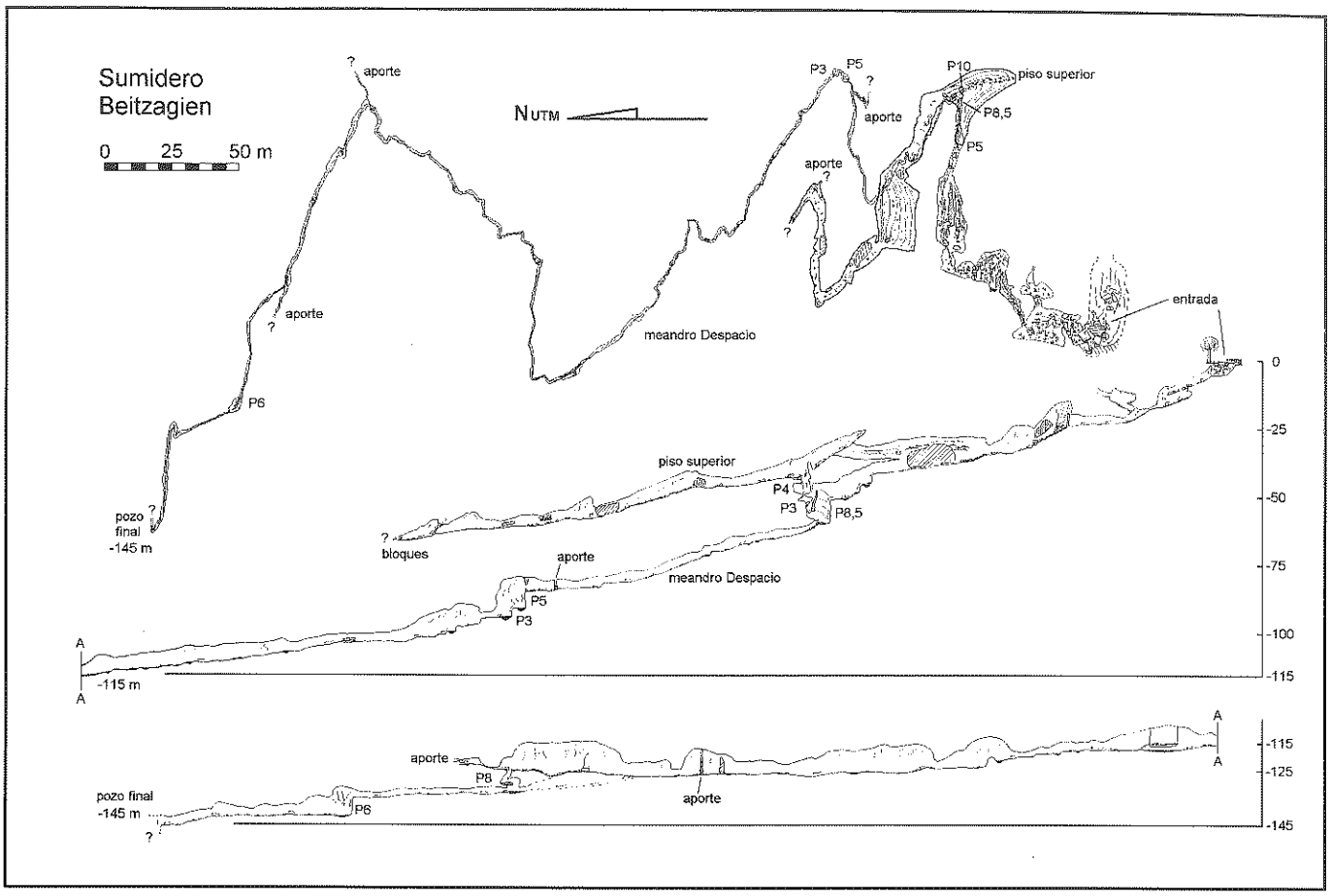


ABODI

NOMBRE	MONTE - ZONA	UTM	PROF.	LONG.	OBSERVACIONES
AR-1	ARBURUAS	X: 653.675 Y: 4.757.005 Z: 1.092	-35 m.	7 m.	Peligro de contaminación. Satorrak 1995.
AR-2	ARBURUAS	X: 653.747 Y: 4.757.030 Z: 1.095	-12 m.	15 m.	Satorrak 1995.
AR-3	ARBURUAS	X: 653.775 Y: 4.757.005 Z: 1.100	-28 m.	9 m.	Satorrak 1995.
AR-4	ARBURUAS	X: 653.770 Y: 4.756.995 Z: 1.099	-59 m.	8 m.	Pozos 45 y 15m. Satorrak 1995.
AR-5	ARROBEGIA Iruiturriko	X: 654.475 Y: 4.756.645 Z: 1.117	-18 m.	45 m.	Gran sumidero localizado en falla. Satorrak 1995.
AR-6	ARROBEGIA	X: 654.593 Y: 4.756.825 Z: 1.154	-4 m.	4 m.	Posible desobstrucción en sumidero. Satorrak 1995.
AR-7 (AIXKOLEZE)	ARROBEGIA Borda Aixko	X: 654.625 Y: 4.756.750 Z: 1.159	-113 m.	6 m.	Gran pozo de 113 m. Vertedero de animales. Localizado en falla. Satorrak 1995
AR-8	ARROBEGIA Bda. Txarandel	X: 654.985 Y: 4.756.918 Z: 1.163	-4 m.	8 m.	Pequeño sumidero. Satorrak 1995.
AR-9	ARROBEGIA	X: 655.040 Y: 4.756.855 Z: 1.142	-14 m.	20 m.	Sumidero. Satorrak 1995.
AR-9bis	ARROBEGIA	X: 655.032 Y: 4.756.840 Z: 1.142	-10 m.	10 m.	Sumidero. Satorrak 1995.
AR-10	ARROBEGIA	X: 655.275 Y: 4.756.700 Z: 1.134	-2 m.	2 m.	Sumidero. Satorrak 1995.
AR-10bis	ARROBEGIA	X: 655.277 Y: 4.756.650 Z: 1.120	-10 m.	8 m.	Grieta. Satorrak 1995.
AR-11	ARROBEGIA	X: 655.512 Y: 4.756.830 Z: 1.189	-15 m.	23 m.	Diaclasa. Satorrak 1995.
AR-12	ILARDOKIA	X: 656.213 Y: 4.756.672 Z: 1.134	-4 m.	7 m.	Sin interés. Satorrak 1995.
AR-13	ILARDOKIA	X: 656.212 Y: 4.756.662 Z: 1.134	-113 m.	233 m.	Gran sala de 700 m² a la que se accede por pozo campaniforme de 113 m. Satorrak 1995.
AR-14	ILARDOKIA	X: 656.212 Y: 4.756.650 Z: 1.134	-22 m.	53 m.	Sumidero perteneciente al conjunto AR-12, AR-13 y AR-14. Satorrak 1995.
AR-15 (ARTAXIOZULO) AR-15bis	ARTAXIO TAPLA	X: 652.405 Y: 4.757.133 Z: 1.169	-101 m.	315 m.	Sumidero con río subterráneo muy peligroso en crecidas. Seco en estiaje. Satorrak 1995.
AR-16	TAPLA TAPLABURU	X: 652.099 Y: 4.757.243 Z: 1.224	-324 m.	2.200 m.	Boca impenetrable del sistema de Arriluxe. Gran diaclasa con posibilidades de desobstrucción. Satorrak 1995.

BERRENDI

NOMBRE	MONTE - ZONA	UTM	PROF.	LONG.	OBSERVACIONES
NACEDERO DE BERRENDIPEA. BE-600	BERRENDIPEA	X: 646.640 Y: 4.759.067 Z: 900	-15 m.	135 m.	Surgencia principal del macizo. Río activo e importante lago. Coord. un poco diferentes en catálogo. V. Dequae Dequae en 1986. Satorrak 1992.
NACEDERO DE BAGOBAKARRA-1	BAGOBAKARRA	X: 647.970 Y: 4.757.995 Z: 1.170			Surgencia. Satorrak 1992.
NACEDERO DE BAGOBAKARRA-2	BAGOBAKARRA	X: 647.920 Y: 4.757.945 Z: 1.162			Surgencia. Satorrak 1992.
NACEDERO DE ARRIEDER-GEINA	ARRIEDER-GEINA	X: 646.355 Y: 4.759.567 Z: 1.023			Surgencia impenetrable. Satorrak 1992.
AR-0. CUEVA DE ARRIEDER-GEINA	ARRIEDER-GEINA	X: 646.312 Y: 4.759.577 Z: 1.048	-3 m.	5 m.	Cueva con estrecho meandro inundado. Satorrak 1992.
SIMA DE GIBELEA	GIBELEA	X: 648.430 Y: 4.759.702 Z: 1.085	-35 m.	50 m.	Pozo de 20 m. de difícil localización. Coord.catálogo diferentes. Satorrak 1992.
SIMA DEL BOSQUE DE BERRENDI. BE-200	BERRENDI	X: 645.440 Y: 4.757.450 Z: 1.280	-55 m.	120 m.	Pozo de 40 m. localizado en dolina. Lago interior de 8x15 m. Explorada por el C.D. 64 en 1990.
SUMIDERO DE BEITZAGUIEN-ASKALDEA. S-1	AUZTARRI BDA. BEITZAGUIEN	X: 647.220 Y: 4.758.277 Z: 1.065	-143 m.	1.100 m.	Sumidero muy estrecho explorado en más de un kilómetro. Peligroso en avenidas. Exploración en curso. Satorrak 1992.
SUMIDERO DE AUZTARRI-1 S-2	AUZTARRI	X: 646.798 Y: 4.758.607 Z: 1.010	-3 m.	3 m.	Sobradero de la regata de Auztarri. Impracticable. Satorrak 1992.
SUMIDERO DE AUZTARRI-2 S-3	AUZTARRI	X: 646.722 Y: 4.758.645 Z: 998	-3 m.	3 m.	Recoge las aguas sobrantes no infiltradas en S1 y S2. Satorrak 1992.
SUMIDERO DE AUZTARRI-3	AUZTARRI	X: 646.648 Y: 4.758.725 Z: 988	-5 m.	5 m.	Estos últimos cuatro sumideros conducen las aguas de la regata Auztarri hasta el nacedero principal. Satorrak 1992.
SUMIDERO DE DIABARRENA	DIABARRENA	X: 646.573 Y: 4.758.910 Z: 966	-3 m.	3 m.	Recoge las aguas de la falda sur del monte Ugaguibel. Posible aporte al caudal de Berrendipea. Impenetrable. Satorrak 1992.
SIMA AINCIA	BERRENDI	X: 645.150 Y: 4.757.350 Z: 1.240			Vertical 50 m.. Lago profundo. 1962
SIMA ARGARINEA	BERRENDI	NO			Diaclasa de 70 m. Sin referencias.
SIMA MOSKERA	BERRENDI	NO			Sin referencias de exploración.
SIMAS HERMANAS ELUKIATE	BERRENDI	X: 646.020 Y: 4.757.600 Z: 1.225			2 verticales de 40 y 60, una conduce a un pequeño embalse a 65 m. 1975.
SIMA BERAGUARRIA	BERRENDI	NO			Sin referencias.
SIMA ERROZKIOGAINA	BERRENDI	X: 645.006 Y: 4.757.467 Z: 1.240			Más de 100 m. prof. 1962.
SIMA OYABARRENA	BERRENDI	X: 646.350 Y: 4.758.050 Z: 1.120	-45 m.		Cavidad situada entre las dos pistas que unen paso ancho con las bordas de Berrendi, entrada de 7x3 m., pozo de 22 y cono de derrubios hasta -45. Visitada por Michel Bouchon en 1954. Topo.
SIMA TXIKITA	OYABARRENEA	X: 646.450 Y: 4.757.800 Z: 1.180			Sin importancia. Erik Dupré 1986.
SIMA IRRALDEAN II	BERRENDI	X: 649.650 Y: 4.757.400 Z: 1.340			Sima situada sobre el borde norte de la primera dolina al SE de Paso ancho, con importante desobstrucción sin resultados por el momento. En exploración por el Camp. de Toussain en 1986.
SIMA DE LA NIEVE. BE 502	BERRENDI	X: 649.000 Y: 4.757.400 Z: 1.360			Dolina de hundimiento sobre diaclasa con nevero permanente y sala rellena de cantos.
BE-503	BERRENDI	X: 649.665 Y: 4.757.400 Z: 1.340			Junto a sima Irraldean. Corriente de aire, desobstrucción a 6 m. y posibilidad de continuar. S. C. de St. Maixent en 1986.
BE-601	BERRENDIPEA	X: 646.600 Y: 4.758.900 Z: 970			Pérdida impenetrable más arriba del nacedero. 1986.
SIMA KAKOIA. BE-700	KAKOIA	X: 648.550 Y: 4.758.800 Z: 1.350	-80 m.		Al este del camino de Autarri al Irati, entrada amplia de 20 por 5, pozo de 48 que da con importante rampa de derrubios hasta -80. M. Bovillón en 1954.
SURGENCIA KAKOIA	KAKOIA	X: 649.650 Y: 4.759.550 Z: 980			En el barranco de kakoia cauce impenetrable.



rrido al sifón. A través de él se puede alcanzar, tras superar algún paso estrecho, un conjunto de varias diaclasas ascendentes y descendentes sin mayor importancia. La galería principal continúa entre coladas y estalactitas girando 180° para terminar en un pequeño pocete y una diaclasa impracticable. En total la cavidad tiene 135 m. topografiados y un desnivel total de +15 m.

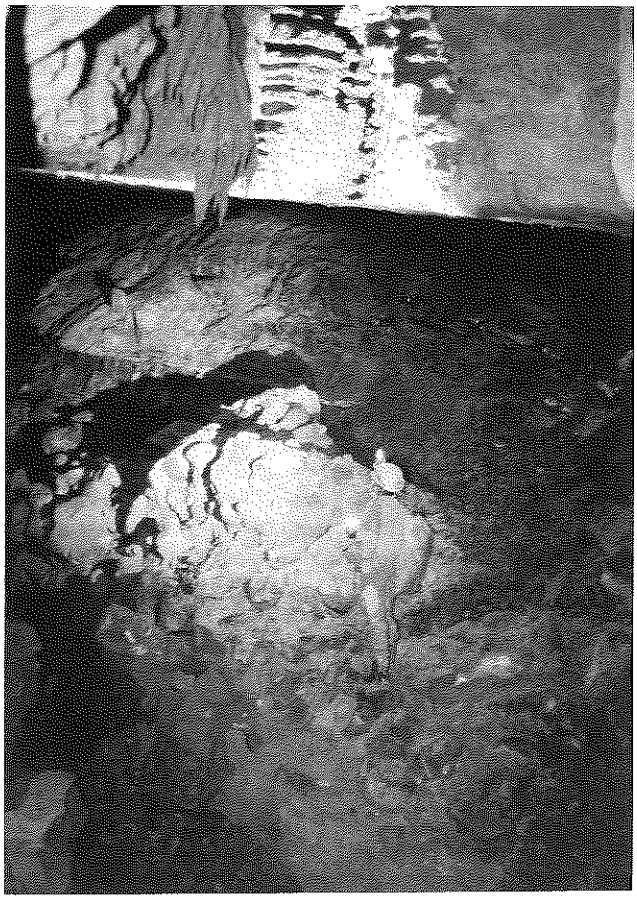
Este nacedero tiene un módulo anual superior a 200 l/s siendo uno de los más importantes dentro de la unidad hidrogeológica de Pamplona-Otsagi (Otxagabia). Se han observado grandes oscilaciones de caudal, llegando a variar el nivel piezométrico cuatro metros.

Sima del bosque de Berrendi. BE-200.

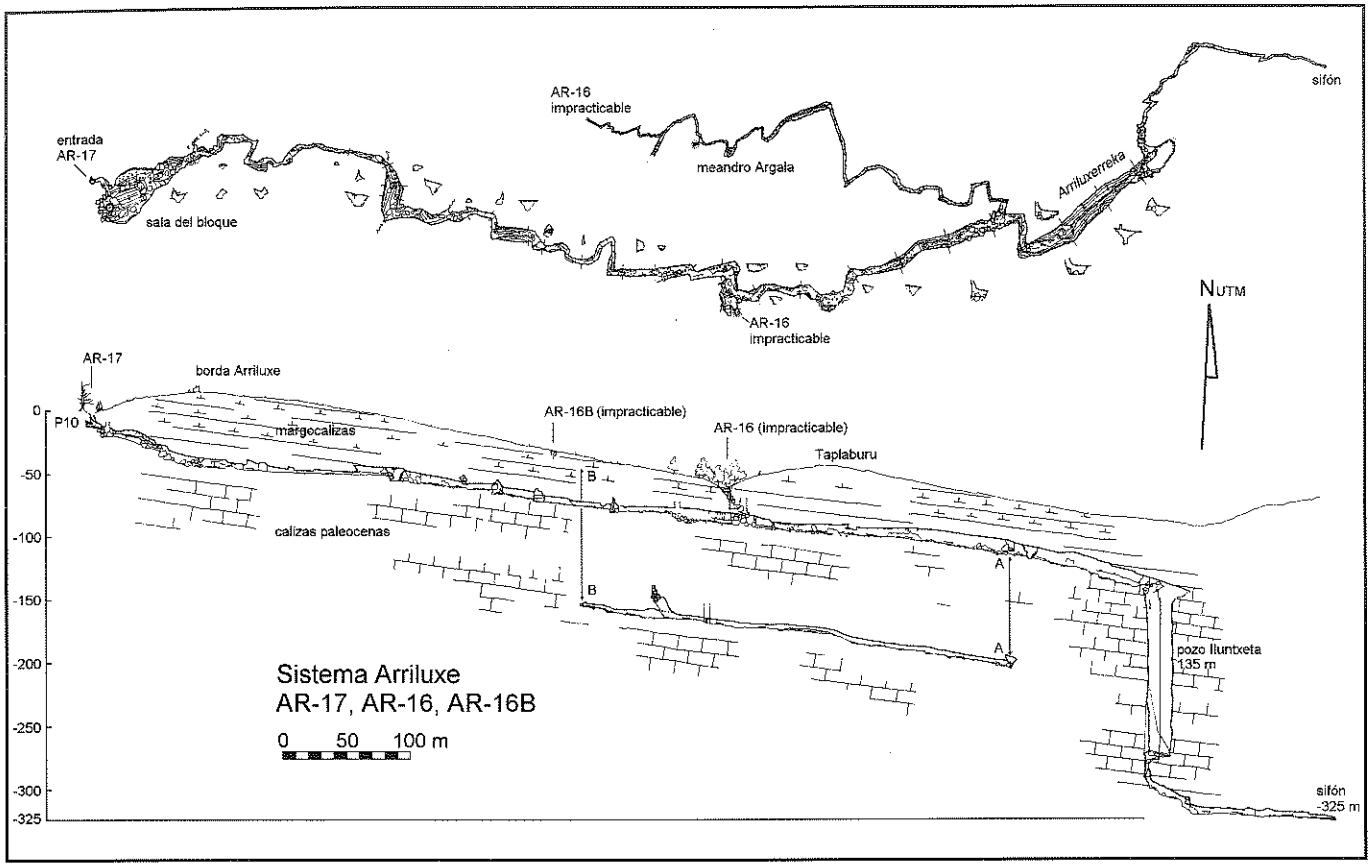
Coordenadas UTM: E 645.440; N 4.757.450
Altitud: 1.280 m.
Dimensiones: Desarrollo=120 m; Desnivel= -55 m.

Próxima a las famosas simas Hermanas Elukiate y adentrada en el bosque, se alcanza una gran dolina, en forma de «L», de 40 m. de largo por 30 m. de ancho en su parte Norte. La boca está marcada con las iniciales BE-200 por el grupo del C.D. 64 en 1990. Primeramente hay un pozo ojibal de 40 m., en cuyo fondo destaca una empinada rampa de depósitos orgánicos, principalmente hojas caídas y acumuladas a lo largo de los otoños. La base de la rampa es la parte más profunda de la cueva. Desde aquí parte una galería con cierta cantidad de bloques desprendidos de las paredes y techo, el cual, adquiere formas planas en la totalidad de la cueva.

Tras ascender por una pequeña rampa se aprecia un lago de 8 m. de anchura por más de 15 m. de longitud sin continuidad. Se trata de nivel colgado y sin ninguna relación hídrica con respecto a los sistemas activos explorados. Este sector de la cavidad presenta abundantes formaciones. Tras un desarrollo de 120 m, la sima alcanza una profundidad de 55 m.



Plano de Buzamiento en el techo. Sistema de Arriluxe. Foto GES



Beitzagien Askaldea

Coordenadas UTM: E 647.220 N 4.758.277

Altitud: 1.065 m.

Dimensiones: Desarrollo=1.100 m; Desnivel= -143 m.

Este sumidero recoge la totalidad del agua del barranco del mismo nombre, siendo uno de los más interesantes del la zonas W del macizo. Su boca está formada por un caos de bloques y una vez traspasado, topamos con una galería detrítica descendente acompañada por el río. Tras una pequeña sala la galería se torna meandriforme y con forma de cañón. Varios resaltes seguidos deparan a un pozo de 8.5 m. donde el río forma una peligrosa cascada. En su base parte un meandro activo de dimensiones bastante reducidas, denominado «meandro despacio». La progresión se hace mas penosa hasta alcanzar una zona más amplia donde se encuentra un paso inferior sifonante. A él se accede mediante un destrepe al río, donde su dificultad es debida al depósito importante de materiales orgánicos (ramas, humus, arcillas, basuras) provinientes de otro sumidero..

Superado el paso sifonante, el meandro toma formas cada vez más angostas. A los 60 m. aparece un resalte de 6 m. que toma una amplitud relativa. El meandro continúa muy estrecho lo que le añade un factor de riesgo ante una eventual avenida de agua. Se ha logrado seguir durante unos 70 m. donde se abandonó la exploración en la cabecera de un estrecho resalte, sin descartar su progresión. El final del meandro termina muy cerca del nacedero, como a medio kilómetro lineal, habiendo apenas 30 m de diferencia de cota entre ambos. Este recoge la totalidad de aguas del barranco, siendo muy peligroso su descenso.

Sistema de Arriluxe. AR-17

Coordenadas UTM: E 651.594 N 4.757.324

Altitud: 1.279 m.

Dimensiones: Desarrollo=2.265 m; Desnivel= -325 m.

Su boca, denominada Arriluxe, se encuentra en las inmediaciones de la borda y dolmen del mismo nombre, próximo al puerto de Abodi. La regata de Arriluxe forma una cuenca cerrada que tiene como único aliviadero un sumidero oculto por la vegetación y al pie de un haya. En el contacto de la regata con la serie de materiales calizos se ha infiltrado el agua originando una dolina de 3x2 m. y un pozo de 7 m. Una vez descendido este resalte la progresión continua por una pequeña galería abierta a favor de una diaclasa que comunica con la «Sala del Buque» a través de un paso estrecho con mucha corriente de aire. Se ha originado una vasta sala de 60x35 m. con bloques de tamaño métrico.

A partir de aquí se avanza por una sucesión de galerías amplias comunicadas por pasos angostos ya que la exuberante litogénesis ha estado muy cerca de obstruir totalmente el paso. Estas galerías presentan una gran actividad, pues absorben rápidamente el agua de las lluvias. La dirección predominante es W-E aunque las galerías avanzan serpenteando y formando continuas curvas y meandros. Se observa como aumenta el caudal de Arriluxerreka tras recibir sucesivas pequeñas filtraciones hasta llegar la «Galería de los Fantasmas» donde va a recibir el primer aporte importante en un lugar de derrumbe de grandes bloques. Se trata de la regata AR-16 que recoge las aguas de la pequeña cuenca cerrada de Taplaburu y que se une al sistema de Arriluxe a través de una fisura N-S. No es posible acceder desde el exterior por este sumidero ya que se trata de una diaclasa impenetrable. No obstante la comunicación oral y visual es evidente. Se estima recorridos unos 800 m. de sinuosos meandros en perfecta dirección Este.

Recorrido ya un kilómetro se recibe otro aporte importante: «el meandro Argala». Se une al sistema de Arriluxe por su parte izda y tiene un desarrollo de 600 m. de meandros tortuosos con anchuras inferiores al metro y continuas bañeras y pasos forzados. El punto más elevado del meandro queda tan solo a 15 m. de desnivel del sumidero AR-16 bis.

Volviendo a la galería principal se alcanza la parte más interesante de la cavidad. El suelo cambia y comienzan a aflorar las calizas paleocenas. El agua ha excavado un pequeño cañón que discurre por una galería de grandes dimensiones en la que se ha encajado el río. En no más de un centenar de metros el río precipita en el impresionante "Pozo Iluntxeta". La galería desemboca en

un abismo en el que se precipita el río hacia un pozo de -135 m. Las dimensiones de este pozo son espectaculares: 40x10 m. en su cabecera y 20x10 m. en la base. La existencia de grandes pozos en Abodi no es extraña, ya que el agua suele atravesar de un salto el paquete de calizas paleocenas. La cabecera del pozo es muy margosa y su descenso totalmente aéreo.

La base de la vertical es un gran cono de bloques donde la lluvia es constante y se nota una gran corriente de aire. Sin embargo la morfología de la cavidad da un brusco cambio. Tras una serie de pequeños resaltes entre bloques y galería meandriforme, se toma un meandro estrecho y muy horizontal debido a que se han alcanzado las arcillas calcáreas subyacentes. La acumulación de depósitos arcillosos en altura en las paredes es un síntoma evidente del estancamiento del anterior nivel activo. El aire se pierde y la galería termina por estrecharse y sifonar. Se ha alcanzado en esta cavidad la mayor profundidad del macizo: -325 m con un total de 2.265 m topografiados.

Sima de Platzeagabizkar .AR-20

Coordenadas UTM: E 650.897 N 4.757.380

Altitud: 1.292 m.

Dimensiones: Desarrollo=1.159 m; Desnivel= -264 m

Está emplazada en la bizkarra del mismo nombre, inmediatamente contigua al W de Arriluxe. El barranco que discurre por su cara oeste conduce hasta la boca de la sima, en el fondo de una profunda dolina disimulada por la vegetación.

La entrada es una gran diaclasa de dirección N-S. Primeramente la regata se sume en una sucesión de pocetes cortos (8, 7, 8 y 7 m). tras los cuales aparece una gran vertical de 120 m. No aparenta tanta verticalidad como el encontrado en la sima de Arriluxe. La cabecera, de cómodo acceso tiene unas medidas de 15 m. largo por 10 m. ancho. Ya en la base, y tras un pocete de 5 m. la cavidad adquiere gran belleza, modelada por el agua en una galería descendente con gours en medio de formas meandriformes, resultado de la disolución de la roca caliza. Una nueva vertical de 10 m. da paso a una galería de 10x10 m. siendo el final de la zona vertical.

Situada a -200 m. profundidad, esta galería desciende rápidamente por unas majestuosas coladas y grandes gours producto de la gran circulación del agua. La galería, en su parte media, posee coladas y gours que se salvan mediante progresión por cuerda finalizando en un meandro de reducidas dismensiones y difícil progresión. Tras un recorrido de 200 m desemboca en una galería activa donde existe un paso bajo sifonante en laminador, de unos 20 m. de longitud (ojo a las crecidas), dando paso a un conducto totalmente horizontal de 400 m que muere en un sifón sin solución de continuidad, a 1.159 m de distancia de la boca y -264 m de desnivel. Los 80 m de diferencia de cota del sifón terminal de esta cavidad con respecto a la registrada en el sifón de Arriluxe nos prueba que en Platzeagabizkar no se ha alcanzado el piezométrico. En un supuesto descenso a la cavidad, se han de tomar la debidas medidas de seguridad en cuanto al riesgo de ascenso súbito del caudal, ya que se trata de una zona vadosa con gran rapidez de absorción. Todas las verticales son activas, siendo éstas el paso natural del agua, sin posibilidad de pozos paralelos fósiles. La reciente caída masiva de ganado ovino deja la cavidad en estado impracticable.

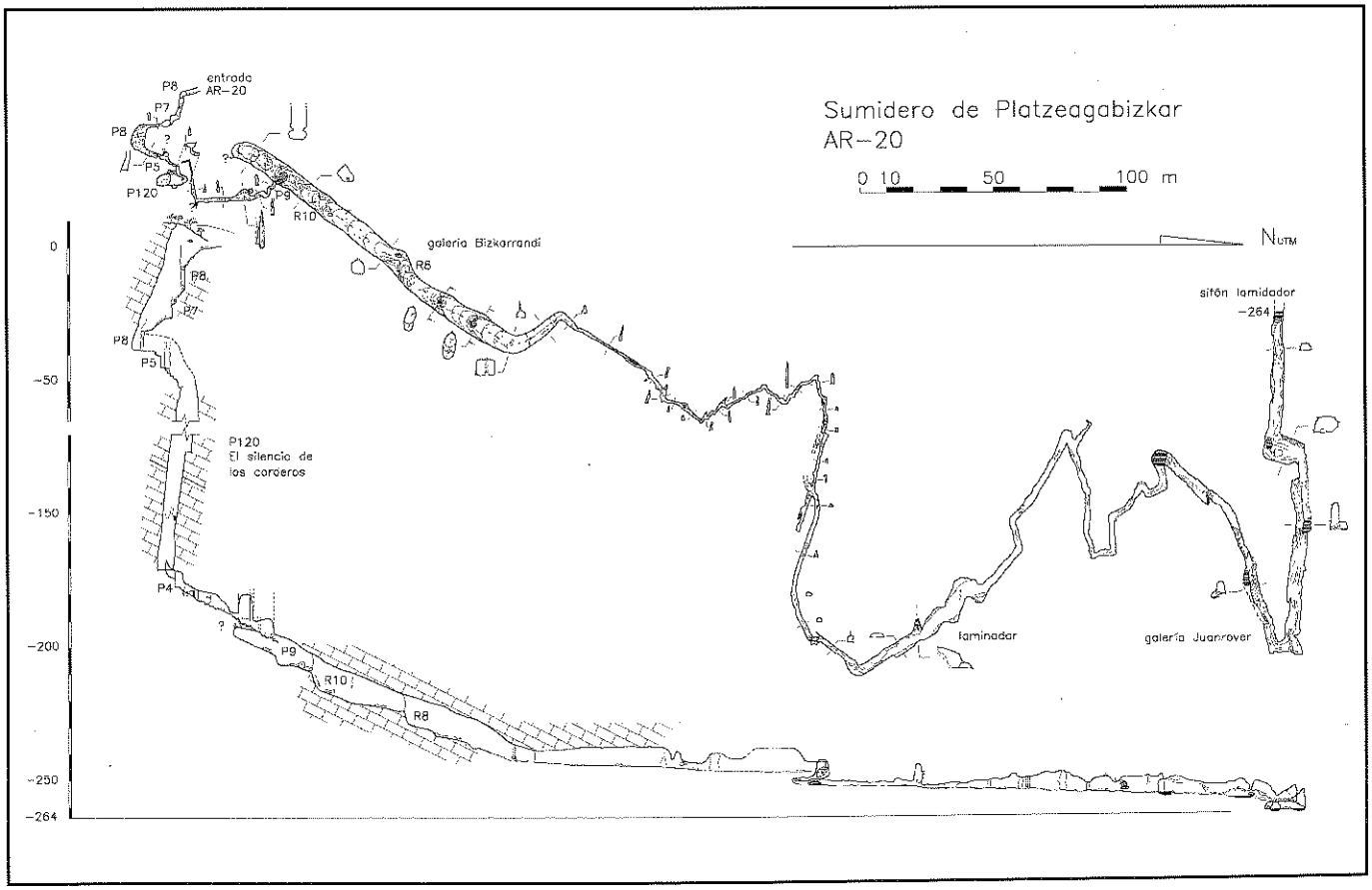
Artaxiozulo. AR-15.

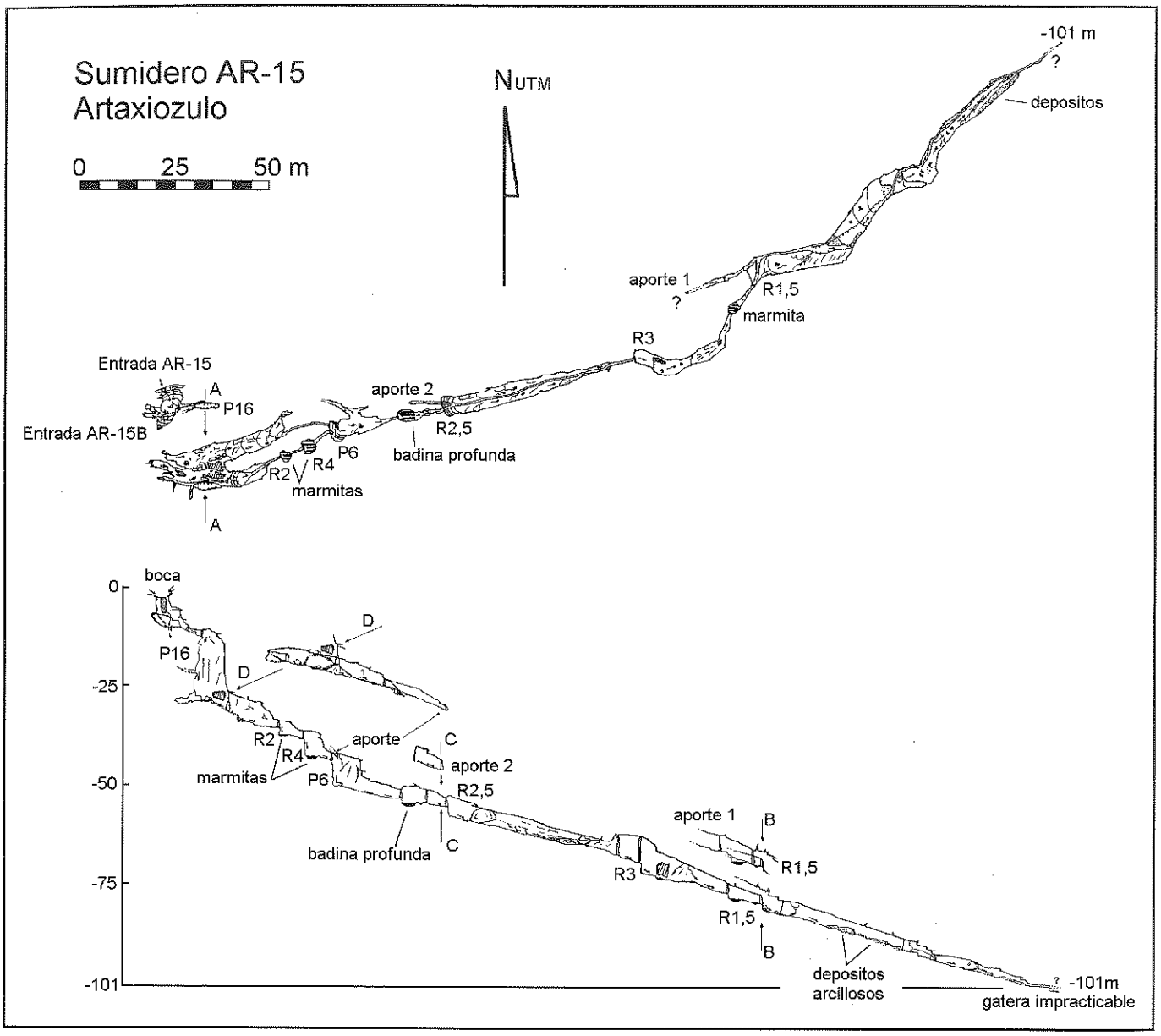
Coordenadas UTM: E 652.405 N 4.757.133

Altitud: 1.169 m.

Dimensiones: Desarrollo= 315 m; Desnivel= -110 m.

Localizada en el paso denominado "taka de Artaxio", éste sumidero tiene 2 bocas de entrada de pequeñas dimensiones y cercanas entre ambas (8 m). Si el barranco lleva aguas éstas se introducen en la primera (AR-15). Tras un resalte de 3 mts. un laminador inclinado y paso estrecho meandriforme conduce a la cabecera de un pozo de 16 mts. Se abre una sala con grandes bloques y de la cual parten dos galerías descendentes. La más lejana (también activa) se acaba a los 40 mts. El ramal principal, desciende rápidamente en una sucesión de pequeños resaltes con marmitas de gigante (cauce activo). La cavidad adquiere caprichosas formas de cañón con claros pla-





nos de buzamiento de los estratos calizos. Galerías de tamaño considerable (6 mts de altura x 5 mts de anchura) van sucediéndose entre los resaltes; 2 aportes incrementan el caudal de la cavidad. Esta alcanza su cota máxima en -110 m de desnivel en una gatera impracticable. El contacto con las arcillas calcáreas es evidente y el agua prosigue su camino por ellas. El eje de la cavidad ronda los 300 mts. con dirección NNE y tras un desarrollo topografíado de 315 m termina muy próxima del gran pozo Iluntxeta de Arriluxe, por lo que es más que probable que se unan en algún punto de su desarrollo no conocido. Se trata de un peligroso sumidero en crecida dado el tamaño de la cavidad en algún punto en concreto.

Pozo Aixko. Ar-7

Coordenadas UTM: E 654.625 N 4.756.750

Altitud: 1.159 m.

Dimensiones: Desarrollo= 115 m; Desnivel= -113.5 m.

Localizada en los bordales de Arburúas en la pista de acceso por la carretera del puerto de Abodi (Km 11). Es la sima más conocida de la zona ya que se halla situada al borde izquierdo del camino pocos metros antes de la borda Aixko. La cavidad se compone de un gran tubo vertical de casi 80 m. que conecta con una diaclasa de dirección NE-SW que se va estrechando hasta impedir la progresión a 113 m.p. Existe una repisa a -100 donde se acumulan restos de desecho arrojados desde la boca. En el fondo de la diaclasa se forma un pequeño meandrillo activo seguramente en época de lluvias. Existe peligro de contaminación, así como de caída. Se trata de una cavidad muy utilizada como vertedero. Por su boca podría caer un coche perfectamente con el peligro añadido. Es aconsejable su protección mediante cercado.

Pozo Ilardokia. AR-13

Coordenadas UTM: E 656.212 N 4.756.662

Altitud: 1.134 m.

Dimensiones: Desarrollo= 120 m; Desnivel total= -113 m.

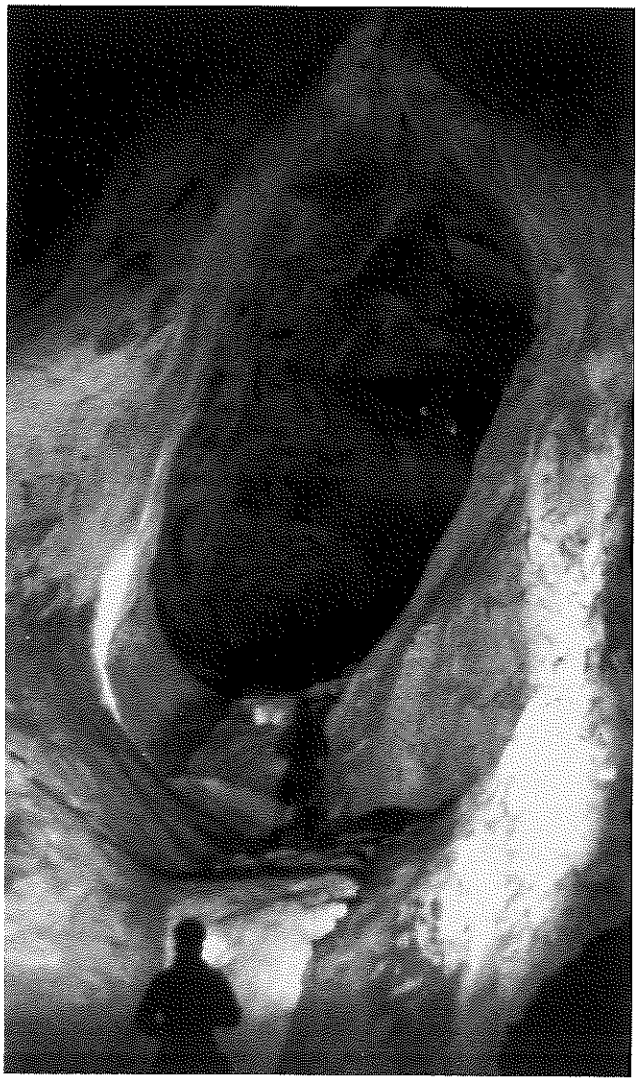
La boca de entrada de esta cavidad no parece actuar como sumidero activo ya que está un poco más elevada del cauce. Sin embargo si que termina por recoger las aguas que han sido filtradas anteriormente. Tras un pequeño destrepe de 3 metros se accede a una pequeña galería de 3x2 que a los 10 m. termina en un gran pozo de más de 100 m. Al principio se trata de un pozo de corrosión de forma elipsoidal y unas medidas de 15x5 pero poco a poco va ampliándose hasta desfondarse en una vasta sala clástica de unos 50 m de altura y 700 m² de superficie. La existencia de grandes bloques en su fondo impide cualquier continuación. En época de lluvias el pozo puede ser muy activo como lo denotan las huellas de acanaladuras que ha dejado el agua en sus paredes.

ETNOGRAFIA Y TOPONIMIA

El uso inmemorial que ha hecho el hombre de esta sierra ha dejado huellas muy claras en el paisaje, sustituyendo el bosque original por extensos pastizales que le dan un aspecto característico, salpicado de bordas y corrales. Su vieja tradición pastoril puede constatarse en la abundancia de dólmenes como los de Gaztanbidea, Arrizabala o Arriluxe. Incluso se han encontrado en el interior de una cavidad restos humanos que muy bien podrían ser restos de pastores de antaño.

La presencia de grandes moles calcáreas ha condicionado mucho la toponimia que ha surgido de los habitantes de estos valles. El mismo significado del nombre "Aezkoa" denota lo escarpado del lugar y existen gran cantidad de topónimos como Arrobegia, Arburúas, Arrondoportillo o Arriluxe que contienen la raíz piedra o peña. Su aspecto ondulado ha quedado reflejado como Ilintxetabizkar, Bizkarrandi, Santxobizkar. La presencia de fuentes y barrancos en términos como Iruiturriko o Zazpiturri.

Los tiempos de guerra también han dejado rastro en forma de bunkers con inmejorable situación estratégica. Lo intrincado del terreno y la cercanía de la frontera daba lugar a las escaramuzas. Asimismo la influencia de Iparralde en estos pueblos es indudable tanto en sus nombres como en las costumbres. Sin embargo y a pesar del antiguo uso del euskera en estos lugares en la actualidad ha llegado prácticamente a la extinción.



AR-20. Grandes coladas en el colector principal a -225 m. Foto GES

CONCLUSIONES

Sobre.la zona de calizas Paleocenas (Daniense-Montiense) se ha establecido un sistema kárstico, de 20 km^2 aproximadamente, con un más que hipotético desagüe principal en el nacedero de Berrendipea.

La recarga del sistema se realiza principalmente por medio de numerosos sumideros, sumando 25 los estudiados hasta la fecha. Hidrológicamente hablando los caudales infiltrados en los sumideros estudiados, suman el global de 200-250 l/sg. Este caudal posteriormente y en las proximidades del eje del citado plegamiento cambia la dirección inicial por una NW, hacia el nacedero de Berrendipea. Inferimos estos datos de lo observado en las cavidades Beitzagien, Platzeagabizkar o Artaxiozulo aunque también se forman cavidades como Arriluxe siguiendo paralelas al eje del sinclinal.

Estos sumideros son aportes de un supuesto colector, dada su morfología y situación. No obstante las distancias desde el fondo de las cavidades al nacedero de Berrendipea son importantes. Desde el fondo de las cavidades estudiadas (sifón de Arriluxe) hasta el nacedero de Berrendipea, tenemos un desnivel aproximado de 50 m y una distancia de 5 km. en linea recta. Por otro lado, cabe citar que el desnivel entre los fondos (sifones) de las cavidades Arriluxe y AR-20 (Platzeagabizkar), ronda los 75 m. de desnivel. Por lo cual el sifón de la AR-20 no representa el nivel piezométrico. El sifón terminal de Arriluxe sería el lugar más interesante para efectuar una coloración con trazadores en el nacedero de Berrendipea por la profundidad alcanzada. Ello haría posible definir con garantías el límite E de su cuenca de captación y la obtención de interesantes datos sobre el acuífero. La contaminación de éste y su posible nacedero es latente, bien por la cercanía de la carretera, pistas y bordales a los caudales y sumideros, así como los desechos tanto del turismo como de cultivos y ganaderos, recogidos por los numerosos barrancos existentes que posteriormente se sumen en el acuífero subterráneo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a todos los miembros del Satorrak que han participado directa o indirectamente en este trabajo. Es su labor la que se pretende reflejar. Por otro lado la colaboración recibida por los habitantes de estos pueblos, así como la de pastores y ganaderos de la zona como los Azkoiti ha sido inestimable. En este estudio aparecen algunos datos que se han contrastado con trabajos de grupos de Iparralde del antiguo Comité Departamental 64 y sobre todo ha sido importante la colaboración de Gilles Parent. A Carlos Eraña "Lin" por la revisión del texto e inestimable colaboración.

BIBLIOGRAFIA

COLLIGNON, B. 1988. Speleologie: Approches scientifiques. Edisud, Aixen-Provence.
D.F.N. 1970 - Mapas de Navarra. 1:5.000
D.F.N. 1997 - Cartografía digital de la zona
D.F.N. 1997 - Hoja 117 del mapa toponímico de Navarra
D.F.N. 1988 - Mapa de Navarra. 1:50.000 (Irati-Ibañeta).
D.F.N. 1982 - Las aguas subterráneas de Navarra.
G.E. SATORRAK 1991 - Investigación espeleológica en el nacedero de Petxuberro (Aezkoa). Sin publicar.
G.E. SATORRAK 1992 - Investigación espeleológica en el nacedero de Berrendipea. Sin publicar.
G.E. SATORRAK. 1995, 1997 - Investigación espeleológica en la sierra de Abodi. Sin publicar.
I.G.M. 1978 - Mapas geológicos de Garralda y Otxagabia. 1:50.000. C.A.N. 1991 - El agua en Navarra.
MAIRE. 1983 - Conaissances actualles del K. Larra.
VIERS 1977 - Geomorfología OIKOS - TAU.

AVANCE AL ESTUDIO DE LA RED DEL SILENCIO RASINES (CANTABRIA)

Iñaki LATASA UNDAGOITIA
GAES de Bilbao
Iparragirre, 46 - 7º • 48001 Bilbao

(Recibido en Junio de 1998)

RESUMEN

Se describe la Red del Silencio en Rasines (Cantabria), abordando las características morfológicas generales de esa extensa red. Se trata también, de forma muy sucinta, sobre las cavidades que configuran las cabeceras del sistema subterráneo del que forma parte.

LABURPENA

Kantabrian, Rasines ko Silencio ibaiaren sarea deritzona deskribatzen da, sare zabal honen ezaugarri morfologiko orokorrak kontutan hartuz, baita laburpen moduan, unitate hidrogeologiko honen buruak osatzen dituzten kobazuloetaz hitz eginez.

ABSTRACT

A description is given of the *Red del Silencio* - Silent Network - located in Resines (Cantabria) - as well as the main morphological characteristics of this vast network of galleries and the various caverns that make up the hydro-geological fountainheads.

INTRODUCCION

El presente trabajo es avance de un estudio más amplio, que el GAES esta elaborando sobre el **"karst de Rasines"** y que esperamos vea la luz próximamente. Los datos más destacables del estudio son la catalogación de 270 cavidades y la magnitud que ha resultado tener alguna de ellas, que suman en conjunto más de 88.000 m de desarrollo (GAES 1990).

En él describimos los rasgos generales de la Red del Río Silencio, a través de la que se estructura el drenaje de la unidad hidrogeológica de la que forma parte. Esta red, con sus 60.220 m, es el segundo sistema subterráneo del estado por desarrollo, contando, además, con una travesía entre sus bocas más alejadas (Torca de la Seguia y Cueva del Valle) de 11.300 m, lo que la convierte en la más larga del mundo, según los datos de que disponemos. También se describe brevemente la zona correspondiente a las cabeceras de este sistema kárstico, situadas en su zona más oriental, en donde existen importantes sumideros, varios de ellos en la parte vizcaína, ya en la vertiente Sur de la unidad.

MARCO GEOGRAFICO

El área kárstica de Rasines se ubica en el N de la Península Ibérica, en una zona de transición entre la Cordillera Cantábrica y los Montes Vascos que ocupa los límites entre la parte oriental de Cantabria y occidental de Bizkaia. El área queda comprendida en el sector NO de la hoja nº 60 del mapa del Instituto Geográfico y Catastral, escala 1/50.000, correspondiente a Balmaseda.

Como unidad kárstica se encuadra en la región correspondiente al sector oriental (región vasco-cantábrica) de la Cordillera Cantábrica (AYALA et al, 1986).

Su situación en las proximidades del Cantábrico le confiere un clima oceánico húmedo, con abundantes precipitaciones (próximas a los 1500 mm) que son favorecidas por el efecto de barrera orográfica y que suponen importantes recursos para la infiltración.

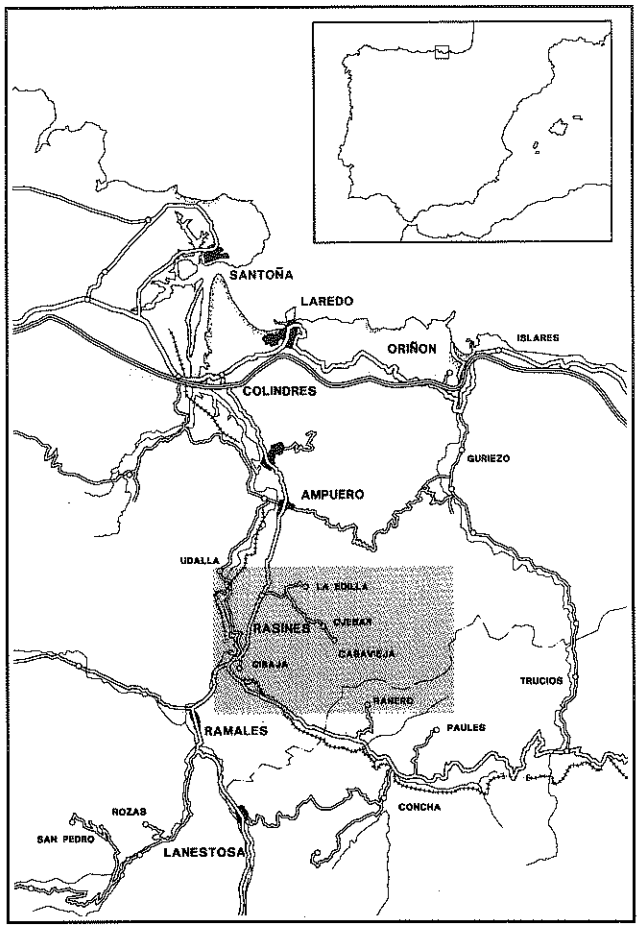


Fig. 1.- Situación de la zona kárstica de Rasines

Los accesos

La zona se localiza en Cantabria, a medio camino entre las ciudades de Bilbao y Santander. Para llegar hasta ella, tomaremos la Carretera Nacional N-629 a la altura de Colindres, dirigiéndonos hacia la provincia de Burgos y continuando por esa carretera hasta llegar a Rasines. Desde allí, una carretera que lleva a Ojebar y El Torco nos adentra en el área escogida.

A la vertiente vizcaína se puede acceder por el barrio de Ranero en Karrantza y por una pista que parte de "El Suceso", también en Karrantza, cerca del puerto de la Escrita, y que permite aproximarnos hasta la parte más oriental. A ambas localidades llegamos partiendo de la carretera comarcal entre Balmaseda y Gibaja BI-630.

El relieve

El área kárstica está constituida por una estructura geológica monoclinal que sigue una alineación ONO-ESE, primero, y OSO-ENE después, partiendo desde su extremo más occidental, y que alcanza una longitud aproximada de 7 km. Queda delimitada por las cuencas del río Asón por el O y de sus afluentes Ruahermosa, por el N, y Carranzano por el S. Por el E la sierra se alarga hasta Trucios (Bizkaia), manteniendo una continuidad litológica, aunque los límites de la unidad hidrogeológica se sitúan en la zona del Armañón, a menor distancia de la surgencia.

La vertiente septentrional del macizo desciende suavemente hacia el Ruahermosa con una pendiente del 20%, que salva un des-

nivel de 400 m. El buzamiento de los materiales sobre los que se asienta es prácticamente coincidente con el perfil topográfico del terreno, produciéndose una concordancia entre el relieve y la estructura sinsedimentaria. Las calizas urgonianas están en gran parte de este sector recubiertas por un techo de materiales detríticos, profundizando hasta ellas tan sólo las vaguadas más acusadas. La vertiente meridional, constituida principalmente por afloramientos calizos, presenta un relieve mucho más abrupto como resultado del proceso de karstificación que tiene lugar allí.

El punto de mayor altitud de todo el área tratada es el Pico Armañón con 855 m sobre el nivel del mar, situado en la parte vizcaína. El lugar de menor altitud es el que corresponde al valle que forma el río Asón, en su extremo septentrional (18 m).

CONTEXTO GEOLOGICO

Se halla aproximadamente en el centro de la llamada cordillera o Región Vasco-cantábrica. Se trata de una cuenca que se caracteriza por la fuerte subsidencia y por consiguiente por el gran espesor que alcanzan las series pertenecientes al Cretácico (RAMIREZ DEL POZO Y OTROS. 1978).

Complejo Basal

Lo constituyen materiales de diferentes litologías y edades, que afloran limitando, prácticamente, todo el paquete calizo, se puede dividir en dos partes claramente diferenciadas:

a) Materiales Triásicos y Jurásicos de la Falla de Rasines.

Está constituido por unas margas de tonos rojizos y grises, con yesos y cuarzos rojos, que aparecen en puntos aislados. Son las fácies evaporíticas del Trias Keuper, que generalmente tienen un carácter diapírico. Su potencia es difícil de precisar, pero es superior a los 80 m.

b) Complejo Purbeck-Weald.

Es una unidad detrítica carbonatada de carácter continental, que se depositó en discordancia erosiva encima de los materiales Jurásicos y se puede apreciar una potencia de 645 m de materiales.

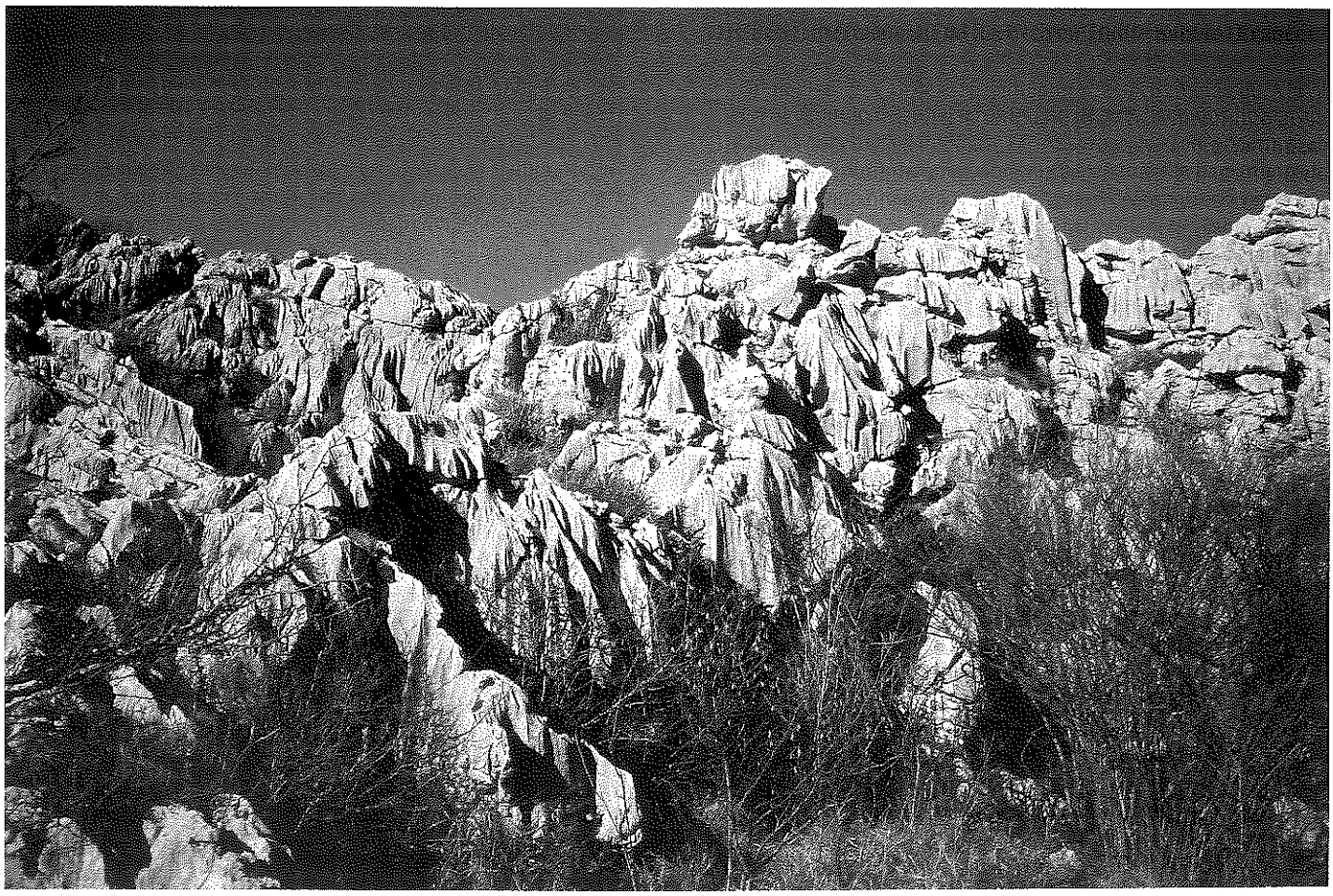
Complejo Urgoniano

El término es utilizado por RAT (1959) para definir sedimentos carbonatados, según él no representan un tipo petrográfico único, diferenciándose por su textura y biofacies, con ausencia casi total de elementos terrosos; son calizas compactas, resistentes, dispuestas en bancos o en masas espesas, en las que frecuentemente se ven rudistas aflorando en superficie. Actualmente este término se emplea con un sentido más amplio; según GARCIA MONDEJAR (1979) engloba los Megaciclos sedimentarios del Cretácico Inferior, en este caso incluye las ultimas capas detríticas de las Facies Weald. En Rasines el edificio carbonatado que constituyen las calizas Urgonianas ocupa una extensión de unos 30 km² aproximadamente, de los cuales solo son visibles 16 km2, estando cubierto el resto por depósitos Supraurgonianos y Cuaternarios. La potencia del conjunto se estima en 900 m.

Materiales suprayacentes

Cubren los afloramientos calizos. Los sedimentos pueden ser de dos tipos:

Una alternancia de areniscas y lutitas limoníticas, conocida como ciclo Supraurgoniano (RAT. 1959), que ocupa el borde sur



El lapiaz en *Castropie* -zona alta de Rasines-, cerca de la Torca del Carlista (Iñaki Latasa)

de la Falla de Ruahermosa. Estas areniscas tienen un contacto muy neto con la caliza, y van aumentando de potencia a medida que se acercan a la falla. Su potencia máxima es de 250 m aproximadamente.

Cuaternario

Son pequeños depósitos que se aprecian en los fondos de los valles. Los más importantes son materiales aluviales y terrazas.

Tectónica

Desde el punto de vista estructural el sector se sitúa al Oeste del dominio tectónico conocido como Arco Vasco, dentro de la llamada zona externa (EGUIGUREN, E. y otros, 1992), al Sur del Anticlinorio de Bilbao.

El área de estudio ha sufrido un plegamiento muy suave, sin embargo, existen accidentes tectónicos importantes en forma de fallas y diapiros estrechamente relacionados entre sí.

Las fallas se agrupan en dos familias atendiendo a sus direcciones, que son E-O (dirección que sigue también el anticlinal de Alcomba, localizado en las proximidades), y que se interpretan como una prolongación de «Franja Cabalgante del Escudo de Cabuérniga», coexistiendo con ellas otras que siguen una orientación N-S.

FUNCIONAMIENTO Y DELIMITACION DE LA CUENCA HIDROGEOLOGICA

La unidad hidrogeológica de la que tratamos se enclava en la Cuenca Cantábrica. Se trata de un afloramiento calcáreo, delimitado por los valles fluviales del Asón y sus afluentes Carranzano y Ruahermosa, en el que se realiza un drenaje kárstico subterráneo, en sentido E-O, paralelo a la dirección del propio afloramiento. Este tiene lugar a través de un vasto enrejado de conductos excavados por la actividad erosiva del río Silencio y sus afluentes subterráneos.

La unidad se comporta de forma bastante cohexionada, con un drenaje en profundidad muy jerarquizado y que se realiza a través de vías preferentes que siguen una dirección similar a la del propio macizo. La circulación tiene lugar, principalmente, de forma vadosa por conductos que se hallan en el nivel piezométrico y que poseen un escaso poder de regulación; es lo que BAYO et al. (1986) definen como acuífero "sensu stricto". La pendiente de este drenaje, en lo que se conoce del colector principal, es muy escasa (0.5 %) lo que significa un bajísimo gradiente del nivel dinámico.

La superficie total drenada es de 20 km², incluyendo la recarga alóctona procedente de la escorrentía sobre superficies silíceas.

Alimentación

La mayor parte de los cauces superficiales se organizan en las areniscas que sirven de techo a los estratos calizos y, al adentrarse en los materiales calcáreos, dan lugar a los importantes sumideros que serán determinantes en la formación de la Red. Estos sumideros, que responden a los nombres de JORNOS II, HOYO MEDIO, SEGUIA, EL HOYON y MOLINO LA PEÑA, están íntimamente relacionados con alguno de los afluentes más importantes.

Al tratar de definir las cabeceras del sistema es necesario precisar que, tras coloraciones con fluoresceína efectuadas por el GEV en la sima de Jornos II (Karrantza), los días 07-03-71 y 07-07-73, se comprobó que las aguas de esta sima vizcaína afloraban en el nacimiento del río Silencio. (GEV, 1978).

La descarga de la unidad se produce junto a la Cueva de Valle, a través de una polisurgencia, de la que la cueva citada es un rebosadero que actúa durante las grandes crecidas.

DISTANCIAS QUE MEDIAN ENTRE LOS SUMIDEROS MAS IMPORTANTES Y LA SURGENCIA DE VALLE

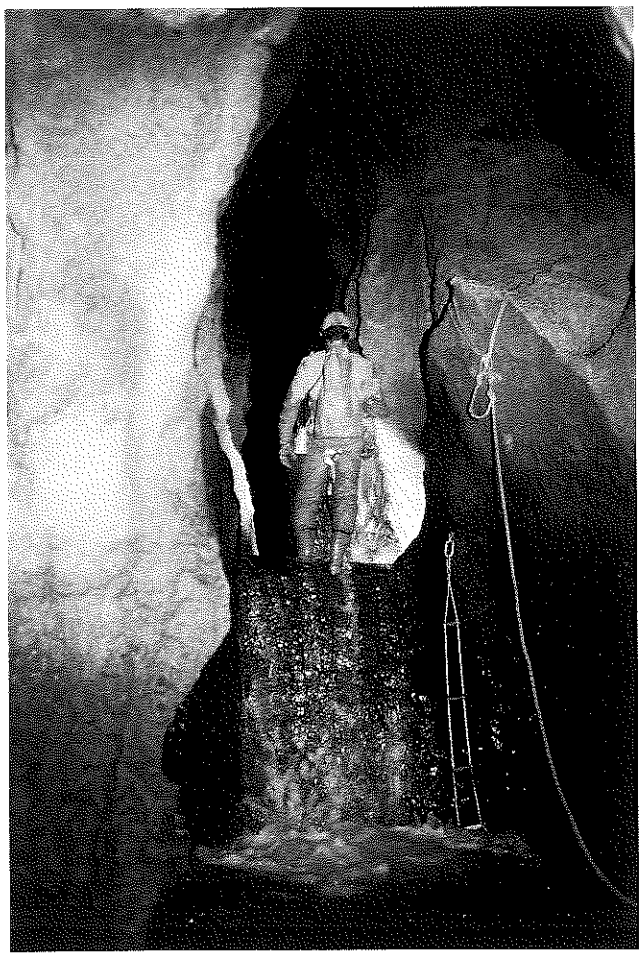
SUMIDERO	DISTANCIA (m)	ALTITUD
JORNOS II	8.650	710
HOYO MEDIO	5.820	590
SEGUIA	5.320	550
EL HOYON	5.400	535
MOLINO LA PEÑA	4.200	175

LA RED DEL SILENCIO. CARARCERISTICAS GENERALES

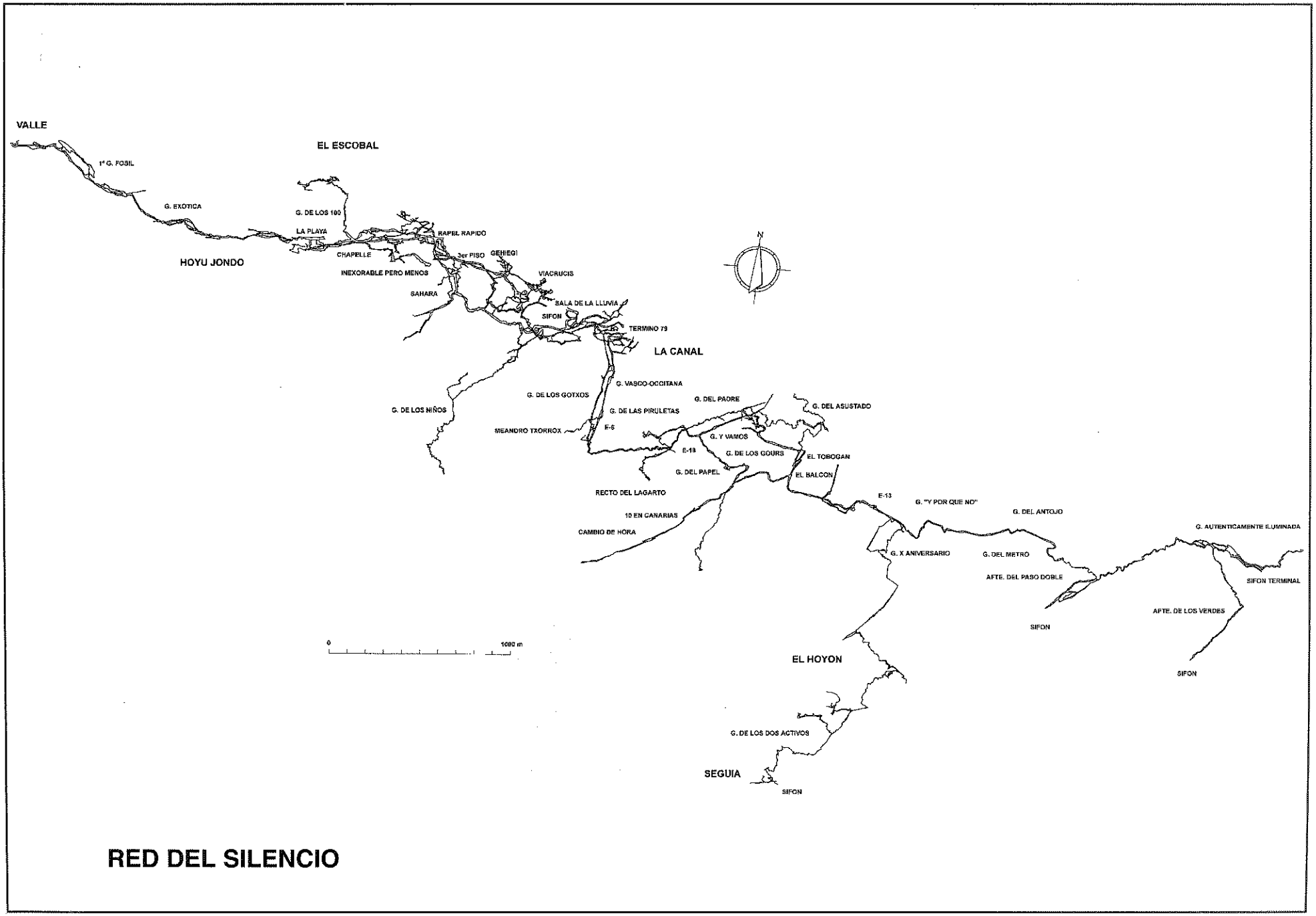
Bajo el nombre de Red del Silencio agrupamos una serie de conductos subterráneos generados por la actividad excavadora del cauce hipogeo que da lugar al río Silencio.

Su cauce drena un importante sector que comprende terrenos de los municipios de Karrantza y Trucios, además de Rasines, municipio este último en el que se ubica la mayor parte de su recorrido subterráneo.

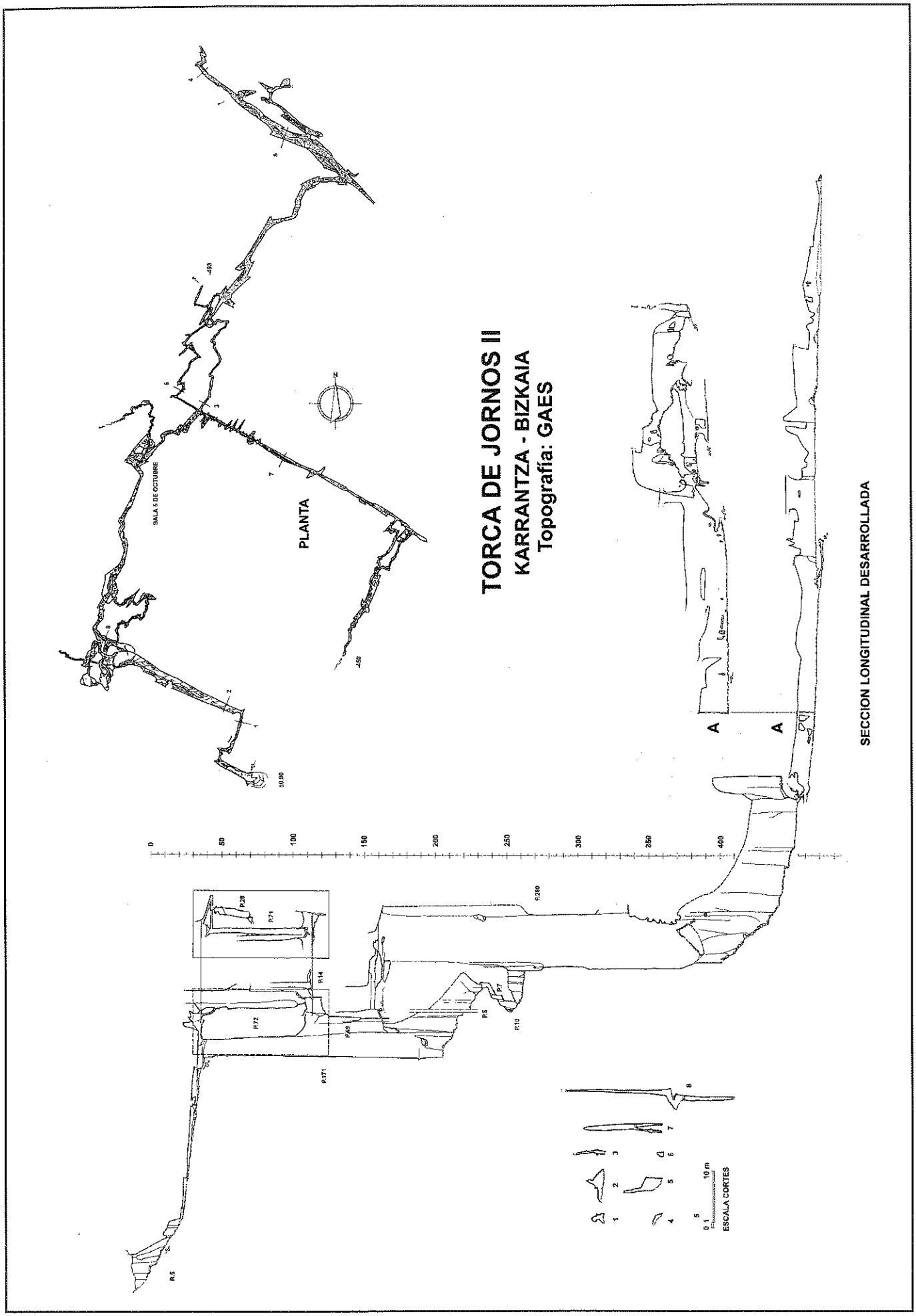
La importancia del sistema cavernario del que estamos hablando, queda reflejada por las cifras de 492 m de desnivel y 60.220 m de recorrido.

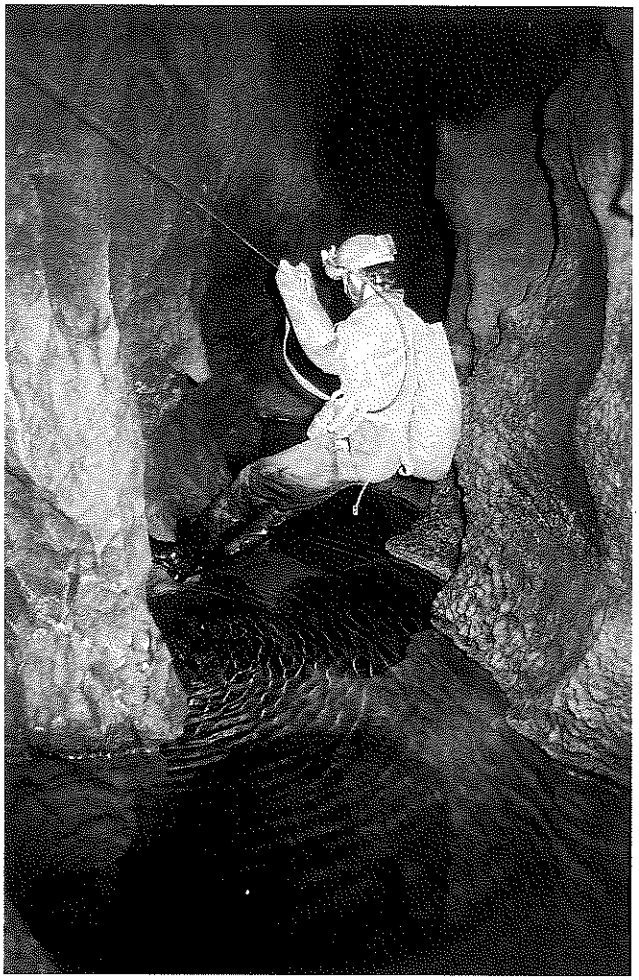


***Colector aguas arriba* de la confluencia con el afluente del Hoyón -Red del Silencio- (David Diez)**



RED DEL SILENCIO


TORCA DE JORNOS II
KARRANTZA - BIZKAIA
Topografía: GAES
PLANTA
SALA 5 DE OCTUBRE
SECCION LONGITUDINAL DESARROLLADA
ESCALA CORTES



Pasamanos de cable en la *galería de los Gours* - Red del Silencio- (Alberto Alonso)

Actualmente se puede acceder a la red a través de seis bocas diferentes dispuestas a lo largo de su trazado subterráneo; estas entradas son:

- Torca de la Seguia (VI-199)
- Cueva del Valle (RN-1).
- Torca del Escobal (RN-18).
- Torca del Hoyón (RN-50).
- Torca de la Canal III (RN-80).
- Torca de Hoyu Jondo II (RN-235).

Su desarrollo esta sujeto a unos condicionamientos estructurales generales. Tenemos, por una parte, unas estructuras litológicas que facilitan la organización de ríos en superficie, originando importantes sumideros en las zonas de contacto. Tenemos también una disposición de los estratos, con suave buzamiento hacia el Norte (aproximadamente del 20%), y una fracturación (falla del Ruahermosa y fallas menores perpendiculares a ella), que facilitan unas direcciones preferenciales de drenaje; todo ello, establece unas circulaciones subterráneas que afectan a la mayor parte del macizo y que hace que una mayoría de fenómenos endokársticos estén supeditados a este drenaje profundo, quedando de esta forma configurada una red dendrítica, evolucionada y muy jerarquizada que, fruto de sucesivas capturas, colecta las aguas que dan lugar al río Silencio provocando una importante concentración de las circulaciones hipógeas.

El perfil del nivel activo actual muestra este avanzado estado de evolución, observándose una pendiente media del colector principal muy baja, que se mantiene, prácticamente invariable, desde la surgencia hasta el sifón terminal, situado a 1.300 m del fondo de Jornos II.

Tal y como ya hemos dicho, el conjunto de galerías que la componen, ha seguido en su génesis una dirección preferente perfectamente definida, que está en consonancia con la falla sobre la que se asienta el cauce del río Ruahermosa, de esta forma tenemos una mayoría de ellas alineadas estructuralmente, con orientación ESE-ONO, dirección que siguen tanto los conductos que forman el eje del sistema -en sus diferentes niveles-, como muchas de las laterales que encontramos a lo largo de su trazado.

La Red discurre en el flanco E del macizo al que sirve como drenaje, llegándole, preferentemente, los diferentes aportes por su izquierda y a caballo de un buzamiento favorable. Así alcanzan sus conductos la mayoría de afluentes de cierta entidad, casi siempre asociados a formas de absorción importantes como son: Jornos II, la Canal de los Toros, la Torca del Hoyo Medio, la Torca de la Seguia, El Hoyón, Regato Calero, etc.

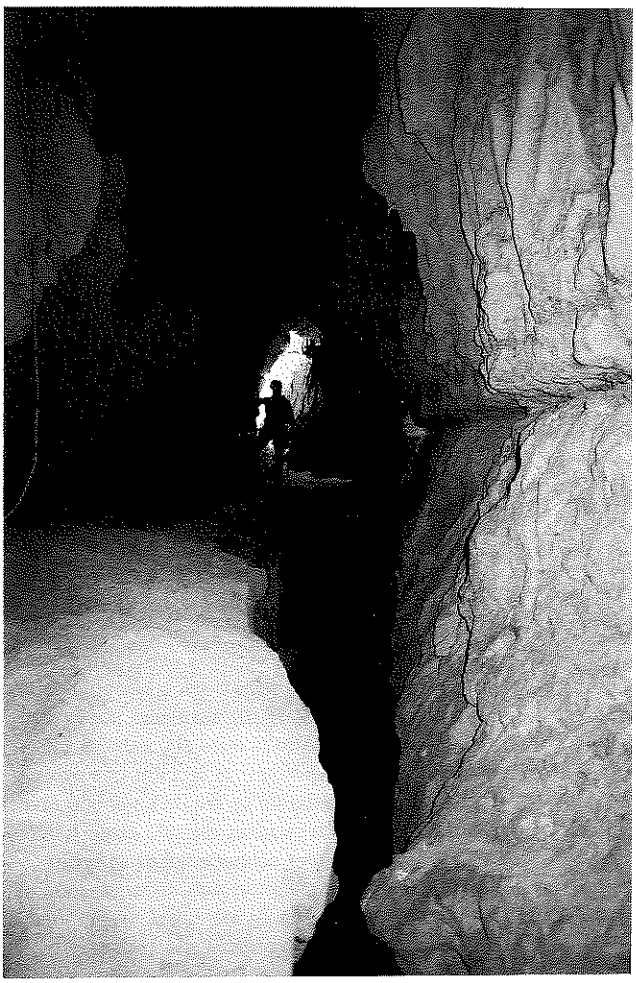
Por su flanco derecho, llegan a la red muy pocas galerías, en general ya abandonadas por el agua.

En la zona conocida como "El Colector", que es la más próxima a las cabeceras, el lecho del talweg, pese a ser en general de una pendiente reducida, presenta algunos rasgos de cauces torrenciales como son la presencia de marmitas y pequeñas cascadas, con una ausencia casi total de sedimentación.

La zona de absorción está formada por numerosas formas verticales simples que responden a diferentes tipologías genéticas. Son simas que generalmente no exceden de un desnivel de 20 m, pero que, pueden tener continuación en forma de redes de pozos.

Los conductos de esta zona son, por lo general, conductos de invasión, favorecidos por la distancia que existe con el nivel de base.

Entre los 300 y 400 m de profundidad, encontramos una red de transmisión horizontal muy evolucionada en altura, con diferen-



Cornisa de unión entre *galería Piruletas* y g. *Vasco Occitana* - Red del Silencio- (Alberto Alonso)

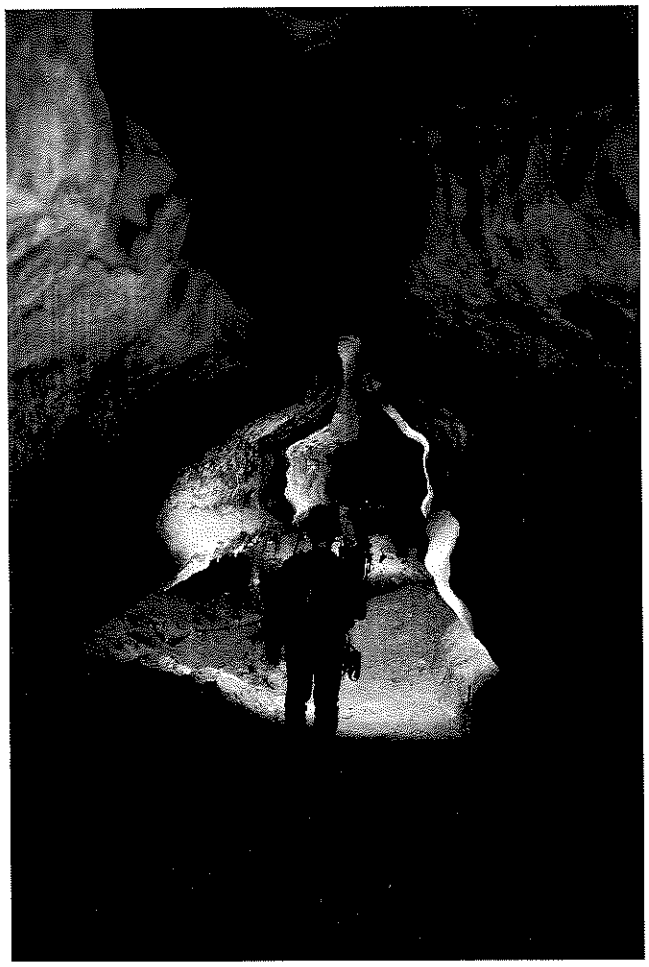
Equipando el largo pasamanos que bordea el P-171 de la *Torca de Jornos II* (Iñaki Latasa)

tes niveles y paleoniveles, formados por galerías subhorizontales, que el agua ha ido abandonando al profundizar hacia horizontes más profundos; estos niveles, que aparecen perfectamente definidos, se superponen unos a otros, en ocasiones formando hasta cuatro pisos distintos que se solapan a favor de los mismos accidentes tectónicos y dando lugar también a cañones muy encajados. En esos niveles se puede ver, sobre todo en los más elevados, conductos con secciones importantes y morfologías propias de circulación freática, que son indicios de paleocauces por los que circulaban caudales muy considerables, en ellos apenas existen infiltraciones resultando un ambiente de gran aridez.

En todas estas galerías se localizan importantes depósitos fluviales, algunos de un espesor de varios metros, que, en ocasiones, muestran una sobreexcavación que da lugar a terrazas colgadas, y que indican reactivaciones en el flujo hidrológico relacionadas con cambios climáticos, estas terrazas pueden verse tanto en el talweg actual como en los diferentes niveles inactivos existentes por encima de él. Alguna de estas galerías responden a la tipología de conducto paragenético (RENAULT, 1970), formadas por la disolución sobre la bóveda que se produce al estar el conducto anegado y parcialmente ocupado por depósitos; su sección, con aspecto de laminador, denota que su excavación ha tenido lugar con niveles de base que han permanecido estables durante largo tiempo (BAUER, J. 1993). Las importantes acumulaciones de sedimentos que existen en todos estos conductos, van disminuyendo su granulometría y aumentando el grado de selección volumétrica a medida que la red avanza hacia su surgencia; sin embargo, en la zona de La Canal, se produce una importante invasión de materiales alóctonos, que comienza de nuevo el proceso de transporte. Estos depósitos fluviales en forma de cantos, más o menos rodados, o de arenas -ocasionalmente formando trenes de ripples sobre las terrazas- son muy importantes en la Galería de la Luna y Tercer Piso.

Además de los depósitos generados por la actividad fluvial, muy importantes en las zonas intermedias de la red, se pueden localizar también depósitos químicos, por deposición de carbonatos, que abarcan desde las formas típicas, estalactitas y estalagmitas, hasta extensas coladas pavimentarías; estas formas son generalmente escasas en todo el macizo, y especialmente en la Red del Silencio, y son varios los factores que contribuyen a que esto sea así. El más importante es la naturaleza de las circulaciones hídricas, que es esencialmente alóctona y con una captación que se produce de forma masiva, de modo que no favorece la precipitación de carbonatos. Gran parte de la superficie sobre la que se desarrolla la Red esta recubierta por materiales detríticos que impiden la infiltración normal, por percolación a través del karst; cuando desaparece esta cobertera se dan las condiciones para que el proceso de disolución se haga reversible produciéndose deposición de carbonatos, cosa que sucede en lugares muy localizados. Pese a ello existen zonas muy ornamentadas que configuran paisajes de gran belleza, asociadas, casi siempre, a lugares cuya superficie está provista de abundante vegetación e importante espesor de la capa edáfica. Además de las formas comunes, encontramos en la Galería de los Verdes y en la Auténticamente Iluminada raros y frágiles ejemplares de concreccionamientos de yeso, que se desarrollan en ambientes con muy poca humedad.

A estas distintas sedimentaciones hemos de sumar también depósitos procedentes de procesos clásticos, que dan lugar a los llamados caos de bloques, enmascarando los conductos primiti-



Sección típica de los conductos en la *zona de la unión*, Red del Silencio- (David Díez)

Acceso a la *galería de la Chapelle* -Red del Silencio- (Iñaki Latasa)

vos. Los más importantes que se pueden observar en la Red del Silencio, se sitúan en la zona más próxima a la boca de la Cueva del Valle y en el Gehiegi, y están asociados a accidentes tectónicos.

LAS CABECERAS DE LA RED

Al hablar de las cabeceras nos referimos a una serie de importantes sumideros, situados en la parte más oriental de la unidad, que dirigen hacia la red caudales que se van incrementando al discurrir por terrenos impermeables y que, en algunos casos, captan aguas que inicialmente circulan hacia el Sur, sirviéndose de una disposición favorable de los estratos, contraria a la pendiente de la vertiente, que facilita la infiltración y la reconducción hacia el Norte de los flujos hídricos.

De Este a Oeste, estos sumideros son: Jornos II, Canal de los Toros (ambos en el Frente de Sopeña) y Torcas del Hoyo Medio, del Hoyón y de la Seguia. Todos ellos están relacionados con importantes afluentes de la red, o son incluso accesos directos a la misma (Torcas del Hoyón y de la Seguia). Son generalmente dolinas en pleno contacto litológico; entre las que destacamos la Torca del Hoyón, con unas dimensiones de 85 x 65 x 40 m.

Como denominador común de estas cavidades, podemos citar el carácter alóctono de su alimentación y, como rasgo morfológico predominante, la verticalidad de los conductos, situación favorecida por la existencia de un nivel de base muy profundo, que configura un nivel vadoso de importante potencial, si consideramos la altitud media del macizo; de esta forma, encontramos casos tan significativos como Jornos II, en donde, tras descender casi 500 m de pozos de gran desnivel (salvando verticales de 171 y 280 m) y con un desplazamiento horizontal mínimo, nos situamos sobre un nivel subhorizontal que se localiza en la cota 220 m.s.n.m. y a más de 8.500 m del punto de surgencia de las aguas que circulan por ella; hasta este nivel llegan también las Torcas del Hoyo Medio y del Hoyón II (con 420 y 350 m de desnivel respectivamente). La segunda de ellas corresponde a una antigua fase inactiva del actual sumidero del Hoyón. El hundimiento del nivel de base, que se produce en un punto tan próximo a las cabeceras y que determina tan fuertemente el perfil extremadamente horizontal de la red, probablemente ha sido favorecido por el resalte estructural del Frente de Sopeña.

AGRADECIMIENTO

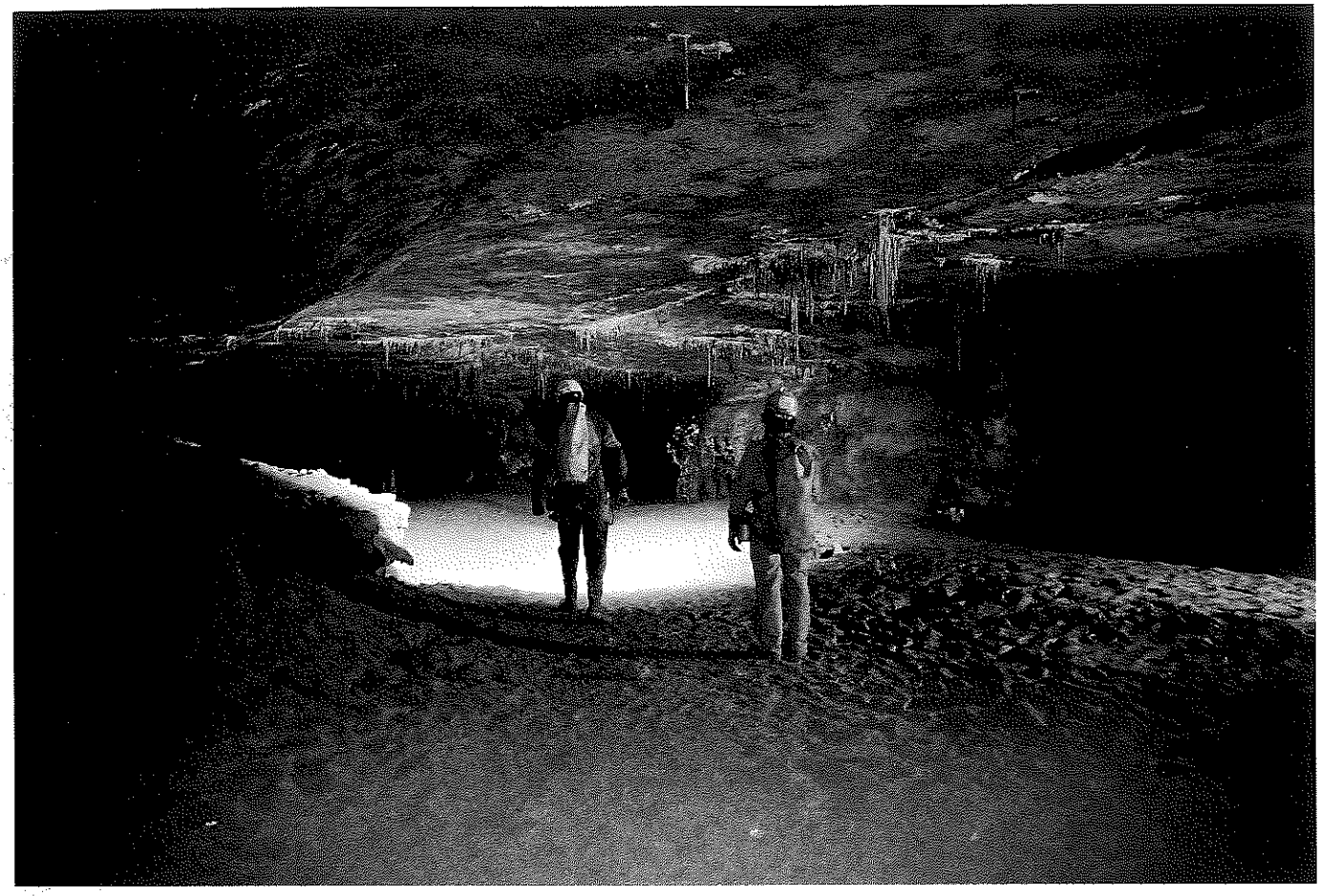
Como ya hemos indicado, este articulo es un avance de una publicación monográfica sobre la zona y es por ello resultado del trabajo de todos los integrantes del GAES en el tiempo que se ha tomado su elaboración; además, a lo largo de los 10 años que nos ha llevado la exploración de la red son muchos los colegas que nos han ayudado y que, por ser tantos, no podemos citar aquí; sin embargo, entre todos ellos es justo destacar a los compañeros de SC MJC de Rodez, cuya contribución en la exploración ha sido decisiva.

Agradecemos también a Javier Maeztu sus observaciones respecto al borrador del artículo.

BIBLIOGRAFIA

AYALA, F. J.; RODRIGUEZ, J. M.; DEL VAL, J.; DURAN, J.J.; PRIETO, C. y RUBIO, J. 1986. Memoria del Mapa del Karst de España. IGME. 66 p. Madrid.

BAUER, J. 1993. Principes de Karstologie Physique. Comité Départamental de Spéleologie des Pyrénées Atlantiques. 50 p.



Atravesando una zona cómoda del *Laminador del 1er nivel inactivo* -Red del Sliencio- (Iñaki Latasa)

BAYO, A.; CATIELLA, J.; CUSTODIO, E.; NIÑEROLA, S. y VIRGOS, L. 1996. Ensayo sobre las diversas tipologías de acuíferos en rocas carbonatadas de España. Jornadas sobre el Karst en Euskadi. Donostia. pp 255-340.

EGUIGUREN, E. GARCIA, I. GARROTE, A. y MUÑOZ, L. 1992. Mapa geológico del País Vasco E: 1/25000, Hoja 60-II (Trucios). Ente Vasco de la Energía. Gallarta (Bizkaia).

GARCIA MONDEJAR, J. (1979). El Complejo Urgoniano del Sur de Santander. Universidad del País Vasco. Lejona.

GAES (1990). Catalogo de Cavidades de Rasines. Inédito.

GEV. 1978. Consideraciones sobre el Karst de Carranza. Kobie, 8: 17-92.

RAMIREZ DEL POZO J. y otros. 1979. Mapa Geológico de España E: 1/50000. Hoja 60/20-5 (Valmaseda) IGME. Madrid.

RAT, P. 1959. Les Pays crétacés basco-cantabriques (Espagne). Université de Dijon.

RENAULT, P. 1970. La Formación de las Cavernas. Colección ¿Qué sé?, Oikos-Tau, Barcelona, 65 p.

ANALISIS DE LAS SURGENCIAS PRINCIPALES DEL JURASICO CENTRAL DE LA SIERRA DE ARALAR.

Koldo Sansinenea, Román Muñoz, Jon Estomba, Natxo Añibarro, Javier Busselo y Txomin Ugalde
Sociedad de Ciencias Aranzadi. Sección Karstología
Paseo Mikeletegi, 67 - Torre de Arbide - Apdo. 563.
20008 Donostia - San Sebastián

(Recibido en Julio 1998)

RESUMEN

En este trabajo pretendemos realizar una primera estimación del funcionamiento hidrogeológico del denominado Jurásico del Anticlinal del Txindoki, dentro de la Sierra de Aralar.

Esta estructura geológica se encuentra situada al Oeste de la Sierra, estando constituida por materiales pertenecientes al Jurásico y Cretáceo.

El Jurásico, representado fundamentalmente por calizas y margocalizas, se encuentra fuertemente karstificado, con un alto índice de cavidades por Km^2 (1). El drenaje es fundamentalmente endorreico siendo las surgencias de Osinberde y Urtxikiain (Bonbatxulo) las principales de la unidad.

En este trabajo se analizan los primeros datos de caudales obtenidos en la estación de aforos construida en el manantial de Urtxikiain en abril del año 1997, comparandolos para el mismo período, con los obtenidos en la estación de Osinberde.

También se indican los primeros resultados de las pruebas de coloración efectuadas en el flanco Norte del mencionado anticlinal, delimitándose las cuencas de los dos principales manantiales de la Unidad Osinberde.

LABURPENA

Aralar mendian kokatuta, Txindokiko Antiklinalaren Jurasikoaren funtzionamentu hidrogeologikoaren lehen hurbilketa bat izango litzateke lan honen xedea.

Egitura geologiko hau Aralarreko Mendebaldean dago eta Jurasiko eta Kretazeoko materialekin osatuta dago.

Marga -kararri eta kararrien bitartez azaltzen zaigu Jurasikoa.Oso karstifikatua dago eta kilometro karratuko haitzuloen indizea altua da.Drenajea gehienbat endorreikoa da eta unitateko iturburu nagusiak Osinberde eta Urtxikiain (Bonbatxulo) dira. 1997ko Apirilean, Urtxikiaingo iturburuan ura neurtzeko estazio bat eraiki genuen.Bertan jasotako lehenengo emari datuak aztertzen ditugu lan honetan. Baita,Osinberdeko estazioan denboraldi berberan jasotako datuekin alderatu ere.

Lehen aipatutako Antiklinalaren Iparraldean egindako kolorazioen leben emaitzak erakusten ditugu eta Osinberde unitatearen bi iturburu nagusien arroak mugatzen ditugu

ABSTRACT

The aim of this paper is to provide an approach to the hydrogeologic working of the so called, Jurassic of the Anticline of Txindoki, in the Aralar mountain range.

This geological structure is situated on the West side of the mountain range and it is made up of materials form the Jurassic and Cretaceous.

The Jurassic is mainly represented by limestones and marly limestones. The karst development is important with a high cave rating per square kilometre.Endorheism is the main characteristic of its drainage and the most important resurgences of the unit are Osinberde and Urtxikiain (Bonbatxulo).

The first flow information obtained at the station we built in April 1997 in the resurgence of Urtxikiain is compared to the information obtained during the same period at the station of Osinberde. The firt results from the coloration carried out on the North side of the Anticline are explained and the hydrogeological basins of the two main resurgences of the Osinberde unit are delimited.

(1) 278 fenómenos karsticos por Km^2. Ugarte F. Rechercher geomorphologique á Aralar Mendi. Tesis Doctoral.

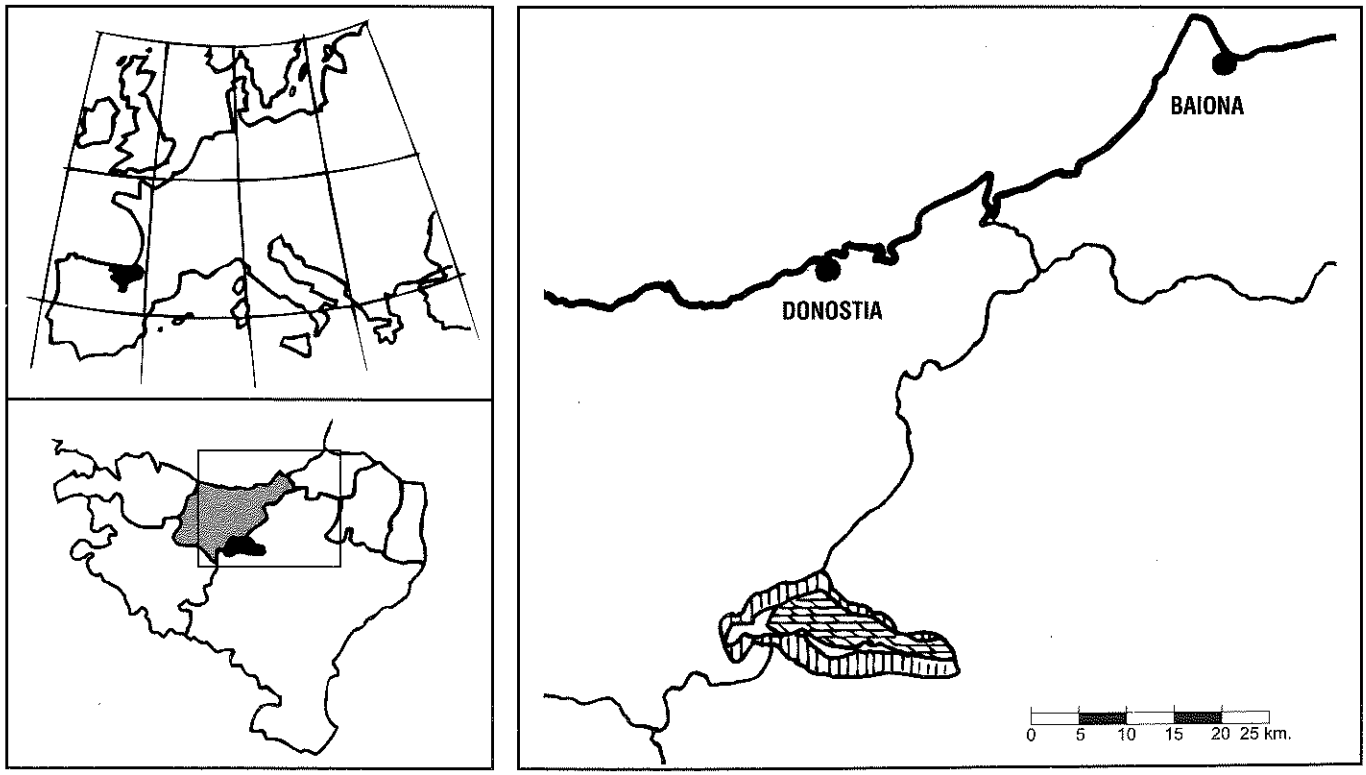


Figura 1.- Situación geográfica de la Sierra de Aralar

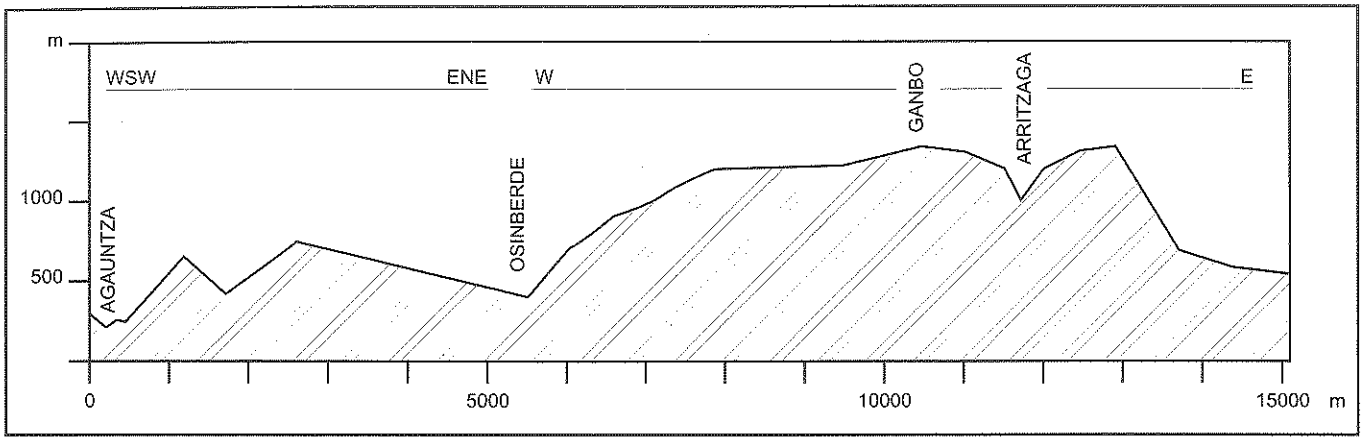


Fig. 2.- Corte WSW-E del macizo de Aralar

2. ANTECEDENTES

La Sierra de Aralar y particularmente la denominada Unidad Osinberde integrada en el Jurásico del Anticlinal del Txindoki, ha sido objeto de numerosas observaciones y estudios con el fin de definir sus características hidrogeológicas y evaluar su capacidad para ser regulado. Todos estos estudios han sido realizados por iniciativa de la Diputación Foral de Gipuzkoa (D.F.G).

Por otra parte y desde hace más de 25 años, la sección de Karstología de la Sociedad Aranzadi, viene realizando tomas de datos, exploraciones en cavidades (una de ellas, Ondarreko zuloa, con un importante río subterráneo), inventarios de sumideros y surgencias, y ensayos con trazadores, con el fin de definir la dirección del flujo subterráneo.

La existencia de una estación de aforos instalada por la D.F.G. en el canal que dirige las aguas de Osinberde al depósito de la central eléctrica que la empresa C.A.F. de Beasain, tiene en Zaldibia, permite estimar su régimen de caudales. Sin embargo, el manantial de Urtxikiain carecía de series de caudales que permitieran definir su comportamiento a la recarga e importancia de sus recursos.

Por esa razón, la sección de Karstología de la S.C. Aranzadi, inició el año 1996 la toma sistemática de caudales, con objeto de definir las variables mencionadas y estudiar su comportamiento.

Para ello inicialmente se realizó un vertedero con el fin de poder realizar las mediciones con molinete, pero las dificultades para la toma de datos en aguas altas y bajas nos obligó a realizar una estación de aforos que nos asegurase la fiabilidad de los datos obtenidos.

Si a lo anterior añadimos la excelente disposición del Servicio de Recursos Hidráulicos de la Diputación Foral de Gipuzkoa tanto en lo que respecta al aporte de materiales y aparatos de medición como al seguimiento de la misma, el resultado fue que llevamos a cabo la obra con la instalación de un lignígrafo que registra los caudales diarios.

Los resultados presentados en este trabajo corresponden al primer año de observaciones del hasta ahora desconocido manantial de Urtxikiain.

También durante este tiempo intensificamos las prospecciones en superficie donde considerábamos que podría ser la cuenca de recepción de este manantial, e iniciamos una campaña de exploraciones por inmersión en las aguas de la surgencia. En esta experiencia de espeleobuceo participaron Antxon Galán por parte de la SC Aranzadi y Javier Ruiz, Luis Miguel Clavería y Carlos Angulo por parte del Grupo Espeleológico de Estella LET.

Fruto de estas exploraciones fue el descubrimiento de una sala aérea en el extremo opuesto al sifón después de una galería inundada de 150 m. de longitud, la catalogación de nuevas cavidades, el inventario de varios sumideros más y el hallazgo de nuevos pozos en cavidades anteriormente estudiadas.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

El Jurásico Central de Aralar se encuentra al Oeste de la Sierra ocupando una superficie de 15.7 Km^2 (Fig.1)

Limita al Norte con el barranco de Arritzaga y las crestas calcáreas del complejo Urgoniano aflorante en Larrunarri (Txindoki) y Ausa Gaztelu, por el Oeste con el río Amondarain y la regata de Errekabeltz, por el Sur con el río Maizegi y las crestas calcáreas Urgonianas del flanco Sur del Anticlinal (Sastarri, Akaitztxiki), y por el Este con la falla inversa de Amabirginarri que le separa de denominada Unidad Escama de Aralar.

Presenta grandes contrastes altimétricos, con cotas mínimas en la regata de Errekabeltz y manantial de Arkakatxiki (310 m) y máxima en el monte Ganbo (1429), todo ello en una distancia en planta de 5 km. (Fig.2)

La altitud media es esta unidad del Jurásico Central, es de 1075 m. con 10.57 Km^2 (el 66.8%) por encima de los 1000 m.s.n.m. y 6.72 Km^2 (42%) que superan los 1200 m., proporcionando un aspecto amesetado en la alta sierra. (Fig.3)

Esta elevada altitud repercutirá en los valores de pluviometría y temperaturas, dando como consecuencia índices importantes de infiltración y lluvia útil.

Geomorfológicamente, predominan los relieves estructurales, profundamente afectados por la tectónica, con un modelado kárstico muy intenso en superficie y lapiaz descubierto.

No existe drenaje superficial organizado a excepción de la depresión de Alotza y cabecera de Muitze, excavados sobre margas calcáreas del Lias.

Sobre esas mismas margas calcáreas se produce escorrentía superficial de carácter temporal en Komansao, formando dolinas de

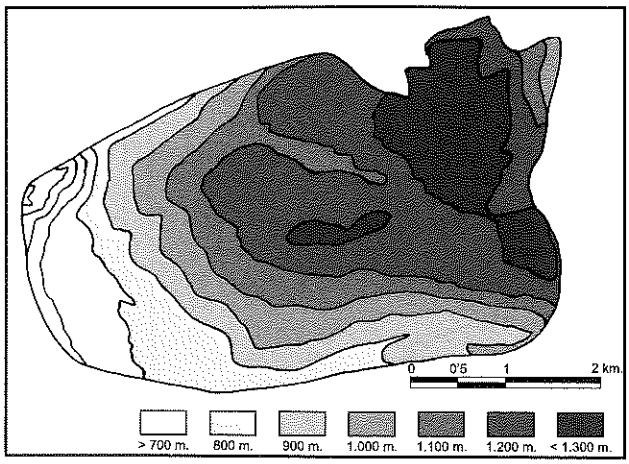


Fig. 3.- Plano ipsométrico del Anticlinal Norte de Aalar

amplio diámetro asociadas a una falla vertical que cruza toda la unidad con dirección NE-SW.

En todos los casos la escorrentía generada se infiltra de forma difusa o localizada al alcanzar los tramos más calcáreos.

Todo el conjunto se encuentra tectonizado por fallas y fisuras de origen diverso, con dirección predominante NE-SW.

La disposición geológica, la fracturación y la variada litología del tramo jurásico, va a dar lugar a diversos tipos de relieve. La envoltura superior del anticlinal está formado por calizas compactas (Malm) situadas entre la falla de Amabirginarri y la de Ganbo (techo de la formación), donde se da un desarrollo específico del Karst.

En Pardarri-Ganbo, las calizas puras del Malm se encuentran muy karstificadas sobre el dorso de una estructura monoclinal con pendiente 20 a 25°, apreciándose lapiaz profundo, diaclasas y modelado de corrosión.

Las zonas de litología menos calcárea (Lias de calizas margosas), la karstificación es menos intensa, con lapiaz semicubierto y poco desarrollado, apareciendo dolinas de gran diámetro.

También en los contactos de los tramos calcáreos más puros con las margocalizas, existe formación de crestones y dolinas alineadas según la dirección del plegamiento. (Bilingartz).

En otros casos las dolinas están alineadas sobre fisuras siguiendo la dirección de las fallas principales (Komonsao) y dolinas disimétricas producidas por erosión diferencial en las formaciones más areniscosas.

4. ESQUEMA GEOLÓGICO.

La Sierra de Aralar ha sido objeto de numerosas referencias y estudios geológicos. Su espectacular estructura, y su completa serie jurásica, ha atraído a numerosos investigadores de las disciplinas geológicas, dejándonos importantes e interesantes trabajos.

Hay que destacar principalmente la tesis doctoral realizada en 1972 por Duvernois, Floquet y Humbel, el trabajo publicado por Soler y José en 1971 y el realizado por el EVE en el año 1989, lo que nos permite tener una importante base geológica al estudiar sus acuíferos.

De los estudios referidos tomaremos las principales referencias al definir la zona objeto de este trabajo.

Geológicamente la Sierra de Aralar corresponde al sector más oriental del anticlinorio de Bilbao.

Es una morfoestructura que se conserva sin grandes alteraciones en la geometría geológica original, apareciendo los relieves estructurales bien marcados en el paisaje.

El domo de Ataun, El cierre periclinal en la terminación occidental, el núcleo del anticlinal en la alta sierra y el cabalgamiento Norte, son ejemplos de la espectacularidad estructural de este espacio.

Está constituida en su totalidad por materiales pertenecientes al Jurásico, Neocomiense y Aptiense, este último de facies Urgoniana, que afloran en medio de formaciones más recientes de edad Cretácea.

La mayor parte de su superficie la ocupan materiales del complejo Urgoniano que envuelven por todas partes al Neocomiense y Jurásico, excepto por el Norte y Este en la zona de cabalgamiento de la «Escama», donde el Jurásico contacta directamente con el Albiense y Cretáceo superior.

Para C. Floquet. El macizo de Aralar queda definido como una estructura que en su conjunto corresponde a un pliegue anticlinal disimétrico volcado y a veces cabalgante hacia el Norte, diferenciandose varias unidades estructurales. Estas son (fig. 4):

- Domo de Ataun.
- Anticlinal Norte o del Txindoki.
- Escama de Aralar
- Sinclinal central
- Anticlinal de Oderiz.

La zona objeto de este trabajo está integrada en la segunda de estas unidades, el anticlinal del Txindoki.

Este Anticlinal forma una amplia ondulación disimétrica vergente al Norte y cabalgante al NE. Está constituido por una amplia cúpula de materiales calcáreos jurásicos y neocomienses y una inversión septentrional de las calizas Urgonianas.

La bóveda del alticlinal está elevada, aflorando la serie jurásica, apareciendo los materiales más antiguos en su núcleo y en el cabalgamiento Norte. Esta estructura evoluciona rápidamente de W a E. De esta manera tenemos que en el collado de Errekonta, el

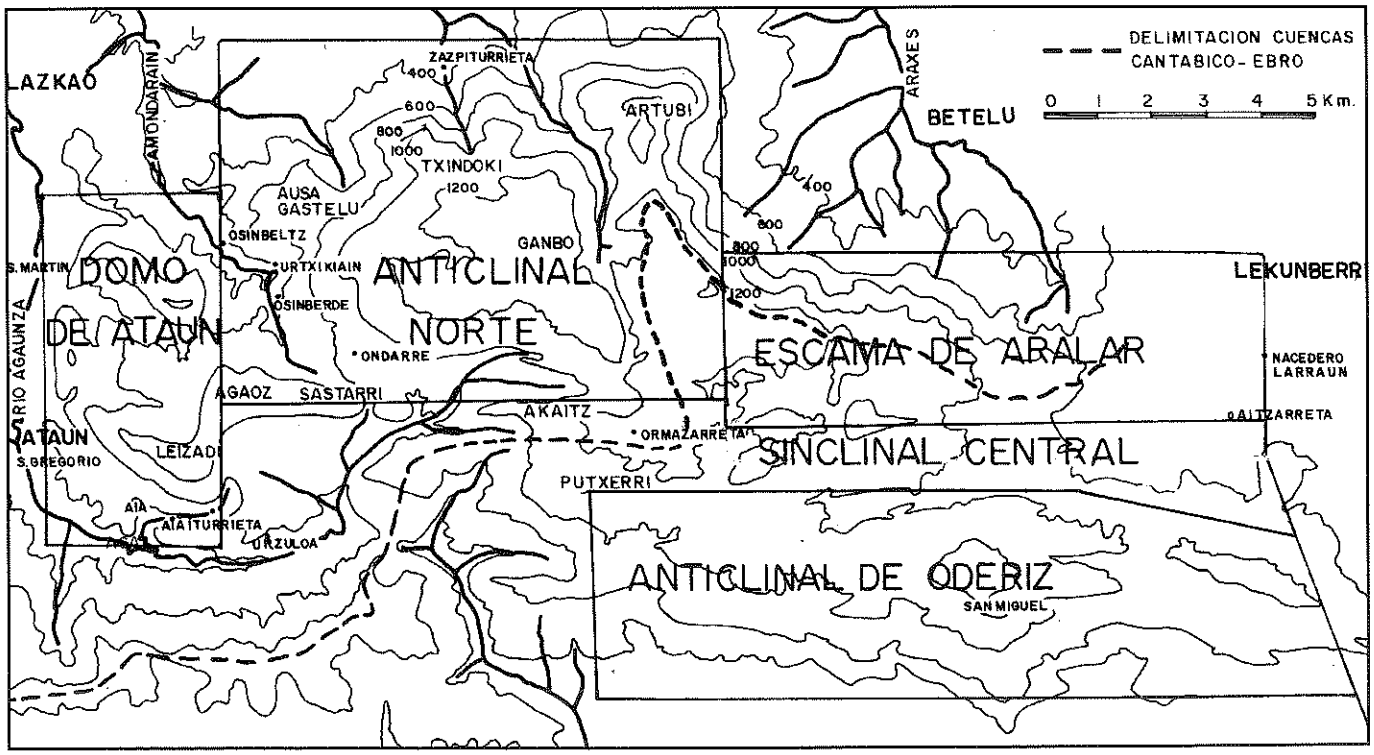
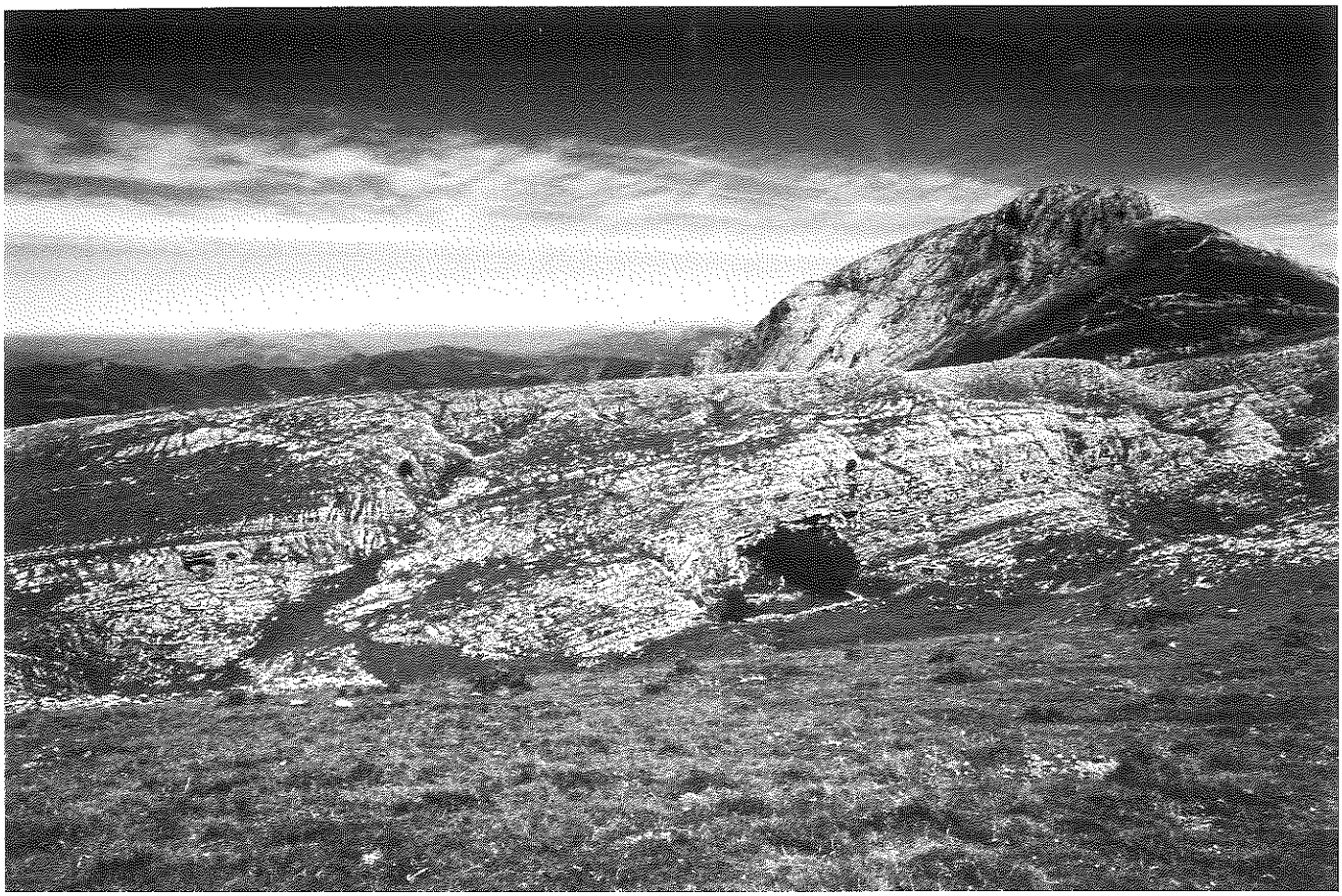


Fig. 4.- Plano de unidades estructurales de Aralar.



Zona superior del anticlinal Norte. Bilingaratz (Txomin Ugalde)

anticlinal es disimétrico pero relativamente bien formado, hallándose presente toda la serie estratigráfica a excepción del tramo Wealdiense y donde las margas y argilitas del Aptiense inferior se encuentran laminadas.

Hacia el Este antes de alcanzar el collado de Egurral, parte de la serie estratigráfica perteneciente al Neocomiense y tramos superiores del Jurásico, van desapareciendo progresivamente por efecto del cabalgamiento, hasta que en el collado de Egurral, el Calloviense inferior entra en contacto con la primera barra Urgoniana del Flanco Norte del Anticlinal. (Fig5.)

Como hemos mencionado anteriormente, el núcleo jurásico del anticlinal se encuentra fuertemente fallado con líneas de fractura predominante NE-SW, fragmentando el anticlinal en bloques y amortiguándose hacia el Oeste en el cierre periclinal.

Estas fallas van asociadas a un sistema de fracturas NE-SE más marginales que compartimentan el conjunto en bloques.

Precisamente será esta compartimentación, unido a su estructura anticlinal, la que condicionará el sentido del flujo hídrico subterráneo hacia las fuentes principales del núcleo jurásico como son Osinberde, Urtxikiain y Arkakatxiki, esta última en relación con los afloramientos calcáreos del Purbeckiense.

Estratigráficamente y considerando que no es posible la conexión de los materiales calcáreos del Jurásico con los del complejo Urgoniano, y teniendo en cuenta el alcance del trabajo, describiremos la parte correspondiente al Jurásico y complejo Purbeck-Weald, tomando como base lo indicado en el Estudio Geológico realizado por el EVE, siguiendo la misma numeración que en su mapa geológico.(fig.6)

Los materiales más antiguos pertenecen al Infralias, continuando la serie hasta el Malm (Kimmeridgiense).

1. Rhetiense- Sinemuriense inferior. Dolomías, carniolas y brechas recristalizadas con intercalaciones de calizas hacia el techo en bancos decimétricos a métricos. Potencia 200 m.
2. Calizas Oolíticas recristalizadas, dolomías y calizas margosas hacia el techo. Estratificación regular en barras decimétricas a métricas. Potencia 30-40 m.
3. Lias margosos. Concordante y en tránsito con la unidad anterior. Margas, margocalizas y calizas arcillosas. Estratificación bien marcada en los tramos calcáreos y esquistosa en los margosos.

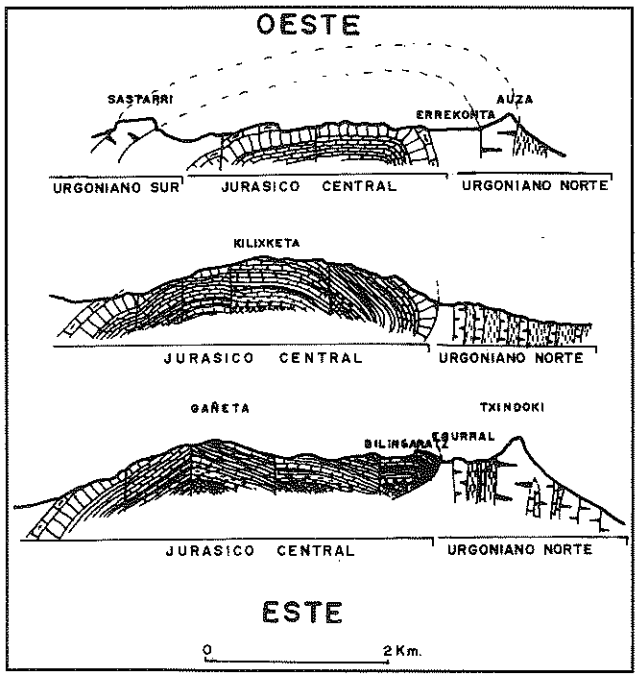
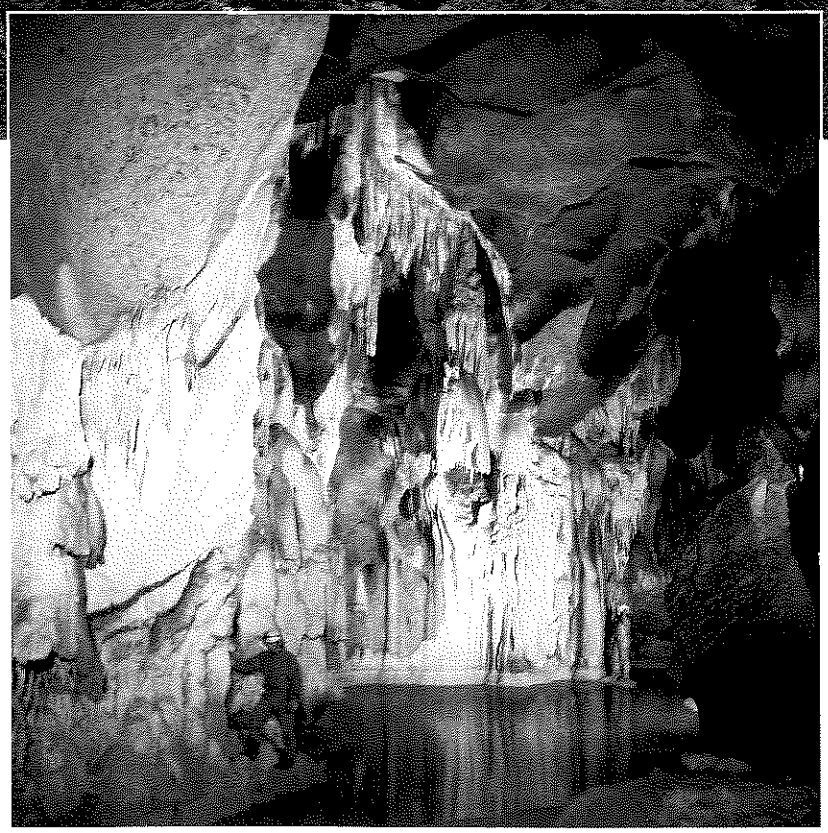


Fig. 5.- Cortes geológicos transversales en dirección N-S. (Duvernois, Floquet, Humbel, 1972)

GURE LURPEKO ONDAREA
NUESTRO PATRIMONIO SUBTERRANEO

INGURUGIRO BALIO HANDIKO GUNEAK DIRA

SON AREAS DE GRAN VALOR AMBIENTAL



Gure mendiak, askotan, kararrizko lurretan sortu dira.

Muchas de nuestras montañas se han formado sobre terrenos calcáreos.

Mendi hauen azpian, badaude lurpeko eremuak, geologia, biologia eta kulturaren aldetik oso aberatsak direnak eta akuifero garrantzitsuak barnean dauzkatenak.

Bajo estas montañas, existen espacios subterráneos de gran riqueza geológica, biológica y cultural, que albergan importantes acuíferos.

Eusko Jaurlaritzako Lurralde Antolamendu, Etxebizitza eta Ingurugiro Sailak, gure Lurpeko Ondarearen balio handiaren jakitun, oraindik ezaguna ez dena, horren katalogazioari ekin eta horren babesa bultzatzea erabaki du.

El Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, consciente del gran valor de nuestro Patrimonio Subterráneo, aún poco conocido, ha decidido abordar su catalogación y promover su protección.

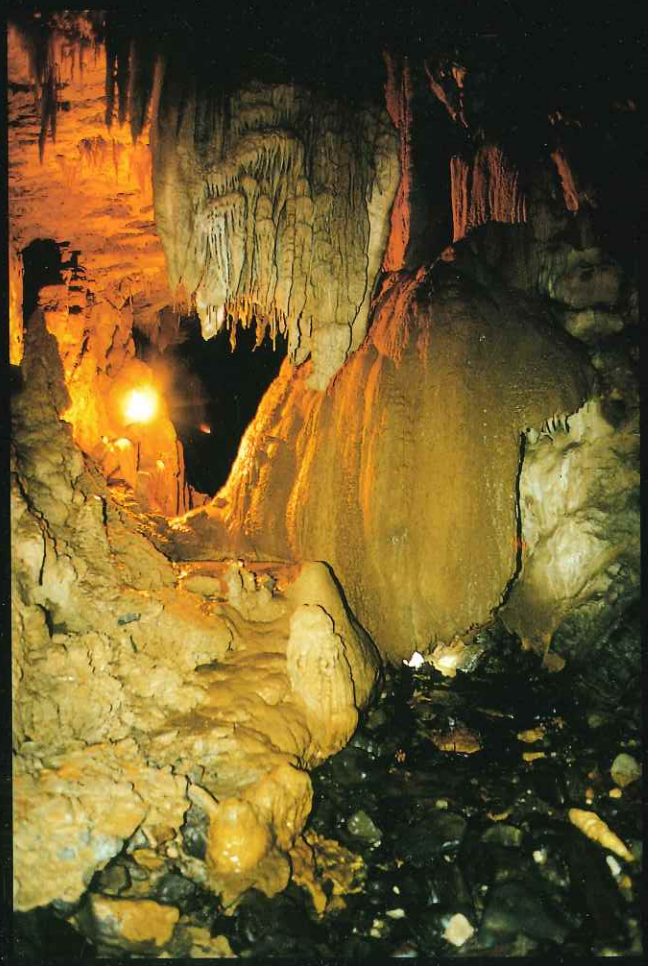
EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO

LURRALDE ANTOLAMENDU, ETXEBIZITZA ETA INGURUGIRO SAILA
Ingurugiro Saiordetza

DEPARTAMENTO DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, VIVIENDA Y MEDIO AMBIENTE
Viceconsejería de Medio Ambiente

Nacedero de Berrendipea (Orbaizta). Foto GES.

Paso estrecho en el río de Arriluxe. Foto K. Aranguren (GES).



Formaciones litogénicas en el cañón de Arriluxe.
Foto K. Aranguren (GES).

Meandros de entrada en el Sis

RERRENDI

GRUPO ESPELEOLOGICO SATORRAK

Sistema de Arriluxe. Foto GES.

Pozos de entrada. Sima de Platzeabizkar (AR-20).
Foto GES.

Colector principal en el Sistema de Arriluxe.
Foto K. Aranguren (GES).

Gran galería en el Sistema de Arriluxe.
Foto K. Aranguren (GES).

ATRAPADO EN UNA CAVIDAD LO TIENES TODO EN CONTRA

ALGUNOS CONSEJOS ÚTILES

NO VAYAS SOLO

El equipo ideal está formado por tres personas. Si una se accidenta, otra se puede quedar con él mientras el tercero sale a buscar ayuda.

AVISA DONDE VAS

De esta manera el grupo de rescate sabrá donde buscarte. Avisa también a qué hora esperas volver.

REVISA TU EQUIPO

Usa el frontal eléctrico u otro sistema a prueba de agua. Desconfía de las linternas de mano. Lleva pilas de repuesto.

ATENCIÓN AL TIEMPO

No entres con lluvia. Las crecidas en una cavidad son torrenciales. Aunque el agua no te arrastre, puedes quedar atrapado.

RECUERDA:

En emergencias avisa al

112

SOS DEIAK

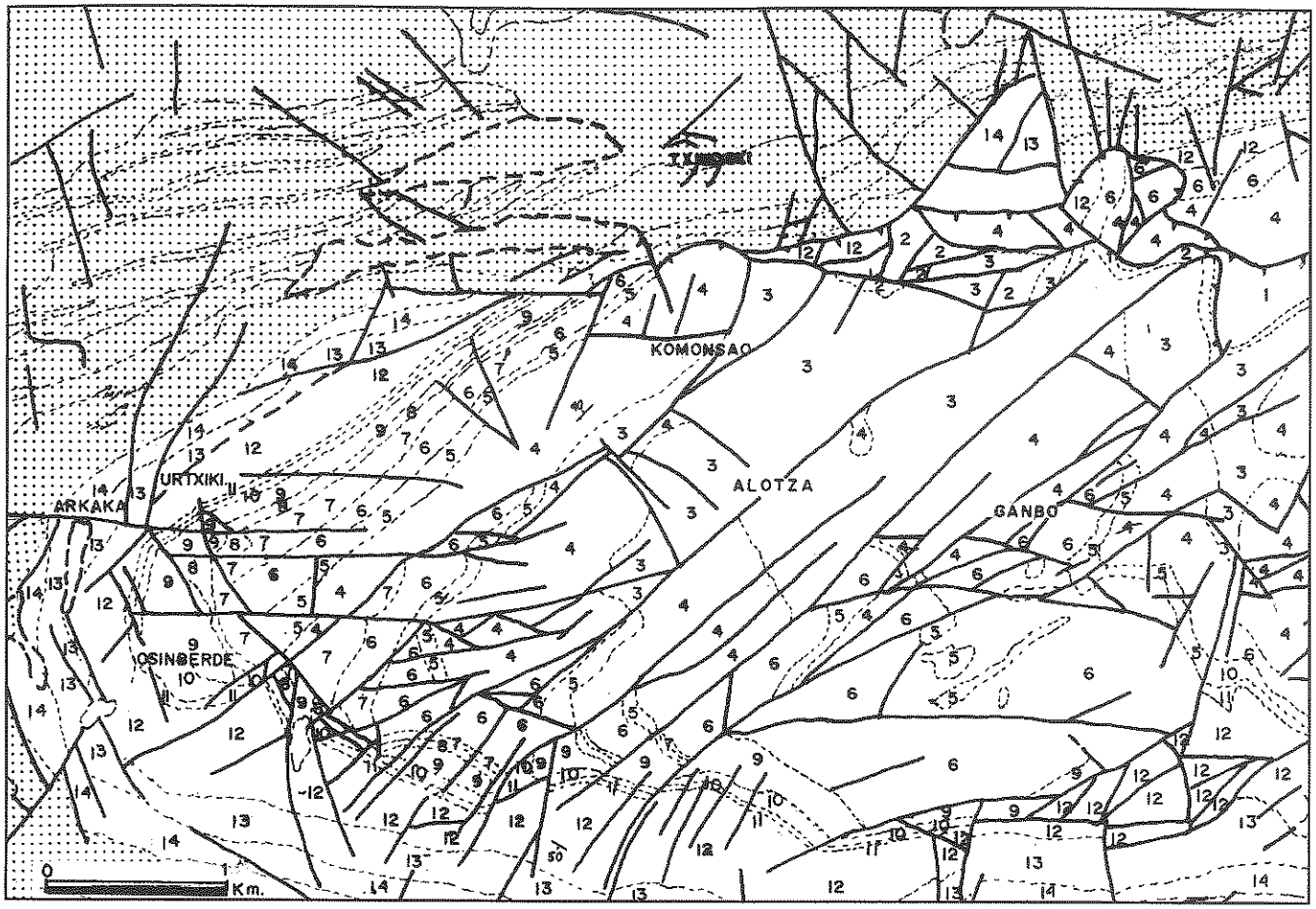


Fig. 6.- Mapa geológico del Anticlinal Norte de Aralar (Según EVE, 1987)

3.a. Calizas impuras en el tramo superior de la unidad. Potencia 250-270 m.

4. Dogger calizo. Formado fundamentalmente por calizas y concordante con el anterior. Serie monótona de calizas con pequeñas intercalaciones de calizas arcillosas y margas. Hacia el techo presentan niveles de calizas arenosas de tonos oscuros en tránsito hacia la siguiente unidad. Estratificación regular de espesor métrico.
   4.a. Calizas puras.
   4.b. Calizas arcillosas.
5. Malm. calizo arcilloso. Oxfordiense. Representado por calizas arenosas y areniscas calcáreas en estratificación regulas en bancos métricos. Tiene variaciones laterales importantes con mayor desarrollo en la zona Oeste y desapareciendo hacia el Este. Potencia 40-50 m.
6. Calizas con silex. Oxfordiense. Situada por encima de la anterior o directamente sobre la unidad 4. Calizas con intercalaciones de margas, margocalizas y areniscas calcáreas, en bancos métricos a decimétricos.
7. Areniscas. Oxfordiense. Areniscas medias a gruesas poco cementadas y con intercalaciones de calizas arenosas y limosas. Bancos métricos. Potencia 60-70 m.
8. Calizas microconglomeráticas con granos de cuarzo. Oxfordiense. Potencia 15-20 m.
9. Calizas limosas. Kimmeridgiense. Calizas detríticas oscuras limosas con intercalaciones de areniscas calcáreas y calizas más puras. Potencia 60-70 m.
10. Calizas claras recristalizadas en bancos de espesor métrico 30-35 m. (Kimmeridgiense).
    Complejo Purbeck-Weald. de edad Kimmeridgiense-Neocomiense, formado por una compleja serie litológica referida a medios de transición.
11. Conglomerados calcáreos y areniscosos. Potencia 20 m.
12. Calizas, margas y lutitas en tonos negros. Potencia 250-270 m.
13. Areniscas rojas de grano fino a medio, micáceas y versicolores. Potencia 100 m.
14. Lutitas, areniscas y calizas. Potencia 80-90 m.

5. HIDROGEOLOGIA.

El Jurásico central constituye el drenaje cuantitativamente más importante de los sistemas karsticos de la vertiente cantábrica de Aralar. (fig.7)

Su cuenca de influencia se extiende por una superficie de 15.7 Km^2, encontrándose aislada del resto de los acuíferos endorreicos por los tramos impermeables del Neocomiense y Aptiense inferior que rodean al Jurásico, excepto por el Este, que será la falla inversa de Amabirginarri la que establezca el cambio de vertiente entre esta unidad y la del Larraun.

Son tres los manantiales que drenan esta unidad. El principal es Osinberde con un caudal medio anual estimado de 510 l/seg, el de Urtxikiain o Bonbatxulo con unos 100 l/seg y el de Arkakatxiki con 70 l/seg, situados todos ellos en el cierre periclinal oeste de la zona de estudio.(2)

La situación de estas surgencia es la siguiente:

Osinberde

Coordenadas UTM. X: 571.470
Y: 4.761.215
Z: 475

Material geológico: Contacto calizas del Malm-Purbeck

(2) Caudales estimados en Estudio Hidrogeológico del Pais Vasco. EVE. 1997

Surgencia de Osinberde (S. C. Aranzadi)

Situado en la regata de Errekabeltz, Surgen sus agua a través de una galería inundada e inclinada que ha sido explorada mediante técnica de espeleobuceo. Esta galería desciende hasta un nivel de 23 m. bajo la cota del manantial y se prolonga en una longitud de 160 m. hasta alcanzar una sala aérea. La cavidad continua por medio de una amplia galería por la que circula un río subterráneo. (fig. 8)

En octubre de 1988 (3) después de un prolongado estiaje, se realizó un ensayo de bombeo. En el momento del ensayo surgían

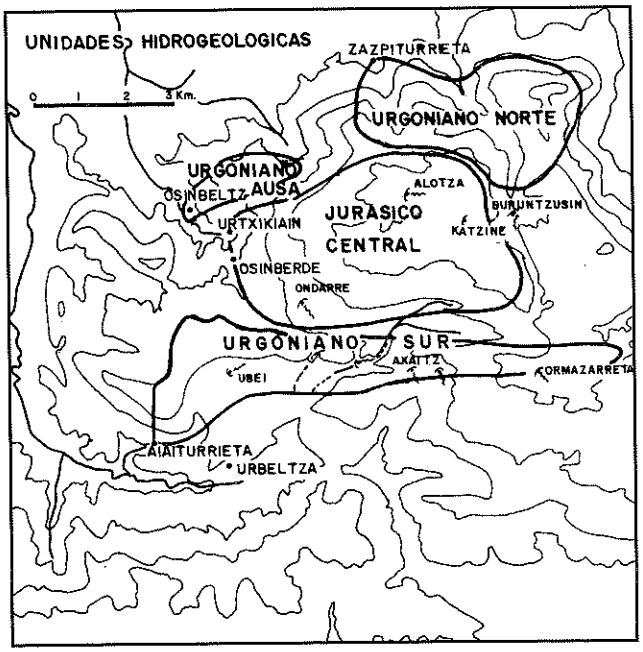


Fig. 7.- Mapa de unidades hidrogeológicas de Aralar

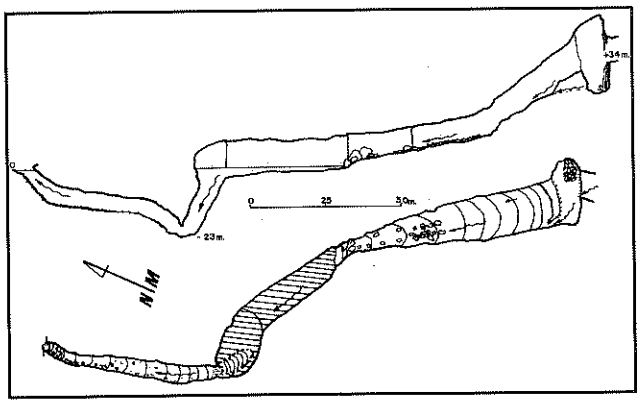


Fig. 8.- Plano de la Surgencia de Osinberde

35 l/seg y se empleó una bomba de 60 l/seg. En el informe realizado se llega a la conclusión que el aumento del gradiente ocasionado por el bombeo no genera un aumento apreciable del caudal, por lo que se estima que es un acuífero colgado.

Urtxikiain (Bonbatxulo)

Material geológico: Contacto calizas del Malm-Purbeck
Coordenadas UTM X: 571.280
Y: 4.762.040
Z: 435

Situado en la regata del mismo nombre con características similares al de Osinberde. En verano de 1997 se realizó una experiencia de espeleobuceo con el fin de explorar la galería de emisión. Esta galería con 45° de inclinación desciende hasta una cota de

(3) Informe realizado por Iñigo Arrizabalaga. EVE.

-19 m. por debajo del nivel de emisión del manantial y se alcanza una galería aérea a los 120 m. de la surgencia La galería ascendente en el tramo no indundado continua hasta un tramo vertical de donde el agua cae en cascada dificultando su exploración. (fig.9.)

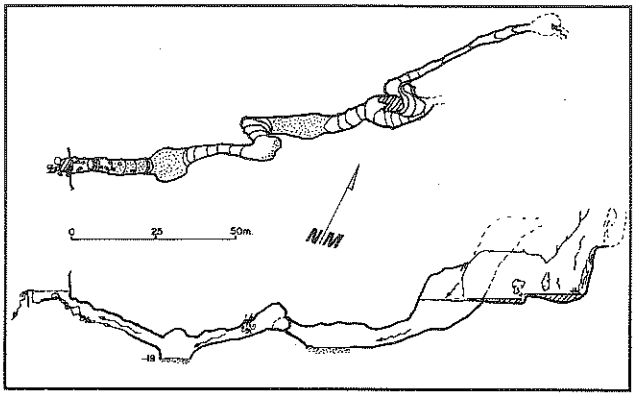


Fig. 9.- Plano de la Surgencia de Urtxikiain. Según A. Galán y Lizarra E.T.

Arkakatxiki.

Material geológico: Calizas Purbeckienses

Situada en la margen izda del río amondarain 100 m. río abajo de la confluencia con la regata de Bonbatxulo. Se estima un caudal medio de 70 l/seg.. Las mediciones de este manantial han proporcionado 100 l/seg (6-4-88) y 5 l/seg (11-11-88) (4)

Además de los manantiales citados y como consecuencia de los diversos estudios hidrogeológicos que la D.F.G. ha llevado a cabo, se han realizado varios sondeos de investigación y pozos, algunos de los cuales son surgentes. El más importante el denominado R7 tiene un caudal surgente de 27 l/seg.

Este sondeo atraviesa las capas jurásicas 11 a 4 definidas en el apartado de geología, alcanzando una profundidad de 702 m. Según la memoria del sondeo (5) los mayores aportes se sitúan entre las cotas 205 y 270, con aportes más profundos que la cota cero (El sondeo está situado a una altitud de 355 m.s.n..m).

(4) Informe Hidrogeológico Diputación.
(5) Momoria del sondeo R7 DFG

Sumideros y puntos de infiltración

Aparte de la infiltración directa en los tralos calcáreos karstificables, existen varios puntos de infiltración localizados (sumideros), situados generalmente en el contacto entre las calizas margosas del Lias y los tramos calcáreos del resto de la serie. En algunos de ellos se han realizado ensayos con trazadores.

Katxiñe.

Coordenadas UTM: X: 576.160
Y:4.762.555
Z: 1.247

Conectado con la surgencia de Osinberde (prueba de coloración). El colorante tardó 21 días en aflorar en Osinberde. Situado en el flanco Sur del anticlinal.

Ondarre.

Coordenadas UTM: X 572.360:
Y 4.760.650
Z: 752

Sumidero y rio subterráneo. Conectado con la surgencia de Osinberde (prueba de coloración). El colorante tardó 5 días en aflorar en Osinberde. Situado en el flanco Sur del Anticlinal.

Alotza:

Coordenadas UTM: X: 574.500
Y: 4.761.735
Z: 1.200

Conectado con la surgencia de Osinberde (prueba de coloración). El colorante tardó 19 días en aflorar en Osinberde. Situado en el flanco Sur del Anticlinal.

Komonsao:

Coordenadas UTM: X : 574.580
Y: 4.762.720
Z: 1.185

Conectado con la surgencia de Urtxikiain (Bonbatxulo), según prueba de coloración efectuada el 11 de octubre de 1998, detectándose el colorante en Urtxikiain el día 17 de octubre de 1998. Actualmente este ensayo se encuentra en estudio. Situado en el flanco Norte del Anticlinal.

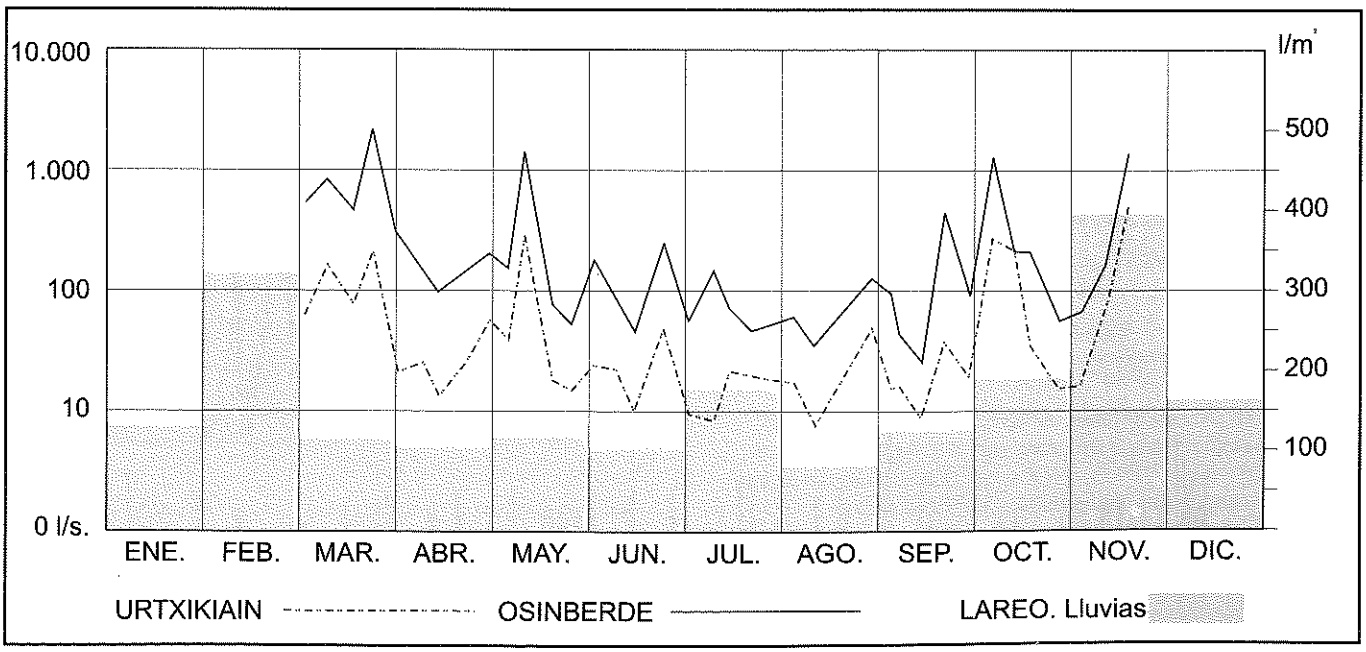


Fig. 10.- Hidrograma año 1996

5.1. Análisis de los manantiales.

Durante el año 1996 efectuamos aforos con molinete en el manantial de Urtxikiain y el canal que recoge las aguas de la surgencia de Osinberde. Medimos además el caudal derivado del canal junto a esta última surgencia con objeto de mantener un caudal ecológico en la regata de Errekabetz y los rebosaderos en periodos punta que no son recogidos por el canal y por lo tanto tampoco registrados en el lignígrafo.

El hidrograma de estas mediciones se recoge en la figura 10 y el resumen de los mismos aparecen en la siguiente tabla (periodo 3 de marzo a 11 de noviembre).

Surgencia	Caudal medio (l/seg)	Caudal máximo (l/seg)	Caudal mínimo (l/seg)
Osinberde	431.5	2336	27
Urtxikiain	73	546	8

La precipitación para este período del año 1996 en la estación de Lareo situada a 725 ms.n.m. y a 3500 m al SW del centro de la cuenca de la unidad Osinberde era de 1073 l/m^2.

Realizando el correspondiente balance hídrico con los datos pluviométricos y termométricos de la mencionada estación, nos proporciona una lluvia útil de 673 l/m^2, que proyectando estos valores sobre la cuenca descrita nos dan unos valores medios anuales de 480 l/seg, lo que se acerca a los valores medidos, teniendo en cuenta además que para este tanteo no se ha considerado el aumento de la precipitación en altura y la menor evapotranspiración como consecuencia de una temperatura media inferior a la proporcionada por la estación de Lareo.

Por otra parte y como hemos indicado anteriormente, el año 1997 realizamos una estación de aforos en el manantial de Urtxikiain, cuyos datos registrados y controlados por el Servicio de Recursos Hidráulicos de la D.F.G., nos permiten realizar los primeros análisis de los hidrogramas y sus curvas de agotamiento.

En la figura 11, representamos la evolución de los caudales de los manantiales de Osinberde y Urtxikiain en el tiempo, en base a datos diarios junto con la pluviometría también diaria correspondiente a la estación de Lareo.

De dicho gráfico se deduce que las dos surgencias son perennes, con caudales que oscilan para Osinberde entre 2681 l/seg y 16 l /seg y para Urtxikiain entre 411 l/seg y 3.l seg..

De estos hidrogramas podemos deducir que la respuesta es casi inmediata y muy acusada en función de la pluviometría.

Los valores medios de caudales mensuales y el total de la precipitación para el periodo observado (junio 97- marzo 98) es el siguiente:

	1997							1998		
	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Osinberde	160	263	63	106	88	337	535	363	197	305
Urtxikiain	29.2	58.8	22.2	32.1	25.6	68.1	98.8	60.1	39	67.4
Lareo	155	193.4	115.1	113.1	68	161.2	194	80.2	60	91.4

Las unidades están el l/seg para los manantiales y en l/ m^2 para la estación pluviométrica.

Los datos de la estación de Urtxikiain hemos tenido que completarlos mediante un ajuste por la recta de regresión de sus caudales con los de Osinberde.

Por medio de esos mismos coeficientes podemos estimar el caudal medio para el año hidrológico 96/97, correspondiendo

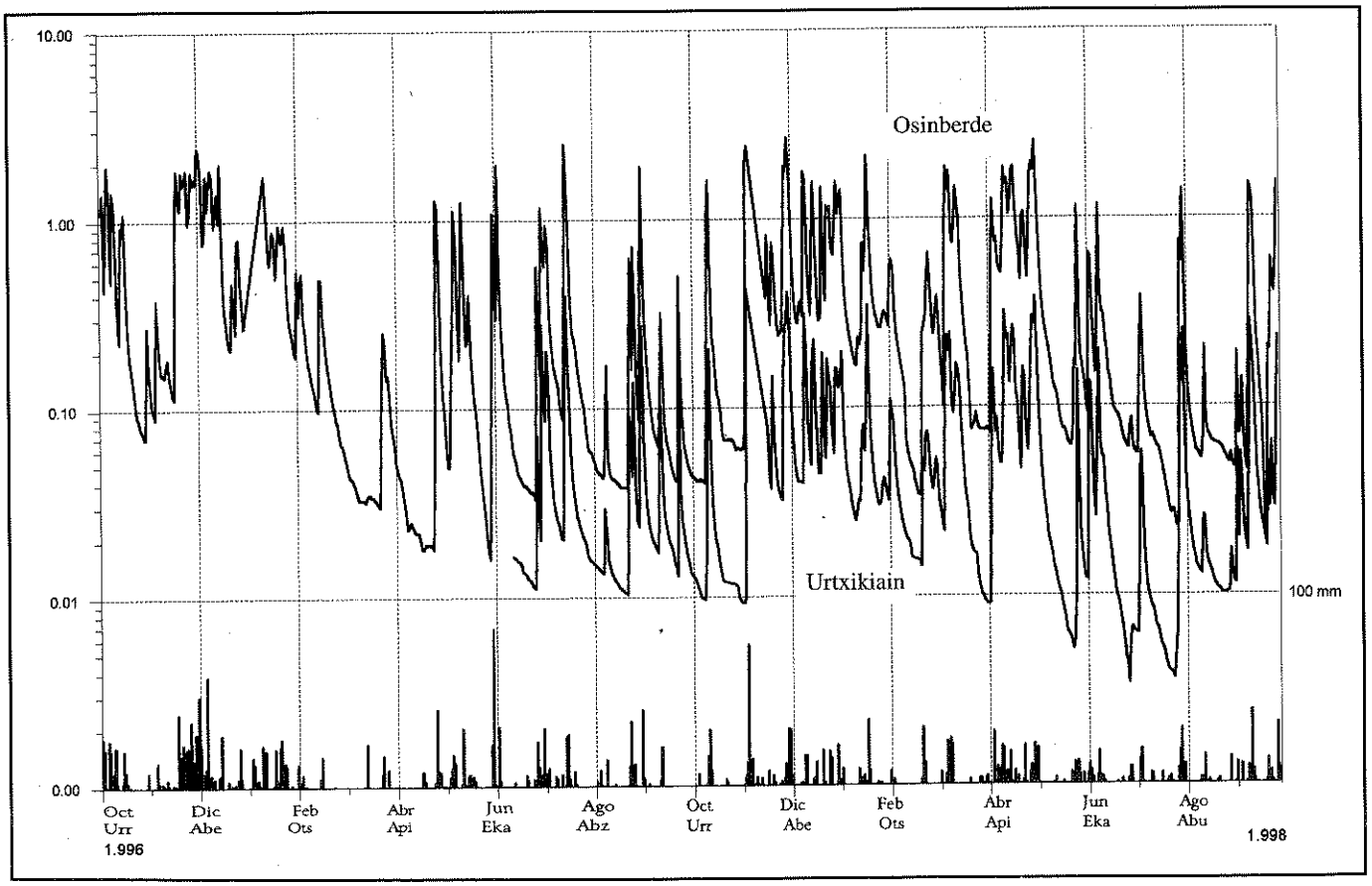


Fig. 11.- Hidrograma 96-98 de las surgencias de Osinberde y Urtxikiain

248 l/seg para Osinberde y 54.5 l/seg para Urtxikiain. Vemos por los tanto que el caudal de Urtxikiain es aproximadamente el 22 % del drenado por Osinberde.

Estas estimaciones nos permiten establecer la superficie de influencia de los respectivos manantiales y cotejar con los resultados obtenidos de los ensayos de coloración.

5.2. Análisis del hidrograma y caudal de agotamiento.

En base a las estimaciones diarias obtenidas entre junio de 1997 y marzo de 1998, hemos tomado los tramos de la curva no influenciados por las precipitaciones con el fin de calcular los coeficientes de agotamiento.

Al contemplar el hidrograma posterior a la recarga por precipitación, se observa que el vaciado de los acuíferos estudiados corresponden a una superposición de tres tipos de escorrentía subterránea, traducido en el hidrograma por tres rectas con pendientes diferentes (fig. 12)

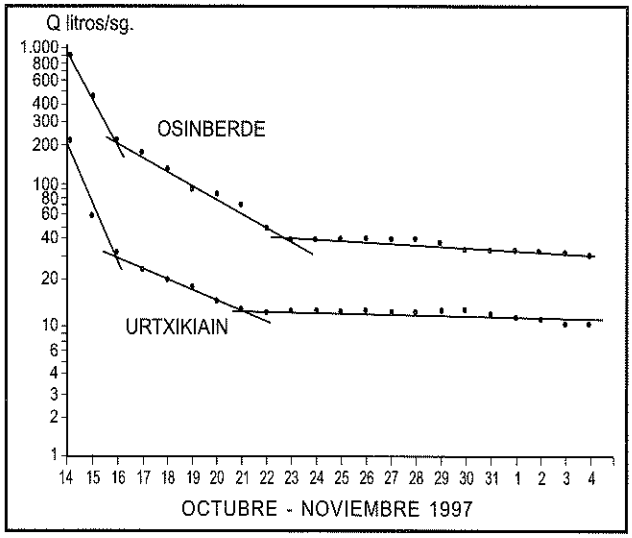


Fig. 12.- Curva de agotamiento de Osinberde y Urtxikiain

Por medio del método de Maillet, calculamos los coeficientes de agotamiento de los tres tramos de los manantiales analizados.

$$Qt = Qo \cdot e^{-\alpha \cdot t}$$

Siendo:

Qo = Caudal Inicial
Qt = Caudal en un tiempo t
α = coeficiente de agotamiento
t = tiempo considerado.

	α1	α2	α3
Osinberde	0.4895	0.2159	0.02402
Urtxikiain	0.6207	0.1634	0.02054

Conforme avanza el agotamiento, el primer y segundo término disminuye hasta alcanzar a los 9 días el inicio del agotamiento, alimentándose exclusivamente de las discontinuidades menores.

La parte del hidrograma elegido para analizar el agotamiento ha sido el tramo de 22 días no influido por precipitaciones que corresponden al periodo máximo sin lluvias en el tiempo observado. (fig. 13)

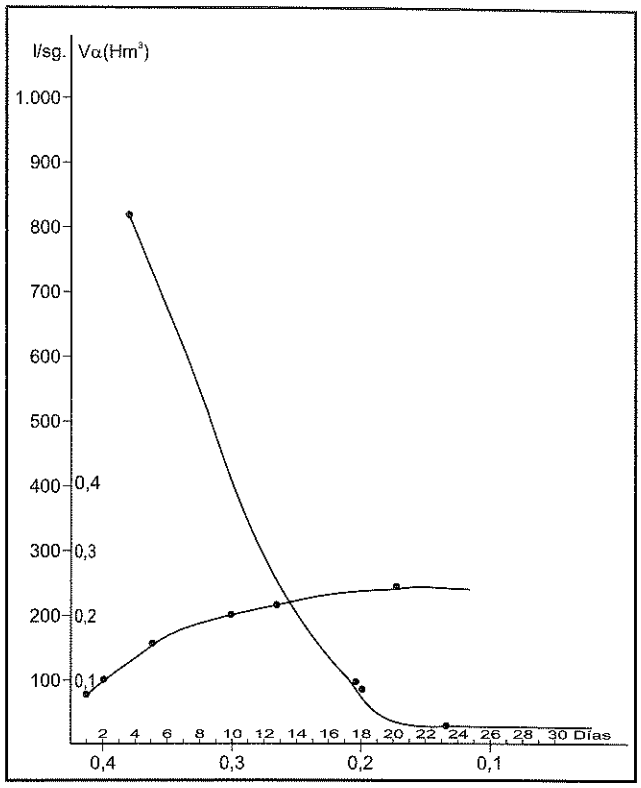


Fig. 13.- Curva volúmenes residuales

Al separar el hidrograma en tres componentes en función de las pendientes de la curva, el caudal en el instante «t» es la suma de las exponenciales de los diferentes coeficientes de agotamiento.

$$\text{Osinberde}: Qt=0.808 \cdot e^{-0.489 \cdot t} + 0.186 \cdot e^{-0.2159 \cdot t} + 0.041 \cdot e^{-0.02402 \cdot t}$$

$$\text{Urtxikiain}: Qt=0.206 \cdot e^{-0.602 \cdot t} + 0.0.032 \cdot e^{-01634 \cdot t} + 0.0.012 \cdot e^{-0.0.0205 \cdot t}$$

Las fórmulas de las curvas de agotamiento nos permiten calcular la capacidad de almacenamiento de las cuencas, siendo ésta la función inversa del coeficiente de agotamiento

El volumen inicial por encima de la surgencia susceptible de ser drenado es la suma de los diferentes volúmenes.

$$Vo= Vo' + Vo'' + Vo'''$$

Osinberde $Vo=((0.808/0.489)+(0.186/0.2159)+(0.041/0.02402))\cdot 86400$

Urtxikiain $Vo=((0.206/0.6207)+(0.032/0.163)+(0.012/0.0205))\cdot 864000$

Osinberde Vo= 0.363 Hm^3

Urtxikiain Vo= 0.0962 Hm^3

Si utilizamos la fórmula de G.Tison, W. Werner y K J Dunsquit, llegamos a similares resultados:

$$Qt= (Qo/(1+\alpha t)^2$$

$$Vo= (86400 \cdot Qo/\alpha)$$

Proporcionándonos valores de almacenamiento de 0.383 Hm^3 para Osinberde y 0.108 Hm^3 para Urtxikiain, similares a los obtenidos anteriormente.

Como resultado de este análisis podemos ver que los dos acuíferos tienen un comportamiento similar, con índices de agotamiento altos y por lo tanto con bajo poder regulador puesto que el coeficiente de agotamiento es menor cuanto mayor es el volumen de agua almacenada.

Los valores de volúmenes residuales son también bajos para un acuífero de su superficie.

Surgencia de Urtxikiain (Txomin Ugalde)

Teniendo en cuenta también que en la cuenca de influencia de estos acuíferos no existe escorrentía superficial organizada que se infiltre en sumideros, y que solamente son pequeños cauces alimentados por fuentes epikársticas, la oscilación de caudales y el rápido agotamiento nos puede orientar hacia unos acuíferos desarrollados en grandes conductos con líneas preferenciales de flujo y escasa red de fisuras que puedan mantener volúmenes importantes de reservas. Es decir, teóricamente en un verano seco los caudales pueden descender por debajo de los 7 l/seg para Osinberde y de los 3 para Urtxikiain.

Como conclusión de este análisis podemos sugerir que el similar comportamiento de estos acuíferos puede ser debido a las semejantes características geométricas de los mismos, similar altitud media de sus cuencas, similar litología y estructura y fracturación de los terrenos que los albergan, y su rápido agotamiento nos puede indicar también que es de funcionamiento libre, donde el nivel de huecos es importante y excavado a favor de la fracturación y las juntas de estratificación, mostrando direcciones preferenciales de flujo y elevada anisotropía.

5.3. Análisis de sus cuencas de recepción

Como ya hemos indicado, la unidad de Osinberde tiene una superficie de 15.7 Km^2 de los cuales 12.4 Km^2 corresponden a afloramientos del Jurásico marino y 3.3 Km^2 corresponden al Purbeck-Weald.

La lluvia útil infiltrada en éste área alimentará a los manantiales de Urtxikiain, Osinberde y Arkakatxiki, de la citada unidad.

La disposición estructural en forma de anticlinal vergente al Norte y la fracturación principal de dirección NE-SW, condiciona la organización del drenaje subterráneo hacia los puntos de emisión en el cierre periclinal de la Sierra.

Los ensayos con trazadores realizados hasta la fecha desde los sumideros descritos anteriormente, han dado como resultado que los correspondientes al flanco Norte del Anticlinal están relacionados con Urtxikiain, mientras que los existentes en el flanco Sur conectan con Osinberde, sin que se detectara en ninguno de los casos conexiones entre los citados manantiales.

Por otra parte, tal y como hemos indicado anteriormente, la relación de caudales medios obtenidos por ensayos de regresión entre Osinberde y Urtxikiain, nos establece que el caudal drenado por el último es del 22% del valor de Osinberde; si añadimos las similares características hidráulicas de los dos manantiales así como de valores semejantes de lluvia útil, podemos estimar una cuenca de 3 Km^3 para Urtxikiain y de 9.4 Km^2 para Osinberde.

Realizado un reconocimiento sobre la geología del área y si tomamos como límite el eje del anticlinal y el cabalgamiento Norte, nos establece una zona de aproximadamente 3.5 Km^2 dentro del flanco Norte del Anticlinal donde quedaría incluida la depresión de Komonsao y su falla asociada así como los afloramientos de Bilingaratz. (fig. 14)

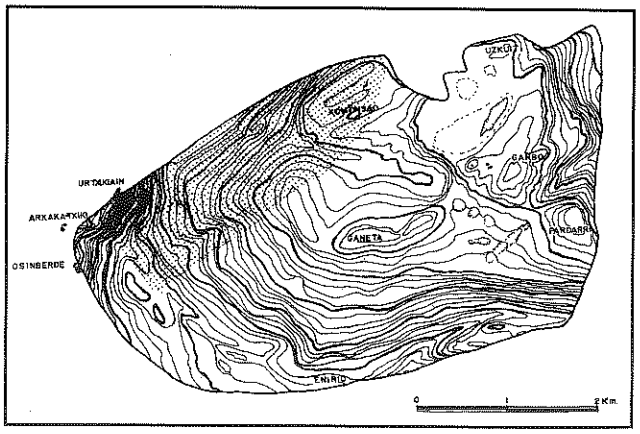


Fig. 14.- Plano de afección acuífero de Komonsao-Urtxikiain

Al existir en Komansao un sumidero temporal, en octubre de 1998 realizamos un ensayo de coloración con el fin de establecer la relación de este punto de agua con alguno de los manantiales del Jurásico. Realizada la inyección del colorante, seis días más tarde afloró en el manantial de Urtxikiain, quedando demostrada la relación del área del flanco Norte del Anticlinal con el mencionado manantial.

6. CONCLUSIONES

Los acuíferos situados en el Jurásico marino del Anticlinal del Txindoki, tienen un funcionamiento independiente con su propia superficie de captación y red de drenaje.

La estructura geológica y la tectónica condiciona el flujo subterráneo, compartimentando los acuíferos, lo que produce que el flanco Norte del Anticlinal drene a Urtxikiain y el flanco Sur de mayor extensión, a Osinberde.

Los dos acuíferos principales tienen bajo poder regulador y escasas reservas, adivinándose además la existencia de fuerte karstificación en el sistema jurásico con conductos internos de amplitud elevada.

BIBLIOGRAFÍA

UGARTE FÉLIX. Montes Vasco-Cantábricos. Ed. Rueda 1994.

UGARTE FÉLIX. Recherches geomorphologiques dans le karst d' Aralar Mendi (Gipuzkoa-Navarra.Pays Basque). Thse 3me Cycle Universit d' Aix-Marseille II.

UGARTE FÉLIX, UGALDE TXOMIN. La Dynamique karstique actuelle a Aralar Mendi Moyenne montagne Basco-Cantabrique. Annales de la Societ du Belgique T108. 1985.

VIERS G. La niege dans le Pays Basque francais..Mlanges gographiques offerts en hommage Charles P.Pguy. Grenoble 1981

FLOQUET M., RAT P. (1975) Un example d' interrrelation entre socle, palogographie el estructure dans l' Arc Pyrnen Barque: La Sierra d Aralar. Rv. de Gographie physique el de Gologie Dynamique. Vol XVIII, fasc. 5, pp 497-512. Paris.

DUVERNOIS CH., FLOQUET M., HUMBEL B. (1972) : La Sierra d' Aralar. Teis doctoral. Inst. Sci. Terre. Univ. Dijon, pp 264.

IGME: Cartografía geológica 1:50.000 Hojas 89 y 114

EVE. Cartografía geológica 1:25000 hojas 89 -III y 114-I

I. CORRALES ET AL. (1977) : Estratigrafía. Editorial Rueda. Madrid

AÑÍBARRO N. ET AL. La sierra de Aralar. ó El mundo Subterráneo en Euskal Herria Edit. Ostoa 1997.

POWELL, D. Interpretation of Geological Structures Through Maps. Lonnsman Scientific and Technical.

SOLER Y JOSÉ R. (1971). Estudio geológico de la Sierra de Aralar. Boletín Geológico y Minero, Tomo 82-V, pp 406-428 IGME

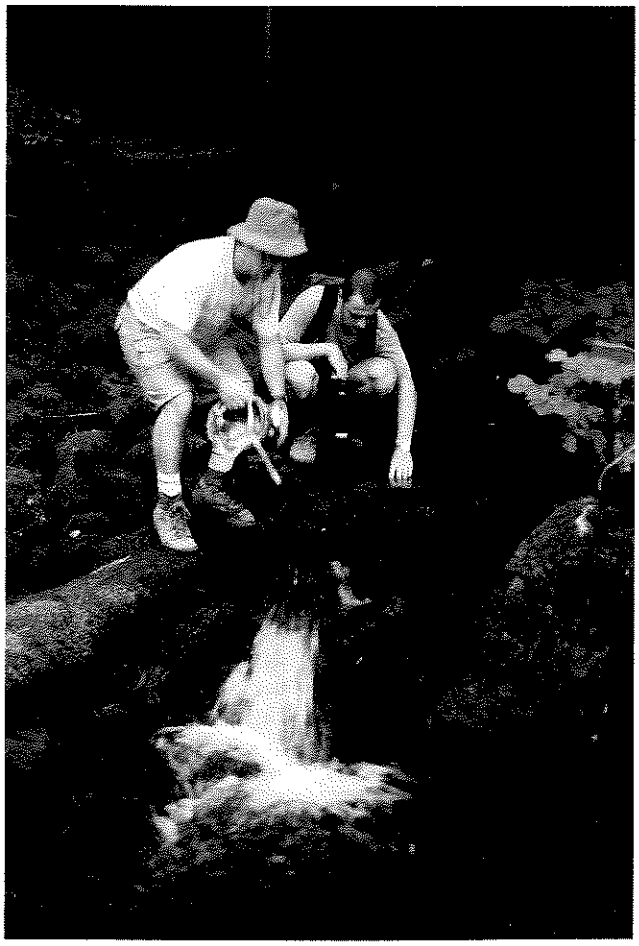
ENTE VASCO DE LA ENERGIA - RECURSOS GEOLOGICOS. 1989. Estudio hidrogeológico de la unidad Sierra de Aralar (Gipuzkoa)

DIPUTACIÓN FORAL DE GIPUZKOA (1993). Informe sobre el sondeo PA-4 en Aralar.

DIPUTACIÓN FORAL DE GIPUZKOA (1990). Sondeo R8. (San Sebastián)

ENTE VASCO DE LA ENERGIA (1987). Cartografía 1/10.000 Aralar (Gipuzkoa)

ENTE VASCO DE LA ENERGIA - RECURSOS GEOLOGICOS. 1989. Estudio hidrogeológico de la unidad Sierra de Aralar (Gipuzkoa)



Surgencia de Arkaka (Txomin Ugalde)

ANÁLISIS TEMPORAL Y SIMULACIÓN DE HIDROGRAMAS DEL MANANTIAL DE ALDABIDE (SISTEMA KÁRSTICO DE ITXINA-PAÍS VASCO).

Hilario LLANOS [1] y Jaime GÁRFIAS [2]
1 Universidad del País Vasco. Departamento de Geodinámica. Vitoria-Gasteiz
2 Univ. Autónoma del Edo. de México. Facultad de Ingeniería (CIRA). Toluca, México

(Recibido en Agosto 1998)

RESUMEN

En el presente artículo se presentan los resultados obtenidos de aplicar diferentes métodos del análisis estadístico a los hidrogramas del manantial de Aldabide principal surgencia del macizo kárstico de Itxina. En este contexto, y como un paso previo hacia la modelación de esta unidad, se han considerado algunas de las técnicas de generación estocástica de caudales. Estos métodos han permitido caracterizar el desigual grado de respuesta del sistema a diferentes situaciones hidráulicas y sirven para efectuar predicciones en futuras tareas de planificación.

Palabras clave: hidrogeología, karst, series temporales, análisis estocástico, modelación, planificación hidráulica, Itxina, País Vasco.

SUMMARY

This paper presents the results obtained from the application of different statistical analysis methods to the hydrographs of Aldabide station, which is the main discharge of karstic massif of Itxina. In such a context and as a first step before modelation of this unit, a few techniques for stochastic generation of flow have been considered. These methods allowed to characterize the different response degree of the system to diverse hydraulic situations. This is useful for forecasting in future planning tasks.

Key words: hydrogeology, karst, time series, stochastic analysis, modelation, hydraulic planning, Itxina, Basque Country.

LABURPENA

Artikulu honetan, Itxinako mendigune karstikoaren agerune handiena den Aldabideko Urbegiko hidrogramei analisi estatistikoaren metodo ezberdinak aplikatu eta gero lorturiko emaitzak ematen dira aditzera. Kontestu honetan, eta unitate honen modelizazioaren aurre pausu bat bezala, emarien eraketa estokastikoarentzako teknika batzuk hartu dira kontutan. Metodo hauek, egoera hidrauliko ezberdinen aurrean, sistemaren erantzun maila ezberdinak karakterizatzen lagundu digute eta baita, etorkizunean, planifikazio lanetan aurresanak egiteko.

Hitz gakoak: Hidrogeologia, karst, denbora serieak, analisi estokastikoa, modelizazioa, planifikazio hidraulikoa, Itxina, Euskal Herria.

INTRODUCCIÓN

La caracterización de los acuíferos kársticos está generalmente fundamentada en el conocimiento de sus parámetros internos, los cuales condicionan el tipo de flujo y el almacenamiento; sin embargo, el carácter altamente heterogéneo del medio kárstico limita la estimación de dichos parámetros. Teniendo en cuenta esta, en ocasiones, enorme dificultad, inherente a la propia naturaleza de estas formaciones, y como un primer enfoque simplificador del problema, el acuífero kárstico puede ser tratado como un sistema tipo caja negra en el que el flujo de agua puede ser estimado en base a un balance entre las entradas y las salidas al sistema.

En estas circunstancias el acuífero puede ser caracterizado por sus respuestas mediante el análisis de los hidrogramas de las surgencias. Desafortunadamente el comportamiento no lineal de este tipo de acuíferos no permite el que los flujos en las surgencias puedan ser fácilmente procesados mediante técnicas de deconvolución, si bien existen ciertos casos en los que el empleo de estos métodos se ha abordado con notable éxito (Pulido Bosch, 1988).

Por otra parte, las respuestas de un sistema kárstico para diferentes situaciones de recarga pueden ser estudiadas a partir de las curvas de recesión y de descarga de los hidrogramas resultantes (Mangin, 1975; Max, 1980; Mangin, 1984) y en base al análisis correlatorio y espectral de las series de caudales (Max, 1980; Réfrégier,1993; Mangin, 1994). En general, todos estos métodos han venido siendo aplicados al objeto de tener un conocimiento global del sistema kárstico, así como para identificar los elementos, de todo tipo, que pueden contribuir en su funcionamiento.

Sin embargo, rara vez estos estudios son precedidos de un cuidadoso análisis de la estructura de las series de caudales, que sustente la aplicación de un modelo determinado, siendo así que el descuidar estos detalles supone despreciar aspectos intrínsecos del funcionamiento del acuífero, lo que en algunos casos conduce al empleo de técnicas erróneas en la reconstitución de los caudales de las surgencias.

Por ello, el objetivo de este artículo es, en primer término, profundizar en el conocimiento de la estructura básica de las series de los caudales medios diarios de las surgencias del acuífero kárstico de Itxina. Esta primera etapa permitirá identificar la componente determinista y obtener de esta manera una componente residual. La segunda etapa consiste en la verificación de la estacionaridad del proceso, lo que nos llevará a definir la técnica más adecuada para la simulación de los hidrogramas de descarga en el manantial de Aldabide, principal surgencia de este macizo kárstico.

EL ACUÍFERO DE ITXINA

El macizo de Itxina, localizado inmediatamente al Norte del monte Gorbea constituye un sistema kárstico de reducidas dimensiones, situado en la cuenca alta del río Nervión-Ibaizábal,. Geográficamente, dicho macizo se encuentra perfectamente diferenciado resaltando la existencia de un relieve particularmente acusado con una altura media de unos 1000 metros. Sus bordes están definidos por una linea de crestas prácticamente contínua dispuesta a lo largo de la periferia del macizo, que hacia el exterior dan lugar a los importantes escarpes que descienden hacia los valles adyacentes de Orozco y Arratia.

Desde el punto de vista tectónico el macizo de Itxina corresponde al sector transicional situado entre el Anticlinorio Vizcaíno y el Surco de la Plataforma Alavesa (Ramírez del Pozo, 1973), disponiéndose, en consecuencia, según una banda de carácter monoclinal y débil buzamiento, al SW, representada básicamente por los sedimentos de la formación Gorbea (EVE, 1992) pertenecientes al Cretácico inferior. Dichos materiales se integran en dos complejos litológicos conocidos en la literatura geológica como complejo Urgoniano y Supraurgoniano (IGME, 1978). El Urgoniano representa la sedimentación de tipo transgresivo que tuvo lugar entre el Aptense y Albense en la cuenca Vasco Cantábrica y está caracterizado por una compleja sucesión que incluye desde niveles terrígenos hasta formaciones carbonatadas de carácter arrecifal. Por su parte, el complejo Supraurgoniano constituye la secuencia superior representada por las formaciones detríticas del Albense-Cenomanense (figura 1).

Como ya se ha adelantado, la estructuración de los materiales presentes es en cierto modo simplista y responde a una disposición ya clásica de tipo monoclinal que propicia el desarrollo de

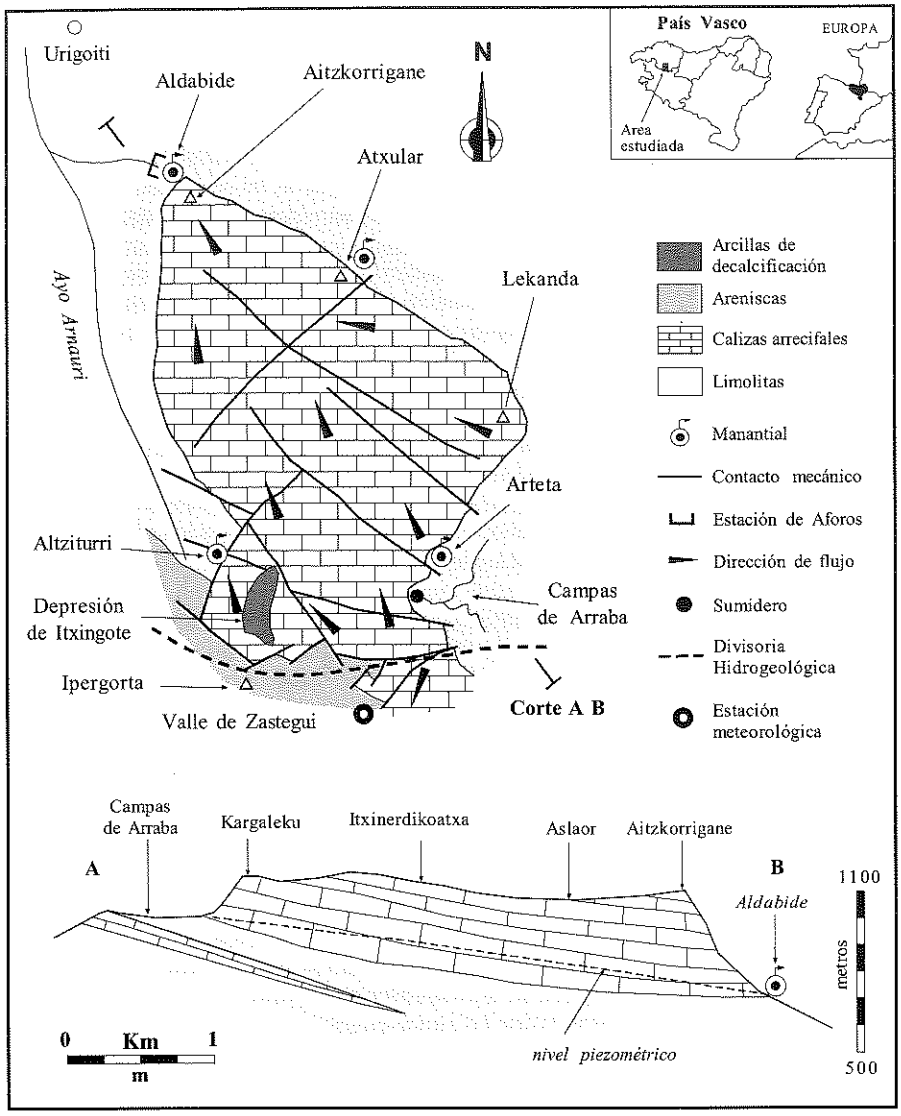


Figura 1. Esquema hidrogeológico del Macizo de Itxina

morfologías tabulares subhorizontales o ligeramente inclinadas en el sentido del buzamiento general de las capas (corte A-B, figura 1). En general, los materiales presentan una moderada deformación de tipo frágil, especialmente patente sobre los niveles carbonatados dada su competencia mecánica, a diferencia de los materiales envolventes en los que la deformación queda parcialmente atenuada por la presencia de los materiales terrígenos, que comúnmente muestran un comportamiento cercano al campo de la deformación plástica.

En consecuencia, la fracturación queda prácticamente circunscrita a las formaciones arrecifales y está representada, en su mayoría, por fallas subverticales de bajo salto que responden a dos principales sistemas de fracturas sensiblemente ortogonales, desarrollados en relación con la fase de deformación alpina y evolucionados con posterioridad durante los periodos subsiguientes de carácter distensivo. Además, asociado a estas dos familias de accidentes tectónicos, se encuentra sobre las calizas todo un cortejo extremadamente denso de fracturas menores, relacionadas con el funcionamiento de aquellos cuya importancia es notable, ya que han propiciado la instauración de los fenómenos de karstificación actualmente observables en el macizo de Itxina.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el macizo de Itxina forma parte de una unidad hidrogeológica de orden mayor (Unidad de Gorbea) cuyas características litológicas y estructurales permiten definir diferentes sectores con comportamiento hidráulico independiente. Entre éstos, el macizo de Itxina constituye por sí sólo una subunidad hidrogeológica perfectamente individualizada en todo su desarrollo, si exceptuamos el extremo suroriental (figura 1) en el que muestra una continuidad lateral con los materiales de la misma edad de la subunidad meridional adyacente (subunidad Ubegui-Aldamin; EVE, 1992). Pese a ello, es posible establecer entre ambas la existencia de una divisoria hidrogeológica que, en principio, estaría representada por los sedimentos limoarenosos existentes al norte del valle de Zastegui y, posteriormente, por el pequeño abombamiento asociado al funcionamiento de la falla de Gorostieta.

El nivel acuífero está constituído por la formación de calizas arrecifales del complejo Urgoniano que llegan a alcanzar potencias de hasta 300 metros, presentando una superficie de afloramiento de unos 5.8 km^2. Por su parte, como nivel de base actúan los depósitos impermeables de la sucesión terrígena inferior. Como ya se ha adelantado, en el interior del macizo los materiales calizos muestran una intensa karstificación controlada principalmente por la fracturación, entre otros factores morfogenéticos que intervienen en el proceso de disolución de carbonatos. Ello ha dado lugar a la implantación de toda una amplia gama de formas kársticas, bien visibles en superficie, afectando a todo el paquete calizo, que, en conjunto, determinan una compleja red de conductos y cavidades (GEV, 1970; GEV, 1971; GEV, 1975; GEV, 1985; GAES, 1997; Latasa, 1997) que condicionan el sentido del flujo subterráneo hacia las principales surgencias.

El macizo de Itxina constituye, por tanto, un acuífero kárstico de tipo sensu stricto, altamente permeable por fracturación y karstificación, que presenta un carácter libre en toda su extensión y unas óptimas condiciones de absorción, en el que el flujo del agua subterránea hacia la zona saturada se efectúa a través de amplios conductos que enlazan las áreas de recarga con las surgencias, definiendo en conjunto un esquema general de circulación subterránea desde el sector suroriental hacia el manantial de Aldabide, principal colector del macizo, con un gradiente hidráulico medio aproximado de 0.1.

El alto valor de dicho gradiente justificaría la escasa capacidad de autorregulación del acuífero, evidenciada en anteriores estudios mediante el análisis de los caudales de descarga del manantial de Aldabide correspondientes al periodo de observación 1982-83 (Antigüedad, 1986; EVE, 1992; Llanos y Garfias, 1996), lo que explicaría además las rápidas oscilaciones de caudal en el mencionado manantial. En lo que sigue se van a analizar las características frecuenciales de las series de caudales medios diarios aportados por el manantial de Aldabide, a partir de su descomposición mediante el método de Fourier, al objeto de identificar lacomponente determinísta de las mismas. Posteriormente, tras obtener las correspondientes series residuales y verificar la estacionaridad del proceso, se eligirá alguno de los métodos de generación estocástica más adecuados para la modelación de los hidrogramas observados durante los años 1981, 1982 y 1983.

ESTIMACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LAS PERIODICIDADES

La reconstitución de hidrogramas tradicionalmente se ha venido realizando bajo dos puntos de vista de modelización diferentes: la determinista o física de un sistema y la estadística o estocástica. En el primer caso, el sistema queda descrito o representado por soluciones empíricas o teóricas, lo que implica la existencia de una correspondencia única entre las entradas (precipitaciones), y las salidas (caudales). Por su parte, en el enfoque estocástico, un tipo de modelo es asumido principalmente para representar las características estadísticas relevantes de la serie histórica. A este segundo grupo pertenecen un elevado números de modelos tanto univariados como multivariados. Entre los más utilizados cabe citar los siguientes: modelos autorregresivos (Thomas y Fiering, 1962; Yevjevich, 1963; Matalas, 1967), modelos fraccionarios Gausianos (Matalas y Wallis, 1971), modelos autoregresivos de media móvil (O'Connel, 1971), modelos de desagregación (Valencia y Schaake, 1973) y modelos de Markov-ARMA (Lettenmaier y Burges, 1977).

A pesar de que cada tipo modelo tiene sus ventajas y deficiencias, razón por la cual han sido en ocasiones criticados, sin embargo, la experiencia demuestra que la utilización juiciosa de los mismos puede dar lugar a resultados satisfactorios en la mayor parte de casos. No obstante, su aplicación se encuentra condicionada a los resultados del análisis periódico previo, que, en particular, en el caso de los modelos estocásticos deben satisfacer el que la componente residual de la serie cumpla con la condición de estacionaridad de segundo orden (con respecto a la media y la desviación estándar).

Dos métodos de estandarización pueden ser aplicados para extraer las periodicidades de una serie temporal: el método no paramétrico y el método paramétrico. En el presente trabajo se ha seguido el método no paramétrico. De acuerdo con este procedimiento si consideramos como p el índice de un año en particular, y como t un índice que describe la variación al interior de un año cualquiera, entonces una variable de tiempo Q puede ser representada como $Q_{p,t}$ con $p = 1,2,.....,n$ y $t = 1,2,....,w$. El valor $Q_{p,t}$ puede representar el caudal del mes t (o del día o de la hora, etc) ($t = 1,2,...,12$) del año p ($p=1,2,...,n$) siguiendo el inicio de los registros, siendo n el número de años de registro y w el número total de valores discretos a lo largo del mismo. Para reducir el número de parámetros estadísticos necesarios para la descripción matemática de las series, cuando w es grande, las series periódicas μ_t y σ_t pueden ser aproximadas por un número de armónicos w relativamente pequeño.

Sean μ_t y σ_t la media y la desviación estándar periódicas respectivamente, entonces el modelo, para un proceso hidrológico $Q_{p,t}$, puede representarse por (Yevjevich, 1972):

$$Q_{p,t} = \mu_t + \sigma_t \varepsilon_{p,t} \qquad (1)$$

donde $\varepsilon_{p,t}$ es la componente estocástica. $Q_{p,t}$ es una variable estacionaria de segundo grado con relación a la media y la desviación estándar. En la ecuación precedente, μ_t y σ_t representan las componentes periódicas de la media y la desviación estándar, cuyos valores pueden ser estimados con arreglo a:

$$\mu_x = m_x + \sum_i^{m_1} \left(A_i \cos \frac{2\pi it}{w} + B_i \sin \frac{2\pi it}{w} \right) \qquad (2)$$

$$\sigma_x = s_x + \sum_j^{m_2} \left(A_j \cos \frac{2\pi jt}{w} + B_j \sin \frac{2\pi jt}{w} \right),$$

donde μ_x y σ_x son los valores medios del logaritmo de las series Q_t y S_t, mientras que m_1 y m_2 representan el número de armónicos significativos en μ_t y σ_t. Los coeficientes A_i, B_i, A_j y B_j representan los coeficientes de Fourier respectivamente.

Para poder aplicar la reconstitución estocástica, es importante asegurarse de la independencia secuencial de las series que se estudian, ya que las variables que las componen deben ser aleatorias. De los diferentes métodos que pueden ser empleados para

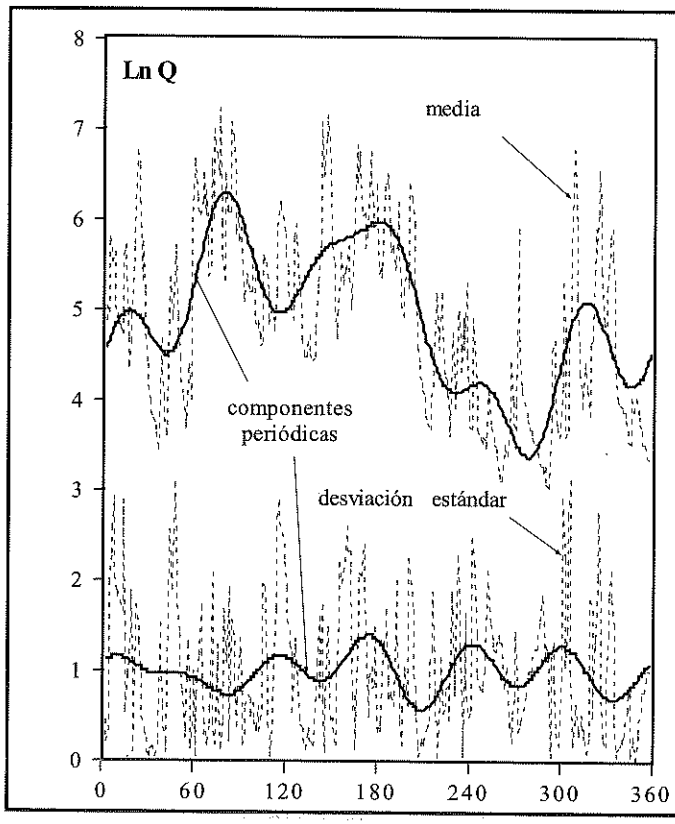


Figura 2. Media y desviación estándar periódicas

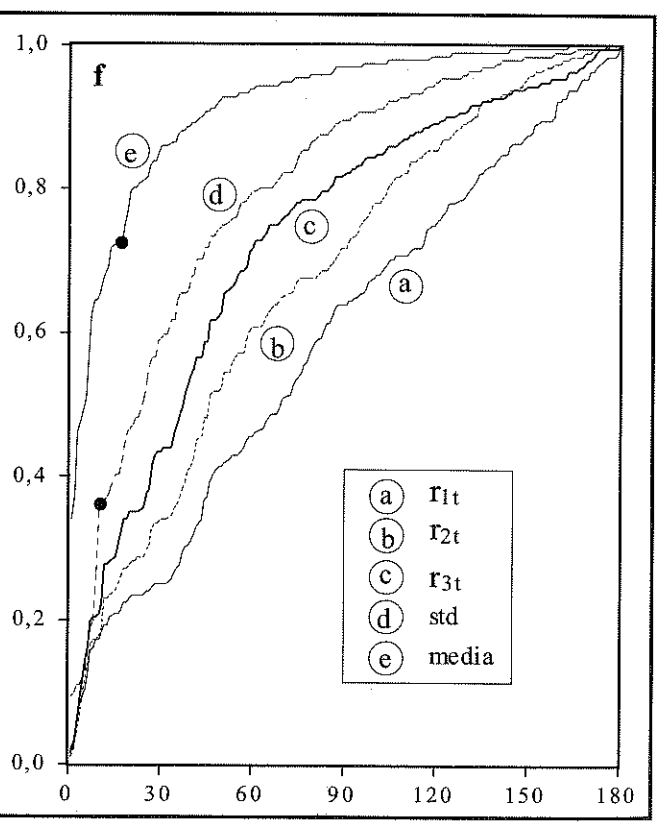


Figura 3. Periodogramas acumulativos

verificar esta hipótesis, en esta investigación se ha utilizado, el test del periodograma acumulativo (Box y Jenkins, 1976).

VERIFICACIÓN DE LA ESTACIONARIDAD DE SEGUNDO ORDEN

El método de estandarización para la estimación de periodicidades, descrito anteriormente, ha sido aplicado a las series de los caudales observados en el manantial de Aldabide. Inicialmente se utilizó una transformación logarítmica de las series originales, comprobándose que dicha transformación proporciona resultados más significativos si μ_t y σ_t, en la ecuación 1, son aproximadamente iguales o proporcionales (Yevjevich, 1972). En principio parece natural que las señales de caudal muestren de forma alternativa altos y bajos valores coincidiendo con épocas de lluvia y períodos de estiaje. En tal caso, la transformación logarítmica de la variable, $Q_{p,t}$, debe proporcionar una desviación estándar con mucho menos periodicidad que la serie de la media.

La figura 2 muestra las diferentes periodicidades obtenidas mediante el análisis de Fourier, para el logaritmo de la serie de los caudales medios diarios contabilizados en el manantial de Aldabide. Dicho análisis se basa en el hecho de que una señal dada, función del tiempo en la mayor parte de los casos, puede ser siempre aproximada por medio de funciones periódicas convenientemente elegidas. En esta figura se representan la media y la desviación estándar de las series de caudales diarios como una función del tiempo, e, igualmente, se incluyen las componentes periódicas de la media y la desviación estándar, utilizando los 8 primeros armónicos.

Si se examina con detenimiento dicha figura, se constata lo anteriormente dicho acerca de que la periodicidad de los logaritmos de la serie de la desviación estándar es mucho menor que la periodicidad existente en la serie de la media. Este último extremo aparece, así mismo, confirmado si analizamos la figura 3, donde se presentan los periodogramas acumulativos de la media, desviación estándar y los coeficientes de correlación serial de pasos 1, 2 y 3. Además, en el análisis del periodograma se observa que subsiste una clara dependencia secuencial de las series, en las que el campo de la componente determinista queda definido por 8 armónicos, a diferencia de las series de flujo superficial donde normalmente se observan hasta 6 armónicos.

Por tanto, en el presente caso, es posible establecer una conclusión preliminar, y es que el efecto residual de la periodicidad que aparece en el periodograma es debido a la alta no linearidad del acuífero kárstico de Itxina, constituído, como ya se ha descrito con anterioridad, por un sistema extremadamente fracturado con desarrollo de amplios conductos, que introduce un alto nivel de ruido, difícilmente identificable mediante la técnica de Fourier.

En realidad, la identificación de la estructura de una secuencia no se reduce a la búsqueda de periodicidades incluídas dentro de la componente determinista, puesto que una vez extraídas éstas nos encontramos con una serie residual cuya dependencia secuencial hay que determinar. El coeficiente de correlación serial es un índice que muestra la correlación entre $Q_{p,t}$ y $Q_{p,t-k}$ para n años, basado sobre la suposición de las periodicidades interanuales. La presencia de periodicidades en $r_{k,t}$ puede ser explicada si consideramos el efecto de los ruidos que ejercen las series de caudal a lo largo del año hidrológico.

Así, en las épocas lluviosas, caracterizadas por rápidas fluctuaciones de caudal, el efecto de ruido en $Q_{p,t}$, es importante, lo que da lugar durante estos intervalos de tiempo a bajos valores del coeficiente de correlación serial, a diferencia de los períodos de estiaje, asociados con el descenso del nivel piezométrico en el acuífero, en los que dicho efecto es particularmente bajo, lo que se traduce en valores del coeficiente de correlación serial elevados. Por consiguiente, la alternancia de épocas de lluvia y de estiaje se manifiesta por la presencia de sucesivas señales de ruido altos y bajos, igualmente alternantes, que acentúan las periodicidades en las series de $r_{k,t}$.

Cuando el paso de tiempo es pequeño, y particularmente cuando k=1, lo que representa una gran memoria entre eventos sucesivos, el valor de $r_{1,t}$ es mayor, no siendo afectado por los ruidos periódicos; pero cuando el paso, k, se incrementa, la memoria entre $Q_{p,t}$ y

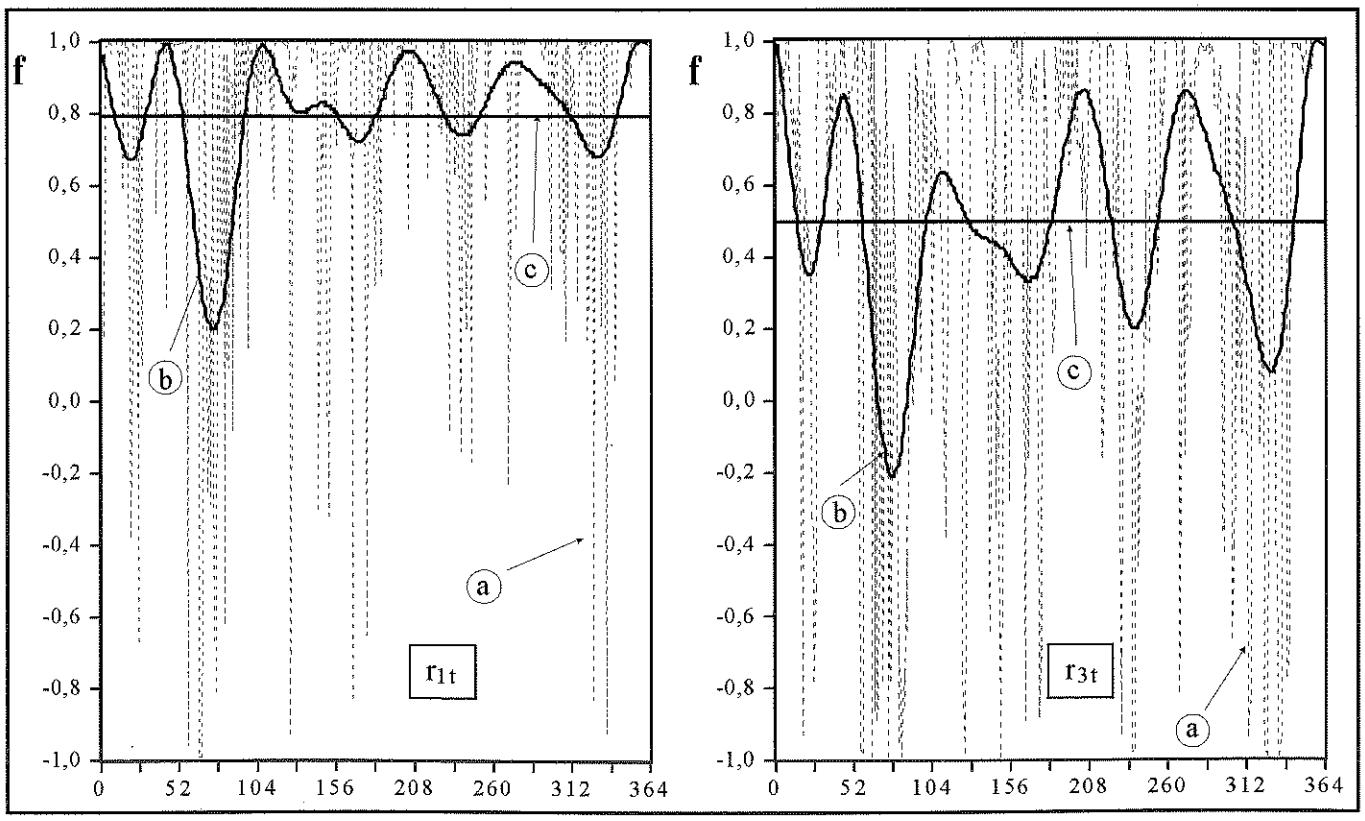


Figura 4. Autocorrelación serial: a) series transformadas, b) series armónicas, c) media

$Q_{p,t-k}$ decrece, dando lugar a valores bajos del coeficiente de correlación serial, $r_{k,t}$, que ahora sí son afectados por el ruido periódico. Como resultado, $r_{k,t}$ exhibirá grandes fluctuaciones a medida que el valor de k sea incrementado. La figura 4 ilustra los coeficientes de correlación serial de pasos 1 y 3. Analizando estas figuras se observa que, efectivamente, el efecto de la periodicidad se incrementa a medida que se aumenta el paso de tiempo, poniendo en evidencia la existencia de una componente residual periódica.

En resúmen, la estandarización cíclica es efectiva para identificar y eliminar las periodicidades en la media y desviación estándar de las series de tiempo, pero el conjunto de la correlación cruzada virtualmente no cambia. Es decir, la variable $Q_{p,t}$ de la ecuación 1 no es una serie estacionaria de segundo orden, condición básica para que un modelo estocástico sea aplicable a una serie de tiempo; de otro modo dicha condición debería ser parcialmente modificada para que el proceso pueda ser adaptado al análisis de las surgencias.

En este sentido, y ante la imposibilidad de alcanzar la estacionaridad de segundo orden, en el presente caso únicamente parece aceptable la utilización de un modelo de regresión lineal múltiple. Dicho modelo permite generar y reconstruir los valores de cualquier variable hidrometeorológica, en nuestro caso caudales, mediante una regresión lineal a variables múltiples, estando definidas las características frecuenciales de las series temporales por la media y la desviación estándar. El caudal medio diario se calcula con arreglo a la fórmula general siguiente:

$$Y_{ij} = \sum_{k=1}^{n} b_{ijk} x_{ijk} + \sqrt{1 - R_{ij}^{2} E_{ij}} \qquad (3)$$

donde Y_{ij} representa el caudal que se desea calcular, b el coeficiente beta, x la variable independiente, i el índice de año, j el índice del día, k el índice para la variable independiente, n el número total de variables independientes, E la variable aleatoria normal estandarizada y R^2 el coeficiente de determinación.

Como variables independientes, pueden actuar simultáneamente las precipitaciones contabilizadas en las estaciones próximas y los propios caudales observados, antecedentes a un día j cualquiera. Así mismo, se considera la variable aleatoria normal estandarizada al objeto de preservar el valor de la varianza de la variable estimada y la correlación entre las variables dependientes e independientes. Este modelo puede presentar ciertas deficiencias relacionadas con las hipótesis de partida, por lo que han de ser verificadas tras su utilización. Por este motivo, el estudio se ha complementado con la aplicación de diversos tests estadísticos de uso común en hidrología para el análisis de los residuos (WMO, 1986).

SIMULACIÓN DE HIDROGRAMAS DEL MANANTIAL DE ALDABIDE

En general, el objetivo de los modelos no es la reconstitución exacta de la series de caudales, sino la de generar secuencias que puedan ser consideradas como realizaciones físicamente posibles, de suerte que, en el presente caso, se pueda disponer de un elemento operacional que permita reproducir el régimen de los manantiales en función de las variables que lo afectan. La identificación del tipo de modelo de generación está basado en el grado de dependencia secuencial de las series temporales. Es por este motivo que se ha abordado con anterioridad el análisis de periodicidad de los datos de los caudales medios diarios. Como se ha descrito en el epígrafe precedente, los resultados de dicho análisis no aconsejan la utilización de un modelo autorregresivo, por lo que se ha optado finalmente por la aplicación de un modelo de regresión lineal con variables múltiples.

Este tipo de modelo establece una relación de tipo causa-efecto entre diversas variables hidrometeorológicas, de modo que se puede definir una de ellas (variable dependiente) a partir de los valores del resto de las variables independientes, también llamadas explicativas. En el caso de los caudales medios diarios observados en el manantial de Aldabide, esta relación se puede expresar mediante una ecuación matemática o combinación lineal de variables que posea el mayor coeficiente de correlación o de determinación. Para ello, la serie de datos disponibles, correspondiente al periodo de observación en el manantial de Aldabide, se subdividió en dos subperiodos. El tratamiento, por separado, de los datos correspondientes a cada uno de ellos ha servido sucesivamente para la calibración y validación del modelo.

Para el análisis de los datos relativos al periodo inicial, comprendido entre el mes de octubre de 1981 y diciembre de 1982, se han considerado como variables independientes los sucesivos caudales observados en Aldabide hasta tres días antes del día considerado y las precipitaciones contabilizadas en los asentamientos pluviométricos próximos, siguiendo un esquema de precipitaciones antecedentes idéntico al descrito para los caudales. Los datos de precipitación corresponden a las localidades colindantes de Undurraga y Murguía, así como a la estación meteorológica que el Grupo Espeleológico Vizcaíno mantuvo operativa, al menos durante este periodo, hacia la cabecera del valle de Zastegui con una localización inmediata al macizo de Itxina (figura 1).

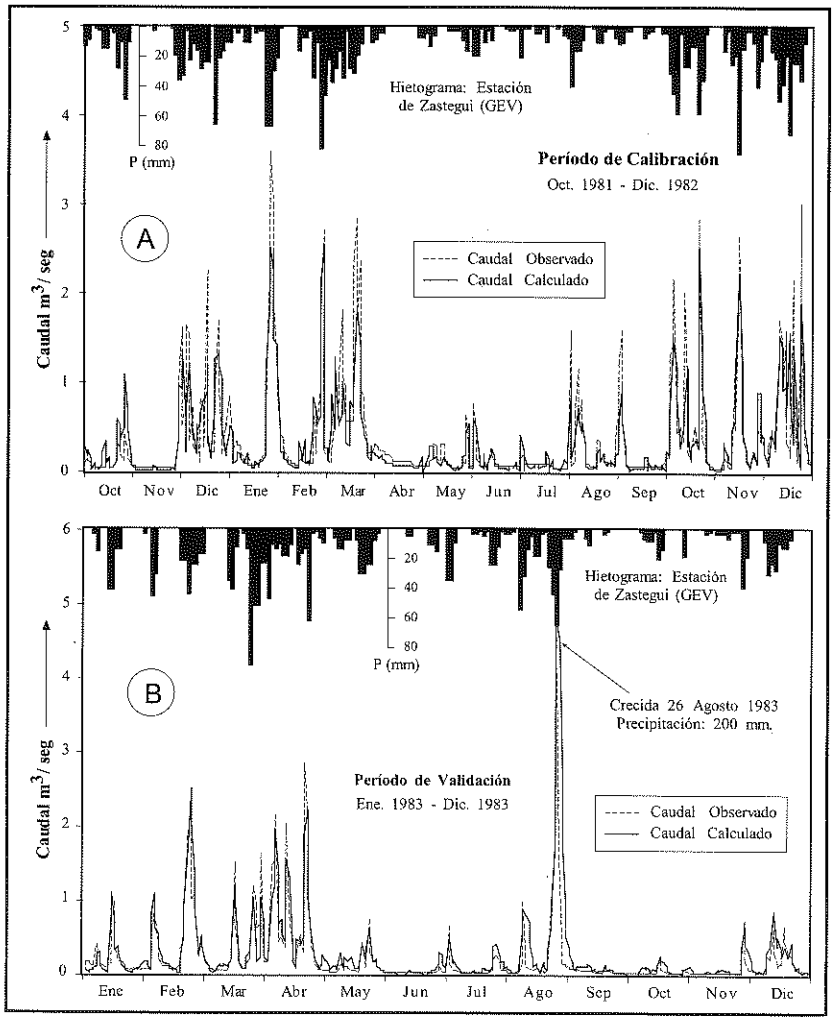


Figura 5. Hidrogramas observados y simulados en el manantial de Aldabide.

El establecimiento de la ecuación matemática más idónea que liga a un determinado número de estas variables se ha efectuado de forma automática por el procedimiento de regresión Pas à Pas, también conocido como Stepwise Multiple Regression (Neter et al., 1985). Se trata de un método interactivo que permite la búsqueda de la combinación de variables independientes más adecuada para la ecuación de regresión, de tal modo que en cada etapa de cálculo una nueva variable es seleccionada para ser añadida a la combinación previa, siempre y cuando esta variable proporcione una ecuación más ajustada con el resto de las variables y un mayor coeficiente de determinación.

Este proceso de optimización se continúa hasta que se alcanza un número fijo de variables, de suerte que la adición de cualquier otra variable no suponga una mejora de la información o, lo que es lo mismo, no aporte en términos estadísticos una contribución significativa a la varianza explicada. En el caso bajo estudio, la combinación de variables más ajustada se ha definido con arreglo a la relación:

$$Qa_i=0.5\cdot Qa_{i-1}+17.96\cdot Pz_i+8.14\cdot Pz_{i-1}-5.33\cdot Pz_{i-2}+12.39\cdot Pu_{i-2}+23.55 \quad (4)$$

donde *Qa, Pz, Pu* constituyen el caudal y las precipitaciones observadas en Aldabide, Zastegui y Undurraga, *i* representa el dato de un día cualquiera e *i*-1 e *i*-2 representan los registros antecedentes, tanto de caudal como de precipitación, y 23.55, es el valor de la constante aleatoria.

A partir de esta ecuación se puede tratar de reproducir la serie original de caudales, de modo que el resultado de comparar dicha serie con la generada por el modelo nos va a dar una idea del grado de ajuste del mismo. Los resultados obtenidos por el modelo, junto a los datos originales correspondientes al período de calibración, se muestran en la figura 5-A. En dicha figura se observa, en general, una muy buena correspondencia entre los caudales observados y calculados, apreciándose, no obstante, ciertas diferencias en algunos de los picos del hidrograma, que ponen de manifiesto una moderada subestimación de los caudales por parte del modelo para situaciones de importantes gradientes hidráulicos en el acuífero.

Además de este procedimiento de comparación meramente gráfico se han aplicado criterios numéricos de verificación del grado de ajuste. Entre éstos, se han utilizado dos de los recomendados por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1986) para el análisis de modelos hidrológicos. El primero trata de establecer la relación entre las desviaciones típicas de los caudales observados y calculados, en tanto que el segundo viene definido por la relación, referida a la unidad, de la suma de los cuadrados de las diferencias entre los caudales observados y calculados y la suma centrada de los cuadrados de los caudales diarios observados, con arreglo a las siguientes expresiones:

$$CO=\sqrt{\frac{\sum\left(y_c-\overline{y_c}\right)^2}{\sum\left(y_o-\overline{y_o}\right)^2}}$$

$$NTD=1-\frac{\sum\left(y_c-y_o\right)^2}{\sum\left(y_o-\overline{y_o}\right)^2} \quad (5)$$

donde y_o e y_c son los caudales observados y calculados, $\overline{y_o}$ e $\overline{y_c}$ son las medias de los caudales observados y calculados definidas de forma separada para los periodos de ajuste y verificación.

Estos criterios, independientemente de su rango de variación, tienen un límite ideal correspondiente a una situación en la que la simulación es matemáticamente perfecta. Para estos criterios dicha situación teórica coincide con la unidad. En el caso de los caudales observados y calculados para el manantial de Aldabide se han encontrado valores de estos parámetros (CO = 0.76 y NTD = 0.84) suficientemente significativos y relativamente cercanos a 1, de modo que el modelo de generación adoptado puede considerarse que se aproxima y permite reproducir con el suficiente realismo el fenómeno físico descrito.

Pese al suficiente ajuste obtenido con el modelo, la validez de los resultados debe una vez más establecerse antes de pasar a efectuar predicciones en el tiempo. En este sentido, para la etapa de validación se han utilizado como datos de entrada al modelo los registros de precipitación correspondientes al año 1983 de las mismas estaciones pluviométricas utilizadas en la fase de calibración. Además, como variable independiente inicial se ha tenido en cuenta el valor del caudal medio observado el último día del año 1982, de modo que los sucesivos caudales de la serie reconstituída dependen del caudal calculado por el modelo el día anterior. En la figura 5-B se muestra gráficamente los resultados de la validación, evidenciándose una muy alta correspondencia entre los valores observados y calculados, superior, en líneas generales, a la encontrada en la fase de calibración, y una menor subestimación de los caudales punta.

Este último aspecto se hace especialmente patente durante los momentos de máximas aportaciones, como sucede con la crecida que tuvo lugar el 26 de agosto de 1983 (figura 5-B), en la que el caudal punta reconstituído es sensiblemente coincidente con el observado. Al margen de estas constataciones de carácter visual, el análisis comparativo entre la serie calculada y observada se ha completado con la aplicación a las mismas de los criterios numéricos anteriormente expuestos. En este sentido, los valores numéricos encontrados para los parámetros considerados son incluso superiores a los deducidos en la calibración del modelo (CO = 0.77 y NTD = 0.86), de modo que confirman el mayor grado de ajuste ya comentado e ilustran la representatividad de la secuencia reconstituída por el modelo.

CONCLUSIONES

En la modelación de los hidrogramas del manantial de Aldabide se han considerado dos diferentes etapas de estudio. En primer lugar, se ha abordado el análisis estructural de las series temporales, lo que ha permitido profundizar en el comportamiento hidrodinámico del sistema kárstico de Itxina. Posteriormente, y en base a los resultados obtenidos en esta fase inicial, se ha elegido el modelo de generación de caudales más apropiado.

En este sentido, mediante el análisis frecuencial se ha podido determinar la componente determinista y la componente estocástica, cuyas características presentan componentes residuales, que limitan la aplicación de la condición de estacionaridad de segundo orden. En esta investigación, se ha supuesto la existencia de una sola componente determinista. Dado que los residuos presentan una cierta dependencia, probablemente un estudio más profundo podría permitir la extracción de otra componente para asegurar que estos residuos sean completamente independientes, garantizando, sólo así, la aplicación de alguno de los métodos de modelación estocástica.

Sin embargo, se ha de concluir que, por el momento y a la luz de los resultados obtenidos en el presente estudio, la utilización de este tipo de modelos para la generación de secuencias estadísticamente semejantes a las series históricas, encuentra ciertas limitaciones debido fundamentalmente a las respuestas no lineales del propio sistema kárstico. Estas limitaciones han aconsejado, finalmente, la utilización de un modelo de regresión múltiple para la simulación de caudales, que, en el caso de los hidrogramas del manantial de Aldabide, ha proporcionado excelentes resultados, ya que las secuencias observadas se asemejan adecuadamente a las series reconstituídas por el modelo. Conviene reiterar uma vez

más que la elección del modelo para la simulación de los caudales ha dependido directamente de las propias características estructurales de las secuencias observadas.

Como conclusión general a los trabajos de modelación, se puede indicar que los resultados obtenidos son altamente satisfactorios y que apoyan la validez del modelo elegido, de modo que su aplicación en el futuro se puede poner en práctica con la suficiente garantía de que los resultados que se obtengan puedan integrarse a las tareas de planificación, de suerte que se podrán efectuar previsiones para la toma de decisiones respecto a la posible regularización de los recursos subterráneos del macizo kárstico de Itxina.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo, se ha realizado en el marco del Proyecto de Investigación: UPV-EHU 001.154 EA 061-95 subvencionado por la Universidad del País Vasco y del Proyecto: 0390P-T9506 finaciado por CONACYT. Así mismo, los autores desean expresar su más vivo agradecimiento a los antiguos compañeros del Grupo Espeleológico Vizcaíno por sus valiosísimas aportaciones y facilidades, de todo tipo, prestadas para el desarrollo de este estudio, a las familias Olabarria y Olabarri de Urigoiti e Ibarra respectivamente, así como a los componentes del Centro Territorial del País Vasco del Servicio Nacional de Meteorología en Igueldo, al Servicio Vasco de Meteorología, al Departamento de Hidrología de Iberdrola SA. y al Ente Vasco de la Energía (EVE).

BIBLIOGRAFIA

ANTIGÜEDAD I. (1986). Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Nervión-Ibaizábal. Tésis Doctoral Universidad del País Vasco, 320 p. Lejona.

BOX G.E.P. and JENKINS G. (1976). Time Series Analysis, Forecasting and control. Second Ed., Holden-day Inc., San Francisco.

EVE (1992). Investigación Hidrogeológica del Area de Itxina. Ente Vasco de la Energía. Bilbao, (informe inédito).

GAES (1997). Inventario de Cavidades de Itxina. Bilbao-Bilbo, (informe inédito).

GEV (1970). Breve Presentación del Macizo Kárstico de Itxina. IX Jornadas Vasco Navarras de Espeleología. Bilbao, (informe inédito).

GEV (1971). Observaciones Preliminares sobre el Macizo Kárstico de Itxina. Macizo del Gorbea (Vizcaya). Kobie 3, pp. 56-99. Bilbao.

GEV (1975). Simas Vizcaínas con un Desnivel Mayor de 200 metros. Kobie 6, pp. 209-242. Bilbao.

GEV (1985). Catálogo de Cuevas de Vizcaya. Edit. Diputación Foral del Señorío de Vizcaya, 95 p. Bilbao.

IGME (1978). Mapa Geológico de España a Escala 1:50.000, Hoja nº 73: Elorrio. Edit. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

LATASA I. (1997). El Karst de Itxina. Últimas Exploraciones Espeleológicas. Karraitza, vol. 6, pp. 9-20. Ed. Unión de Espeleólogos Vascos-Euskal Espeleologoen Elkargoa. Donostia-San Sebastián.

LETTENMAIER D.P. and BURGES S.J. (1977). Operational assessment of hydrology models of long-term persistence. Jour. Water Resour. Res., 13(1), pp. 113-124.

LLANOS H. y GARFIAS J. (1996). Reconstitución de Hidrogramas de Manantiales de la Unidad Hidrogeológica del Macizo del Gorbea (País Vasco). In Contribuciones a la Investigación y Gestión del Agua Subterránea, pp. 115-130. (I. Morell y J.R. Fagundo, eds.). Universitat Jaume I. Castellón, España.

MANGIN A. (1975). Contribution à l'étude hydrodinamique des aquifères karstiques. Ann. Spéléol. 29(3), 283-332; (4), 495-601.

MANGIN A. (1984). Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoires et spectrale. J. Hydrol. 67, 25-43.

MANGIN A. (1994). Kárst Hydrologeology. In groundwater Ecology, Edited by Janine Gilbert, Academic Press, Inc. 571 p.

MATALAS N.C. (1967). Mathematical assessment of synthetic hydrology. Water Resour. Res., 3(4), pp. 937-945.

MATALAS N.C. and WALLIS J.R. (1971). Statistical properties of multivariate fractional noise processes. Water Resour. Res., 7(6), pp. 1460-1468.

MAX J. (1980). Méthodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques. 2nd de. Masson, Paris.

NETER J., WASSERMAN W. and KUTNER M.H. (1985). Applied Linear Statistical Models. Ed. Univ. Irwin. 212 pp. Homewood, Illinois.

O'CONNELL P.E. (1971). A simple stochastic modeling of Hurst's law. In Mathematical Models in Hydrology, Warsaw Symposium, (IAHS Publ. 100, 1974), 1, pp. 169-187.

PULIDO-BOSCH A. (1988). Estudio de caudales de descarga de acuíferos kársticos mediante deconvolución. Bol. Geológico y Minero, T. XCIX-III, pp. 425-431, Madrid.

RÉFRÉGIER P. (1993). Théorie du signal. Signal, information, fluctuation. Masson, Paris.

RAMIREZ DEL POZO J. (1973). Síntesis Geológica de la Provincia de Alava. Edit. Dpto. de Obras Sociales de la Caja Municipal de Ahorros de Alava, 90 p., Vitoria-Gasteiz.

THOMAS H.A. and FIERING M.B. (1962). Mathematical synthesis of streamflow sequences for the analysis of river basins by simulation. In Desing of Water Resource Systems, pp. 459-493, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press.

VALENCIA D. and SCHAAKE J.C. (1973). Disaggregation process in stochastic hydrology. Water Resour. Res., 9(3), pp. 580-585.

WMO (1986). Intercomparison of models of snowmelt runoff. World Meteorological Organization, Operational Hydrology Report: 23.

YEVJEVICH V.M. (1963). Fluctuations of wet and dry years Part 1. Research data assembly and mathematical models. Hydrology Paper 1, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

YEVJEVICH V.M. (1972). Structural Analysis of Hydrologic Time Series. Hydrology Paper No 56, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

ESTABLECIMIENTO DE LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA DE ITXINA (MACIZO DEL GORBEA, PAÍS VASCO) A PARTIR DE ENSAYOS DE TRAZADO

Hilario LLANOS [1], Jaime GARFIAS [2], Iñaki ARRATE [3], Pilar BEZARES [4], Rosa ALONSO [4]

1 Universidad del País Vasco. Departamento de Geodinámica. Vitoria-Gasteiz
2 Univ. Autónoma del Edo. de México. Facultad de Ingeniería (CIRA). Toluca, México
3 Ente Vasco de la Energía (EVE). Bilbao-Bilbo
4 Universidad del País Vasco. Dpto. de Química Analítica. Leioa, Bizkaia

(Recibido en Octubre 1998)

RESÚMEN

La Unidad Hidrogeológica de Itxina presenta un espectacular desarrollo de formas kársticas controladas por las fracturacion, lo que condiciona el que la práctica totalidad de sus recursos sean drenados de manera puntual a través del manantial de Aldabide, cuya captación es derivada al sistema de abastecimiento del Valle de Orozko. En este sentido la realización e interpretación de ensayos de trazado junto a la aplicación de modelos monodimensionales de transporte han puesto de manifiesto el alto riesgo de contaminación del acuífero frente a un eventual vertido de contaminantes, a la par que ha permitido tener un conocimiento más preciso de las características hidrodinámicas del mismo.

Palabras claves: Sistema kárstico, Itxina, trazados, flouresceína, litio, modelos unidimensionales, País Vasco

SUMMARY

The Hydrogeological Unit of Itxina offers an spectacular development of karstic forms controlled by fracturation in rocks, which allows practically all of its resources to be gradually drained through the spring of Aldabide, and whose collection is redirected to the water supply system of Orozko Valley. In this way, the carrying out of layout tests together with the use of one-dimensional models of transport have revealed the high risk of pollution of the aquifer in the event of disposal of pollutants. The study has also provided a more precise knowledge of the hydrodynamic characteristics of the aquifer.

Key words: Karstic system, Itxina, tracing tests, fluorescein, lithium, one-dimensional models, Basque Country

LABURPENA

Itxinako Unitate Hidrogeologikoak, hausturaren bidez kontrolatutako forma karstikoen garapen ikusgarria erakusten du, honek bere errekurtsoen gehiengoaren drainaketa puntuala dakar Aldabideko urbegira, zein Orozkoko haraneko horniduraren sistemara doan. Zentzu honetan, marraketa saiakuntzen egite ta interpretazioek, transporteko eredu monodimentsionalen aplikazioarekin batera, honen ezaugarri hidrodinamikoen ezagupen zehatzagoa lortzera eramateaz gain, agerian jarri dute kutsadura arriskua urdun honetan kutsatzaileen isurketa baten aurrean.

Hitz gakoak: Sistema karstikoa, Itxina, fluoreszeina, litioa, eredu unidimentsionalak, Euskal Herria

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se conocen numerosos casos, bien documentados, de diferentes surgencias kársticas utilizadas para el abastecimiento humano que presentan una estrecha relación con puntos en la superficie potencialmente contaminantes, tales como vertederos incontrolados y cauces influentes ocasionalmente polucionados. En estas situaciones, y a fin de preservar la calidad química y bacteriológica del agua, se suelen abordar acciones escasamente preventivas, como la realización de pequeñas obras de fábrica y de vallado, para el aislamiento de la captación y de su entorno inmediato, acompañadas, en el mejor de los casos, de la puesta en marcha de programas de monitoreo para la vigilancia de la calidad del agua.

Estas actuaciones se revelan por lo general insuficientes, dado el carácter heterogéneo de los sistemas kársticos, de ahí que el problema de la protección de estos acuíferos contra las agresiones externas es un tema especialmente candente y de difícil solución, que requiere de una mayor información, especialmente de un conocimiento exhautivo de sus características hidrogeológicas y estructurales y del propio desarrollo de la karstificación que, en definitiva, van a condicionar el flujo y la transferencia de posibles sustancias contaminantes.

En este sentido, los ensayos de trazado se revelan como una herramienta auxiliar extremadamente útil ya que permiten establecer la relación entre una o varias pérdidas de agua, através de sumideros existentes en la superficie del acuífero, y una o más surgencias asociadas al mismo. De este modo es posible precisar el área de influencia asociada a cada surgencia y definir la existencia de divisorias hidrogeológicas que condicionen los flujos en el acuífero (Lepiller et Mondain, 1986). Además dichos ensayos proporcionan valiosa información complementaria a cerca de la estructura de la zona del sistema kárstico recorrido por el trazador y permiten caracterizarlo hidrodinámicamente analizando el modo como tiene lugar el tránsito del volúmen de agua trazada en el acuífero.

DESCRIPCION GEOGRAFICA

El macizo de Gorbea, situado entre las provincias de Alava y Vizcaya, constituye una unidad geográfica integrante de la llamada Orla Vasca, la cual está representada por la alineación montañosa que, en dirección W.NW.-E.SE., atraviesa de forma continua un amplio sector de la Comunidad Autónoma Vasca desde el mar Cantábrico, en las inmediaciones de Muskiz, hasta la localidad de Ciordia, ya en Navarra, definiendo en buena parte de su recorrido la divisoria de aguas superficiales entre las vertientes cantábrica y mediterránea. Actualmente la totalidad del macizo y buena parte de sus estribaciones están integradas en el Parque Natural del Gorbea y como tal sujetas a la ley de espacios protegidos, existiendo una reglamentación muy extricta de filosofía conservacionista con la que se ha tratado de suprimir las diferentes labores extractivas y/o degenerativas, desarrolladas durante las últimas décadas en este biotopo, y de regular la actividad ganadera, de antaño, presente en estos montes.

Se encuentra perfectamente definido en dos sectores con características orográficas bien diferenciadas. La más meridional se caracteriza por presentar importantes cuestas estructurales con desarrollo de valles amplios que se inician en torno a la cruz del monte Gorbea (1487 m), y en las elevaciones de Berretín (1341 m) y Peña Oketa (1035 m) y descienden lentamente con una componente Sur y sin solución de continuidad, tanto hacia la Sierra de Arrato como hacia la Llanada Alavesa. Por el contrario el sector septentrinal muestra un carácter extremadamente abrupto con valles cortos y de elevadas pendientes que bordean un área amesetada de geometría triangular y relieve especialmente accidentado, conocida como montes de Itxina, que tiene como puntos culminantes a las cumbres de Aitzkorrigane (1090 m), Lekanda (1308 m) e Ipergorta (1225 m).

Todas estas elevaciones sirven de cabecera a los diferentes cauces que lateralmente drenan el macizo configurando básicamente una red hidrográfica divergente estructurada en dos vertientes a partir de la divisoria principal ya mencionada (figura 1). Así, mientras hacia el Norte los flujos superficiales se canalizan a través de los ríos Arnauri y Arratia, tributarios respectivamente de los ríos Nervión e Ibaizabal, por el Sur el drenaje se organiza hacia el río Zadorra siguiendo los cauces de los ríos Endebe, Bayas y Zubialde.

Por lo general, se trata de ríos muy influenciados por las precipitaciones, especialmente cuantiosas durante el invierno y primavera, que muestran importantes oscilaciones de sus aportaciones con caudales de base que, en ocasiones, llegan prácticamente a extinguirse, en particular a lo largo de los periodos de sequía que se suceden durante la época estival. En consecuencia, aguas abajo de algunos de estos cauces se construyeron en su momento diferentes obras de captación al objeto de aprovechar sus potenciales recursos. De ellas la que presenta una mayor importancia es la situada en el extremo meridional del macizo asociada al río Zubialde, cuyas aportaciones, reguladas mediante un dispositivo de sucesivos embalses, constituían en otro tiempo uno de los principales abastecimientos de la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

Además ha de reseñarse la existencia de una importante depresión localizada hacia la divisoria principal con la que se completa este esquema. En efecto, se trata de la depresión conocida como campas de Arraba desarrollada sobre una plataforma estructural colgada sobre el valle de Arratia caracterizada por la presencia de una red de drenaje propia de carácter endorreico que finaliza al pie de los montes de Itxina.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

Los dos sectores descritos se integran en una única unidad hidrogeológica (unidad hidrogeológica del Macizo del Gorbea) en la que pueden considerarse tres diferentes subunidades (figura 1) cuyos bordes no siempre coinciden con los límites naturales de las cuencas fluviales. La más septentrional, conocida como subunidad de los montes de Itxina constituye el sistema kárstico en el que se ha desarrollado la presente investigación. Se trata de una unidad kárstica de escasas dimensiones, situada entre las cuencas altas de los ríos Nervión, Ibaizábal y Bayas y, como ya se ha adelantado, está caracterizada por la presencia de importantes relieves cuyos límites están flanqueados por una linea de escarpes de sobrecogedor aspecto sobre la que se domina buena parte de los valles contiguos de Orozko, Arratia y Zastegi.

Geológicamente el macizo de Itxina forma parte de una amplia banda de materiales mesozoicos integrados regionalmente en una estructura conocida como Anticlinal Vizcaíno (Ramirez del Pozo, 1972). El macizo de Itxina no presenta mayor complejidad estructural aunque en detalle pueden reconocerse algunas dislocaciones que localmente trastocan la geometría de sus bordes (figura 1). Incluye básicamente materiales del Cretácico inferior agrupados en dos conjuntos litológicos principales conocidos como complejo Urgoniano y Supraurgoniano (IGME, 1978: EVE, 1992). El superior (Supraurgoniano) muestra un caracter predominantemente terrígeno e incluye las formaciones detríticas del Albense-Cenomanense, en tanto que el inferior (Urgoniano) está representado por las secuencias marinas de edad Aptense-Albense que incluyen desde materiales detríticos hasta calizas arrecifales.

Este último conjunto es extremadamente complejo desde el punto de vista estratigráfico, pudiéndose reconocer en algunos puntos de sus afloramientos numerosas interdigitaciones e importantes cambios laterales entre las diferentes facies presentes. Además se ha de reseñar la presencia de depósitos cuaternarios asociados en unos casos a los procesos erosivos actuales, que en el entorno de la unidad están representados por depósitos de pié de monte desigualmente distribuídos hacia la base de los principales escarpes, y en otros están relacionados con los mecanismos de disolución de las formaciones carbonatadas que dan lugar a la existencia de los niveles de alteración y naturaleza arcillosa presentes en el interior de la unidad, cotribuyendo al relleno de numerosas depresiones kársticas.

Desde el punto de vista tectónico los materiales aflorantes se disponen definiendo suaves estructuras monoclinales de bajos buzamientos hacia el suroeste, y, como ya se ha esbozado, presentan, en general, una baja deformación, a excepción de las formaciones carbonatadas en las que es común la presencia de numerosos y densos sistemas de diclasas y en menor cuantia de fallas normales, en su mayor parte de carácter distensivo, a partir de los cuales se ha desarrollado todo un espectacular cortejo de fenómenos kársticos (figura 1). En efecto, las calizas arrecifales muestran una gran variedad y exhuberancia de fenómeros relacionados con el modelado kárstico que incluye tanto formas externas como internas.

Entre las primeras cabe citar los lapiaces que contribuyen de un modo decisivo a la infiltración del agua atmosférica. Presentan diversas modalidades con desigual desarrollo, si bien todas ellas están controladas por la fracturación y por la evolución en el tiempo de diversos factores de carácter bio-climático. En la unidad de Ixina ocupan amplias superficies de elevadas pendientes, especialmente intensas en las zonas inmediatas a la linea de cumbres que bordea la unidad (GEV, 1971; Latasa, 1997).

La dolinas son igualmente numerosas y constituyen formas características del karst de Itxina. En su mayor parte se encuentran agrupadas en torno a los principales acccidentes tectónicos, pudiendo mostrar un desigual desarrollo unas de otras. En general, presentan unas claras morfologías de tendencia embudiforme aunque puntualmente variables. Así, es posible reconocer tanto dolinas de disolución asociadas a los procesos de fusión de nieve (origen nival), como dolinas de hundimiento. En el primer caso se presentan como auténticos pozos verticales que ocasionalmente dan paso a profundas simas como la de Lezandi, y en el segundo corresponden a formas superficiales de colapso sobre conductos previamente desarrollados en el interior de las calizas. A este último tipo de morfologías responden las imponentes bocas de acceso de cavidades tales como Supelegor y la Cran Grieta Central (Latasa, 1997).

Así mismo, es de reseñar la presencia de difrentes Poljes o valles ciegos en la unidad originados por la evolución y posterior coalescencia de dolinas contiguas dando lugar a la formación de importantes depresiones cerradas de hábito generalmente elipsoidal caracterizadas por una circulación del agua de tipo endorreico. Entre ellas deben citarse la existente en Arko Axpe, y en las inmediaciones de la sima de Urrikobaso, entre otras, destacando por su espectacular desarrollo la presente en el término de Itxingote localizado en el extremo suroccidental de la unidad.

Por su parte, las formas endokársticas son muy numerosas destacando tanto por su magnitud como por su desarrollo. En este sentido, los últimos estudios espeleológicos llevados a cabo en este sistema arrojan unos índices de karstificación muy elevados, si los comparamos con otros sistemas vecinos desarrollados en estos mismos materiales, como los karst de Aitzkorri y Amboto-Aramotz, con más de 25 cavidades por km^2 (Maeztu, 1994; Latasa, 1997) y una longitud de conductos por km^2 superior a los 6 km. La existencia de estos conductos puestos de manifiesto por sucesivas generaciones de espeleólogos vascos (GEV, 1971; GEV, 1975; GEV, 1985; GAES, 1997; Latasa, 1997)), es de una importancia capital ya que, como veremos, condicionan las direcciones de drenaje y las modalidad de tránsito del agua subterránea en el acuífero.

Sin entrar en la descripción de las distintas fases evolutivas de este sistema que han desembocado en la implantación de la compleja red de conductos y cavidades actualmente observables, y al margen de procesos morfogenéticos diversos que, de un modo colateral, tienen que ver con el desarrollo del cavernamiento, con-

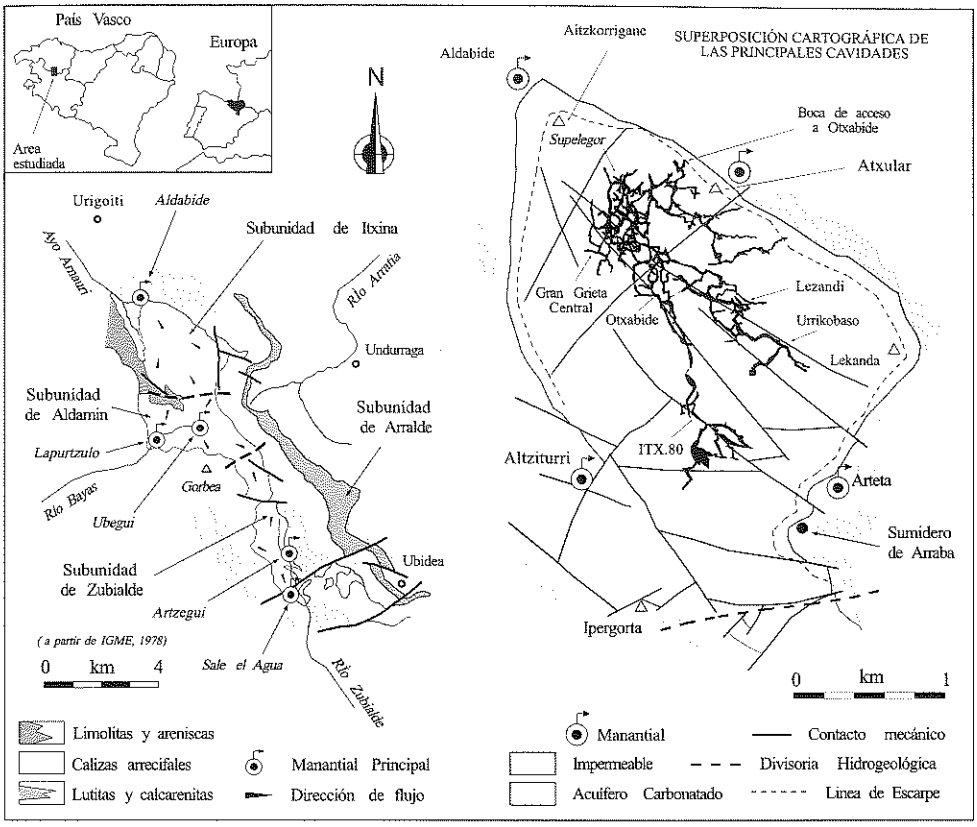


Figura 1. Esquema geológico regional del macizo del Gorbea y representación de las morfologías endokársticas de la subunidad de Itxina

viene señalar que, en su mayor parte, se ha instaurado bajo un estricto control estructural, hasta el punto de que algunas de las cavidades muestran una acusada relación espacial con la existencia de accidentes mayores que intersectan longitudinalmente la unidad. Este hecho se patentiza aún más si cabe al analizar la figura 1 en la que se muestra un encaje topográfico de las cavidades más importantes (in Latasa, 1997) superpuesto al esquema hidrogeológico simplificado de la unidad.

El sistema de Itxina constituye una subunidad hidrogeológica independiente a pesar de estar integrado en la unidad hidrogeológica del macizo del Gorbea, con la que presenta una cierta continuidad en su borde meridional (figura 1). A esta separación contribuye, por un lado, la existencia de una banda de materiales terrígenos de naturaleza impermeable que desciende en dirección Este-Oeste desde las inmediaciones del monte Ipergorta hasta la cabecera del valle de Zastegui y, por otro, la presencia de una suave flexura en su extremo suroriental que condiciona el desarrollo de flujos en sentidos opuestos.

El nivel acuífero está representado por un afloramiento cercano a los 6 km^2 de calizas urgonianas desigualmente desarrolladas, dado su carácter arrecifal, que en algunos sectores llegan a superar ampliamente los 300 metros de potencia. Hidrodinámicamente responde a una tipologia de acuífero libre estructuralmente colgado, que tiene como nivel de base o substrato impermeable a las series terrígenas subyacentes. Además, se caracteriza por presentar en conjunto altos valores de permeabilidad por fracturación y karstificación, lo que unido al carácter endorreico de sus materiales en superficie, con profusión de formas de absorción bien patentes, contribuye a que la infiltración se realice de forma extremadamente rápida, con escasas pérdidas debidas a la evapotranspiración.

La recarga se produce de forma mayoritaria por la precipitación del agua de lluvia sobre sus afloramientos y adicionalmente corre a cargo de los reducidos cursos de agua desarrollados en los materiales terrígenos que conforman las campas de Arraba, cuyas aportaciones en última instancia se incorporan a la unidad a través de sumideros localizados en el contacto con las calizas urgonianas. Por su parte, la descarga se efectúa puntualmente por el conjunto de manantiales situados en sus bordes oriental y occidental entre los cabe citar las fuentes de Atxular y Arteta y el nacedero de Altziturri (figura 1). En general, dichos manantiales muestran bajos caudales y una gran irregularidad, por lo que pueden considerarse como trop-pleins de borde cuyo funcionamiento estaría asociado al drenaje de pequeñas estructuras y depresiones cercanas especialmente en situaciones de elevados gradientes hidráulicos en la unidad.

La mayor parte de sus recursos (85% = 5 hm^3/año).es drenada por el manantial de Aldabide situado en el vértice septentrional del acuífero. Se trata de una surgencia permanente con un régimen caracterizado por rápidas oscilaciones de caudal correspondientes a tiempos de respuesta, ante una ocasional precipitación, de escasas horas, lo que evidencia la baja capacidad de autorregulación del acuífero, puesta de manifiesto en anteriores estudios (Antigüedad, 1986; EVE, 1992; Garfias et al., 1996; Llanos y Garfias, 1996). Así mismo, puede afirmarse que el flujo se efectúa mayoritariamente a través de conductos bien desarrollados siguiendo un esquema general de circulación subterránea, en dirección NNW, desde su extremo suroriental, en los sumideros existentes en las campas de Arraba (figura 1), hasta el manantial de Aldabide, principal surgencia de la unidad.

ENSAYO DE TRAZADO

El ensayo de trazado se realizó al objeto de verificar las posibles conexiones hidráulicas entre un punto situado en el exterior de la unidad y una serie de surgencias localizadas en su borde occidental. El lugar de la inyección elejido (figura 1) corresponde a un área situada en las inmediaciones del término de Kargaleku en el que, dependiendo de la estación, es frecuente obsevar cómo las aguas procedentes del drenaje lento y difuso de los materiales presentes en la depresión de las campas de Arraba se incorporan, tras un corto recorrido en superficie, al acuífero carbonatado adyacente a través de reducidos colectores y sumideros. Para ello el día 5 de septiembre de 1996 a las 12 horas se inyectó, de forma instantánea una solución alcohólica de 0.564 kg de fluoresceína sódica y una disolución acuosa de 2.29 kg de clururo de litio anhidro (0.375 kg de Li) en un momento en el que por el cauce superficial principal circulaba un caudal de entrada al sistema de entre 3 y 4 litros/seg.

Seguidamente se procedió a una toma de muestras, desde el día 6 a las 19 horas, con una cadencia variable, de entre 1 a 4 horas en el manantial de Aldabide, y de 8 horas en las fuentes de Altziturri y Urrekuetxumun, operación que se prolongó sin interrupción durante 19 días desde el comienzo del ensayo. Simultáneamente se procedió a un registro de la evolución de los caudales en la estación limnigráfica de Aldabide y se realizaron medidas puntuales de la conductividad eléctrica del agua. En cuanto al régimen hídrico en el que se desarrolló el ensayo, su inicio

coincidió con un periodo de franco agotamiento en el acuífero que se vio momentáneamente afectado por pequeños aguaceros entre los días 17 y 19. Con posterioridad, a partir de las 23 horas del día 21 tuvieron lugar intensas lluvias, registradas en la estación del alto de Barazar del servicio Vasco de Meteorología, que dieron lugar a un caudal punta en el manantial de Aldabide cercano a los 9000 litros/seg, momento en que se dio por finalizado el ensayo (figura 2).

Las muestras se preservaron de la luz solar y las concentraciones de fluoresceína se establecieron en el Departamento de Química Analítica de la Universidad del País Vasco mediante método fluorimétrico en condiciones de λesc de 489.4 nm, λem de 513.4 nm, pH 8.5, medio iónico 10^{-2} M en KCl y temperatura de 25°C. Por su parte, el litio fue determinado mediante espectroscopía de emisión bajo las siguientes condiciones: λem de 670.8 nm, rendija de 0.7 nm, llama de aire-acetileno, relación fluel-oxidante 20/50 y Ck^{+} de 2000 ppm. Los trazadores se pusieron de manifiesto únicamente en el manantial de Aldabide a partir de las 333 horas del comienzo del ensayo (día 19 de septiembre a las 9 horas), de manera simultánea y en concentraciones extraordinariamente bajas por la importancia de los volúmenes de agua puestos en juego y la escasa cantidad de trazadores utilizada, dado que esta surgencia sirve de abastecimiento a gran parte del Valle de Orozko (figura 2).

Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en la figura 2, en la que, entre otras, se incluyen las nubes de salida (curvas de concentración) de los trazadores. En general, presentan una marcada tendencia unimodal casi simétrica que descienden bruscamente al instaurarse hacia el final del ensayo condiciones claramente influenciadas en el acuífero relacionadas con una recarga extremadamente importante, aspecto éste que resulta aún más patente si cabe al analizar las curvas de flujo (curvas de masa) de los distintos trazadores.

Además se pueden advertir hacia la zona de inflexión de las curvas de concentración y en sus correspondientes ramas ascendentes ligeras, aunque significativas, variaciones a modo de pequeñas ciclicidades, lo que podría explicarse mediante un modelo conceptual de acuífero caracterizado por una intensa fracturación y karstificación, sumamente canalizado y de escasa dispersión lateral, en el que básicamente existe una sola zona de emisión (manantial de Aldabide), a la que se incorporarían aportes no trazados, vehiculizados a través de drenes secundarios asociados a unidades capacitivas anexas al conducto principal.

En consecuencia, las tasas de restitución de los trazadores, obtenidas mediante integración de las curvas de flujo másico, son francamente elevadas, presentando unos valores de 95.58% y de 97.73% para la flouresceína y el litio respectivamente, tal y como se muestra en la tabla 1, en la que, así mismo, se consignan diferentes parámetros de interés y se comparan con los resultados de otros ensayos realizados en sistemas kársticos próximos, tales como el karst de Apodaka y la unidad de Aitzkorri. De estos, quizás, los que más llamen la atención son la velocidad media de tránsito y el tiempo de residencia de los trazadores en el interior del acuífero.

En este sentido, existen antecedentes en relación con un ensayo de carácter cualitativo efectuado en el pasado en esta misma unidad (in Latasa, 1997)) que, al margen de constatar igualmente la conexión hidráulica entre las campas de Arraba y el manantial de Aldabide, suministró un tiempo de tránsito para las partículas más rápidas de unos 3 días frente a los casi 14 días evidenciados en este estudio, lo que se explicaría por las desiguales condiciones hidráulicas existentes en el acuífero al inicio de los ensayos. Así, el caso anteriormente reportado se efectuó durante un claro periodo de recarga (primavera) en contraposición con la situación, en fase de agotamiento, existente en el presente ensayo, lo que daría lugar a una importante ralentización del flujo subterráneo perfectamente asumible en estos medios.

MODELIZACION UNIDIMENSIONAL Y CARACTERIZACION DEL SISTEMA

La aplicación de modelos para el análisis de la polución en medios kársticos presenta un gran interés en tanto que permiten preveer las características del movimiento de una potencial sustancia contaminante (Arrate, 1993; Arrate et al., 1994). Para el presente estudio se ha partido de un modelo unidimensional fundamentado en las ecuaciones de convección-difusión, cuyas condiciones iniciales, para el caso de una inyección instantánea, vienen dadas por:

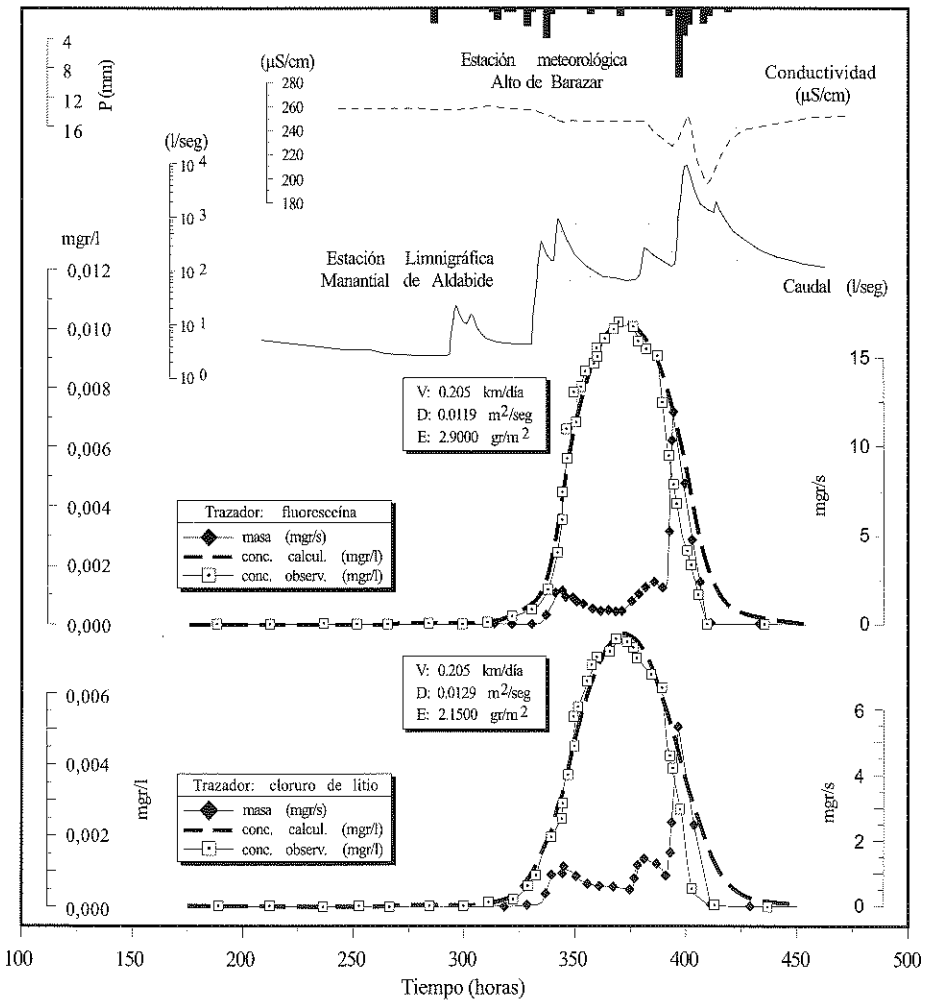


Figura 2. Curvas de restitución de los trazadores

Unidad Hidrogeológica	Apodaka I		Apodaka II			Aitzgorri	Itxina
Punto de Inyección	Zambolinos	Zambolinos	Larrinoa	Larrinoa	Lendia	Urbia	Atraba
Punto de observación	Lendia	Foronda	Lendia	Foronda	Foronda	Iturriotz	Aldabide
Inicio del trazado	mar-90	mar-90	jun-91	jun-91	jun-91	abr-95	sep-96
Distancia (km)	2,200	3,950	5,250	7,350	2,100	6,500	3,200
V part. más rápidas (km/día)	0,303	0,499	0,887	1,038	2,291	0,365	0,231
V modal transición (km/día)	0,261	0,431	0,728	0,869	2,191	0,312	0,205
V part. más lentas (km/día)	0,181	0,284	0,180	0,221	0,622	0,266	0,187
Restitución fluor (%)		19,77		43,91		87,59	95,58
Restitución litio (%)		50,11			71,25		97,73
T medio de estancia (días)		9,25		8,75	1,00	22,13	16,38
V media de tránsito (día)		427,0		840,0	2100,0	293,8	195,4
Coef. disp. long. Fluor (m^2/s)	0,0095	0,0242	0,1728	0,1981		0,0865	0,0119
Coef. disp. long. Litio (m^2/s)	0,0095	0,0263			0,2088		0,0129
Conc. inic. efec. Fluor (gr/m^2)	22,100	27,000	51,800	52,500		75,000	2,900
Conc. inic. efec. Litio (gr/m^2)	36,400	49,800			340,800		2,150
Longitud de mezcla Fluor	6,26	9,69	41,00	39,40		47,89	9,97
Longitud de mezcla Litio	6,26	10,54			16,47		10,88

Tabla I. Resultados de algunos de los trazados realizados en el País Vasco

$$\frac{\delta\, C(x,t)}{\delta\, t} = D \cdot \frac{\delta^2 C(x,t)}{\delta\, x^2} - V \cdot \frac{\delta\, C(x,t)}{\delta\, x}$$

con

$$C(x,0) = \frac{M}{PS} \cdot \delta\,(x=0) \qquad \text{y} \qquad C(\infty,t) = 0$$

siendo C (x,t), la concentración de trazador a la distancia x y tiempo t desde la inyección, D, el coeficiente de dispersión longitudinal, V, la velocidad lineal media de flujo, M, la masa inyectada de trazador, P, la porosidad del acuífero y S, el área de la sección de flujo. La solución dada por Evans (1983) para dicho modelo es:

$$C(x,t) = \frac{M}{PS} \cdot \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \cdot exp\left[-\frac{(x-Vt)^2}{4Dt}\right]$$

En la práctica dicha solución no es de fácil aplicación dado que la concentración inicial del trazador (M/PS) en muchos casos no puede establecerse con exactitud ya que, por un lado, parte del trazador puede perderse por descomposición, adsorción y/o almacenamiento en el sistema, y, por otro, no siempre se tiene un conocimiemto exhaustivo de los parámetros P y S. En este sentido, la alternativa propuesta por Huang (1991) de sustituir la concentración inicial del trazador por la concentración inicial efectiva (E), considerando además la concentración de fondo del trazador (Co), resulta más realista y puede expresarse tal que:

$$C(x,t) = E \cdot \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \cdot exp\left[-\frac{(x-Vt)^2}{4Dt}\right] + C_o$$

cuyas incógnitas se calculan con arreglo a las siguientes ecuaciones:

$$U_2 = \frac{t_1 \cdot t_2}{t_1 - t_2} \cdot Ln\,\frac{(C_1 - C_0)\sqrt{t_1}}{(C_2 - C_0)\sqrt{t_2}}$$

$$U_3 = \frac{t_1 \cdot t_3}{t_1 - t_3} \cdot Ln\,\frac{(C_1 - C_0)\sqrt{t_1}}{(C_3 - C_0)\sqrt{t_3}}$$

$$V = \sqrt{\frac{U_2 - U_3}{t_1(U_2 \cdot t_3 - U_3 \cdot t_2)}} \cdot x$$

$$D = \frac{x^2 - (t_1 \cdot t_2 \cdot V^2)}{4\,U_2}$$

$$E = 2\,(C_1 - C_0) \cdot \sqrt{\pi\, Dt_1} \cdot exp\left[\frac{(x - Vt_1)^2}{4Dt_1}\right]$$

donde C1, t1; C2, t2 y C3, t3 son puntos arbitrarios de la rama ascendente de la curva de concentración del trazador. El modelo se ha aplicado por separado a cada uno de los trazadores obteniéndose unos parámetros dispersivos (V, D y E), cuyos valores se consignan en la Tabla 1. Así mismo, en la figura 2 se muestran las curvas calculadas por el modelo, superpuestas a las curvas de concentración observadas en el ensayo. En general muestran un notable ajuste a excepción de las ramas descendentes dado que en el aplicación del modelo se considera una velocidad de flujo

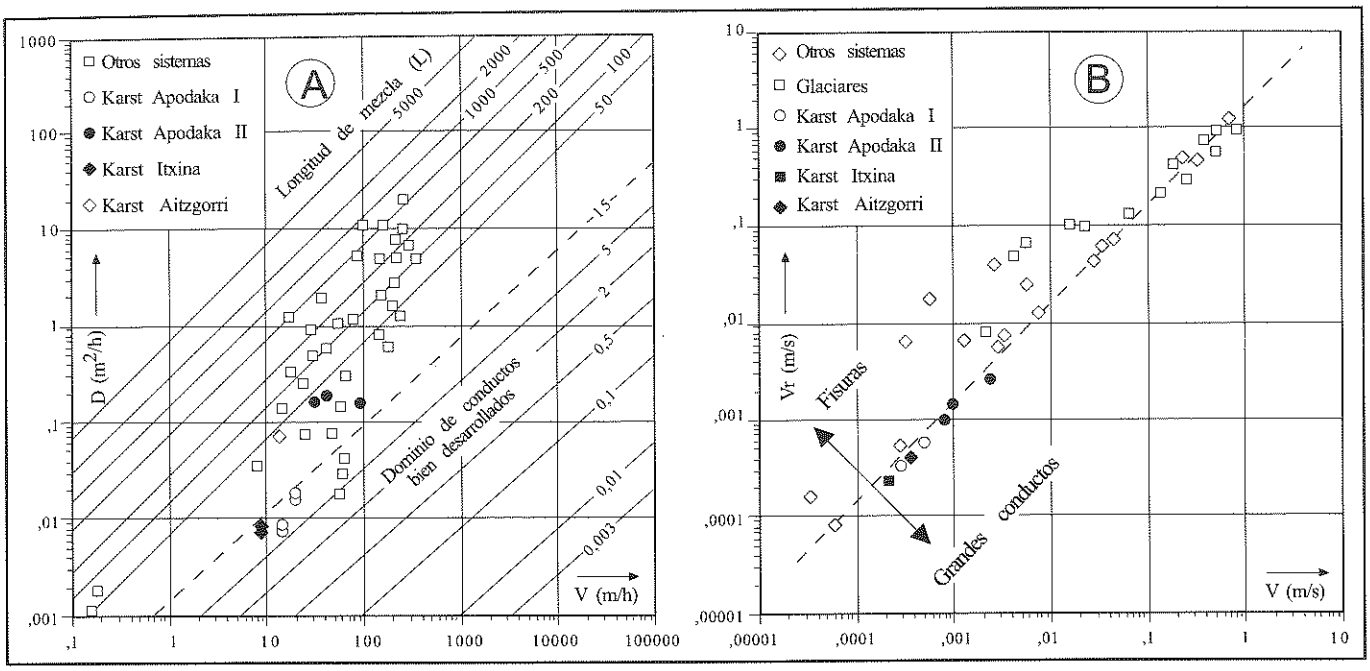


Figura 3. Clasificación del sistemas kárstico de Itxina según Jamier (A) y Leibundgut (B)

constante, condición que no se mantuvo especialmente al final del ensayo.

A partir de la realización de ensayos de trazado es posible tratar de caracterizar los sistemas kársticos en base a algunos de los parámetros obtenidos. En el presente estudio se han seguido las clasificaciones de Jamier (1976) y de Leibundgut (1986). El primero se basa en la relación existente entre la velocidad media de las partículas (V) y el coeficiente de disperrsión longitudinal (D) teniendo en cuenta además la llamada longitud de mezcla (L=2D/V) que da una idea de la apertura teórica de los conductos del sistema kárstico.

El segundo permite una aproximación cualitativa al conocimiento del diámetro de los conductos a partir de la relación entre la velocidad de las partículas más rápidas (Vr) y la velocidad media de tránsito. Para la unidad de Itxina dichas clasificaciones se reflejan en la figura 4 en las que, así mismo, se incluyen para su comparación las de otros sistemas kársticos analizados. En el caso particular de Itxina se observa que sus posiciones corresponden a situaciones de un gran desarrollo de la karstificación caracterizada en ambos casos por la presencia de grandes conductos bien desarrollados.

CONCLUSIONES

La resultados del ensayo de trazado han permitido tener un conocimiento más detallado del sistema kárstico de Itxina que, al margen de verificar la conexión hidráulica existente entre la depresión de Arraba y el manantial de Aldabide, ha suministrado valiosa información acerca del comportamiento de los trazadores utilizados, así como de sus tasas de restitución, prácticamente totales, y de sus tiempos de residencia en el acuífero. Además se han estimado unos valores del coeficiente de dispersión longitudinal para las condiciones de acusado estiaje existentes en el acuífero durante la casi totalidad del ensayo, que posibilitan un acercamiento al análisis de eventuales problemas de polución en el sistema, En este sentido, y dado que estos valores en principio permanecen constantes para unas mismas condiciones hidrodinámicas, sería conveniente la realización de ensayos complementarios en diferentes situaciones hidrológicas en el acuífero al objeto de tener valores representativos de la dispersión y de la velocidad media de tránsito.

Por otra parte, los resultados obtenidos permiten afirmar que el macizo de Itxina presenta una tipología propia de un acuífero kárstico sensu stricto en el que los materiales carbonatados muestran altos, aunque desiguales valores de permeabilidad por fracturación y karstificación, que dependen por sectores del grado de jerarquización interna del sistema. La circulación del agua subterránea se efectuaría de acuerdo con un esquema de flujo compartimentado o de doble porosidad, caracterizado por la coexistencia en el acuífero de bloques capacitivos menos permeables y de conductos de circulación rápida más permeables, parte de los cuales han sido reconocidos en sucesivas exploraciones espeleológicas.

En consecuencia, la unidad investigada muestra una elevada potencialidad a la contaminación con unas excepcionales condiciones de absorción, dado su carácter libre, y una estructuración que determina básicamente un punto de descarga principal, cuyos recursos resultan, por tanto, altamente vulnerables. El objetivo final del estudio contribuye a proporcionar tan sólo unas pautas al objeto de salvaguardar los recursos de aguas subterráneas de esta unidad hidrogeológica, que, sin duda, serán cada vez más demandados para el futuro desarrollo de la comarca. En este sentido, y paralelamente a estas iniciativas debería acometerse desde la Administración una política de protección eficaz de estos singulares sistemas naturales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación: 0390P-T9506, subvencionado por el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT), y del proyecto: 001.154 EA 061-95 financiado por la Universidad del País Vasco. Los autores desean expresar su agradecimiento a los antiguos compañeros del Grupo Espeleológico Vizcaino y a los actuales componentes del GAES por las facilidades prestadas para el desarrolo de este estudio, así como a las familias Olabarria y Olabarri, de Urigoiti e Ibarra respectivamente, al Servicio Vasco de Meteorología, al Ente Vasco de la Energía (EVE) y a la Diputación Foral de Vizcaya.

BIBLIOGRAFIA

ANTIGÜEDAD I. (1986). Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Nervión-Ibaizábal. Tésis Doctoral Universidad del País Vasco, 320 pp. Leioa, Bizkaia.

ARRATE I. (1993). Tésis Doctoral Universidad del País Vasco, 320 pp. Leioa, Bizkaia.

ARRATE I., ANTIGÜEDAD I., LLANOS H., LARESGOITI M.F., ALONSO R. y GALLO B. (1994). Aporte Metodológico de Trazados en Sistemas Kársticos del País Vasco. I Taller Internacional sobre Cuencas Experimentales en el Karst. Matanzas, Cuba. 1992. pp. 115-130. (H. Llanos, I. Antig,edad, I. Morell, A. Eraso, eds.). Universitat Jaume I. Castellón, España.

EVANS A.V. (1983). Tracer Techniques in Hydrology. Int. J. A. Rad. V. 34, pp.451-475.

EVE (1992). Investigación Hidrogeológica del Area de Itxina. Ente Vasco de la Energía. Bilbao-Bilbo, (informe inédito).

GARFIAS J., LLANOS H., RAMONET C.A. y HERRERA I. (1996). Modelación de Flujo del Macizo Kárstico de Itxina (Provincia de Vizcaya, País Vasco). Memorias del III Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, vol. 5, pp. 15-27. San Luis de Potosí, México.

GAES (1997). Inventario de Cavidades de Itxina. Bilbao-Bilbo, (informe inédito).

GEV (1971). Observaciones Preliminares sobre el Macizo Kárstico de Itxina. Macizo del Gorbea (Vizcaya). Kobie 3, pp. 56-99. Bilbao-Bilbo.

GEV (1975). Simas Vizcaínas con un Desnivel Mayor de 200 metros. Kobie 6, pp. 209-242. Bilbao-Bilbo.

GEV (1985). Catálogo de Cuevas de Vizcaya. Edit. Diputación Foral del Señorío de Vizcaya, 95 pp. Bilbao-Bilbo.

HUANG H. (1991). On a One-Dimensional Tracer Model. Groundwater, vol. 29, n? 1, pp. 18-20.

IGME (1978). Mapa Geológico de España a Escala 1:50.000 (serie MAGNA), Hoja n?: 87 (Elorrio). Edit. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, España

JAMIER D. (1976). Interpretation des Essais de Traçage des Eaux Karstiques. Deuxième Colloque d'Hidrogeologie en Pays Calcaire. Fasc. 25, 3ème série, pp. 229-240. Besançon, Francia.

LATASA I. (1997). El Karst de Itxina. /ltimas Exploraciones Espeleológicas. Karraitza, vol. 6, pp. 9-20. Ed. Unión de Espeleólogos Vascos-Euskal Espeleologoen Elkargoa. Donostia-San Sebastián.

LEIBUNDGUT (1986). Characteristics of Flow Path Conditions by Evaluating Artificial Tracer Techniques. V International Symposium on Underground Water Tracing, vol. 1, pp. 311-319 (A. Morfis y P. Paraskeropoulou, eds.). Atenas, Grecia.

LEPILLER M. y MONDAIN P.H. (1986). Les TraÁages Artificiels en Hidrogéologie Karstique. Mise en Oeuvre et Interprétation. Hydrogeologie, n? 1, pp. 33-52.

LLANOS H. y GARFIAS J. (1996). Reconstitución de Hidrogramas de Manantiales de la Unidad Hidrogeológica del Macizo del Gorbea (País Vasco). In Contribuciones a la Investigación y Gestión del Agua Subterránea, pp. 115-130. (I. Morell y J.R. Fagundo, eds.). Universitat Jaume I. Castellón, España.

MAEZTU J.J. (1994). Modelo para le Descripción de Cavidades y del Karst. Karraitza, vol. 3, pp. 1-2. Ed. Unión de Espeleólogos Vascos-Euskal Espeleologoen Elkargoa. Donostia-San Sebastián.

RAMIREZ DEL POZO J. (1973). Síntesis Geológica de la Provincia de Alava. Edit. Dpto. de Obras Sociales de la Caja Municipal de Ahorros de Alava, 90 pp. Vitoria-Gasteiz.

ACTIVIDADES EFECTUADAS POR LA UEV (1997)

Aloña Mendi Espeleologia Taldea

1997 urteko AMET-en espeleologia lan gehienak bi zatitan bana daitezke batik bat: Orkatzategi aldeko karstaren azterketa eta prospekzioa eta lehendik ezagunak ziren leize eta koben berrikuzpen sistematiko bat; eta Arrikrutzeko 53 galeriaren esplotazio turistikoaren projektuaren jarraipen zehatz bat, bertan parte hartzen duten enpresa eta Oñatiko Udalarekin harremanak mantenduz eta jarraitu beharreko aurre azterketak bideratuz.

Bi gai hauetaz gain beste irteera puntual batzuk ere izan dira alde ezberdinetara, hasitako lan batzuk bukatu asmoz: Kataosteko mina topografiatu eta esploratu, Iritegi-Aixen koba sisteman 581 m. esploratu eta topografiatu, Gesaltzan eskalada bat beheko solairuan, Maru koba (Aitzabal 13) katalogatu eta topografia egin.Azken honetan artzaren letagin bat aurkitu genuen.

1997ko irteera gehienak Orkatzategi aldera izan dira.Lan gehienak lehendik katalogaturiko hutsguneak topografiatzea izan dira.Hainbat azterketa ere burutu ditugu malda eta paretan, eta kobazulo berri ugari katalogatu ahal izan ditugu.Orain katalogaturik ditugun koba guztien berrikuzpen bat eta mapan kokaketa zehatzagoak egiten ari gara; bertako baserritarrekin ere hitzegin dugu toponimoak jaso asmoz.EHU-ko irakaslea den Alvaro Arrizabalagarekin koba batera eginiko bisitaldi batean historiaurreko zeramika zati bat aurkitu zen.

Baina 1997an denbora gehien lapurtu digun gaia Arrikrutzeko 53 galeria turistikoki esplotatzeko projektua izan da.Gauzak behar bezala egin ditzaten saiatzen ari gara.Horretarako hainbat bilera egin ditugu projektua bideratzen ari diren enpresekin (LKS,Sei Fagor, Mondragón Sistemas) eta Udalarekin.Bisitaldi asko egin behar izan ditugu aipaturiko jendeak koba hau azter zezan.Orain aurre ikerketa batzutan lan egingo dugu (ikerketa klimatikoa,etb.) ondoren kobazuloko lanak egoki egiteko.Honetan beste urte pare bat ihardun beharko dugu

Bi ikastaro egin ditugu aurtengoan.Batean, Kirol Abentura monitore tiulua ateratzen ari ziren batzuekin aritu ginen.Espeleologia zer den eta koba batean mugitzen erakutsi genien, bai horizontalean, baita bertikaletan ere.Bestea Oñatiko Gaztelekutik egindakoa izan zen; irteera bat Arrikrutzera eta beste bat Gesaltzara.

Larrialdi irteera bat ere izan genuen, galdutako gazte batzuk Arrikrutzetik ateratzera joan ginen.Galdutako hiru gazte Azkoitiarrak sarreratik 200 metrora zeuden.

Taldeko hainbat partaide Espeleolaguntza praktikak egitera joan ginen EEE-ek antolaturiko Dimako praktiketara.

Urtero Grupo Espeleológico Ribereño-k antolatuta Aranda de Dueron ospatzen den Lurrazpiko Argazki Lehiaketan lehen saria irabazi genuen "Zakarra jasotzen" deituriko argazkiarekin.Argazki hau Rikardo Erañak Udalaitz totorrean atera zuen Besaide Espeleologia Taldearekin batera leize bat garbitzera joan ginenean.

Azkenik aipatu, Salbadan antolaturiko ihardunaldietan parte hartu genuela taldeko hainbat kidek.

Satorrak Espeleologia Taldea

El transcurso de este año ha sido vital en la historia de nuestro grupo ya que nos ha tenido ocupados en una seria apuesta de futuro en la que tendremos que trabajar fuerte en los años venideros. La diferente manera de entender la actividad deportiva que tenemos los espeleólogos nos ha llevado a acordar con el Club Deportivo Navarra una desaparición amistosa del Satorrak como sección de espeleología del club ya que los roces y malos entendidos eran constantes.

Ello nos llevó a plantear seriamente nuestro futuro como grupo de espeleología. El importante volumen de actividad de los últimos años, los importantes descubrimientos que estamos realizando y sobre todo el interés y esfuerzo que han demostrado los miembros del grupo nos ha convencido de que el Satorrak está muy vivo y va a hacer mucho ruido en un futuro inmediato. La aportación de los miembros "históricos" ha sido decisiva.

Nos hemos legalizado como asociación cultural y deportiva, hemos comprado un local (cuya nueva dirección adjuntamos) con espacio suficiente para nuestras necesidades y para llevar adelante los importantes proyectos que tenemos entre manos. Ello nos mantendrá ocupados durante los próximos años.

Nuestra labor espeleológica ha abarcado como siempre diferentes zonas algunas de ellas ya tradicionales, como Aralar y Abodi-Berrendi, y otras no tanto como Garralda y que han auspiciado interesantes perspectivas para el futuro. Además en la actualidad estamos interesados por otras zonas como Illón, Labia, Nabaskoitze, Esnots o Elkoatz profundizando en el estudio del karst en la Navarra prepirenaica que hasta ahora no ha sido suficiente y que de hecho está deparando importantes descubrimientos. Para ello hemos intensificado nuestra relación con antiguos colaboradores como el Sr. Cabodevilla, grupos franceses y sobre todo Gilles Parent que ya han realizado otros estudios de las cuevas y simas de la zona.

Este es un resumen de nuestras actividades y algunos de nuestros caballos de batalla para el futuro:

Aralar. Nuestra labor de revisión de zonas está dando sus frutos en zonas como Eulatz y Oiarbide donde han aparecido zonas no suficientemente trabajadas y que han deparado cavidades muy interesantes, cuyo estudio ampliaremos en fechas próximas. Por otro lado hemos dado pasos decisivos para una adecuada protección y estudio de la sima de Amutxate que ha de ser considerada como importante patrimonio paleontológico para Nafarroa y que esperamos impulse la realización de más acciones de este tipo en nuestro herrialde dada la despreocupación que existe. Para ello contamos con la colaboración de Trinidad de Torres de la Universidad Politécnica de Madrid y un experto en osos del cuaternario a nivel internacional.

Además pretendemos efectuar un estudio y topografía más exhaustiva de la sima Haitzegi´ko leitzea y continuar con la revisión de otras zonas interesantes en la cuenca de Aitzarreta y en la zona de Sakana.

Abodi-Berrendi. Durante la campaña del 97 se han realizado estudios en la zona de Arrobegia deparando las cavidades más importantes de todo el macizo como son el sistema de Arriluxe y la sima de Platzeagabizkar. Se han topografiado más de 3 km de grandes galerías con importantes verticales como el pozo Ilintxeta con 140 mts que recogen las aguas de algunos de los sumideros que jalonan el escarpe calizo de Abodi-Berrendi y que llevamos varios años investigando por sectores. Hemos alcanzado una profundidad máxima de 330 mts en el sifón de Arriluxe que es el más profundo y oriental de todo el macizo y que está separado X kilómetros en línea recta del sifón terminal de Platzeagabizkar, a 250 m de profundidad. Ambos están instalados en la línea de drenaje que supuestamente conduce todas las aguas infiltradas en el karst desde Ilardokia hasta Berrendipea que es la surgencia natural de las aguas subterráneas del macizo. En el fururo esperamos corroborar esta hipótesis por medio de una coloración y un estudio completo de sus resultados. Además conservamos algunas incógnitas en el fondo de Platzeagabizkar. El futuro de nuestra labor espeleológica en este macizo pasa por la revisión de la vertiente N y la Zona de Irati que pretendemos efectuar con la colaboración de Gilles Parent y algunos lugareños que hemos conocido con el paso de los años.

Garralda. Gracias a antiguas colaboraciones y por medio de la relación con Sales Santos, ex-alcalde de Garralda y Gilles Parent,

conocimos la sima de Basanberro que tras su descubrimiento hace muy pocos años y su posterior estudio por Gilles ha resultado ser más grande de lo que parecía. En el año 97 el Satorrak ha continuado con las tareas de exploración en profundidad relevando a los equipos franceses mientras que Gilles depuraba y presentaba sus trabajos topográficos. Se han descubierto nuevas galerías que avanzan hacia la surgencia natural de sus aguas. Se trata de una importante surgencia natural localizada en Aribe junto a las esclusas del Irati. Esta cavidad que ya tiene más de tres kilómetros de desarrollo va a ser objeto de una campaña más intensiva durante el año 98 por parte del Satorrak y en colaboración con Gilles y Sales Santos. Esperamos poder ofrecer los resultados en una próxima Karaitza.

Además el grupo ha participado en diferentes actividades promovidas por la UEV y la Federación y ha realizado alguna proyección divulgativa.

Grupo de Actividades Espeleológicas Subterráneas (Bilbao)

El G.A.E.S. de Bilbao ha desarrollado su actividad en tres karst: Gorbea (Bizkaia), Rasines (Cantabria) y Larra (Nafarroa).

Gorbea: Hemos trabajado en dos sectores: Itxina y Obarreta/Austingarmin. En **Itxina** ampliamos catálogo y exploramos intensamente la más emblemática de sus grandes cavidades: **Otxabide**. Se realizaron varios descensos centrando la actividad en el Colector, a la búsqueda de un paso hacia Egarriturri'ko Leizea -ITX-80- (> 7.000 m). Por el momento no se ha conseguido la anhelada conexión. El desarrollo se eleva a 12.700 m (en curso de exploración). En el sector **Obarreta/Austingarmin** hemos trabajado en la definición de éste eje de drenaje (en curso de exploración) que debita al río Bayas, afluente del Ebro. Exploramos y topografiamos gran parte de los sectores conocidos: Red de Austingarmin -cabecera- (>1.500 m) / cueva-sima de Obarreta -sector medio- (>2.000 m) y Lapurzulo -surgencia- (>300 m). En éste área de Gorbea estamos realizado interesantes hallazgos paleontológicos y arqueológicos.

En éste 1.997 hemos explorado y topografiado 100 nuevas cavidades en Gorbea. En el interior del circo kárstico de Itxina el número de fenómenos catalogados se eleva a 160. Para el resto de cavidades situadas en el área vizcaina del parque Natural, pero fuera del perímetro de Itxina, se sitúa en el número G-178.

Rasines: continúa la revisión de incógnitas pendientes en diversas cavidades exploradas en la década de los 70 y 80. En la torca de **Castaños de Doña Luisa** (1.600 m./ -90 m.p.) hemos continuado realizando escaladas a la búsqueda del colector del valle de Valseca. Los resultados continúan siendo negativos. En la torca de **Calero del Agua** (-334 m.p.) se han explorado 200 m de nuevas galerías. En la torca de **Regato Calero II** (-297 m.p.) se suceden las escaladas a la búsqueda de una conexión con la Red del Silencio, aún no conseguida.

Como **actividades varias** señalamos la celebración del X curso de Iniciación a la Espeleología para la Universidad del País Vasco. Participamos en las XXIV Jornadas Vascas celebradas en Sierra Salbada. Hemos realizado diversas actividades (cursos, simulacros, reuniones internacionales, ...) cara al Espeleo-socorro.

Expedición Larra/97: El GAES de Bilbao, ha celebrado su IXX campaña estival (novena en el Pirineo Navarro), junto a sus colegas de la MJC de Rodez y la Alpina de Millau. Las labores de este campamento se han centrado especialmente en la prospección a la búsqueda de simas que permitiesen acceder al Colector de la **AN-8** (aguas arriba) ó alcanzar el interesante y enigmático nivel fósil de -300 m, detectado en la AN-8, más allá de las barreras de bloques que cortan el avance en ambos sentidos, y que nos permitiría abrir nuevas vías de exploración. Destacamos la exploración de las simas C-402 (-146 m.p.) y sima Katas (-100 m.p.). Además, se revisaron las simas **AN-8** (intento sin éxito de superar caos de bloques en cota -620 m.p. , aguas arriba en el Colector) y **Z-17** (avance en el meandro final hasta alcanzar un sifón -430 m.p.). Las labores en este sector del macizo se han dado por concluidas.

Euskal Espeleo Laguntza

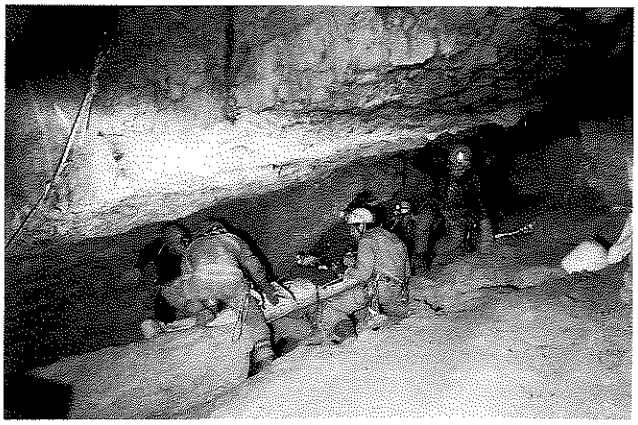
Entre las diversas actividades que se han realizado pasamos a comentar brevemente las más destacadas de carácter técnico. Varios miembros del E.E.L. asistieron al **Encuentro Internacional de Espeleosocorro** celebrado en la región de francesa de Savoie. Durante el curso se estrecharon las relaciones que el E.E.L. mantiene con el Espeleosocorro Francés (SSF) desde 1.984, y se tomó contacto con las últimas innovaciones técnicas y organizativas desarrolladas por el propio SSF. Continuando con el área de formación interna, destacamos la celebración de dos cursos en el área técnica (niveles de Encuentro Técnico, y de Capacitación). En el primero de ellos se incorporaron algunas de las técnicas observadas en Francia.

Curso Internacional de Socorro en Haute Saboie (France)

En el capítulo de simulacros se han desarrollado dos líneas: actividades externas e internas. Las externas buscan ponernos en contacto con otras organizaciones. En ésta línea se ha participado en un simulacro organizado por los amigos del espeleosocorro Aragonés, en el célebre sistema kárstico de Arañonera. También, participamos en una macro operación de socorro organizada por el espelosocorro francés en la región de los Pirineos Atlánticos.

En la línea interna hemos potenciado los encuentros de grupos reducidos buscando de esta manera aumentar la actividad de los socorristas.

Se ha presentado una ponencia al VII Congreso Español de Espeleología sobre el uso de los taladros y los efectos del monóxido



Práctica de Socorro en Aralar

de carbono. Para los ensayos, realizados en condiciones reales, se ha contado con la colaboración de socorristas del E.E.L..

Entre las salidas de entrenamiento destacamos la organizada en el marco de las XXIV Jornadas Vascas de Espeleología, que permitió a más de 40 socorristas realizar una entrada en la sima SI-44, superior a las 20 h. de permanencia y enfrentarse a las condiciones adversas de un cauce hipogeo en régimen de aguas altas.

Asociación Deportiva Espeleológica Saguzaharrak (ADES)

Este año por primera vez desde su creación el grupo A.D.E.S. ha comenzado a desarrollar trabajos de exploración fuera de las comarcas de Urdaibai y Lea-Artibai, gracias a un acuerdo de colaboración con el grupo S.E.S.S. de Cantabria, trabajándose por ello en la zona del Karst de Miera Occidental, además de en la zona tradicional del grupo.

En esta zona se han realizado: prospecciones por el valle de Noja, Hoyo Castrejón y Macizo de Peña Herrera. Además de la catalogación y exploración d unas 35 cavidades, topografiándose varias de ellas, entre las que cabe destacar, La Sima del Canalón y Sur Hoyo Castrejón N° 24 y 25.

El mayor esfuerzo realizado ha sido la exploración y topografía de la Sima del Canalón, de la que cabe destacar sus innumerables ventanas, que hacen que de sus 200 m. de profundidad alcanzados en 800 de desarrollo, 600 sean verticales, por lo que se ha llegado a denominar el laberinto vertical. También en esta zona ha requerido un gran esfuerzo y dedicación la desobstrucción de la Cueva de Averones, por la posibilidad de avanzar por el río principal del macizo, tarea que no se ha podido culminar hasta ya entrado el 98 debido a los nueve metros de grieta vertical que impedían el paso.

En la zona de Urdaibai y Len-Artibai, es de destacar el buceo en el sifón terminal de la cueva de Lezate, en colaboración con el grupo G.E.R. de Alcoi, que llevó a encontrar probable continuación del sifón, aunque no se pudo superar debido a la gran cantidad de limo acumulado.

También se ha realizado, en colaboración con el Dr. Dulanto (Comisión Médica de la E.S.E.-F.E.E.), un estudio sobre los peligros que conlleva la producción de CO_2, en la utilización de taladros de gasolina y microexplosivos, en las desobstrucciones en la espeleología.

Se continua con pequeñas exploraciones y topografías en cavidades de Urdaibai y Lea-Artibai.

Se participa un año más en las jornadas vascas de espeleología (Salvada) y en la práctica de socorro de Dima.

Y ya entrado el 98 se descubre en la zona de Miera la cueva del Cubillo del Ojancano de Mortesante, donde se exploran y topografían 5 km. de cavidad en lo que es probablemente la continuación del Río de Averones, sin darse por finalizada su exploración.

Grupo Espeleológico Matiena -GEMA- (Abadiño)

EXPLORACIONES. Eskubaratz. Finalizamos las exploraciones en la E-74 sin que las incógnitas hayan dado el resultado apetecido, y lo que es más triste: El sifón terminal (-120) es infranqueable, y río arriba apenas desarrolla medio centenar de metros.

Trabajos en la boca del sumidero E-95 para intentar facilitar el acceso por la pequeña boca de entrada. Demasiada agua estos últimos meses para poder entrar.

En la E-19 se plantea la necesidad de desobstrucción del final de la cavidad para intentar la conexión con la E-74, aunque nuestras esperanzas desde ésta última han desaparecido definitivamente en el estrechísimo meandro.

Prospección en la zona de Iturriotz localizando un grupo de cavidades marcadas por el GEV y a las que no habíamos podido localizar en prospecciones anteriores. Destaca entre ellas un importante sumidero, la E-65.

Prospección por el sector N de Kanpantorreta junto al barranco Urkuletas. Localizamos una serie de simas de origen tectónico de escasa importancia.

Baltzola-Dima. Travesía Abaro-Jentilzubi: Instalación y exploración con topografía de la sima hasta la base de la cascada. Aparecen varios aportes de agua que amplían el caudal. Hay topografiados más de 800 m. y explorados sin topo más de otros 300.

Untzilllatx. Prospección y localización de la cavidad Kobaerretas sobre el barranco de Urkiola, con un importante desnivel en su recorrido, según descripción del GEV.

Anboto. Topografía del túnel de Gerriko Kobie e instalación de un largo pasamanos (casi 100 metros) para el acceso seguro a la cueva de la Dama de Anboto.

Exploración de esta última cavidad con un desnivel de 70 m y dos pozos paralelos, y con un desarrollo de casi 400 m superando las cotas conocidas hasta la fecha, no sólo en desarrollo, sino en desnivel, ya que en ninguna referencia a ella se cita el hecho de poseer un pozo en la misma galería principal.

ACTIVIDADES EXTRAORDINARIAS. Comienzo de una publicación sobre las cavidades del Parque de Urkiola, encargado por este Organismo, con el que ya venimos colaborando desde hace varios años. Será en bilingüe y estará dirigida al público en general, no tratándose por ello de un libro especializado ni excesivamente técnico.

Sociedad de Ciencias Aranzadi. Sección Karstología

DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN.

Excursión didáctica: Abierta al público, a finales del mes de Junio, se llevó a cabo la excursión didáctica que desde este departamento se organiza todos los años. Esta consistió en la visita a la sala de La Verna, sita en Ste. Engrace (Zuberoa). Esta oquedad pertenece al sistema de La Piedra de San Martín. A los asistentes se les impartió una pequeña charla sobre el contexto hidrogeológico en que se encuentra así como un pequeño repaso de la historia de las exploraciones en las que en su momento participó este departamento. Para que los asistentes pudieran hacerse una idea del volumen de la sala se instalaron una serie de generadores y focos con una potencia total de 5000 w. Comentar que asistieron más de 130 personas marcando todo un record de asistencia con respesto a otras ediciones, a pesar de que la climatología no acompañó en absoluto.

Grabación en video del sifón de Osinberde: En el mes de Junio y gracias a la colaboración de Eneko Sansinenea (buzo profesional) y del Dtor. Anton Galan del Instituto marino de Reijkiavik, se procedió a la filmación en video del sifón de Osinberde (Zaldibi) explorado y topografiado años atrás. Sintiéndonos satisfechos de la calidad del mismo. Este video se utilizará para complementar el titulado Ondarreko Zuloa.

TRABAJOS DE CAMPO

Surgencia de Urtxikiain. Continuando con los estudios que llevamos realizando sistematicamente en años precedentes en torno a la surgencia kárstica de Urtxikiain (Bonbatxulo), en el curso del presente año las labores se han dirigido hacia tres frentes diferentes pero complementarios.

A.-Prospección de la posible zona de captación de la surgencia con el fin de poder delimitar su cuenca hidrológica.Siguiendo criterios geológicos,los terrenos prospectados han correspondido a materiales del Purbeck-Weald. La finalidad de esta labor consiste en ubicar la zona de cabecera del sistema subterraneo o sus zonas intermedias tributarias.

B.-En colaboración con espeleobuceadores del grupo Lizarra Espeleologia Taldea - Grupo de Espeleologia Estella y del Dr. Anton Galán se han continuado las labores de exploración y topografia tanto de la galería aérea como de la inundada.

C.-En colaboración con el Dpto.de Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa se llevó a cabo la construcción de una

estación de aforos con el ánimo de obtener un registro continuo y fidedigno de los caudales surgentes.

Sima A.R.1. A lo largo de este año se han continuado ininterrumpidamente las labores de exploración y topografía en la cavidad. El interior nos muestra una cavidad eminentemente vertical, con pozos amplios de roca compacta.Tiene un trazado único hasta la cota -130m donde se bifurca en dos series de pozos que discurren paralelamente.La transición entre pozos es de materiales más deleznables y meandros cortos que en ocasiones ha hecho falta desobstruir para continuar la exploración.Sin embargo hay que destacar unos tramos de meandro más largos en las zonas superior e inferior de la sima. En la base del meandro superior se encontró un curso de agua donde se inyectó el trazador. La profusión de ventanas situadas a diferentes cotas, nos ha permitido a veces cuntinuar la exploración, y otras, acceder a pozos paralelos donde pequeños cursos de agua desaguan en meandros inaccesibles. La cavidad presenta un aspecto claramente disolutivo, en todos sus pozos, sin grandes depósitos clásticos excepto en el pozo de entrada. Hasta la cota explorada no se ha encontrado ningún curso de agua permanente. Cuando hay precipitaciones en el exterior proliferan los goteos e hilillos de agua por toda la sima que remiten cuando cesa. La velocidad y el volumen de infiltración en época de lluvias es importante.En época de estiaje las paredes se llegan a secar, sobre todo en el meandro superior e inferior, ayudados por la apreciable corriente de aire que circula en las zonas estrechas. A -250, una nueva desobstrucción nos da acceso -por fin- a un meandro subhorizontal practicable. Dicho meandro, que al principio presenta varias estrecheces severas, va ensanchándose y alternandose con pequeños pozos hasta la cota -350, alcanzada en la última punta de exploración, continuando más allá. El meandro lleva una exigua corriente de agua la cual va incrementándose a medida que recoge aportes laterales. Igualmente es recorrido por una apreciable corriente de aire, lo cual, si bien hace penosa la exploración, nos da muy buenas espectativas de alcanzar a su favor las cotas inferiores de la cavidad, y por tanto, un conocimiento directo de la cabecera del sistema de drenaje subterráneo que pasa bajo la divisoria de aguas orográfica y descarga en el Nacedero del Larraun.

Aitzbitarte. Desde Enero y por un espacio de 6 meses, cinco miembros de la sección han trabajado de una forma sistemática en el estudio espeleológico del macizo kárstico de Aitzbitarte. Los resultados del estudio serán publicados en el Munibe correspondiente al de Ciencias Naturales año 98 . El líneas generales, el número de fenomenos catalogados ha pasado de 8 a 37. Se han realizado trabajos topográficos de precisión mediante el uso de un teodolito, se han documentado nuevas galerías y yacimientos de interés paleontológico y una primera aproximación al balance hídrico. Los datos obtenidos apoyan la hipótesis de que la transferencia hídrica se hace desde la regata Landarbaso hacia la regata Aldura-Aintxulo. A este caudal se unirían algunos aportes provenientes de infiltración en la superficie del macizo, mientras que otros aportes con origen en la infiltración circularían paralelamente dando origen a las surgencias AI-30 y AI-34. En efecto, la totalidad de los sumideros se han localizado en la regata Landarbaso, mientras que en la regata Aintxulo únicamente se han localizado surgencias. Al mismo tiempo, las cotas en la regata Aintxulo son ligeramente inferiores a las de la regata Landarbaso. Ello produciría una circulación lenta, que favorecería la aparición de morfologías freáticas. Precisamente este tipo de morfología es el más habitual en las cavidades del macizo.

De lo anteriormente expuesto deducimos que probablemente las cavidades de Aitzbitarte han funcionado como sumideros de la regata Landarbaso. A medida que la erosión hacía bajar el nivel del talweg de Landarbaso, las cavidades superiores irían quedando inactivas y la captura se realizaría a través de las inferiores.

Arrikrutz. Conjuntamente con el grupo de Espeleología Aloña-Mendi de Oñati, y a petición de el Ayuntamiento de esta misma localidad, se ha procedido a la elaboración de un anteproyecto de aprovechamiento turístico en una parte de la cavidad llamada Arrikrutz. El anteproyecto elaborado hace especial hincapié en la necesidad de preservar los valores naturalísticos de esta cavidad, que son precisamente los que la hacen indicada para el mencionado proyecto

Grupo Espeleológico Alavés

El Grupo Espelológico Alavés ha centrado su actividad un año más en la Sierra Salvada. Dentro de las habituales labores de exploración y topografía en el Sistema del Hayal de Ponata, se ha trabajado en el Meandro de la Muela en el Laberinto Medio y en las nuevas galerías del Laberinto Podrido, teniendo todas ellas como denominador común las dificultades de exploración frente a modestos resultados, pero que han servido de escuela a las nuevas incorporaciones del Grupo.

Dentro de la campaña de verano, los trabajos se centraron en el sector del Río de Kobata, al que como novedad accedemos desde la boca de la Sima del Barranco de Kobata. Para ello se equiparon los 120 metros de verticales y una cuerda guía que nos permite superar el sifón que se encuentra en su base. Para los trabajos a realizar en este sector de la SI-44 nos hemos decantado por superar el sifón a pesar de la incomodidad y dificultad que plantea frente a los 12 kilómetros de galerías que hemos de recorrer entre la ida y la vuelta si accedemos desde la boca tradicional. Se han revisado y marcado nuevas incógnitas, siendo los puntos potenciales de trabajo para el próximo año.

En el apartado de análisis fisicoquímicos, hemos continuado con la sistemática de muestreo hidroquímico en el cauce principal de la SI-44. A la batería de análisis de laboratorio, para lo cual tomamos muestras en puntos concretos del Río de Ponata y Kobata, se unen los análisis in situ de pH, conductividad, temperatura de aire y agua y mediciones de CO2. De la misma forma, se analizan muestras de la surgencia de la Cueva del Agua en el río Jerea, donde confluyen las aguas que circulan por el interior de la gran cavidad en estudio. Como parte de estos estudios hemos instalado en la surgencia una estación de aforo con un limnígrafo registrador de eje horizontal, cedido por el Ente Vasco de la Energía para el estudio y la curva de gastos se está obteniendo mediante aforos periódicos con molinete. Al mismo tiempo y a través del Servicio Vasco de Meteorología se ha colocado una estación pluviométrica en el barranco de Kobata, junto al Refugio del Nido, para registrar las precipitaciones en la zona.

Dentro del capítulo de actividades extraordinarias, el GEA ha organizado las XXIV Jornadas de Espeleología del País Vasco en Sierra Salvada, contando con la participación de unos 90 espeleólogos. Para ello se ha llevado a cabo un gran esfuerzo de infraestructura, que incluye la utilización del Refugio del Nido así como el montaje de tres barracones para su utilización como comedores y depósito de material. A pesar de las duras condiciones climatologícas sufridas (fuerte nevada y posterior deshielo), a lo largo de tres días los participantes realizaron distintas labores en el Sistema del Hayal de Ponata, donde se inyectó fluoresceína en el sifón terminal, la Sima de Pozo Nuevo II, donde se inyectó rodamina, y otras labores de desobstrucción y revisión topográfica en las simas del Agua de los Losinos y Muleteros. También se instaló una estación de muestreo automático en la surgencia de la Cueva del Agua, así como fluocaptores en distintas salidas de agua en el cauce del río Jerea. El resultado de los dos trazados fue positivo en los puntos de control a los tres días de la inyección.

Asimismo, varios miembros del Grupo han participado en las distintas actividades de espeleosocorro organizadas por el EEL así como en la práctica en el Sistema Arañonera organizada por el espeleosocorro aragonés.

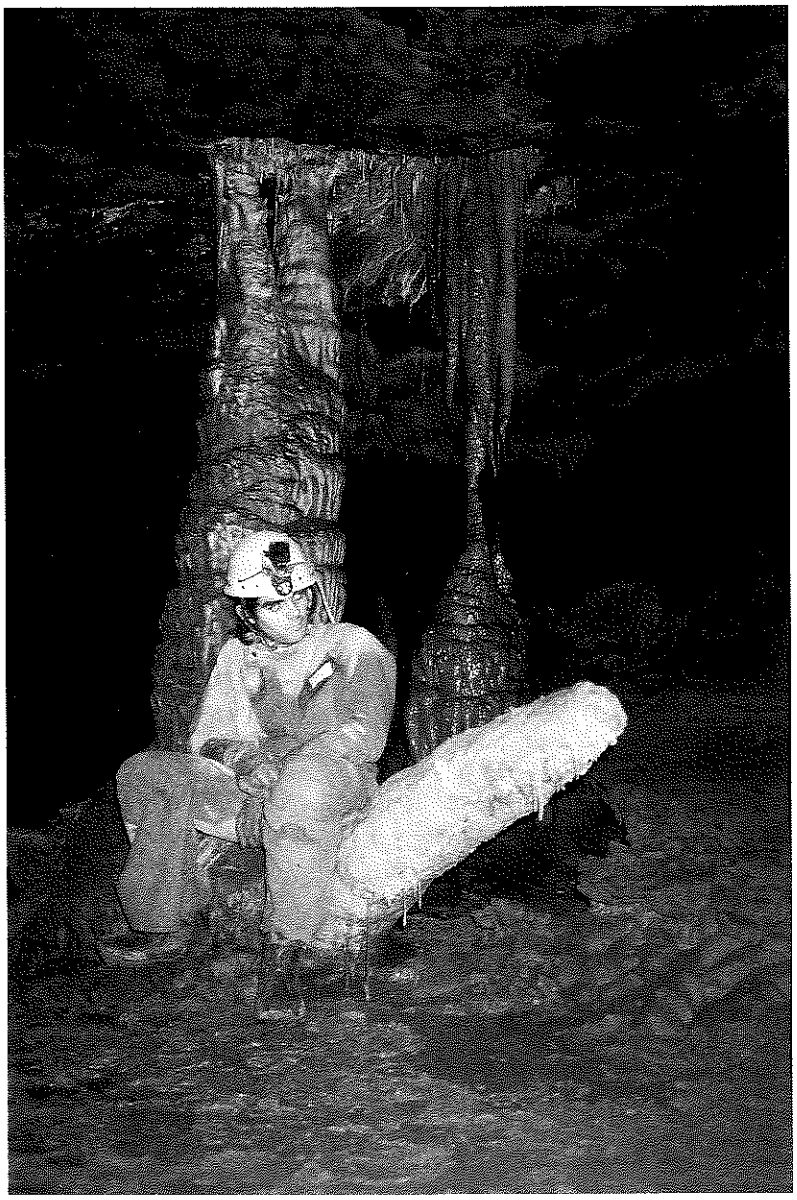
Grupo de Espeleología de Estella - Lizarrako Espeleologia Taldea

El GEE-LET ha centrado mayormente sus actividades durante el año 1997 en dos disciplinas espeleológicas: la continuación de las exploraciones en la sima de Ilobi y el espeleobuceo.

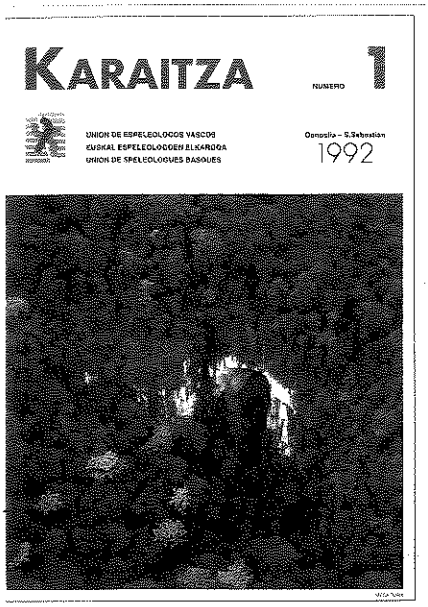
La actividad espeleológica propiamente dicha se ha basado el la continuación de las exploraciones por la parte alta de la cavidad de Ilobi, así como la realización de dos escaladas en la parte media de la misma. Después del descubrimiento de la Galería Illaun a -50 metros de profundidad, se logró el acceso a la Galería Arrastakan por otra vía de pozos (Karaitza 1996) y el paso a un angosto meandro de 60 metros de longitud, denominado de las Marmitas por la morfología que presenta. En dicho meandro situado en la zona de absorción de la cavidad, se aprecia un pequeño cauce de 1 litro/segundo aproximadamente que lo recorre, llenando de agua las numerosas marmitas y rompiéndose en un laminador que te conduce a otras nuevas verticales. También se realizaron dos escaladas en el interior de la cavidad, una en la Galería Txusenea y otra en la Galería LET a -400 metros sin resultados espectaculares.

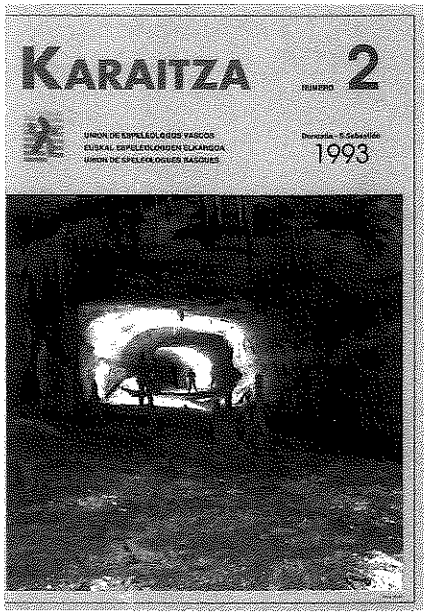
Las actividades de buceo se han realizado en la surgencia gipuzkoana de Bonbatxulo donde se forzó el sifón de 100 metros de longitud, topografiando la parte aérea posterior y dejándola en una cascada donde sería necesario la realización de una escalada. Así mismo se realizaron varias incursiones en el sifón del manantial del río Ubagua (Riezu) explorando la totalidad del mismo con una longitud máxima de 90 metros y una profundidad de -13 metros.

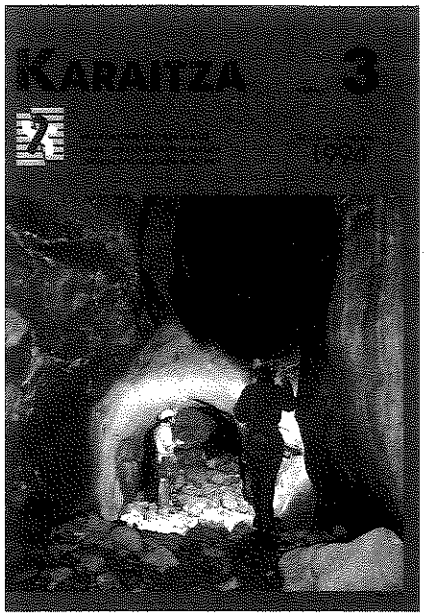
También se han realizado otro tipo de actividades como un cursillo de iniciación a la Espeleología con la asistencia de 15 participantes, participación en actividades de Nafar Espeleologi Eskola, asistencia a las Jornadas Vascas de Salvada, etc.

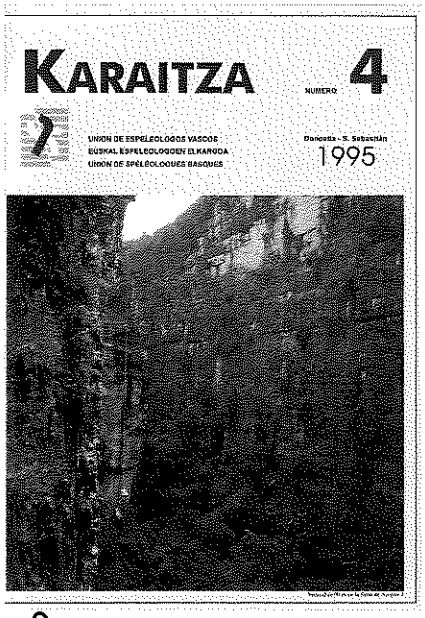


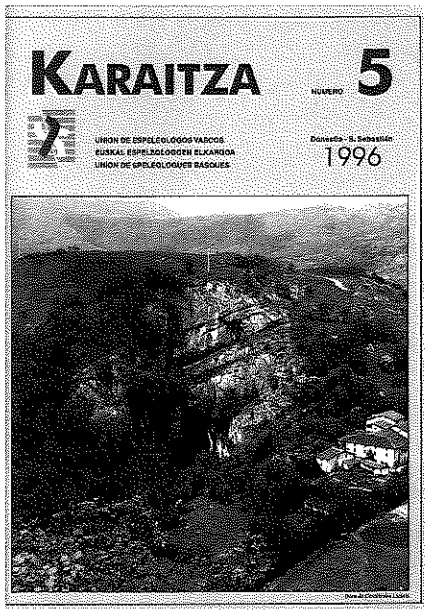
Formaciones estalagmíticas en la *Primera galería fósil* -red del Silencio- (Iñaki Latasa)

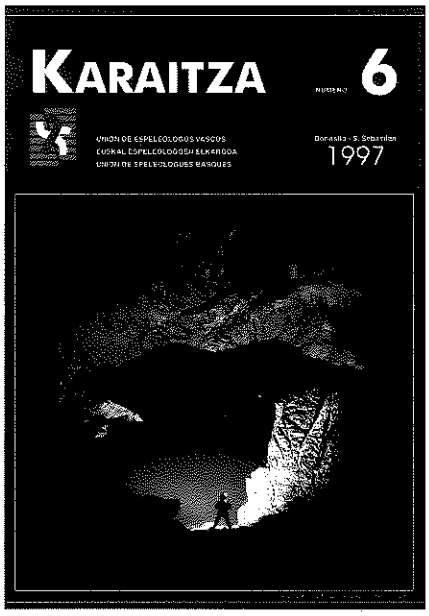












NÚMEROS ATRASADOS

Recorte o fotocopie este cupón y envíelo por correo:
Euskal Espeleologoen Elkargoa - Unión de Espeleólogos Vascos
Apdo. 563 • 20080 Donostia

Números sueltos 500 pts./unidad - Los seis 2.000 pts.

Marque con una X los números que desea recibir

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6

FORMA DE PAGO

Nombre: .....

Domicilio: ..... Teléfono: .....

Población: ..... C.P.: ..... Provincia: .....

☐ Talón a nombre de *Unión de Espeleólogos Vascos* ☐ Giro postal *(Adjunto fotocopia resguardo)*

☐ Domiciliación Bancaria

Firma (el titular) Entidad Agencia D.C. Nº cuenta

Sistema Arriluxe - Karst de Abodi

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

(1) Se acepta todo trabajo original relacionado con las ciencias espeleológicas. La Comisión Editora se reserva el derecho de publicación. Todo artículo debe haber sido revisado por uno o más especialistas en la materia antes de su entrega.
(2) Cualquier persona, sea o no miembro de la UEV, puede enviar trabajos. Los autores son los únicos responsables, del contenido de los artículos.
(3) Se debe enviar original y copia, escritos a máquina a doble espacio y con amplios márgenes. No se pondrán notas al pie del texto. Las palabras que se deseen vayan en cursiva, deberán ir subrayadas en el original.
(4) Para guiarse en la organización y formato, los autores deben consultar el último número de *Karaitza*. El artículo constará preferentemente de: (a) Título (breve e informativo). (b) Nombre del autor y dirección postal. (c) Resúmenes en español, euskera e inglés, de unas 5 líneas cada uno. (d) Fecha de envío. (e) Texto principal; se sugiere que esté dividido en: Introducción, Material y Métodos, Resultados, Conclusiones. (f) Agradecimientos. (g) Bibliografía. Las tablas y figuras deberán disponerse en hojas aparte e indicar en una hoja adjunta el texto de las leyendas de cada una.
(5) Las figuras y tablas se presentarán preparadas para su reproducción directa, numeradas correlativamente en una sola serie. Las tablas se presentarán escritas a máquina electrónica. Los dibujos y gráficos deberán estar realizados a tinta china, sobre papel vegetal y de tamaño lo suficientemente grande para permitir las reducciones necesarias (generalmente a la mitad). Se utilizarán sólo las fotografías indispensables, en blanco y negro y en papel brillante de buen contraste; igualmente de tamaño grande para permitir reducciones.
(6) La bibliografía irá al final del trabajo en estricto orden alfabético. Los títulos se abreviarán según las normas internacionales aceptadas. Nótese que el apellido del autor se pondrá siempre en mayúscula, tanto en la bibliografía como en las referencias del texto. Las citas bibliográficas en el texto se harán siempre con el apellido del autor o autores y el año de publicación. Cuando sean tres o más, se colocará el apellido del primero seguido de la expresión et al. Tomar como ejemplo o modelo de formato las bibliografías de los artículos de este número.
(7) Todo artículo que no cumpla con los requisitos de formato y presentación será devuelto al autor o autores con las observaciones pertinentes para su corrección. Se sugiere muy especialmente a los autores una uniformidad de escrito en los trabajos, tales como la omisión del punto después de la abreviaturas más comunes: 12,5 m, 7 mm, 5 m^3/sg; y el uso de numerales antes de las unidades de medida.
(8) El texto de los trabajos podrá estar redactado en español, euskera, francés o inglés. Se recomienda situar la zona de estudio en un mapa regional o continental, para su rápida comprensión por lectores de cualquier país (recuérdese que la revista tiene difusión internacional). El autor se hará responsable de la corrección de las pruebas de imprenta y recibirá 25 separatas de forma gratuita.

LOS MIEMBROS DE LA EEE-UEV REALIZAN SUS ACTIVIDADES DENTRO DE LOS SIGUIENTES GRUPOS

Grupo Espeleológico Alavés (GEA)
Apdo 21 • 01080 -Vitoria-Gasteiz
Araba
e-mail: gealaves@geocities.com

Aranzadi Zientzi Elkartea Karstologia
Paseo Mikeletegi, 67 - Torre de Arbide
Apdo. 563 • 20003-Donostia
Gipuzkoa
e-mail:uev@mail.sendanet.es

Aloña Mendi Espeleologia Taldea (AMET)
Zumalakarregi 18 • 20560 -Oñati
Gipuzkoa
e-mail: lin@mx3.redestb.es

Besaide Espeleologia Taldea (BET)
Garibai 3
20500 Arrasate-Mondragón
Gipuzkoa
e-mail: besaidebet@geocities.com

Club Deportivo Eibar
Toribio Etxeberría 16 1° • Eibar
Gipuzkoa

Asociación Deportiva Espeleológica Saguzaharrak (ADES)
Apdo 59
48300 Gernika
Bizkaia

Grupo de Actividades Espeleológicas Subterráneas (GAES)
Iparagirre 46 7
48001 Bilbao
Bizkaia
e-mail: imb@bezeroak.euskaltel.es
(En el subjet: A la att. Iñaki Latasa)

Gazte'ko Espeleologia Taldea
Bidebarrieta 7 2° Izda.
48005 Bilbao
Bizkaia

Lizarra Espeleologia Taldea (LET)
Frontón Municipal
C/ Navarrrería s/n
31200 Lizarra
Nafarroa
e-mail: ilobi@tecnosofi.com

Arrastakan Taldea
Zugarreta 26 3°
Etxarri-Aranatz • Nafarroa
e-mail: rintxaurra@correo.cop.es

Grupo Espeleológico Satorrak (GES)
C/ Descalzos, 37 bajo, bis
31001 Iruña-Pamplona
Nafarroa
e-mail: jicalvo@abonados.cplus.es

Grupo de Espeleología Otxola
C/ Carmen 22 bajo
Iruña-Pamplona
Nafarroa
e-mail: fnespeleo@abc.ibernet.com

Grupo de Espeleología Lezeko Andreak
C/ Aralar 7
Iruña-Pamplona
Nafarroa

Ziloko Gizonak
Allée Lartigot
64100 Baiona-Bayonne
Dpt 64 • France

KARAITZA
Publicación de la
Unión de Espeleólogos Vascos

INDICE

Berrendipea y el karst de Abodi-Berrendi. últimas investigaciones espeleológicas
Arturo Hermoso de Mendoza, Pedro Mª Martínez Juango, Víctor Abendaño y Oskar Arenaza 3

Avance al estudio de la Red del Silencio. Rasines (Cantabria)
Iñaki Latasa 18

Análisis de las surgencias principales del Jurásico Central de la Sierra de Aralar
Koldo Sansinenea, Román Muñoz, Jon Estomba, Natxo Añibarro, Javier Busselo y Txomin Ugalde 27

Análisis temporal y simulación de hidrogramas del manantial de Aldabide (Sistema Kárstico de Itxina, País Vasco)
Hilario Llanos, Jaime Garfias 38

Establecimiento de la vulnerabilidad a la contaminación de la unidad hidrogeológica de Itxina (Macizo del Gorbea, País Vasco) a partir de ensayos de trazados
Hilario Llanos, Jaime Garfias, Iñaki Arrate, Pilar Bezares, Rosa Alonso 45

Actividades efectuadas por la EEE-UEV (1997) 52

Unión de Espeleólogos Vascos
Paseo Mikeletegi, 67 - Torre de Arbide
Apartado Correos, 563
20080 Donostia - San Sebastián
País Vasco

ISSN - 1133-5505