

# ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LOS COMPLEJOS LAGUNARES DE BALLESTEROS Y DEL RÍO MOSCAS (FUENTES), EN LA PROVINCIA DE CUENCA



**AÑO 2011**



El presente estudio se enmarca dentro del convenio de colaboración entre la Excm. Diputación Provincial de Cuenca y el Instituto Geológico y Minero de España

**Director de proyecto y responsable del Convenio por parte del IGME (noviembre 2008-enero de 2011):** *Marc Martínez Parra.*

**Equipo de trabajo y autores:**

*Marc Martínez Parra.* IGME. Área de Infraestructura Hidrogeológica.  
*Enrique López Pamo.* IGME. Área de Impacto Ambiental y Uso Sostenible de los Recursos.  
*África de la Hera.* IGME. Área de Procesos Activos y Calidad Ambiental.  
*Esther Santofimia.* IGME. Área de Impacto Ambiental y Uso Sostenible de los Recursos.

**Colaboradores:**

*Esther Alonso Marín.* Apoyo en tareas de campo. IGME. Área de Infraestructura Hidrogeológica.  
*Julio López Gutiérrez.* Apoyo en tareas de campo. IGME. Área de Infraestructura Hidrogeológica.  
*Carlos Sanmiguel.* Apoyo en tareas de campo. IGME. Área de Infraestructura Hidrogeológica.  
*Jose Durán.* Apoyo en tareas de campo. IGME. Área de Infraestructura Hidrogeológica.  
*Silvino Castaño Castaño.* Apoyo en trabajos isotópicos. Responsable Convenio CEDEX-IGME.  
*M<sup>a</sup> Fe Díaz Texeiro.* CEDEX.  
*Javier Rodríguez Arévalo.* CEDEX.



## ÍNDICE

1. ENCUADRE GEOGRÁFICO Y LEGISLATIVO
2. ANTECEDENTES
3. METODOLOGÍA
4. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL
  - 4.1. Cretácico
  - 4.2. Terciario
  - 4.3. Cuaternario
  - 4.4. Estructura
5. HIDROGRAFÍA
  - 5.1. Generalidades
  - 5.2. Campaña de aforos diferenciales en 2009 y 2010
    - 5.2.1. *Río Moscas*
    - 5.2.2. *Río San Martín*
    - 5.2.3. *Hidroquímica de las aguas de los cauces superficiales*
6. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA DE DETALLE
  - 6.1. Generalidades
  - 6.2. Descripción geomorfológica de las lagunas
    - 6.2.1. *Complejo Lagunar de Ballesteros*
    - 6.2.2. *Complejo Lagunar del río Moscas y lagunas de Mohorte*
7. DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DE DETALLE
  - 7.1. Acuífero carbonatado cretácico
  - 7.2. Depósitos detríticos terciarios y cuaternarios
  - 7.3. Acuífero carbonatado- yesífero del Tránsito
    - 7.3.1. *Generalidades del acuífero*
    - 7.3.2. *Hidroquímica del acuífero inferior en captaciones*
    - 7.3.3. *Características hidroquímicas del Complejo Lagunar de Ballesteros*
    - 7.3.4. *Perfiles fisico-químicos de las lagunas de Ballesteros*
    - 7.3.5. *Características isotópicas del Complejo Lagunar de Ballesteros*
    - 7.3.6. *Características hidroquímicas del Complejo Lagunar del río Moscas*
    - 7.3.7. *Perfiles fisico-químicos de las lagunas del río Moscas*
    - 7.3.8. *Características isotópicas del Complejo Lagunar del río Moscas*
8. APROXIMACIÓN A LA PROTECCIÓN DE LAS LAGUNAS
  - 8.1. Protección legal
  - 8.2. Generalidades
  - 8.3. Focos potenciales de contaminación
  - 8.4. Perímetro de protección del sondeo de abastecimiento de Fuentes
9. CONCLUSIONES
10. AGRADECIMIENTOS
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anexo I:  
DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FORMAS LAGUNARES



## 1. ENCUADRE GEOGRÁFICO Y LEGISLATIVO

El Complejo Lagunar de Ballesteros se sitúa a 8 km al S de la ciudad de Cuenca, ocupando una superficie de 217,49 ha (figuras 1, 2), distribuido entre los términos municipales de Arcas del Villar (129,31 ha), Villar de Olalla (57,34 ha) y Valdetórtola (30,84 ha). Dicho complejo fue declarado reserva natural en 2002 (DOCM nº 26, de 01.03.02). En su entorno se localizan los núcleos urbanos de Arcas del Villar, a 2 km al E y la pedanía de Ballesteros (Villar de Olalla), a unos 700 m al NO y a 1300 m al S la pedanía de Olmedilla de Arcas (Valdetórtola). La población fija asciende a 111 habitantes, pudiéndose incrementar en periodos estacionales a 2000. En su extremo septentrional circula el río San Martín, afluente del río Júcar. El 21/12/2010, con el Decreto 243/2010 se modificó la denominación del Plan de ordenación de los Recursos Naturales del Complejo Lagunar de Arcas y de la Reserva Natural Complejo Lagunar de Arcas, que pasan a denominarse Plan de ordenación de los Recursos Naturales del Complejo Lagunar de Ballesteros y de la Reserva Natural Complejo Lagunar de Ballesteros.

El Complejo Lagunar del río Moscas, se encuentra a 9 km al E del anterior complejo y a 12 km al SE de la ciudad de Cuenca, en el cauce del río Moscas. Ocupa una superficie total de 125,7 ha. Se encuentra en los términos municipales de Cuenca, Fuentes y Arcas del Villar y en su entorno se localizan los núcleos poblacionales de Fuentes y Las Zomas (Fuentes). Alcanzan una población fija de 512 habitantes (figuras 1, 2). Este complejo ha sido declarado microrreserva denominada “Complejo Lagunar del Río Moscas”, (Decreto JCCLM 46/2010) en los términos municipales de Arcas del Villar, Cuenca y Fuentes (Cuenca) y formado por cuatro núcleos independientes sin continuidad:

- 1.- Lagunas de Mohorte, con una superficie de 7,78 ha, en el término municipal de Cuenca.
- 2.- Laguna de Las Zomas, con una superficie de 9,05 ha, en el término municipal de Fuentes.
- 3.- Laguna de los Cedazos, Laguna Negra y otras, con una superficie de 80,10 ha, en los términos municipales de Arcas del Villar y Fuentes.
- 4.- Lagunas del Ojo de la Corba y otras, con una superficie 28,77 ha, en el término municipal de Fuentes.

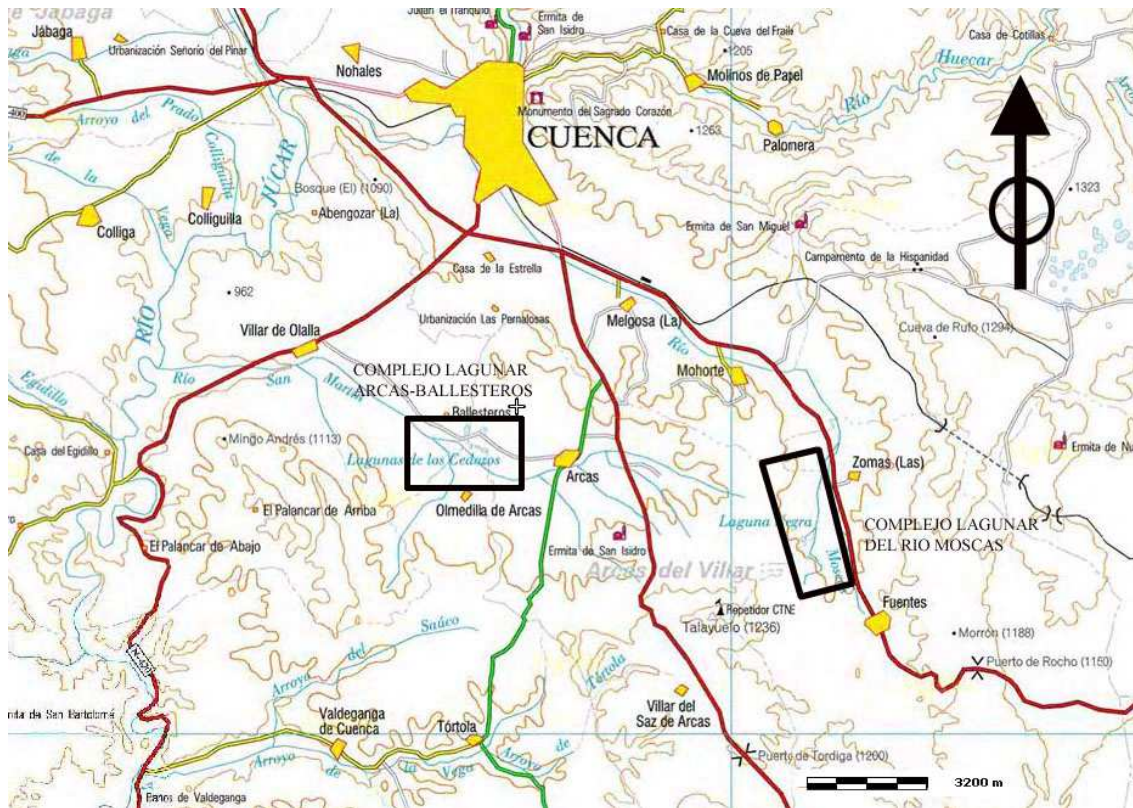
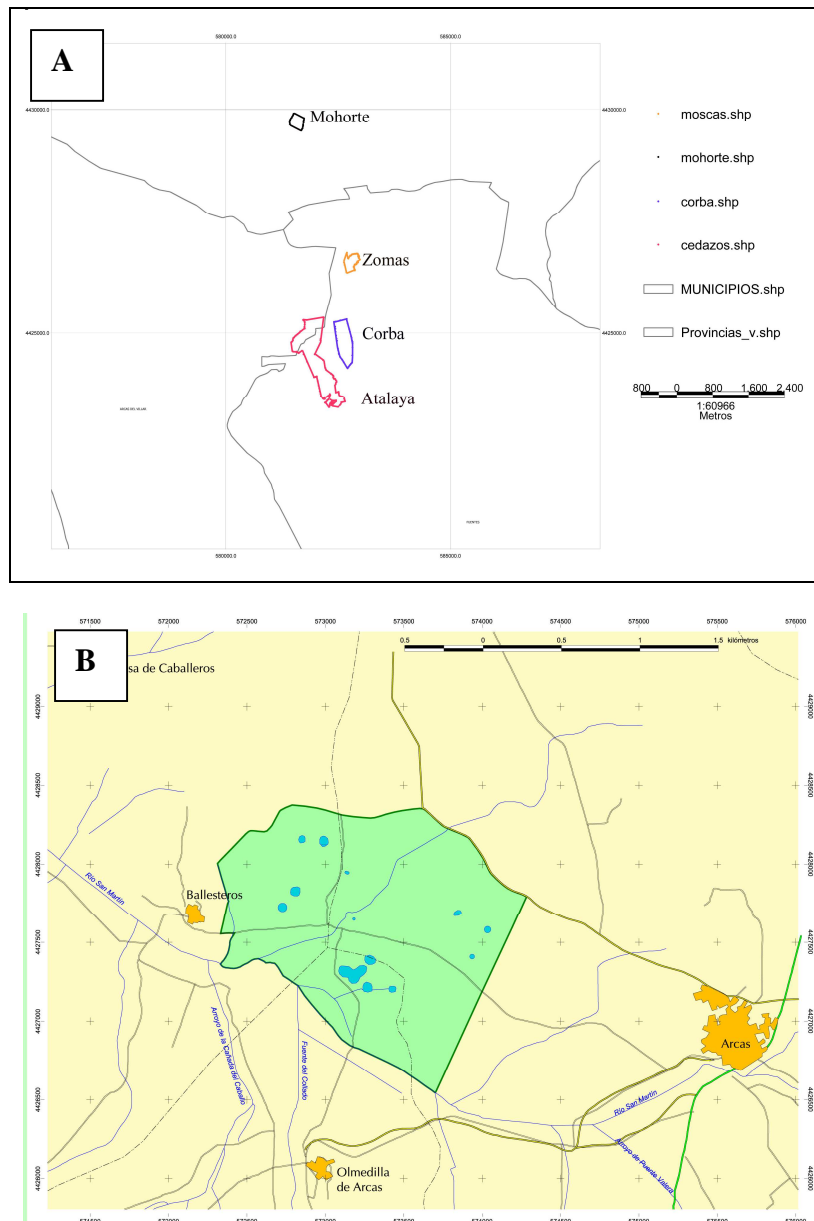


Figura 1.- Situación geográfica de los complejos lagunares.





**Figura 2.-** Perímetro aproximado desde el punto de vista legal del denominado Complejo Lagunar del río Moscas (A) (Decreto JCCLM 46/2010) y del Complejo Lagunar de Ballesteros (B).

## 2. ANTECEDENTES

Los Complejos lagunares han sido estudiados desde un punto de vista microbiológico (Armengol 1997; Camacho 1997 y Rodrigo 1997) pero escasamente desde un punto de vista hidrogeológico (Sanz 2005). Sin embargo el IGME y la Diputación de Cuenca han realizado numerosos estudios hidrogeológicos orientados hacia el riego en Fuentes y Arcas del Villar (Del Pozo, 1976), y hacia el abastecimiento urbano en Arcas del Villar, Villar el Saz de Arcas y Fuentes (Martínez-Parra, 2003; Martínez-Parra, 2007; Martínez-Parra y Alonso, 2010). También se ha empleado información inédita procedente de la tesis en elaboración denominada “Hidrogeología de la Serranía de Cuenca” de Marc Martínez-Parra, así como artículos elaborados durante la realización del presente estudio por el equipo de trabajo (Martínez-Parra et al, 2010; 2011).

### 3. METODOLOGÍA

Para la realización del presente estudio se han realizado diversos trabajos en gabinete y en el campo que se describen a continuación.

La descripción geológica y geomorfológica se ha realizado mediante el empleo de la fotografía aérea de los complejos lagunares, complementado con el reconocimiento geológico y geomorfológico en campo. Con respecto a la piezometría se han tomado datos bibliográficos y medidos con periodicidad estacional mediante sonda lumínica de error centimétrico, y las determinaciones de los caudales superficiales mediante aforos diferenciales realizados en los cauces con molinete de hélice, flotador o estimación del técnico.

La caracterización hidroquímica se ha llevado a cabo empleando 211 análisis químicos realizados en el laboratorio del IGME, procedentes de cuatro campañas de muestreo en lagunas, manantiales, cauces, ríos y sondeos, realizadas entre los años 2009 y 2010, así como muestreos puntuales desde el año 2002. Las técnicas empleadas para las determinaciones han sido la espectrometría de Emisión Atómica, electrometría, espectrofotometría de Absorción-Autoanализador de flujo continuo y volumetría. Se ha muestreado el agua superficial de la mayoría de las lagunas, y en cuatro de ellas la columna de agua a diferente profundidad (L4 y L6 en el Complejo de Ballesteros y Atalaya y Corba-2 en el complejo del río Moscas), así como de los cursos fluviales (río San Martín, Moscas y arroyos temporales) y de las captaciones de aguas subterráneas (fuentes y sondeos). Se han determinado componentes mayoritarios, así como minoritarios ( $P_2O_5$ ,  $NH_4$ ,  $NO_2$ , Sr, F, B). En agosto de 2010 se muestrearon 40 lagunas y puntos de agua para realizar análisis de metales pesados en el espectrofotómetro ICP-MS, acidificando previamente la muestra con ácido nítrico.

En el campo se midió temperatura, conductividad y pH del agua.

En enero, abril y agosto de 2010 las lagunas se muestrearon para realizar análisis de isótopos estables  $^{18}O$  y D en el laboratorio de aplicaciones isotópicas del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) mediante un espectrómetro de Masas Ligeras (IRMS) de doble entrada, Delta Plus Advantage. También se muestreó y analizó tritio en 5 captaciones, en marzo de 2010.

Se han seleccionado las lagunas L4 y L6 del Complejo Lagunar de Ballesteros y la de la Atalaya y Corba-2 en el Complejo Lagunar del Río Moscas por su diferente emplazamiento respecto al eje fluvial, para estudiar las características físico-químicas de su columna de agua. En cada visita se ha levantado un perfil vertical detallado con los siguientes parámetros: profundidad, pH, potencial redox (ORP), conductividad eléctrica (EC), temperatura (T), oxígeno disuelto (DO), clorofila-a (CHL-a), turbidez y radiación fotosintéticamente activa (PAR). También se han tomado muestras de agua a diferente profundidad para su análisis químico. Se ha registrado la temperatura a varias profundidades en las lagunas seleccionadas.

A nivel social se contactó con todas las autoridades locales de Arcas del Villar y Fuentes, facilitando el acceso a las captaciones, con los técnicos de la CHJ, con los de Espacios Naturales de Castilla-La Mancha, que facilitaron el acceso a las lagunas, el contacto con los propietarios; con la mayoría de particulares, dueños o usuarios de las lagunas, con excepción de los usuarios de las Zomas, que no permitieron el equipamiento así como la fábrica de PINASA, que no facilitó dato alguno ni el acceso a las diversas captaciones de agua subterránea que poseen.

## 4. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Los depósitos existentes corresponden a la serie cretácica carbonatada, que forma los relieves que constituyen los anticlinales y flancos de los sinclinales, que se encuentran cubiertos por los materiales del tránsito Cretácico-Terciario y por los materiales detríticos terciarios, que rellenan las depresiones existentes, tanto las que se encuentran en la serranía de Cuenca, como las de la Depresión Intermedia. El objeto del presente estudio es estudiar los complejos lagunares asociados a los materiales del tránsito Cretácico-Terciario (figura 3).

### 4.1. Cretácico

De base a techo se describen las siguientes formaciones:

-Facies Weald (Cretácico inferior): está representado en la base por arcillas y arenas amarillas, rojas y verdes con intercalaciones arenosas y un espesor de 5-11 m; un tramo intermedio de origen marino, calcarenitas y areniscas calcáreas con ostreidos y un espesor de 4-56 m hacia techo evoluciona a un conjunto de arcillas, arenas de un espesor de 6-9 m. Se datan como Barremiense-aptiense.

- Facies Utrillas (Cretácico inferior) son arenas arcósicas blancas y amarillas con restos de vegetales ferruginosos y niveles de caolín y un espesor entre 40-50 m.

-Fm. Margas de Chera (Cenomaniense-Turonense); son 5-10 m arcillas verdes, violáceas.

-Fm. Dolomías de Alatoz (Cenomaniense-Turonense); 2-8 m de una alternancia de dolomías gris-amarillentas, de aspecto brechoideo, con margas dolomíticas.

-Fm. Dolomías de Villa de Vés (Cenomaniense-Turonense); son de 12 a 40 m de dolomías grises y blancas, estratificadas en bancos, en ocasiones tableadas y con algún nivel margoso intercalado.

Fm. Calizas y margas de Casa Medina (Cenomaniense-Turonense), son 15 m de un nivel de calizas wackestone de 8 m y un horizonte margoso gris, superior, de 7 m.

Fm. Dolomías de la Ciudad Encantada (Turonense-Coniaciense) son 60 a 80 m de dolomías masivas de tonos rosáceos y blanquecinos, generalmente karstificadas, que hacia techo evolucionan a niveles más tableados.

-Fm. Margas de Alarcón (Campaniense)- 80 m de margas grises alternantes con dolomías, generalmente muy tapadas y de difícil identificación.

-Fm. Calizas y brechas calcáreas de la Sierra de Utiel (Santoniense); son brechas calcáreas y dolomíticas, masivas y alternantes con dolomías que en el área de estudio supera los 100 m. Se han medido 67 m en Tórtola y 15 m en Villar el Saz de Arcas.

-Fm. Margas y arcillas de Villalba de la Sierra (Campaniense-Eoceno o Maastrichtiense)- corresponde a un conjunto de arcillas y margas con niveles intercalados de dolomías en la base y yesos hacia techo, llegando a incrementarse y presentar horizontes de hasta 10 m de yesos alabastrino. Se han reconocido hasta 150 m en el flanco oriental del sinclinal de Fuentes y más de 250 m en el anticlinal de Villares del Saz, fuera del área estudiada.

Para el estudio detallado de la serie carbonatada cretácica se disponen de varios sondeos de investigación hidrogeológica, como son el sondeo de PINASA y de abastecimiento a la población.

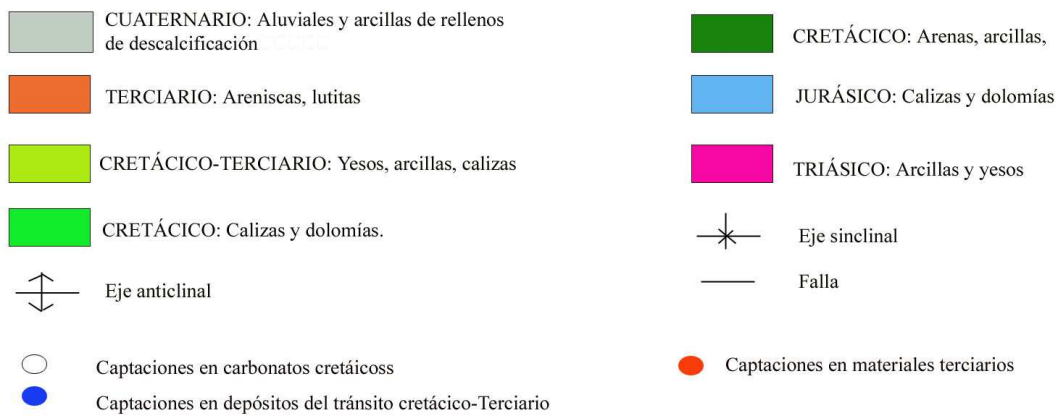
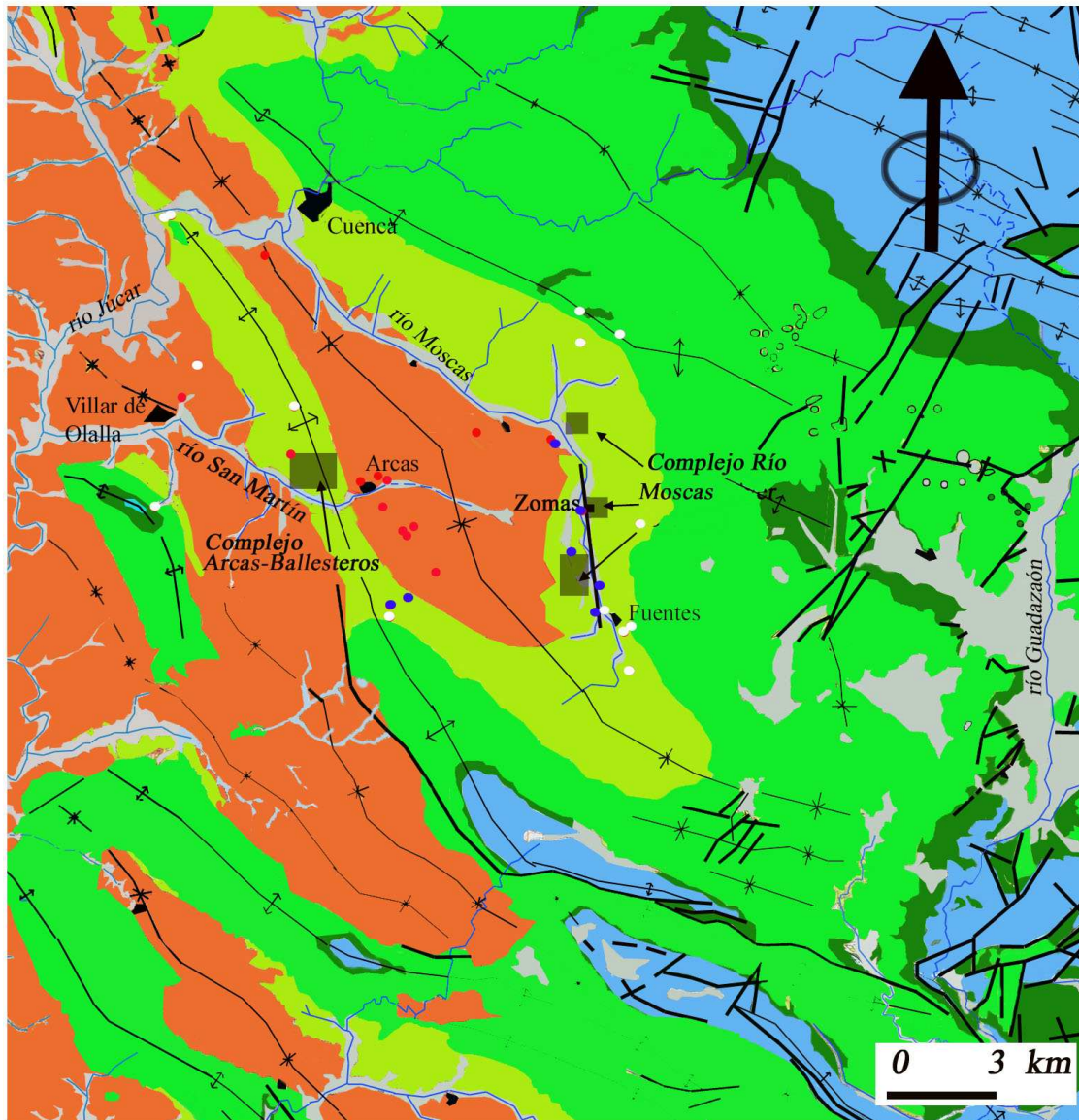
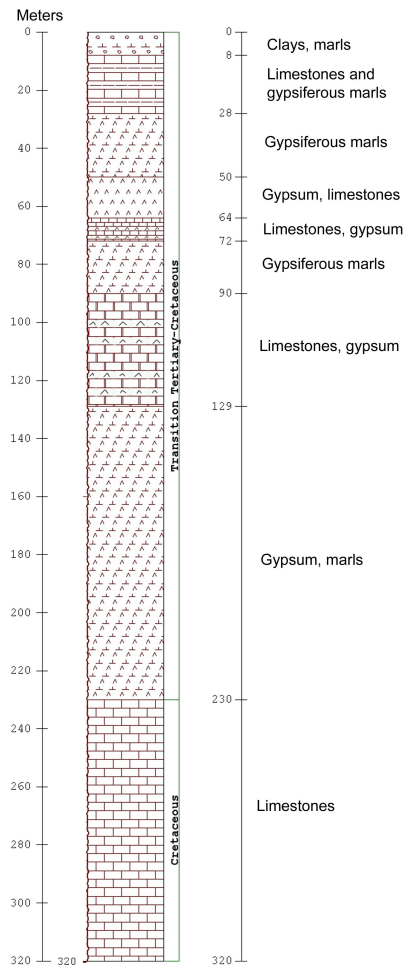


Figura 3.- Mapa geológico del área de estudio.





**Figura 5.-** Perfil litológico obtenidos de la investigación de los sondeos Arcas-1 y Arcas-2.

#### 4.2. Terciario

Los depósitos terciarios se encuentran rellenando las depresiones mesozoicas del sinclinal de Fuentes, así como en el contacto entre la Serranía de Cuenca y la Depresión Intermedia. Se diferencian:

-Conglomerados silíceos, arenas y arcillas (Paleógeno inferior), situadas discordantes sobre las anteriores, se inician con un conglomerado de cantos con una potencia de 3 m, arcillas rojas de 30 m alternantes con paleocanales areniscosos que disminuyen hacia techo.

-Areniscas, margas, arcillas y conglomerados (Paleógeno-Neógeno) subordinados con canales conglomeráticos y hacia techo cambios a horizontes de yesos sacaroideos, alabastrinos, margas, arcillas y carbonatos. Su espesor registrado en el sondeo petrolero de Villanueva de los Escuderos es de 435 m.

-Areniscas, arenas, arcillas y margas con canales conglomeráticos y areniscosos (Paléogeno-Neógeno) corresponde a una alternancia de arcillas y arenas, con presencia de yesos. Los canales areniscosos pueden alcanzar espesores de hasta 15 m.

-Conglomerados, areniscas, arenas y arcillas (Neógeno), con un espesor de 25 m, donde predominan los tramos conglomeráticos.

Estos materiales se han reconocido en los sondeos perforados en Arcas del Villar, en el paraje de El Raso (Arcas-III), como en la Ermita de San Gregorio (Arcas-2), correspondientes al Paleógeno inferior. En el sondeo de Arcas-

2 se reconocieron horizontes arcillosos de 10-16 m alternantes con capas de arenas medias a gruesas, de 8-10 m, apareciendo yesos en la base. Para Arcas-III, los canales presentan espesores de hasta 20 m (figura 6).

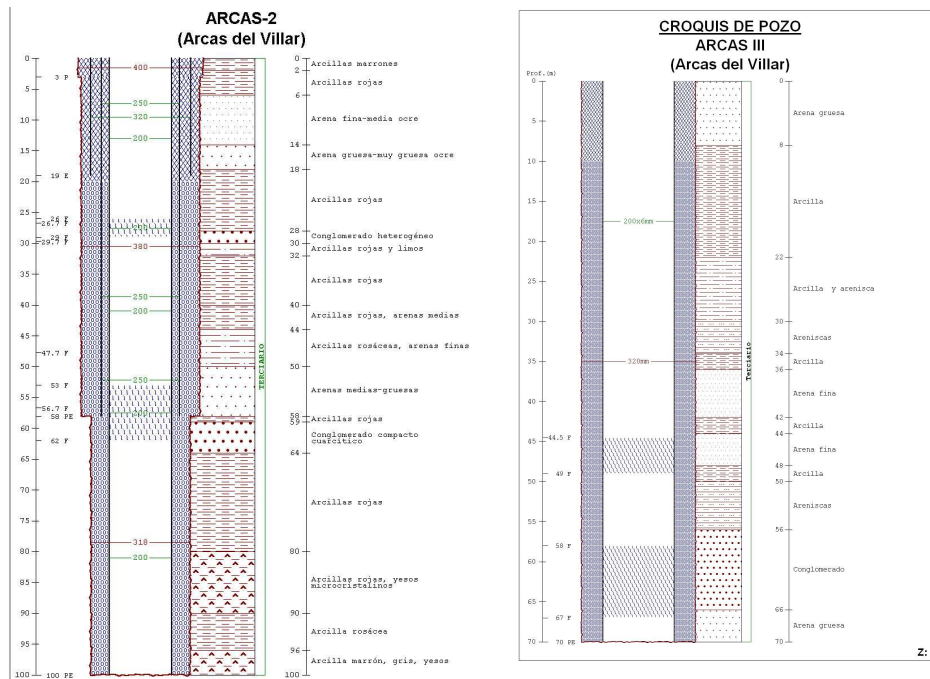


Figura 6.- Perfil litológico del sondeo de Arcas-2 y Arcas-III (Martínez, 2003).

### 4.3. Cuaternario

Los depósitos cuaternarios han sido estudiados en detalle por Sanz (2005). Establece en la cuenca del río Moscas diferentes niveles colgados de glaciares, constituidos por gravas y arenas y un espesor de 15-20 m, a causa de los paleohundimientos, así como un nivel de terraza en la margen derecha, cuyo techo se sitúa a 8-15 m, con espesores de hasta 12 m. En la figura 7 se observa como el valle del río Moscas se desarrolla sobre materiales margosos y arcillosos que hacia la margen izquierda se sitúan los materiales detríticos terciarios, mientras que en la margen derecha se desarrollan dichos glaciares, con campos cubiertos de cantos y presencia de graveras.



Figura 7.- Valle del río Moscas. En naranja y verde se define las trazas de las posibles fallas. A la derecha de la foto y a una mayor cota topográfica corresponderían los depósitos de glaciares y piedemonte provenientes de los relieves cretácicos.

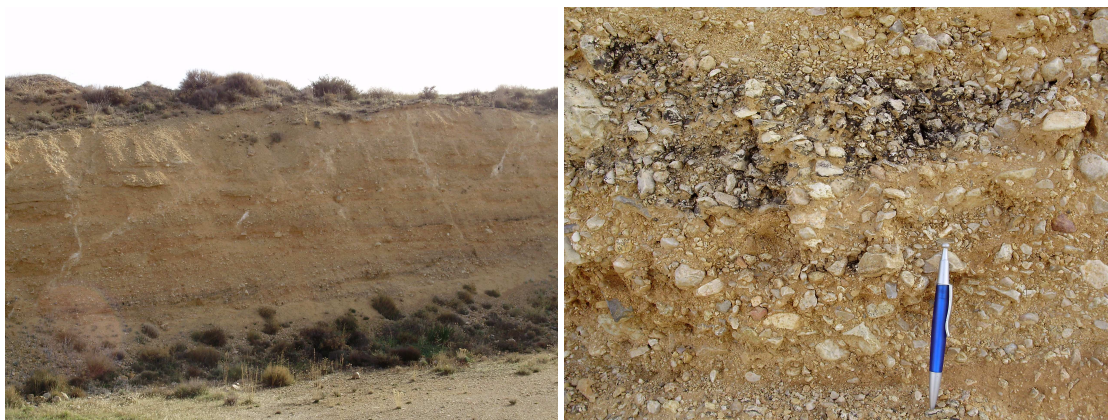
Los depósitos identificados en la margen derecha del río Moscas (figura 8) corresponden a gravas heterométricas de diámetros de 1-20 cm, de litología caliza predominante y matriz limoarenosa. Se observa en ocasiones la presencia de yesos micríticos. La situación de la terraza está por encima del valle y de las lagunas. Por encima se sitúa un depósito carbonatado de 0,5 m de espesor (figura 9) y cuyo origen no está claro. Al E, en la zona más próxima a los relieves de la Serranía, los cantos son más subangulosos, heterométricos y en ocasiones orientados (figura 10).



**Figura 8.-** Terraza aluvial y detalle de la misma, próxima a Fuentes. Obsérvese la cota superior a la que se encuentra con respecto al valle y las lagunas.



**Figura 9.-** Depósito carbonatado pliocuaternario de 0.5 m que aparece en la margen derecha del río Moscas, encima de las terrazas.

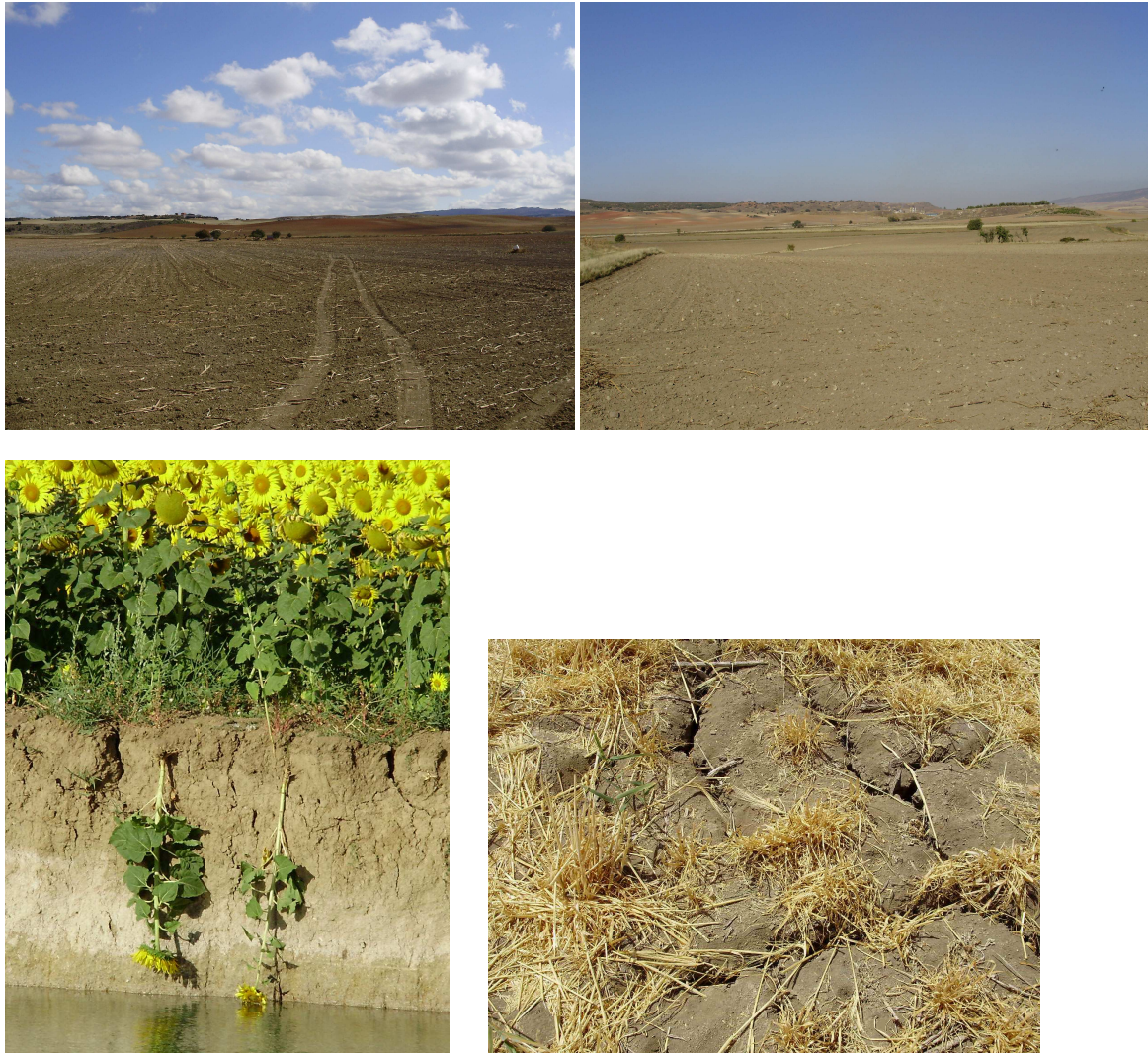


**Figura 10.-** Depósito de glacia o piedemonte que aparece en la margen derecha del río Moscas, los cantos son muy angulosos, indicando una escasa circulación y de naturaleza carbonatada.



Los depósitos más próximos al río y en su margen izquierda muestran una litología predominantemente arcilloso-margosa (figura 10).

En la cuenca alta del río San Martín, sin embargo, se observa la removilización de los materiales detríticos terciarios, aunque en la zona de las lagunas no se observan espesores significativos de materiales detríticos. Sin embargo, se observan depósitos arcilloso-margosos (figura 11) en los que se desarrollan los hundimientos.



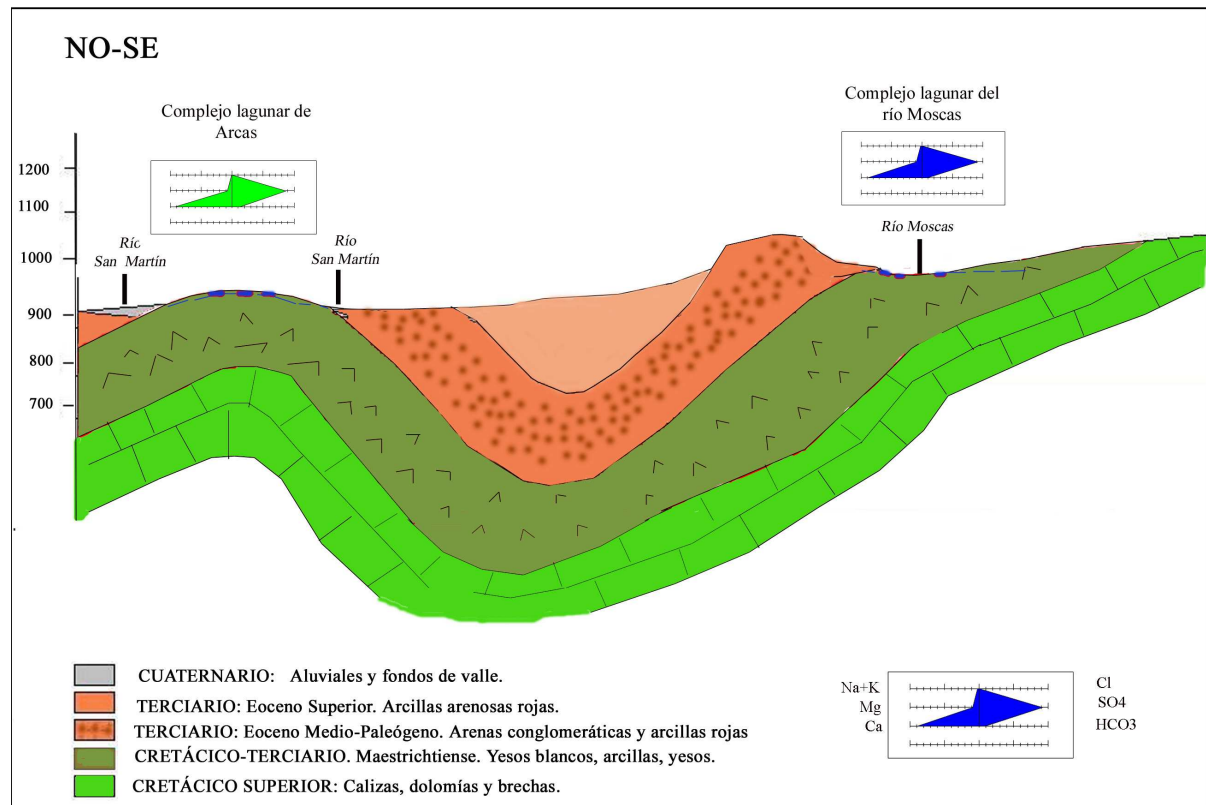
**Figura 11.-** Vista del aspecto de la superficie del valle del río Moscas en las proximidades del mismo y en la margen izquierda.

#### 4.4. Estructura

El sinclinal de Fuentes forma un valle que se estrecha hacia el NO en su contacto con el río Júcar, con una extensión longitudinal de 21 km y una anchura de 14 km. Ocupa una superficie aproximada de 130 km<sup>2</sup>. Por ella discurre el río Moscas, afluente del Júcar. Está limitado por los relieves de la Sierra de Pila al E y de la Serrezuela al O. Comprende la estructura del sinclinal, limitado por los ejes anticlinales aL NE y SO, mientras que aL E está limitado por el afloramiento de los materiales jurásicos de la Fosa de Reillo y la cuenca del río Guadazaón. Al O está limitado por el cauce del río Júcar.

Su estructura (figura 12) muestra una asimetría, con el flanco occidental más inclinado; de los anticlinales que la limitan, en el occidental aparecen principalmente materiales del tránsito Cretácico-Terciario, mientras que en el oriental, predominan los materiales carbonatados cretácicos. En la depresión, las formaciones carbonatadas cretácicas se encuentran a un máximo de 500 m de profundidad en el eje. El espesor del Maastrichtiense alcanza los 180-200 m y el recubrimiento terciario los 100 m (figura 12).

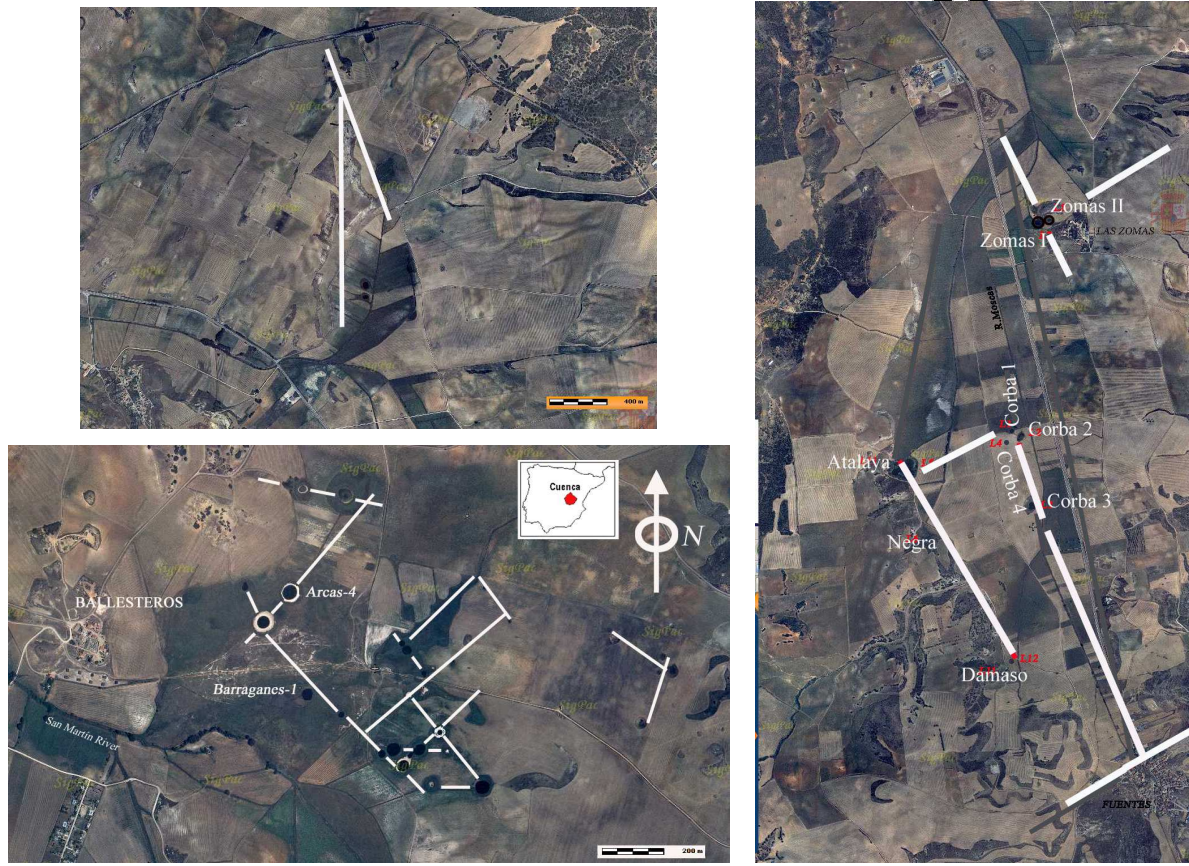
El flanco oriental de los depósitos maastrichtienses muestra una inversión topográfica, situándose más bajos que los depósitos terciarios que constituyen el relleno de los sinclinales, definiéndose un relieve inverso y favoreciendo el desarrollo de la karstificación en ambos flancos.



**Figura 12.-** Corte geológico del Sinclinal de Fuentes (De la Hera et al, 2010).

La relación entre ambos flancos, a su vez, muestra que el flanco oriental donde se sitúa el Complejo Lagunar del río Moscas, se encuentra más elevado que el eje anticlinal donde se encuentra el otro Complejo Lagunar.

En detalle, en el eje anticlinal donde se sitúa el Complejo Lagunar de Ballesteros-Ballesteros, dichas lagunas se alinean siguiendo conjuntos de fracturas distensivas de dirección NO-SE y NE-SO que constituyen un mallado y favorecen el desarrollo de las geomorfologías kársticas; en el complejo del río Moscas, las lineaciones parecen venir definidas por el propio valle y los relieves existentes así la margen derecha del río Moscas parece poner en contacto de manera mecánica materiales del Cretácico Superior y del tránsito Cretácico-Terciario con otros materiales del Tránsito Cretácico-Terciario (figura 13) y aunque no es tan evidente, parece existir una fractura que conecta las lagunas de la Atalaya, Corba-2 y Corba-4 de orientación OSO-ENE y otra lineación paralela al río Moscas NNO-SSE que une las lagunas de Corba 1, 2 y 3 y afecte al nacimiento del río Moscas. Igual parece suceder con las lagunas de Mohorte.



*Figura 13.- Detalle de las posibles fracturas asociadas en los dos complejos lagunares.*

## 5. HIDROGRAFÍA

### 5.1. Generalidades

El Complejo Lagunar del río Moscas se encuentra en la cuenca del río Moscas, afluente del Júcar. Dicho río nace unos km aguas arriba de Fuentes, con aguas provenientes de varios arroyos y ramblas, aunque se incrementa su caudal en el nacimiento propio del río a su paso por Fuentes.

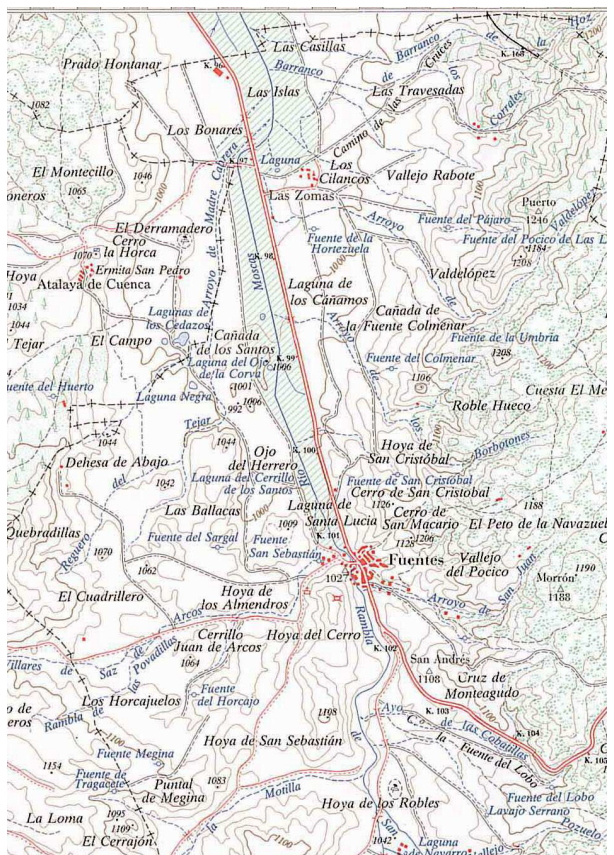
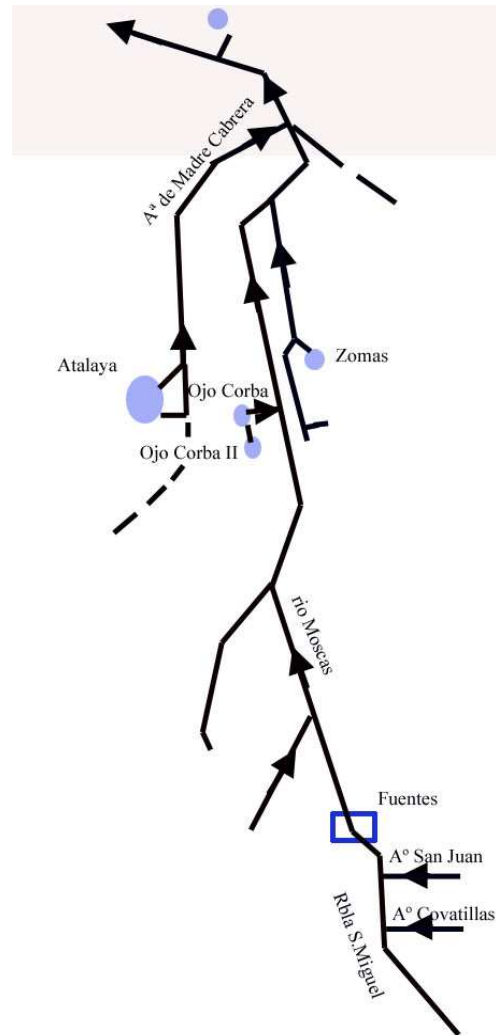
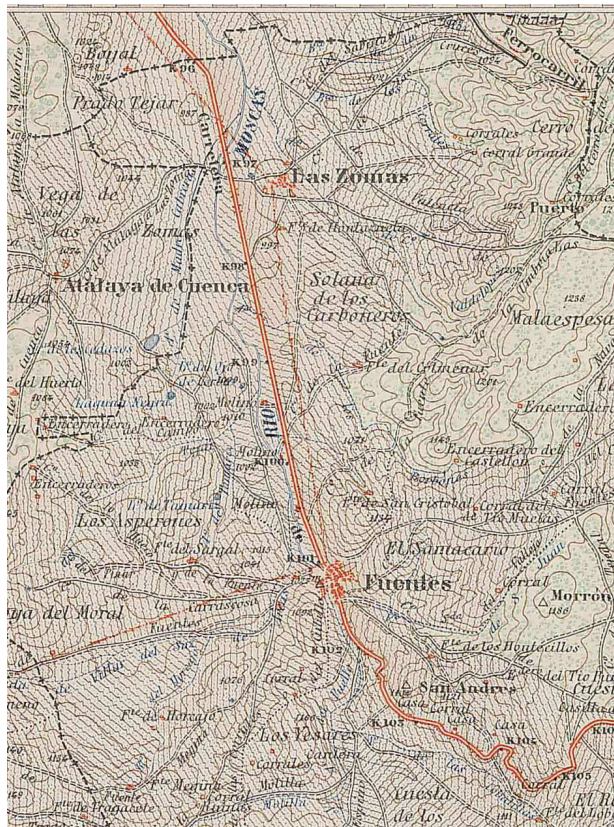
En los años 60 del siglo pasado se desecaron los humedales del río Moscas, excavando el cauce del río, en torno a 3-4 m, para que fuese receptor de las aguas de las lagunas. En los años 70 se pretendía regar una zona que constituye gran parte del valle del río Moscas, con una superficie aproximada de 250 ha, para lo cual se había pensado en principio en tomar aguas del citado río y de la serie de lagunas. En la figura 14 se observa el cauce natural en 1941 y como este se transformó en una acequia como se aprecia en el mapa de 1987.

Al río Moscas se conducen las aguas provenientes de las lagunas de Las Zomas (2 L/s estimado en 10/09) y del complejo de Ojo de la Corba y de la Atalaya (figuras 14, 15).



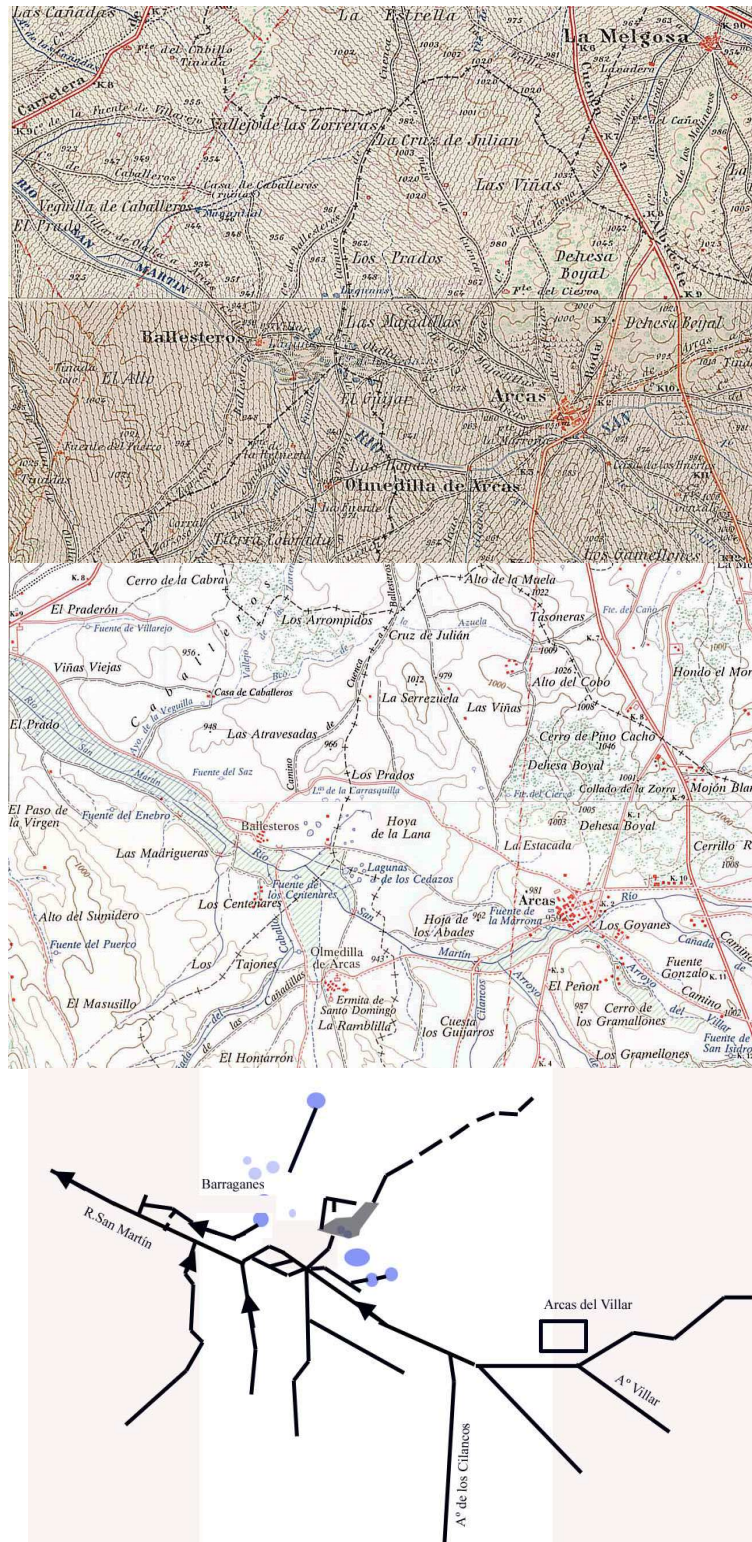
**Figura 14.-** Superior izquierda: río Moscas entre Las Zomas y la fábrica de PINASA. Obsérvese su canalización. Superior derecha: conexión entre la acequia proveniente de Ojo de Corba y la del río Moscas. Inferior izquierda: canal de conexión entre las dos lagunas de Ojo de Corba con una lámina de agua máxima de 13 cm. Inferior derecha: acequia de salida de la laguna de Las Zomas.

El río San Martín nace a 4.3 km al E de Arcas del Villar, cerca de las casas de la Atalaya. Confluyen al mismo los arroyos del Villar, de Puente Valer y Cidancos, en su margen izquierda, y el arroyo de la Veguilla, en su margen derecha. Es en ésta donde se ubican las lagunas y donde existen menos arroyos y torrentes (figura 14).



**Figura 15.-** Mapas topográficos de los años 1942, 1987 y esquema de los cauces existentes en la cuenca del río Moscas.

El cauce del río San Martín también fue modificado para su utilización para riego, coincidiendo con el tramo que discurre por las lagunas. De la margen derecha del río surgen dos acequias que conducen el agua hacia los campos de Villar de Olalla. A su vez algunas lagunas también son drenadas por canales de desagüe que se conducen al río San Martín (figura 16, 17). En su zona central, y más deprimida, se ha formado una zona encharcada, donde se escurre el agua subsuperficial circulante del N hacia el S, de difícil y difuso drenaje por el terreno, a través del que se infiltra. Asimismo en su entorno se encuentran arroyos estacionales, que nacen en los relieves existentes.



**Figura 16.-** Mapas topográficos de los años 1942, 1987 y esquema de los cauces existentes en la cuenca del río San Martín.



**Figura 17.-** Canalización procedente de la laguna de los Barraganes, al fondo el río San Martín. Estos dos cauces están conectados por un orificio natural originado por disolución de material.

## 5.2. Campaña de aforos diferenciales en 2009 y 2010

### 5.2.1. Río Moscas

El río Moscas y sus afluentes están canalizados y su fondo resulta impracticable, en cuanto es un lecho de limo y cañas que dificulta su acceso, hundiéndose en el fondo; asimismo esta vegetación irregulariza el fondo e impide realizar medidas adecuadas con un molinete, por lo cual los datos son relativamente imprecisos. Por ello se ha optado por emplear flotadores.

En el nacimiento de las aguas subterráneas, a los pies del puente románico de Fuentes, el acceso es más fácil, pero la vegetación allí existente, en época húmeda, también dificulta la realización de una sección homogénea y representativa, variando el perfil en las tres medidas realizadas.

Los datos obtenidos se recogen en la tabla 1. En junio de 2009 en Fuentes, en el nacimiento, el río aporta 135 L/s y las lagunas de Ojos de Corba pueden aportar al río entre 10-30 L/s de manera natural. Otros cauces, como los de Tío Dámaso o de la laguna negra estaban secos.

En marzo de 2010, tras fuertes lluvias, los arroyos aportan un caudal de 12 L/s (A° de Laguna Negra). Las lagunas y nacimientos aportan agua, así el arroyo Dámaso corresponde a un nacimiento en materiales yesíferos con un caudal de 40 L/s que se infiltra en la superficie, así próximo a su conexión al río Moscas, presenta un caudal de 7 L/s, perdiendo en el recorrido 33 L/s (figura 18); la laguna Ojos de Corba muestra un caudal de 121 L/s, que supone 4 veces más el caudal del verano anterior; el canal procedente de la Atalaya, recibe tanto las aguas procedentes del arroyo de la Laguna Negra, como del propio drenaje de la laguna, condicionado por el bombeo en la laguna, aporta al río Moscas un caudal de 103 L/s; la laguna de Las Zomas cede al río Moscas un caudal de 5 L/s. El nacimiento del río Moscas, restando el aporte procedente de la cuenca superficial anterior, aporta un caudal de 249 L/s, 2 veces más que en verano, mientras que, antes de la conexión al canal de la Atalaya y al de las Zomas, el caudal es de 535 L/s; esto significa que el sistema cede, de manera difusa, al río, 286 L/s, que se obtienen a lo largo del recorrido del río; y que sumado al procedente de la laguna de Las Zomas y de la Atalaya, asciende a 382 L/s.

|    | Lugar                                    | X      | Y       | Fechas medidas |      |       | Observaciones |
|----|--|--------|---------|----------------|------|-------|---------------|
|    |  |        |         | 7/09           | 3/10 | 10/10 |               |
| 1  | Aguas arriba Fuentes                     | 583966 | 4422128 | 0              | 86   | 0     | Molinete      |
| 2  | Junto al puente del río Moscas           | 583672 | 5422973 | 135            | 335  | 164   | Molinete      |
| 3  | Laguna Ojos de Corba 1 a Ojos de Corba 2 |        |         | 27,3           | 121  | 67    | Molinete      |
| 4  | Laguna Ojos Corba-2 a río Moscas         |        |         | 10             |      |       | Estimación    |
| 5  | Salida laguna Zomas                      | 582843 | 4426879 | 2              | 5    | 12    | Molinete      |
| 6  | Arroyo 1                                 | 582404 | 4424346 | 0              | 10   | 0     | Molinete      |
| 7  | Arroyo 2                                 | 582130 | 4424727 | 0              | 12   | 0     | Molinete      |
| 8  | Arroyo Dámaso                            | 582743 | 4423777 | 0              | 40   | 0.2   | Flotador      |
| 9  | Arroyo Dámaso 2                          | 582827 | 4424429 | 0              | 7    | 0     | Estimación    |
| 10 | Salida Atalaya                           | 582783 | 4426874 |                | 103  | 26    | Flotador      |
| 11 | Aguas abajo río Moscas                   | 582515 | 4426851 |                | 535  | 662   | Flotador      |

|   | Lugar  | X      | Y       | Z   | Fechas medidas |      |       | Observaciones |
|---|--|--------|---------|-----|----------------|------|-------|---------------|
|   |  |        |         |     | 7/09           | 3/10 | 10/10 |               |
| 1 | Puente sobre el San Martín en el camino viejo a Olmedilla de Arcas | 573294 | 4427051 | 925 | 3              | 430  | 16    | flotador      |
| 2 | Canal próximo  |        |         |     |                |      | 3     | flotador      |
| 3 | Aguas abajo de Ballesteros   | 572034 | 4427748 | 915 | 71,8           | 570  | 126   | Molinete      |
| 4 | Entrada laguna Barraganes  |        |         |     |                |      | 11    | flotador      |
| 5 | Salida laguna Barraganes   | 572719 | 4427631 | 918 | 14,3           | 40   | 40    | Molinete      |
| 6 | Aguas arriba del borbotón de Barraganes en río Martín              | 572293 | 4427571 | 915 | 31             |      |       | Molinete      |
| 7 | Drenaje interno cerca L17  | 573190 | 4427807 | 918 | 0              | 2    | 3     | estimación    |
| 8 | Arroyo afluente San Martín   | 572407 | 4427436 | 918 | 3,75           | 60   |       | flotador      |
| 9 | Arroyo Carretera Ballesteros                                       | 573898 | 4428349 | 928 | 0              | 5    | 0     | flotador      |

**Tabla 1.-** Caudales medidos en los cursos superficiales de los complejos lagunares.

En octubre de 2010, tras un verano sin precipitaciones, el río Moscas no aporta agua previo a la ciudad, siendo el origen de las aguas del río de carácter subterráneo. Los arroyos superficiales no aportan agua. Sin embargo, las lagunas y nacimientos aportan diferentes caudales, no necesariamente inferiores, así el aporte difuso en el río Moscas es de 498 L/s, y con los aportes de La Atalaya y Zomas, asciende a 536 L/s.

En conjunto se puede estimar que el sistema aporta en un año hidrológico en torno a 14,5 hm<sup>3</sup>/año.



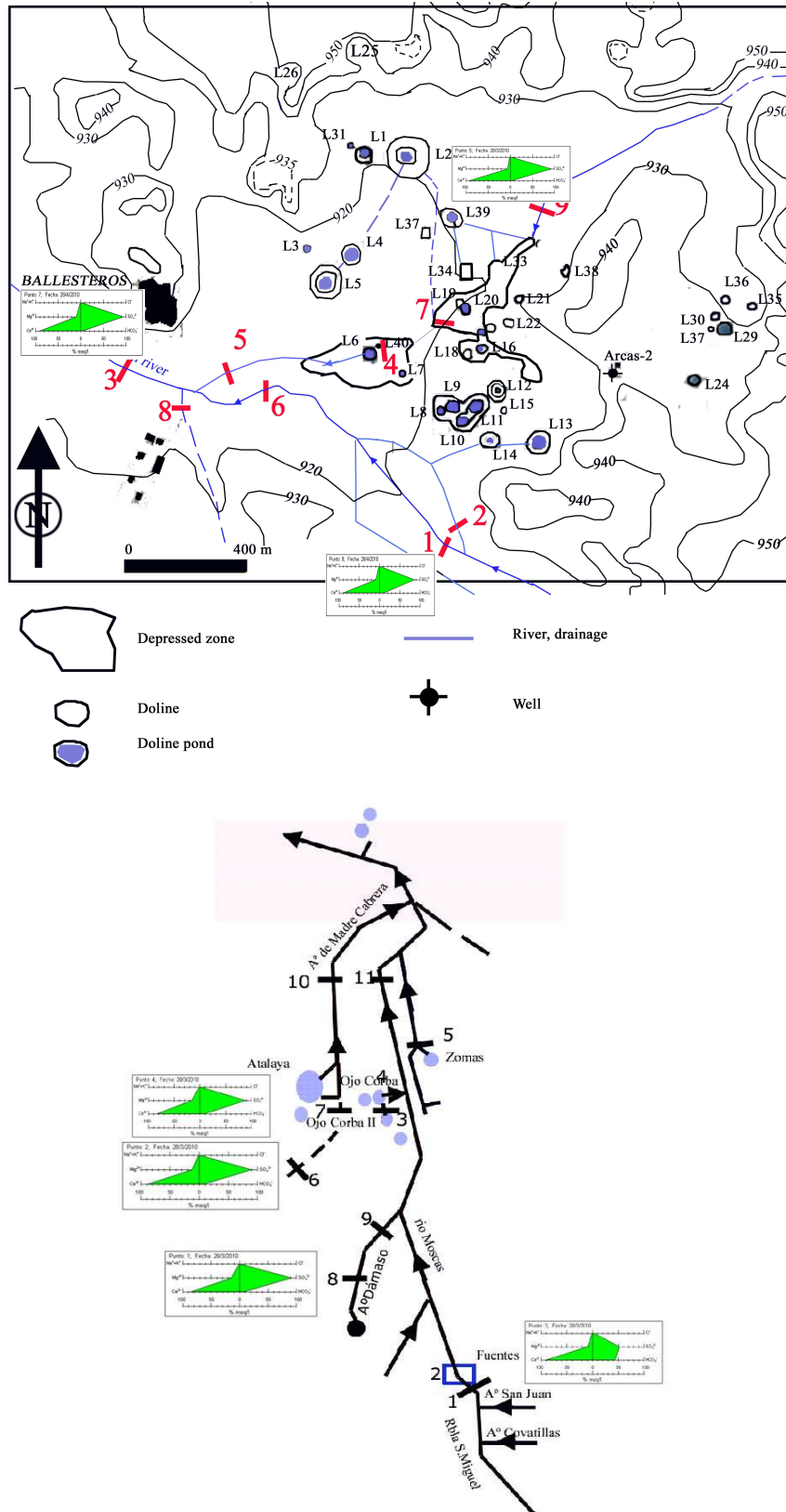


Figura 18.- Situación de las estaciones de aforos diferenciales realizadas y diagrama de stiff modificado con las características de sus aguas.

### 5.2.2. Río San Martín

Históricamente, el Complejo Lagunar de Ballesteros ha sufrido la adecuación de su medio a la actividad antrópica con la implantación de cultivos de secano y definición de canales de drenaje, tanto entre lagunas como hacia el río San Martín. Sin embargo, en la actualidad, su estado de mantenimiento es bastante deficiente, favoreciendo el encharcamiento de las zonas más deprimidas de su superficie. Asimismo, en el entorno a las lagunas y en estas superficies temporalmente húmedas, la superficie es bastante irregular, con socavones, simas y pequeños hundimientos de diámetros métricos. Su superficie suavemente inclinada y algo deprimida, con una pendiente del 14 al 22 %, en la margen derecha del río San Martín, que la limita en su extremo meridional.

En julio de 2009, marzo y octubre de 2010 el río San Martín gana, tras su paso por la zona de las lagunas, un caudal de 60, 75 L/s y 67 L/s respectivamente, proveniente de una circulación difusa y del drenaje de la laguna L6, aportando ésta última en verano de 2009 un caudal de 15 L/s y en marzo y octubre de 2010 de 40 L/s. Así, no se produce incremento entre verano e invierno, siendo el caudal que aporta el sistema, bastante estable, estimándose un aporte anual total de 2.36 hm<sup>3</sup>.

La cuenca del río San Martín sí recibe aguas provenientes de la cuenca detrítica, en forma de drenajes procedentes de la escorrentía subsuperficial, así en marzo de 2010 la entrada de agua superficial proveniente de la cuenca detrítica se ha incrementado hasta 432 L/s, saliendo del sistema un total de 570 L/s. Se ha determinado el caudal en los arroyos superficiales a ambas orillas, con caudales de 4 y 60 L/s.

### 5.2.3. Hidroquímica de las aguas de los cauces superficiales

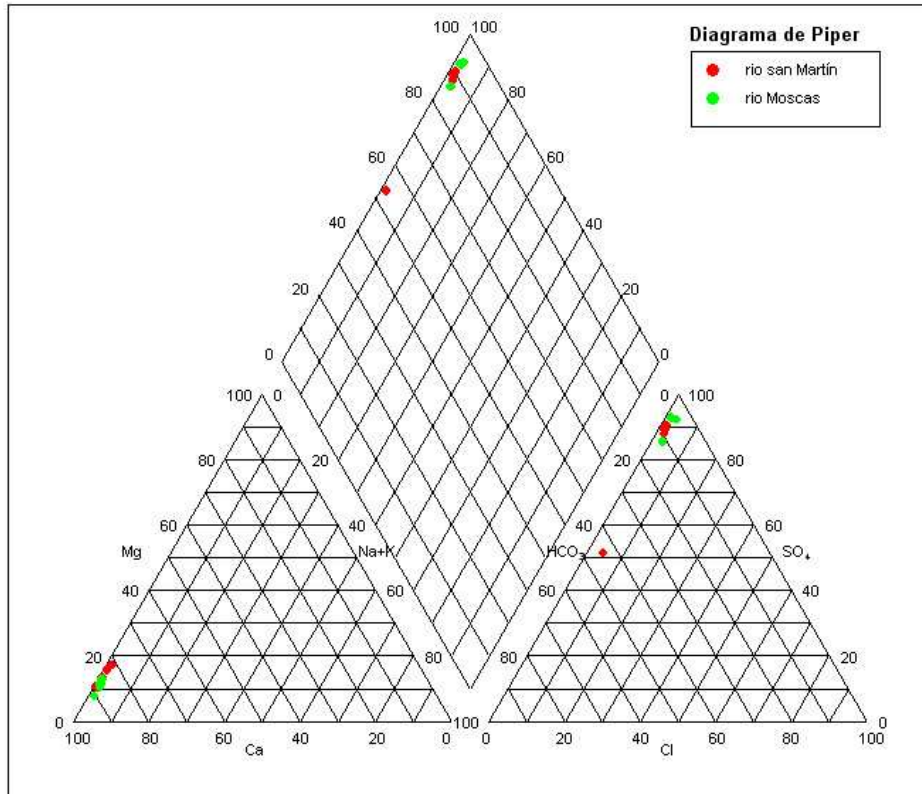
La distribución de las aguas superficiales en el río Moscas muestra como su facies es bicarbonatada cálcica a la entrada del río a Fuentes, mientras que las aguas provenientes de la orilla izquierda son muy similares y de facies sulfatada cálcica (figura 19), provenientes del lavado de los terrenos superficiales y de la escorrentía subsuperficial (tabla 2, figura 19).

Las aguas del río San Martín muestran elevadas mineralizaciones y contenido en sulfatos tanto a la entrada como a la salida en Ballesteros, y el arroyo temporal sito en su orilla derecha también aporta agua de similar mineralización.

| F_Toma    | Muestra               | DQO | Cl | SO4  | HCO3 | NO3 | Na | Mg | Ca  | K | SiO2 | Sr   | F     | Temp | pH   | C.E. |
|-----------|-----------------------|-----|----|------|------|-----|----|----|-----|---|------|------|-------|------|------|------|
| 28/3/2010 | aq-3                  | 1,3 | 6  | 1220 | 136  | 27  | 3  | 49 | 480 | 3 | 10,9 | 15,8 | 0,507 | 17,2 | 7,84 | 1769 |
| 28/3/2010 | aq-2                  | 2,6 | 10 | 1650 | 209  | 38  | 4  | 58 | 700 | 1 | 8,7  | 20,8 | 0,838 | 11,1 | 7,69 | 3100 |
| 28/3/2010 | aq-4                  | 1,4 | 6  | 125  | 135  | 14  | 0  | 6  | 99  | 1 | 6,6  | 3,9  | 0     | 15,5 | 8,17 | 471  |
| 28/3/2010 | aq-1                  | 1,3 | 11 | 1000 | 145  | 26  | 5  | 44 | 380 | 2 | 13,7 | 10,7 | 0     | 16,7 | 7,7  | 1613 |
|           |                       |     |    |      |      |     |    |    |     |   |      |      |       |      |      |      |
| 28/4/2010 | arroyo-1              | 2,2 | 21 | 1080 | 66   | 40  | 7  | 20 | 480 | 1 | 15   | 17,6 | 0,614 | 29   | 7,88 | 2280 |
| 21/7/2009 | r.Martin-ballesteros  | 0,8 | 9  | 1480 | 111  | 20  | 5  | 49 | 610 | 1 | 15,2 | 13,1 | 0     |      | 7,4  | 2905 |
| 28/4/2010 | r.Martin-ballesteros  | 1,4 | 12 | 1250 | 92   | 27  | 7  | 36 | 530 | 1 | 9,7  | 16,8 | 0,611 | 15,8 | 7,72 | 2710 |
| 28/4/2010 | r.Martin a la entrada | 1,4 | 20 | 1130 | 193  | 27  | 9  | 32 | 520 | 2 | 9,1  | 15,4 | 0,676 |      | 7,72 | 2640 |

**Tabla 2.-** Características físico-químicas de los análisis realizados. Leyenda, concentraciones en mg/L, conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , temperatura en  $^{\circ}\text{C}$ .

Con respecto a los iones minoritarios los afluentes del río Moscas presentan contenido en F y un contenido en Sr y SiO<sub>2</sub> distinto entre las aguas procedentes de aguas arriba con respecto al resto de aguas. Su temperatura es similar a la ambiental, del orden de 11,1-17,2 $^{\circ}\text{C}$ . El río San Martín y sus afluentes muestran similares contenidos en F, SiO<sub>2</sub> y Sr.



**Figura 19.** Diagrama de Piper-Hill-Langelier con la representación de las aguas superficiales.

## 6. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA DE DETALLE

### 6.1. Generalidades

El objeto del presente apartado es la descripción geomorfológica asociada a los materiales del Tránsito Cretácico-Terciario.

Las morfologías predominantes en el Complejo Lagunar son las formas exocársticas correspondientes a dolinas de disolución y de colapso. No se aprecian formas endokársticas; sin embargo resulta evidente el control en el desarrollo de las dolinas de hundimiento, de las fracturas y fallas que les afectan.

Existen ejemplos de karst desarrollados en yesos en Rusia, Ucrania e Italia (Ford y Williams, 2003) teniendo en España su principal ejemplo en el karst de Sorbas (Almería) y en la depresión del Ebro, que afecta a materiales terciarios. En la provincia de Cuenca se han descrito morfologías kársticas similares asociadas a estos materiales maastrichtenses, como en El Campichuelo, a 43 km al N (Martínez –Parra et al 2010).

Se distinguen como tipos de karst en yesos los asociados a materiales expuestos y los asociados a depósitos interestratificados, siendo estos últimos los relacionados con el desarrollo de karstificación en horizontes yesíferos, a su vez cubiertos por otros materiales más antiguos que el desarrollo de la karstificación (Klimchouk, 1996). Estos karsts en yesos se desarrollan asociados a acuíferos confinados de litologías yesífero-carbonatadas, siguiendo fallas o fracturas (Klimchouk, 1996). Estos karsts interestratificados se desarrollan sin ofrecer un aspecto exterior y solo se observan cuando afectan a la capa que los cubre. Según la clasificación de Klimchouk los complejos lagunares de Ballesteros y el río Moscas se pueden clasificar como karst subyacente (ISK): cuando es visible en el exterior pero los valles kársticos no llegan al mismo (figura 20) en ellos se desarrollan chimeneas con brechas o “Brescia pipes”.

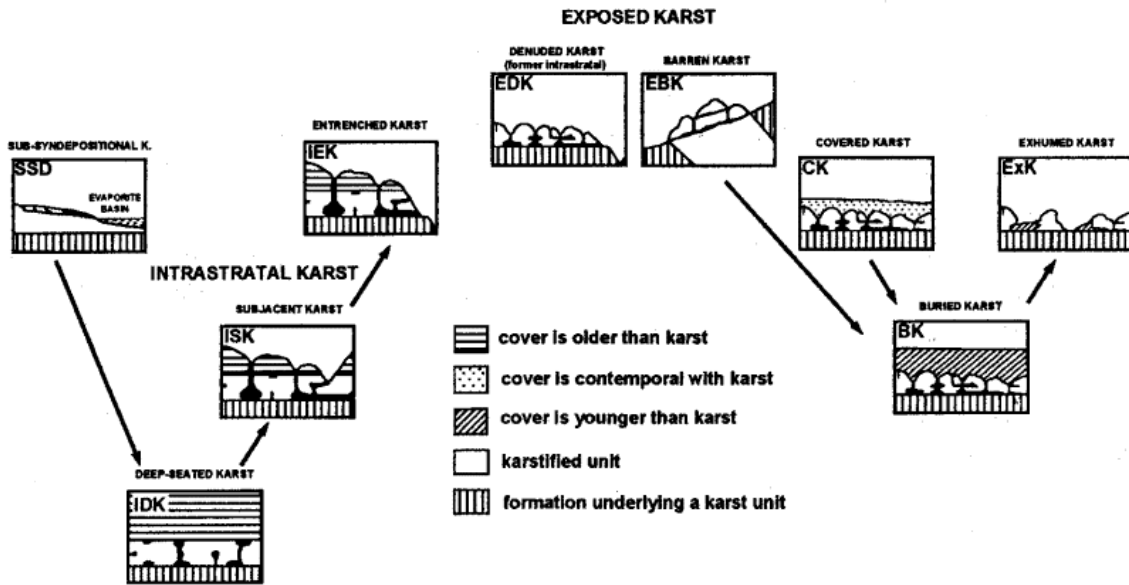


Figura 20.- Clasificación de los karsts en esos (Klimchouk, 1996).

La densidad de dolinas en Arcas-Ballesteros es de 23 dolinas/km<sup>2</sup>, mientras que en el complejo del río Moscas es menor, al estar muy distribuidas en distintas áreas, del orden de 0,5 dolinas/km<sup>2</sup>, sin considerar la zona de Mohorte, más alejada.

Según Gutiérrez et al, 2008, en la formación de las morfologías kársticas participan la roca karstificable y los sedimentos suprayacentes, tanto consolidados como inconsolidados. En el caso estudiado, los materiales inconsolidados corresponden a las arcillas y margas yesíferas superiores, y los consolidados son la alternancia de calizas, margas y yesos. Los hundimientos en superficie emplean como mecanismos de formación el colapso y el pandeo (*sagging*). Asimismo, estas morfologías se desarrollan directamente en los materiales aflorantes, generándose dolinas de disolución, de morfología suave, que se observan en los relieves circundantes.

En la zona no se observan ni barrancos kársticos ni lapiaces o microlapiaces ya que los materiales yesíferos masivos no afloran en superficie en la proximidad de las lagunas; estas se desarrollan sobre materiales limo-margosos y arcillosos, en general cultivados, en los que no se advierte la presencia de yesos. No se aprecian formas endokársticas; sin embargo resulta evidente el control en el desarrollo de las dolinas de hundimiento, de las fracturas y fallas que les afectan.

El colapso es una deformación gravitacional frágil que afecta más a las evaporitas por su tasa de disolución e indirectamente a los materiales suprayacentes. Son morfologías de orden métrico a decamétrico y aparecen de manera repentina (Gutiérrez et al, 2008), formándose dolinas de 40-50 m de diámetro (Sauro 1996) y morfología troncocónica, formando en ocasiones lagunas permanentes. En el valle del río Moscas sus diámetros oscilan entre 25 y 140 y en el de San Martín los 137 m. Su origen se relaciona con el hundimiento de bóvedas de galerías o pequeñas salas subsuperficiales. El funcionamiento kárstico en ambas zonas estudiadas es de gran actividad, con diversos colapsos recientes. Así en el área de Ballesteros se produjeron colapsos en 2003 en el entorno a la captación de abastecimiento de Arcas del Villar, dañándose dicha captación (Martínez-Parra, 2003). En el área del río Moscas se han producido otros hundimientos. Así en 2002, se creó una dolina de colapso, troncocónica, inicialmente con agua, aunque en la actualidad se encuentra seca. A inicios de 2006 se produjo un pequeño colapso que, el 3 de abril de 2009, originó una dolina muy próxima a las lagunas de Ojos de Corba, de la cual surgía agua de manera natural. Esta laguna incrementó su diámetro, así 38 días después el diámetro de la laguna alcanzó los 22,5 m, variando su batimetría desde los 3,20 m en el lado oeste, hasta los 29,50 m, depositándose todos los materiales en suspensión y precipitados, que daban el color blanquecino al agua tomando el color del agua un aspecto similar al de las lagunas adyacentes. Se produjo también una disminución del nivel del agua por debajo del nivel del drenaje, por lo que el volumen de agua desaguado era prácticamente nulo (Moreno y Montero, 2009). En julio de 2009 la profundidad medida era de 10,2 m (figura 21).



**Figura 21.-** Hundimientos en Arcas (2003) y en Fuentes (2009).

El *sagging* es una flexión de los sedimentos suprayacentes a causa de la ausencia del soporte basal, debido a la karstificación en profundidad de la roca soluble, siendo favorecido por las alternancias de margas y yesos interestratificados, siendo importante para la formación de dolinas. Morfologías similares se encuentran en las lagunas de mayor superficie y escasa lámina de agua, que no supera los 2 m de altura máxima.

Por último, las dolinas por disolución, tienen pendientes suaves sin sima en su interior, son de amplia superficie y se encuentran a cotas más elevadas. Sin embargo existen lagunas en Ballesteros como la L4 y L9 que parecen haber sufrido la combinación de dos mecanismos de formación: un pandeo o disolución inicial, con una lámina de agua máxima inferior a 1 m, y, posteriormente, en el centro de la dolina, y con una superficie más reducida, un colapso de aspecto troncocónico y paredes inclinadas que recuerda a los *Brescia Pipes* descritos (Ford y Williams 2003), aunque a menor escala. Esta morfología permite definir un tipo mixto de dolina.

Estas depresiones se incrementan cuando los materiales inconsolidados cuaternarios son escasos o inexistentes y, principalmente, cuando hay fracturas que facilitan el flujo del agua subterránea, junto a un nivel piezométrico somero (Soriano et al. 1994). Los complejos lagunares, como ya se mencionó, están asociados a conjuntos de fracturas, en direcciones NE-SO y NO-SE (figura 13) (Martínez-Parra et al. 2010). El karst interestratificado, responsable de la formación de estas morfologías, se desarrolla en los materiales yesíferos subyacentes a las arcillas y margas yesíferas y a la alternancia de margocaliza. Es asociable a la clasificación de Klimchouk como karst subyacente tipo ISK (Klimchouk 1996) y que evolucionan sin ofrecer un aspecto exterior excepto cuando afectan a la capa que los cubre. La disolución de estos materiales yesíferos produce pérdida de volumen, con creación de huecos resultando subsidencia y colapso, cuyos efectos visibles se observan en superficie (Sauro, 1996; Martínez-Parra et al. 2010). El desarrollo de este tipo de karst está asociado al confinamiento de los acuíferos y al artesianismo de su nivel piezométrico (Klimchouk y Andrejchouk 1996), así las fracturas existentes son utilizadas por las aguas subterráneas confinadas como vías de ascenso a la superficie y de disolución y circulación preferencial. Asimismo, la formación acuífera que constituye el karst interestratificado se encuentra confinado o semiconfinado, y favorece el ascenso de los niveles en las lagunas y su continua alimentación, como se observa en L6. La tasa de disolución del yeso en acuíferos confinados es de  $-0,16$  a  $-1,22$  mm/año (Klimchouk et al. 1996). Los colapsos y disolución pueden acelerarse por la actividad humana, en cuanto la actividad agraria expone y reduce el gradiente topográfico, favoreciendo la infiltración.

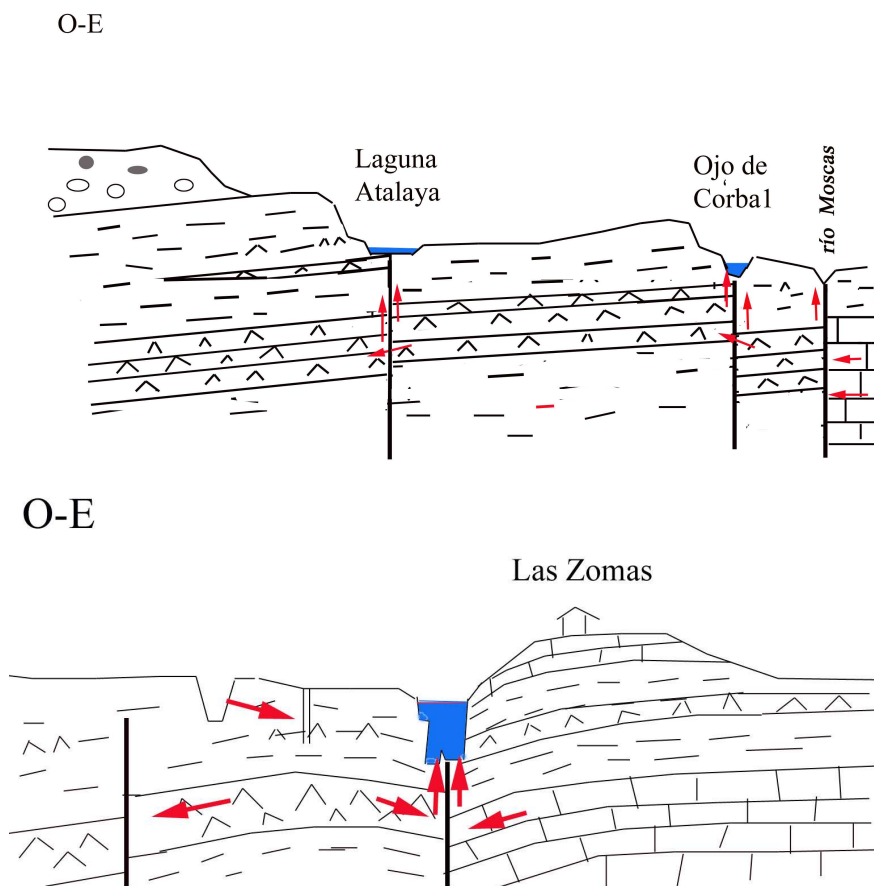
El karst recibe la recarga de la lluvia y de las actividades agrarias por infiltración directa sobre sus afloramientos, funcionando las dolinas y depresiones como puntos de infiltración preferencial.

Las lagunas permanentes, como Los Cedazos o Las Zomas, se derivan canales de desagüe por la propensión a encharcarse, estimándose caudales conjuntos mínimos en verano de 20 L/s.

La formación de las dolinas, en especial las de colapso, asociadas a los karsts interestratificados, están ligadas, entre otros factores, a las fracturas y fallas existentes, como se vio en el apartado de estructuras. El valle del río Moscas se orienta en dirección NO-SE, para cambiar a una dirección ONO-ESE. La dirección NO-SE parece estar condicionada por una fractura que pone en contacto un bloque más elevado, en la margen derecha, constituido por la parte basal de los yesos, calizas y margas del tránsito Cretácico-Terciario

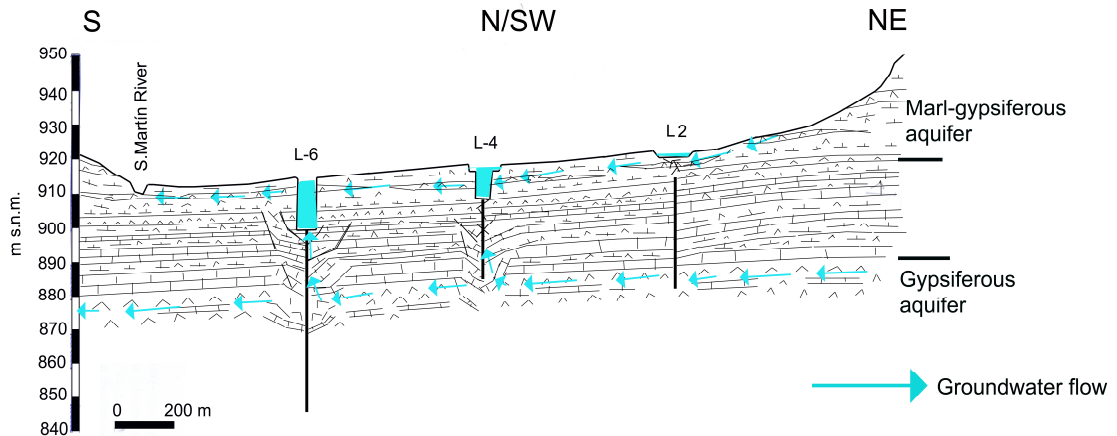
y las formaciones carbonatadas cretácicas, con la parte media-superior de los depósitos mastrichtienses. A su vez las lagunas y dolinas se han desarrollado asociadas a las faldas de relieves de disposición alargada, que podían indicar la existencia de otras fallas y fracturas que alcanzan al acuífero y que constituyen una vía de circulación preferencial, facilitando la salida de las aguas asociadas a los materiales yesíferos y carbonatados.

Asimismo, el nacimiento de las aguas del río Moscas en la población de Fuentes, asociado al lecho carbonatado, indica una cota de nivel piezométrico impuesta a las lagunas, y una posible conexión mecánica entre el acuífero carbonatado cretácico y las formaciones acuíferas mastrichtienses, como afirma Del Pozo (1976) y Martínez-Parra (com.pers.). El río puede indicar la zona de contacto, ya que a lo largo de la misma se producen borbotones temporales de agua subterránea. Asimismo, en el valle del río Moscas parece definirse una subsidencia tal vez relacionada con la disolución de los materiales yesíferos del tránsito Cretácico-Terciario (figura 22).



**Figura 22.-** Diversas hipótesis de las estructuras existentes y del funcionamiento hidrodinámico de los complejos lagunares en el valle del río Moscas (Martínez-Parra, tesis en elaboración).

La zona de Arcas-Ballesteros se desarrolla en el eje anticlinal del pliegue N-S, una zona de distensión, donde se desarrollan fracturas distensivas conjugadas, de orientación NE-SO y NO-SE (figura 13), que constituyen un mallado que condiciona y favorece el desarrollo del karst interestratificado y el desarrollo de las geomorfologías asociadas (figura 23).



**Figura 23.-** Hipótesis de las estructuras existentes y del funcionamiento hidrodinámico del Complejo Lagunar de Ballesteros-Ballesteros (Martínez-Parra et al, 2011).

## 6.2. Descripción geomorfológica de las lagunas

### 6.2.1. Complejo Lagunar de Ballesteros

Ocupa una superficie aproximada de 2.52 km<sup>2</sup>, formado por 42 dolinas de disolución y colapso, en forma de embudo y la mayoría con agua (Sanz, 2005, Martínez-Parra et al 2010) (figuras 24, 25, tabla 3). Algunas de estas dolinas se encuentran muy próximas entre sí y se han unido, formando uvalas. Asimismo Sanz (2005) considera que existen dos tipos de dolinas y uvalas: unas en forma de artesa suave, en ocasiones captadas por la red de drenaje, generalmente secas y situadas en zonas bajas y las mencionadas de colapso. Se encuentran próximas al río San Martín. De las lagunas permanentes, se han derivado canales de desagüe para conectarlas entre sí y conducir el agua al río San Martín.



**Figura 24.-** Distribución de las lagunas de Ballesteros.

Las batimetrías realizadas por Armengol (1997) para estas lagunas muestran en un 30 % lagunas de fondo plano, un 24 % de tipo mixto y el 46 % restante en forma de embudo. La profundidad de las lagunas es mayor en las situadas en la zona central del complejo, entre 10-14 m, indicando una posible zona de disolución y/o circulación preferencial, mientras que, próximo al río San Martín, no alcanzan esa

profundidad, quedando en torno a 7,5 m; hacia el N, en zonas más elevadas topográficamente, son de menor profundidad, entre 1,5-4,4 m.



**Figura 25.-** a) Dolina de colapso sin agua en las inmediaciones de la captación de Arcas, b) Laguna L6 (Barraganes-1) y c) L4 (Arcas-4).

La relación profundidad máxima/diámetro (P/D) en las lagunas de Arcas muestra estos tres tipos de lagunas, las llanas y atribuibles a disolución o sagging, con un P/D inferior a 0,05, las de colapso, con un P/D entre 0,29 a 0,37, propio de este tipo de dolinas (Sauro 1996) y queda un grupo entre 0,11-0,15 atribuible a este tipo mixto. En las lagunas del Complejo Lagunar del río Moscas, donde la mayoría son de colapso, presentan un P/D de 0,11-0,39, mientras que el resto es inferior.



**Tabla 3.** Morfologías existentes en el Complejo Lagunar de Ballesteros. Leyenda: DEN.- denominación (en gris en las que se ha tomado muestra de agua), (1) DC-dolina de colapso, DD-dolina de disolución, DM-dolina mixta, (2) superficie, (3) cota topográfica, (4) diámetro máximo, (5) profundidad máxima, (6) relación profundidad/diámetro.

| DEN. | TIPO(1) | S(2)           | Z(3)     | D(4) | P(5)(*) | P/D(6) | DEN. | TIPO(1) | S(2)           | Z(3)     | D(4) | P(5)(*) | P/D(6) |
|------|---------|----------------|----------|------|---------|--------|------|---------|----------------|----------|------|---------|--------|
|      |         | m <sup>2</sup> | m s.n.m. | m    | m       |        |      |         | m <sup>2</sup> | m s.n.m. | m    | m       |        |
| L1   | DD      | 2150           | 922      | 25   | 2,6     | 0,10   |      |         |                |          |      |         |        |
| L2   | DD      | 16400          | 922      | 137  | 1,5     | 0,01   | L22  | DD      | 80             | 930      | 26   |         |        |
| L3   | DC      | 1810           | 917      | 22   | 5,6     | 0,25   | L23  | DD      | 1430           | 935      | 40   |         |        |
| L4   | DM      | 3490           | 917      | 57   | 7,4     | 0,13   | L24  | DC      | 1080           | 935      | 37   |         |        |
| L5   | DM      | 3930           | 917      | 63   | 7       | 0,11   | L25  | DD      | 105000         | 935      | 187  |         |        |
| L6   | DC      | 995            | 915      | 40   | 14,3    | 0,36   | L26  | DD      | 7490           | 940      | 95   |         |        |
| L7   | DC      | 310            | 917      | 21   | 7,9     | 0,37   | L27  | DD      | 325            | 920      | 20   |         |        |
| L8   | DC      | 1050           | 922      | 26   | 4,4     | 0,17   | L28  | DD      | 2760           | 928      | 42   |         |        |
| L9   | DM      | 1400           | 922      | 46   | 14      | 0,3    | L29  | DC      | 1600           | 930      | 48   |         |        |
| L10  | DC      | 7770           | 922      | 42   | 7,4     | 0,18   | L30  | DC      | 430            | 930      | 28   |         |        |
| L11  | DC      |                |          | 34   |         | 0,22   | L31  | DC      | 660            | 922      | 15   | 4,4     | 0,29   |
| L12  | DC      | 2405           | 925      | 33   |         |        | L32  | DD      | 300            | 920      | 13   |         |        |
| L13  | DC      | 3540           | 927      | 61   |         |        | L33  | DD      | 100            | 920      | 10   |         |        |
| L14  | DC      | 1540           | 925      | 34   |         |        | L34  | DD      | 475            | 920      | 27   |         |        |
| L15  | DC      | 560            | 925      | 37   | 5,7     | 0,15   | L35  | DD      | 690            | 935      | 24   |         |        |
| L16  | DD      | 480            | 925      | 35   | 1,5     | 0,04   | L36  | DD      | 150            | 935      | 12   |         |        |
| L17  | DM      | 215            | 925      | 25   | 11,5    | 0,15   | L37  | DD      | 300            | 930      | 21   |         |        |
| L18  | DD      | 220            | 925      | 22   | 1       | 0,04   | L38  | DC      | 200            | 930      | 16   |         |        |
| L19  | DD      | 170            | 920      | 21   |         |        | L39  | DD      | 315            | 920      | 27   |         |        |
| L20  | DD      | 520            | 920      | 35   |         |        | L40  | DD      | 7              | 916      | 3    | 0,5     | 0,17   |
| L21  | DD      | 830            | 930      | 40   |         |        | L41  | DD      |                |          | 1    |         |        |
|      |         |                |          |      |         |        | L42  | DD      |                |          |      |         |        |

(\*)(Con datos propios y procedentes de Camacho (1997), Rodrigo (1997), Armengol (1997).

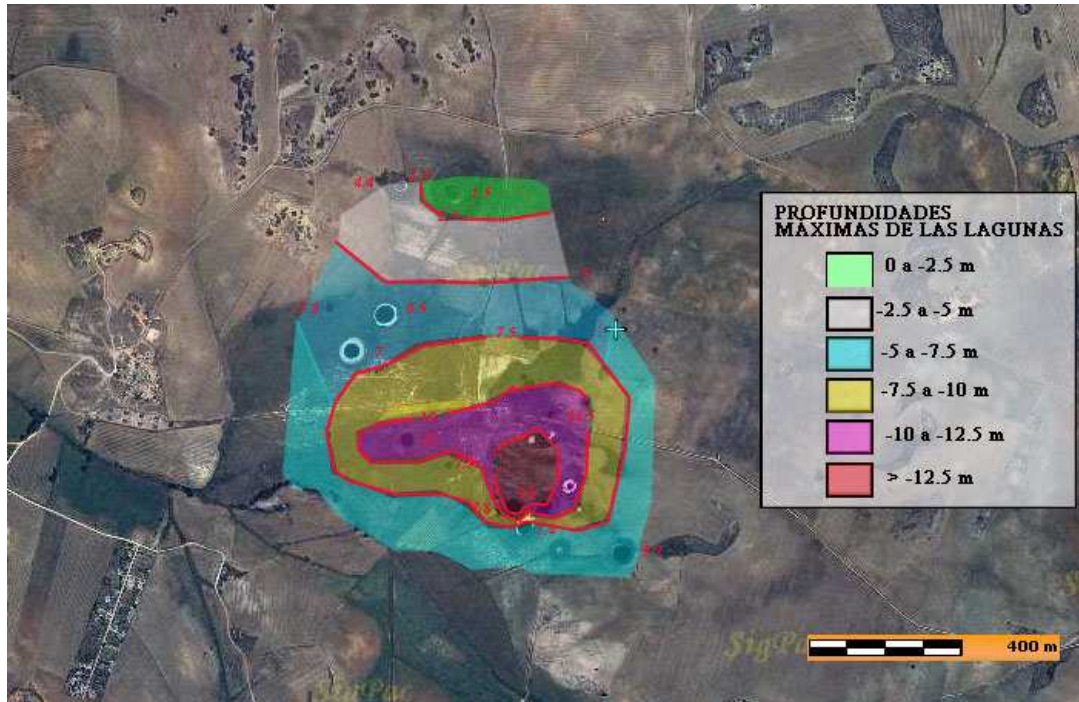
Se diferencian hacia el E un campo de dolinas, generalmente secas o con agua estacional, a una cota topográfica más elevada que el conjunto de lagunas, separados 500 m y situado entre 10-20 m por debajo de la cota. En esta zona de dolinas se ubican dos captaciones de abastecimiento, Arcas-1 y Arcas-2. La primera sufrió un colapso en el entorno, por lo que se tuvo que perforar una nueva, Arcas-2 (figura 26).



**Figura 26.-** Hundimientos en el año 2003 (Martínez, 2003).

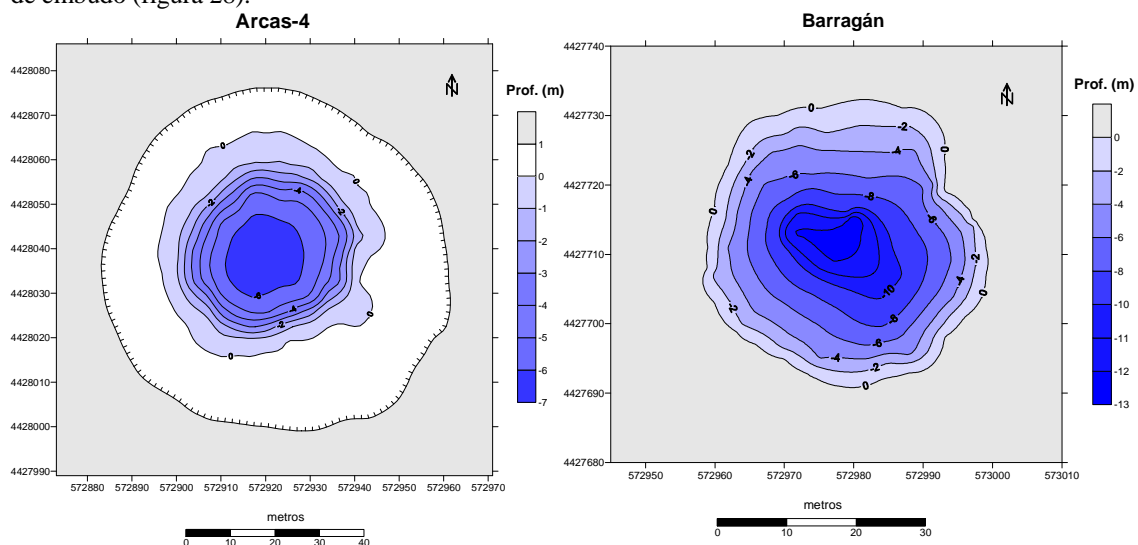
En el perímetro de las lagunas, sin cultivar, la superficie es bastante irregular, con socavones, y pequeños hundimientos de diámetros métricos, que sitúan a la zona a una cota topográfica algo inferior a la del resto de suelo del entorno.

Las lagunas situadas más lejos del río San Martín son de menor profundidad, entre 1,5-4,4 m, mientras las más próximas al río alcanzan profundidades de 7-15 m. En las tesis realizadas, las batimetrías de 13 de las mismas muestran en un 60 % lagunas de fondo plano y el 40 % restante fondos en forma de embudo. A partir de las profundidades máximas determinadas, respecto a la lámina de agua, se ha elaborado el mapa de profundidades de las lagunas (figura 27) donde se observa un surco de mayor profundidad en el entorno de las lagunas de Los Barraganes y las situadas al S del complejo lagunar. Dicho surco o concentración de profundidades puede indicar una zona de disolución y/o circulación preferencial.



**Figura 27.-** Mapa de isoprofundidades de las lagunas en el complejo de Arcas-Ballesteros.

En detalle, y para este estudio, se han realizado batimetrías en julio de 2009 en las lagunas L4 (Arcas-4) y L6 (Barraganes-1); se observa que la laguna L4 tiene una lámina de agua poco profunda (entre 0-1 m de profundidad) en más de la mitad de la superficie y una dolina de colapso, de forma troncocónica, de paredes muy verticalizadas. En la laguna L6, situada a una cota inferior, la forma de la dolina de colapso es en forma de embudo (figura 28).



**Figura 28.-** Batimetrías de las lagunas L4 (Arcas-4) y L6 (Barraganes-1) en julio de 2009.

### 6.2.2. Complejo Lagunar del río Moscas y lagunas de Mohorte

Se encuentra a 9 km al E del anterior, en la misma formación geológica. Las morfologías existentes son menores que en el anterior complejo, con una densidad más baja, del orden de  $0,5/\text{km}^2$ . De hecho, existen tres núcleos separados: Ojo de Corba-Atalaya, Tamariz y Las Zomas. Las de Mohorte, se encuentran más alejadas, a 3.2 km de la de las Zomas (figura 29, tabla 4).

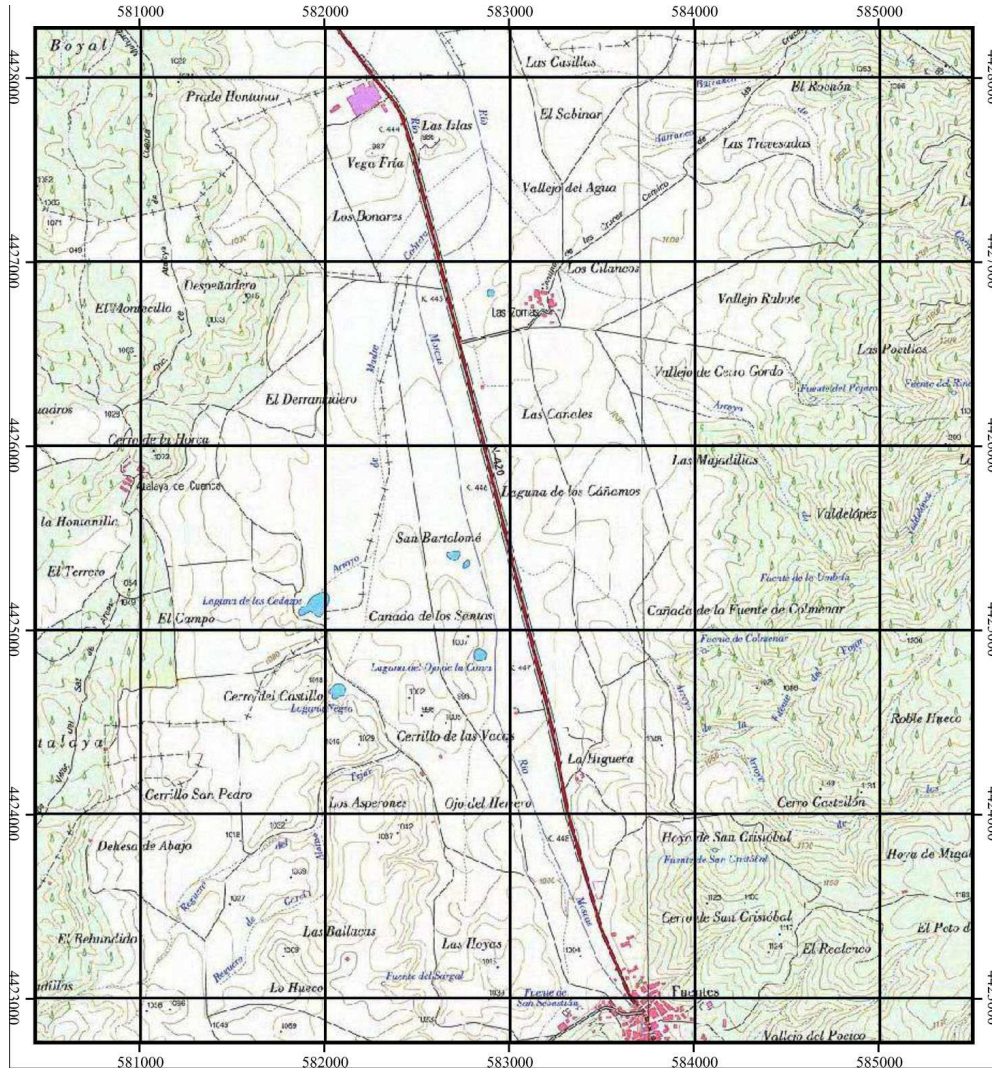


Figura 29.- Situación de las lagunas del Complejo Lagunar del río Moscas.

La formación de las dolinas, en especial las de colapso, están ligadas, como se comentó en el apartado estructural, entre otros factores, a las fracturas y fallas existentes. El valle del río Moscas se orienta en dirección NO-SE, para cambiar a una dirección ONO-ESE. La dirección NO-SE puede estar condicionada por una fractura que pone en contacto un bloque más elevado, en la margen derecha, constituido por la parte basal de los yesos, calizas y margas del tránsito Cretácico-Terciario y las formaciones carbonatadas cretácicas, con la parte media-superior de los depósitos maastrichtienses. A su vez las lagunas y dolinas se han desarrollado asociadas a las faldas de relieves de disposición alargada, que podían indicar la existencia de otras fallas y fracturas que alcanzan al acuífero y que constituyen una vía de circulación preferencial, facilitando la salida de las aguas asociadas a los materiales yesíferos y carbonatados. También parece existir una fractura que conecta las lagunas de la Atalaya, Corba-2 y Corba-4 de orientación OSO-ENE y otra lineación paralela al río Moscas NNO-SSE que une las lagunas de Corba 1, 2 y 3 y afecte al nacimiento del río Moscas. Igual parece suceder con las lagunas de Mohorte.

Las geomorfologías existentes están condicionadas por encontrarse en el flanco del sinclinal de Fuentes, una zona de subsidencia por disolución, por la que circula el río Moscas, donde el número de dolinas de

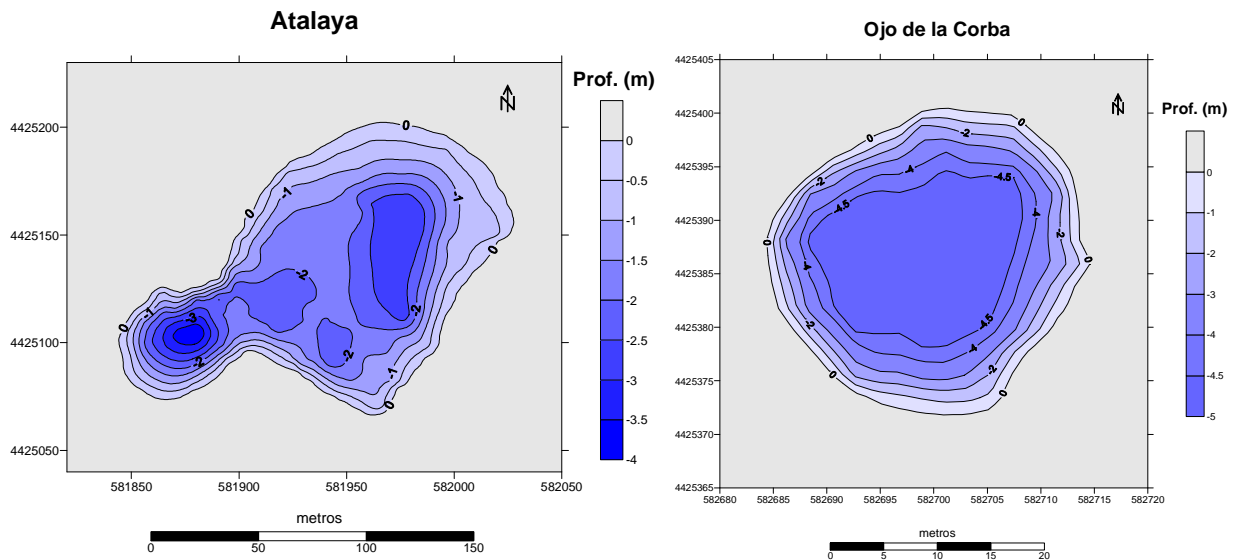
disolución secas es escaso: la antigua laguna de Tamariz y la dolina que se produjo en sus proximidades en el año 2002. Dicha subsidencia se desarrolla en la orilla derecha del río, correspondiendo al posible bloque hundido de la supuesta falla NNE-SSO; en la orilla izquierda se han desarrollado terrazas aluviales y mayor grosor de depósitos de piedemonte y glacia, que no se encuentran en la orilla izquierda.

**Tabla 4.** Morfologías existentes en el Complejo Lagunar del río Moscas. Leyenda: DEN.- denominación (en gris en las que se ha tomado muestra de agua), (1) DC-dolina de colapso, DD-dolina de disolución, DM-dolina mixta, (2) superficie, (3) cota topográfica, (4) diámetro máximo, (5) profundidad máxima, (6) relación profundidad/diámetro. (\*) (Con datos propios y procedentes de Camacho (1997), Rodrigo (1997), Armengol (1997)).

| DEN.         | TIPO(1) | S(2)           | Z(3)     | D(4) | P(5)(*) | P/D(6) |
|--------------|---------|----------------|----------|------|---------|--------|
|              |         | m <sup>2</sup> | m s.n.m. | m    | m       |        |
| ATALAYA      | DD      | 14245          | 975      | 141  | 4,1     | 0,028  |
| ATALAYA II   | DC      | 3000           | 985      | 57   |         |        |
| NEGRA        | DD      | 4430           | 985      | 70   | 5       | 0,07   |
| CORBA 1      | DC      | 4720           | 975      | 56   | 7       | 0,125  |
| CORBA 2      | DC      | 2240           | 976      | 35   | 10      | 0,29   |
| CORBA 3      | DC      | 2120           | 990      | 60   | 6,6     | 0,11   |
| CORBA 4      | DC      | 1000           | 975      | 40   | 10,2    | 0,255  |
| ZOMAS        | DC      | 1150           | 965      | 39   | 15      | 0,385  |
| ZOMAS II     | DD      | 585            | 970      | 25   | 0,5     | 0,02   |
| TAMARIZ      | DC      | 3620           | 995      | 58   |         |        |
| DOLINA NUEVA | DC      | 1000           | 992      | 37   |         |        |
| MOHORTE I    | DC      | 1540           | 958      | 51   |         |        |
| MOHORTE II   | DC      | 1120           | 958      | 40   |         |        |

Las batimetrías realizadas por Armengol (1997) para estas lagunas muestran que Corba-1, Corba-2, Atalaya, y Negra tienen el fondo plano, las Zomas es del tipo mixto, con una zona central más hundida, en torno a 7 m, y Corba-2 y Corba-4 en forma de embudo.

Las lagunas y dolinas más profundas (7-15 m) se desarrollan próximas al cauce del río Moscas y de la posible falla; las de menor profundidad corresponden a las más alejadas. A partir de la batimetría realizada en las lagunas de la Atalaya y Corba-2 en julio de 2009 y marzo de 2010, se observa que la Atalaya originalmente eran dos lagunas de escasa profundidad, dolinas de disolución, de profundidades entre 2,5 y 3,5 m de profundidad, separadas por un umbral que, por actividad antrópica se redujo de altura, hasta su conexión. La laguna Corba-1 en julio de 2010 presenta una menor profundidad, de 4,5 m, menor a la citada por Armengol (1997), de 7 m; su aspecto troncocónico, de paredes de fuerte pendiente, indica un origen de colapso, sin embargo esta variación en la profundidad puede deberse a algún proceso de relleno (figura 28), ya que la diferencia entre ambas campañas es de 15 años, ello indicaría que algunas de las lagunas pueden estar sufriendo continuas modificaciones en su morfología. A su vez en el entorno se observa un suave hundimiento de los campos del entorno, de tal manera que los agricultores ya no trabajan esa área con los tractores (figura 31).

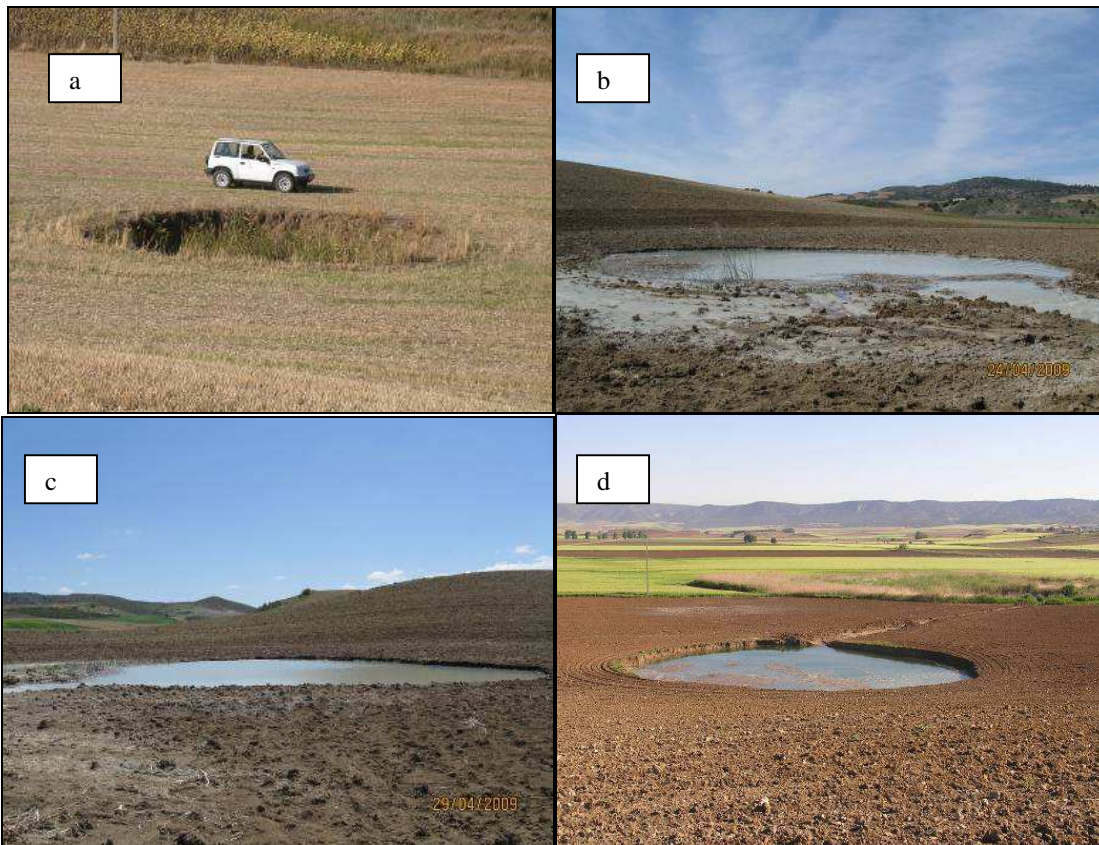


**Figura 30.-** Batimetrías de la laguna de Atalaya y de Corba 2.



**Figura 31.-** Zona de Corba -1 que está sufriendo subsidencia o disminución de cota.

La formación de la laguna Corba-4 , que se inició en 2004, se mantuvo estable y sin agua, hasta inicios de 2009, año muy húmedo climatológicamente, en el que se aceleró su formación en pocos días (Moreno y Montero, 2009) (figura 32); mostrando una variación de profundidad notable en poco tiempo, así el día 11 de mayo de 2009, al mes de su formación, su batimetría variaba desde los 3,20 m en el lado occidental, hasta los 29,50 m en el lado este. En julio de 2009 presentaba una profundidad máxima de 10,2 m. .



**Figura 32.-** Evolución de la laguna Corba-4 a) septiembre de 2008, b) 1 de abril de 2009, c) 24 de abril de 2009, d) mayo de 2009 (fotos de Moreno y Montero, 2009).

Las morfologías de las lagunas son muy variables, así la antigua laguna de Tamariz, actualmente seca y cultivada, y cuya formación se debe, principalmente a la disolución (figura 33), tiene una morfología cónica, aunque su superficie basal es amplia; muy similar es la Laguna Negra, que a principios del siglo XXI estaba seca y en la actualidad está llena de agua, o la laguna de la Atalaya y su vecina dolina Atalaya II. Sin embargo esta morfología es notablemente distinta a la de las lagunas de Corba y Zomas (figuras 34, 36).

Las lagunas de Mohorte se encuentran separadas del resto y muy próxima entre sí. Su profundidad se ignora, ya que no se dispone de información suficiente. En 2010 se levantó un perfil de conductividad en Mohorte-1, con una profundidad de 2,5 m (figura 35).



**Figura 33.-** Aspecto de la dolina de Tamariz, Laguna Negra, dolina Atalaya II y laguna de la Atalaya.

La laguna de la Atalaya está equipada para el riego con un equipo de bombeo, que disminuye la cota de la laguna, reduciendo su drenaje hacia el río Moscas. Esta laguna, junto a la laguna Negra y la de Tamariz, hoy secas, se encuentran a los pies de un relieve que puede indicar un posible escalón por una fractura.



**Figura 34.-** Lagunas de Ojos de Corba. De arriba abajo: Ojo de Corba-1, Ojo de Corba-2, Ojo de Corba-3 y Ojo de Corba-4.



**Figura 35.-** Mohorte-1.





**Figura 36.-** Laguna de Las Zomas.

## 7. DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DE DETALLE

En la zona estudiada los acuíferos que se definen, son, de base a techo:

- **Carbonatos cretácicos**- constituyen el infrayacente del sistema yesífero kárstico y un acuífero de entidad regional, asociado con los de la Serranía de Cuenca, al E. Tiene gran importancia en cuanto existe una posible relación hídrica con el acuífero yesífero, por causas estructurales.

-**Yesos, margas y calizas del Tránsito Cretácico-Terciario**: el acuífero en el que se desarrollan los complejos lagunares estudiados. No constituye un acuífero único y homogéneo, en cuanto se define unos horizontes más margosos a techo y más carbonatados a base.

-**Depósitos detríticos terciarios**; sin relación con los anteriores, forman un acuífero multicapa. Aunque se sitúan inmediatamente encima de los mismos, en ellos no se aprecia la formación de morfología de hundimiento, por lo que su efecto posiblemente, sea de protección de los depósitos yesíferos infrayacentes y de impedir el desarrollo del karst.

-**Depósitos detríticos cuaternarios**: escasamente desarrollados como acuífero, ya que las vegas de los ríos Moscas y San Martín se desarrollan sobre materiales margosos-yesíferos del Tránsito. Constituyen depósitos de terraza en la margen derecha del río Moscas, y extensiones de espesor hemimétrico en los campos de cultivo de la vega.

### 7.1. Acuífero carbonatado cretácico

Este acuífero, aunque aparentemente no tiene relación con la evolución kárstica estudiada en el complejo de Ballesteros, si parece tener importancia en el complejo del río Moscas, como se describirá a continuación.

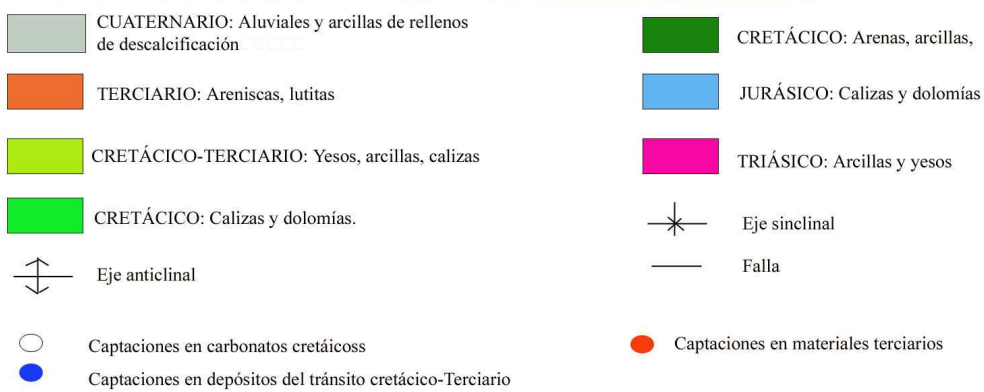
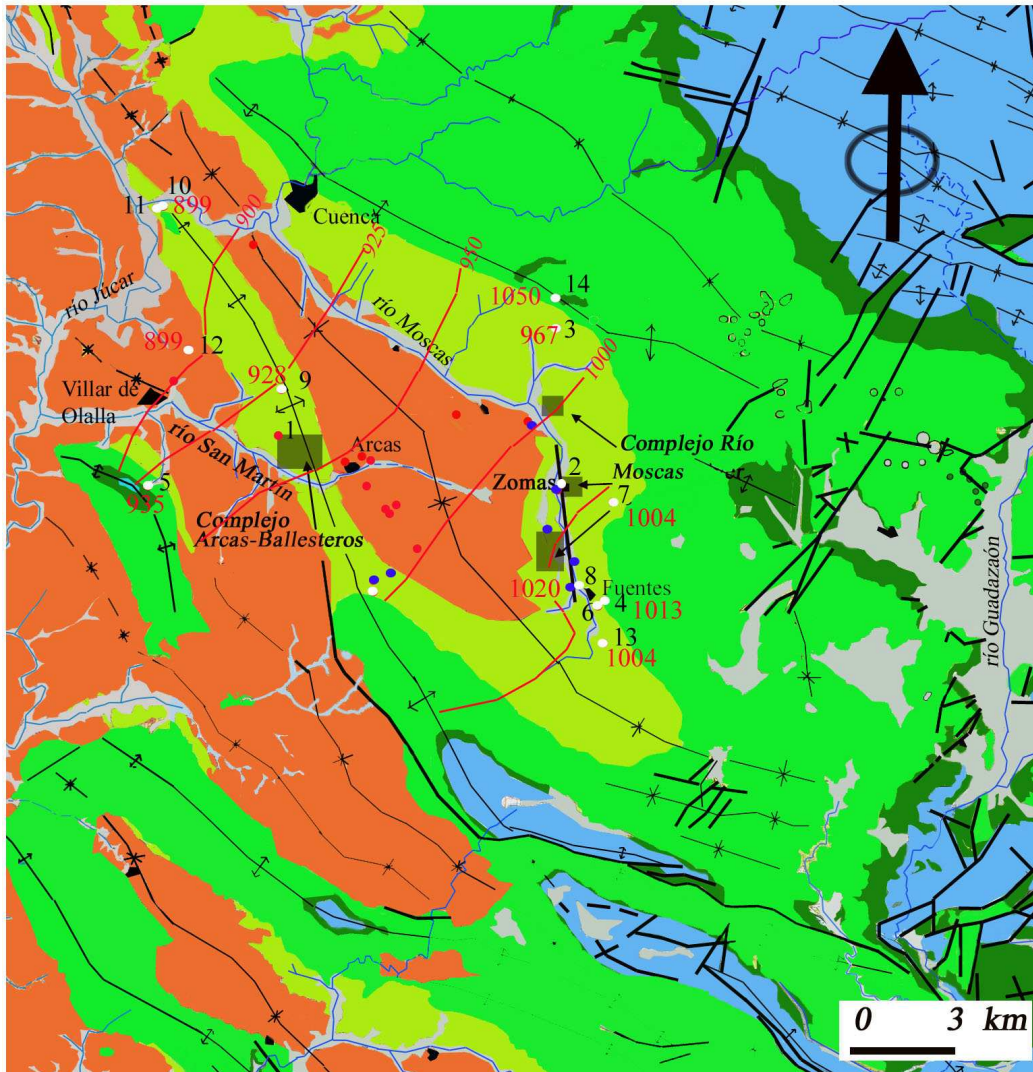
Está constituido por las formaciones carbonatadas que se encuentran limitadas al NE por el eje anticlinal que define la Sierra de la Pila, al E el río Guadazaón y al S los relieves de la Serranía, mientras que al NO contactaría mecánicamente con la depresión Intermedia, por una fractura que define el río Júcar. Su estructura es, por tanto, la de un sinclinal limitado por dos ejes anticlinales que vergen hacia el NO hacia el río Júcar y la Depresión Intermedia, cubierto el sinclinal por los depósitos terciarios.

El acuífero carbonatado tiene un comportamiento semilibre en las zonas aflorantes, con transmisividades elevadas (1200-5000 m<sup>2</sup>/día). Sin embargo, cuando se encuentra confinado bajo los depósitos del Tránsito Cretácico-Terciario y detríticos terciarios, la transmisividad desciende a 300 m<sup>2</sup>/día. El techo impermeable del acuífero lo constituyen las margas campanienses, aunque estas en ocasiones están ausentes por erosión y entran en contacto con los yesos garumnienses, como ocurre en el sondeo de Villar el Saz de Arcas. Su espesor reconocido es de 200-230 m. La circulación del flujo es principalmente de SE a NO, hacia el Júcar, aunque en la parte oriental, también existe una circulación hacia las fuentes de Reillo, hacia el río

Guadazaón. En el primer caso, las cotas piezométricas se encuentran entre 880-1000 m s.n.m., con un gradiente hidráulico del 15‰. En la zona de Fuentes el río se dispone alineadamente indicando la posible existencia de una falla y de un contacto mecánico entre los materiales cretácicos carbonatados orientales y los yesíferos, cuyo grado de conexión estará condicionado al tipo de año hidrológico (Del Pozo, 1976; Martínez-Parra, 2007)(figura 37 y 38).

|    | Denominación          | Z (m s.n.m.) | Nat. | P(m) | PNP(m)  | Caudal (L/s)             |
|----|-----------------------|--------------|------|------|---|--------------------------|
| 1  | S. Arcas-1            | 940          | S    | 320  | 5 (10/57)<br>2,92(8/80)<br>5,3(12/81)<br>5,03(3/82)<br>8,7 (9/91) | 75                       |
| 2  | Las Zomas             | 970          | S    | 88   |   |                          |
| 3  | Fuentes-Fábrica       | 1000         | S    | 254  | 76,99(4/02)   |                          |
| 4  | S.Fuentes             | 1075         | S    | 195  | 49,9 (10/07)<br>40,84 (3/09)<br>29,52(3/10)<br>27,38 (8/10)       |                          |
| 5  | S.C. Villar de Olalla | 966          | S    |      | 31,4 (6/07)   |                          |
| 6  | F.Hontecilla          | 1075         | F    |      |   | 0,01 (10/09)             |
| 7  | S. Fuentes IRYDA      | 1040         | S    |      | 36,1 (10/09)<br>26,32 (3/10)                                      |                          |
| 8  | Nacimiento Moscas     | 1020         | F    |      | 0 (6/07)<br>135 (7/09)<br>(10/10)                                 |                          |
| 9  | S. Golf Ballesteros   | 955          | S    | 240  | 26,74   |                          |
| 10 | Fuente Licona         | 899          | F    |      |   | 1,5 (2/94)<br>0,2 (8/02) |
| 11 | Albaladejito 2        | 911          | S    | 82   | 22,52 (3/94)  | 18(6/02)                 |
| 12 | S. Villar Olalla      | 930          | S    |      | 30,83 (10/09)   |                          |
| 13 | S Fuentes-Carboneras  | 1080         | S    |      | 76,07 (3/09)<br>64,35 (4/10)<br>62,53(8/10)                       |                          |
| 14 | F.Rollo               | 1050         | F    |      |   |                          |

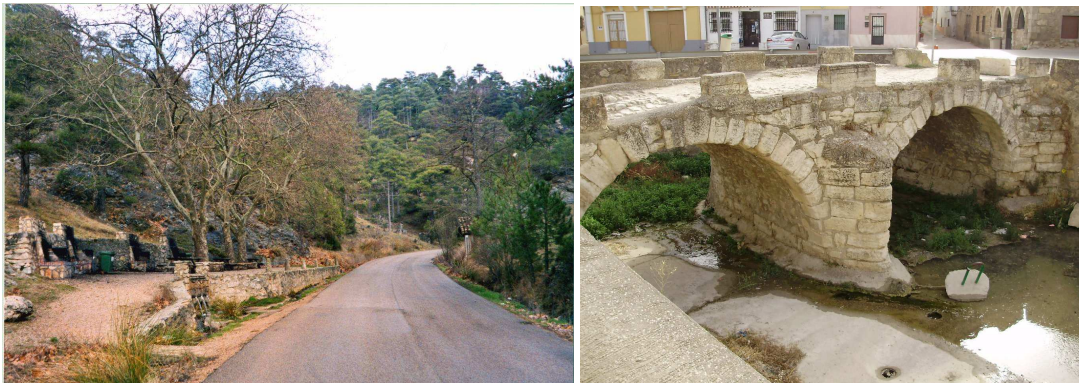
**Tabla 5.-** Puntos de agua en el acuífero cretácico en la zona de estudio **LEYENDA:** Z-cota topográfica, Nat.-naturaleza, P-profundidad, PNP-profundidad de nivel piezométrico.S-sondeo, F-fuente.



**Figura 37.-** Mapa hidrogeológico con la situación de los puntos recogidos en la tabla y las isopiezas estimadas para el estudio.

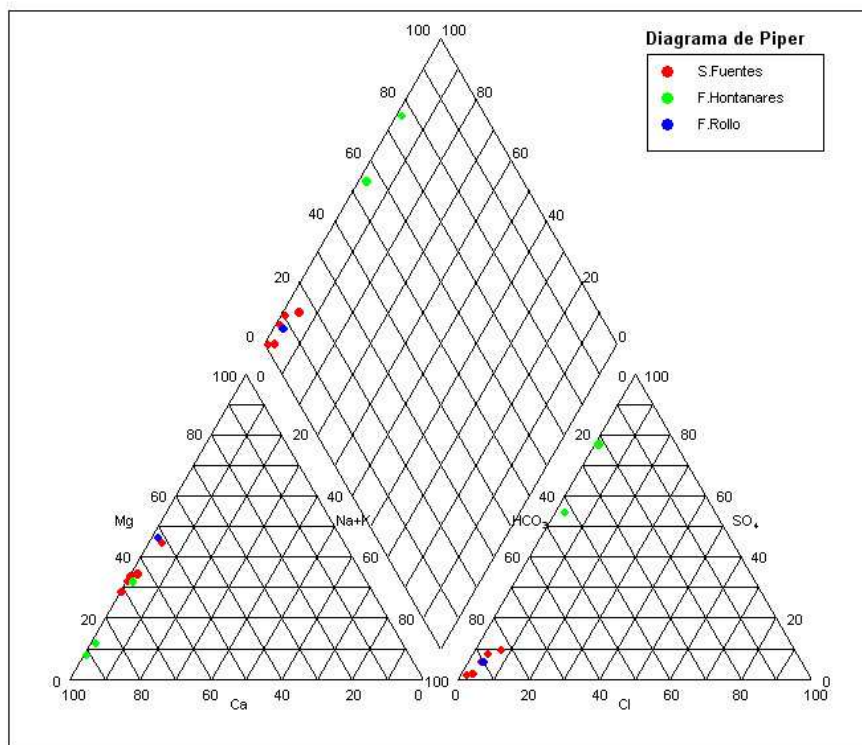
Según la tesis en elaboración de Martínez-Parra, existe una desconexión entre los acuíferos del flanco y los del resto de las formaciones cretácicas de la Serranía. Este hecho se evidencia en el distinto comportamiento entre las captaciones del flanco y Fuente Rollo, que tiene otra cota piezométrica, indicando una desconexión del acuífero del sinclinal de Fuentes del correspondiente a la Sierra de la Pila, al que se asocia dicha fuente.

El sinclinal de Fuentes, con una PNP entre 2007 a 2009 entre 40-50 m, ascendió en época lluviosa a 27-30 m.



**Figura 38.-** Fuente Rollo y nacimiento del río Moscas.

Las facies hidroquímicas asociadas al Sondeo Fuentes que corresponde al acuífero infrayacente (figura 39, tabla 6) muestran un agua bicarbonatada cálcica con contenidos en nitratos del orden de 10 mg/L. Si se compara con Fuente Rollo, que está asociado a otro acuífero carbonatado cretácico, se observa que el quimismo es muy similar, siendo su contenido en nitratos inexistente. Fuente Hontanares está asociada a horizontes más superficiales y temporales en los niveles carbonatados cretácicos; sus aguas son sulfatadas cálcicas, con mayor mineralización.



**Figura 39.-** Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las aguas asociadas a formaciones cretácicas.

|                     | M | Cl | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> | NO <sub>3</sub> | Na | Mg | Ca  | pH   | K | C.E. | Sr  | SiO <sub>2</sub> |
|---------------------|---|----|-----------------|------------------|-----------------|----|----|-----|------|---|------|-----|------------------|
| <i>S.Fuentes</i>    | 4 | 5  | 13              | 251              | 11              | 1  | 20 | 65  | 7,68 | 0 | 466  | 0   | 5,2              |
| <i>F.Hontanares</i> | 2 | 4  | 409             | 216              | 7               | 2  | 12 | 236 | 7,27 | 0 | 926  | 12  | 19,8             |
| <i>F.Rollo</i>      | 1 | 6  | 16              | 287              | 2               | 2  | 30 | 59  | 7,53 | 0 | 578  | 0,5 | 6                |

**Tabla 6.** Características físico-químicas medias de los análisis realizados (M-muestra, C.E.-conductividad eléctrica; datos en mg/L y conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

La presencia de elementos minoritarios es reducida, así el Sr es mínimo en las aguas asociadas a acuíferos profundos, mientras que en F. Hontanares alcanza los 12 mg/L, atribuible a la presencia de materiales yesíferos (tabla 6). Con respecto a los metales, se advierte la presencia mínima de Cu, Zn, Cd y As en el Sondeo Fuentes. Si se consideran los límites establecidos por el RD 140/2003 las concentraciones son mínimas y poco significativas (tabla 7).

|             | Fe   | Mn   | Cu      | Zn                     | Cr | Cd   | Pb | As   | Se | Hg |
|-------------|------|------|---------|------------------------|----|------|----|------|----|----|
|             | mg/L |      |         | $\mu\text{g}/\text{L}$ |    |      |    |      |    |    |
| S.Fuentes   | 0    | 0    | 0,00723 | 11                     | 0  | 0,45 | 0  | 0,16 | 0  | 0  |
| RD 140/2003 | 0,2  | 0,05 | 2       |                        | 50 | 5    | 10 | 10   | 10 | 1  |

**Tabla 7.-** Contenido en Fe, Mn y Cu (mg/L) y el resto de metales ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) en el sondeo Fuentes en agosto de 2010.

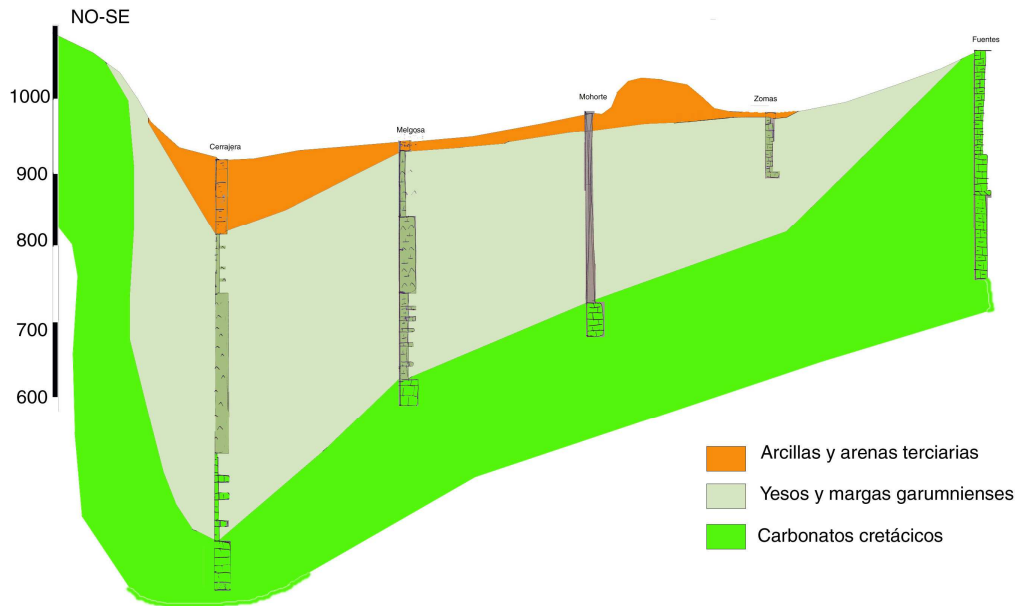
## 7.2. Depósitos detríticos terciarios y cuaternarios

Constituyen el acuífero más utilizado en la zona de Arcas por su facilidad de captación, debido a su proximidad a la superficie. Ocupa una superficie de 70 km<sup>2</sup> y se encuentra entre los relieves de la Serrezuela al O y la Sierra de la Pila al E. En la misma nacen y circulan los ríos Moscas y San Martín, afluente del Júcar. Los depósitos cuaternarios son depósitos de terrazas, glaciares y piedemonte que se desarrollan principalmente en la superficie del Complejo Lagunar del río Moscas, en su margen derecha; a ella se asocian la Fuente Zomas y la Fuente del Colegio de Fuentes.

Hidrogeológicamente son los más vulnerables, ya que buena parte de su superficie aflorante está transformada en campos de cultivo. Litológicamente está constituido por 100 m de areniscas, arcillas y conglomerados y más de 50 m de arcillas rojas del Eoceno inferior a superior. Sin embargo los espesores reconocidos en sondeos no superan los 80-100 m. En la zona de Arcas del Villar la atribución de los sedimentos al Terciario se cuestiona ya que en el Sondeo Villar el Saz de Arcas se atravesaron 12 m de materiales del terciario y el resto una alternancia de margas, calizas y yesos cuya descripción encaja con la facies Garumniense (figura 40). Recientes hallazgos de fósiles de dinosaurios en las obras del AVE en las proximidades de Fuentes así parecen confirmarlo. Al N, en La Melgosa, se atravesaron 13 m de arcillas con arenas y a partir de éstas, las formaciones margo-yesíferas. Así el espesor del Terciario detrítico puede no superar los 100 m y ser muy escaso en algunos extremos de la Depresión.

Sanz (2005) realizó una campaña geofísica de la depresión, definiendo un espesor máximo de 70 m en el entorno de las Zomas, siendo muy brusco el contacto occidental entre el Tránsito Cretácico-Terciario y el terciario detrítico.

Las captaciones de las que se dispone de información se encuentran en el entorno de Arcas del Villar, Villar el Saz de Arcas y Mohorte. Predominan los sondeos de profundidades superiores a 50 m, aunque en la mayoría deben perforar materiales yesíferos infrayacentes. Se han reconocido en San Isidro, con un espesor de 80 m y en el Raso, con un espesor de unos 70 m. Están constituidos por alternancias de areniscas, conglomerados y arcillas, que, conforme se aleja del flanco del anticlinal hacia el N y el centro del sinclinal, incrementa su contenido en yesos (tabla 5).



**Figura 40.-** Corte geológico en el que se observa el espesor escaso de las formaciones terciarias, con un máximo de 90 m hacia el Oeste, así como la marcada asimetría de la fosa (Martínez-Parra, tesis en elaboración).

El funcionamiento acuífero es de tipo multicapa, con formaciones superficiales a las que se encuentran asociadas diversas fuentes (F. Arcas, F. San Isidro, F. Mohorte) y otras más profundas captadas por sondeos de diversas profundidades (S. Arcas del Villar, S. Surgente). La circulación del flujo subterráneo se produce hacia los cauces principales (ríos Moscas y Martín).

Se dispone principalmente de información piezométrica muy dispersa y que capta distintos horizontes acuíferos, en función de la profundidad de la captación; así en la zona de recarga en San Isidro, al S, en la cabecera del río San Martín, el nivel confinado es surgente o a poca profundidad, con cotas piezométricas de 980-995 m s.n.m.; sin embargo los pozos someros presentan también profundidades someras, con cotas piezométricas similares. Hacia el S, en la margen derecha del río San Martín, la cota piezométrica es de 970-975 m s.n.m. Los manantiales asociados a niveles colgados y estacionales presentan caudales bajos entre 0,1-0,2 L/s, excepto la de Mohorte, con 4 L/s que drena al río Moscas. Así se pueden establecer diversas direcciones de flujo, marcadas por los cauces fluviales, siendo el de mayor importancia el del río San Martín, al que confluirán los flujos principales, existiendo circulaciones que alimentan las fuentes que drenan a la cuenca del río Moscas (figura 41).

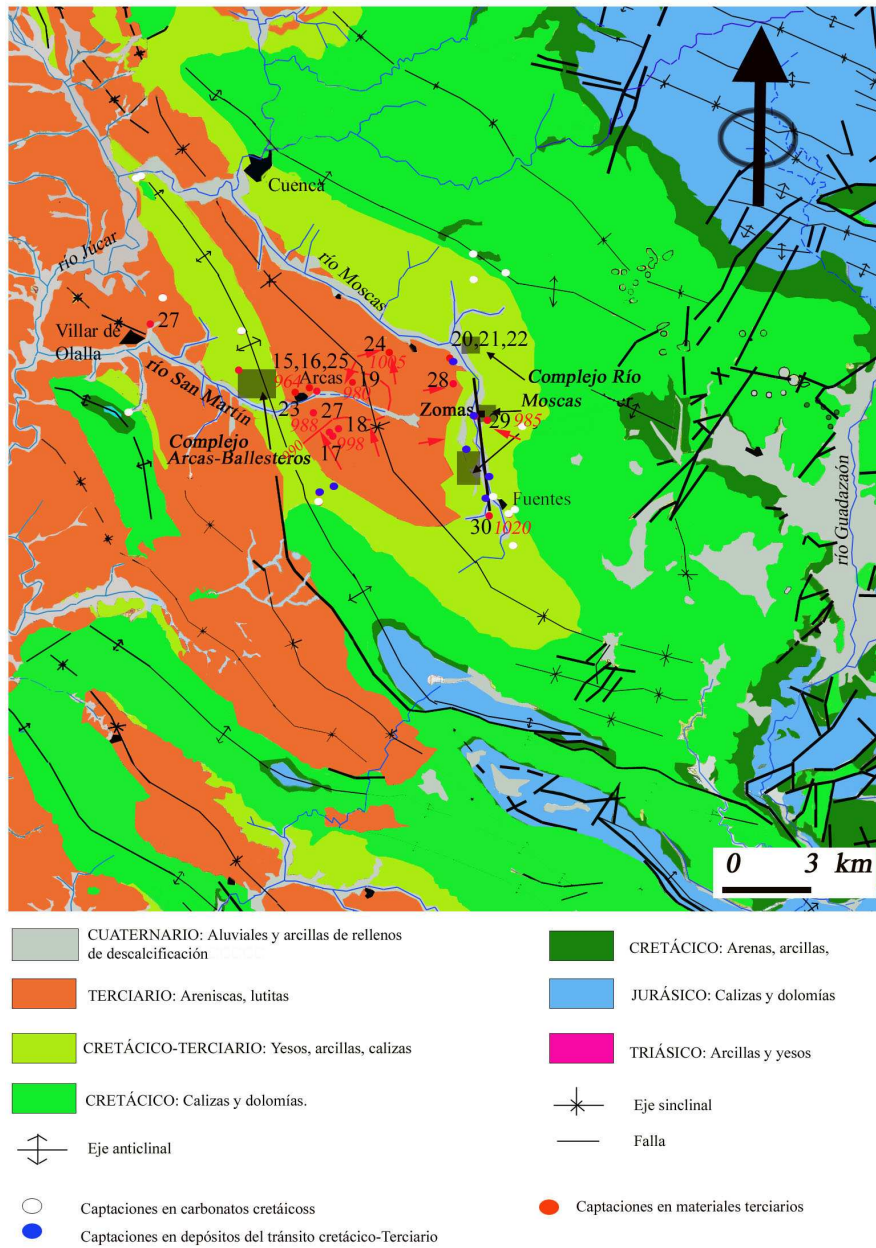
Las variaciones piezométricas interanuales son hemimétricas, acentuándose tras el verano.

|    | Denominación            | Z (m s.n.m.) | Nat. | P (m) | PNP (m)                                     | Q (L/s)                                  |
|----|-------------------------|--------------|------|-------|---|--|
| 15 | S. Raso                 | 980          | S    | 65    | 12,2 (9/03)                                 | 8  |
| 16 | S.Raso II               | 980          | S    |       | 16 (4/10)                                   |  |
| 17 | San Isidro              | 1000         | S    | 100   | 2,1 (11/07)<br>3,08 (10/09)<br>2,02 (4/10)  | 10                                       |
| 18 | S.surgente              | 990          | S    | 77    | 0,5 (12/07)<br>1,47(10/09)<br>0,2 (4/10)    | 0,25                                     |
| 19 | Cañada Molina           | 980          | S    | 85    | Surg, (9/03)                                | 15                                       |
| 20 | S. Mohorte              | 980          | S    | 300   |   |  |
| 21 | S.Mohorte Matadero      | 1000         | S    | 33    | 13,6(9/94)                                  | 4  |
| 22 | P.Mohorte               | 980          | P    | 14    | 6,4(6/94)                                   | 0,2                                      |
| 23 | Fuente Arcas            | 959          | F    | -     |   | 0,1 (11/05)<br>0,3 (4/10)<br>0,28(10/10) |
| 24 | F. Abast. Mohorte       | 1005         | F    | -     |   | 4-5<br>0,2 (10/07)                       |
| 25 | S. Urbanización Cercejo | 980          | S    |       |   |  |
| 26 | Pozo Arcas              | 990          | P    | 6.4   | 3,83 (10/09)<br>1,41 (4/10)                 |  |
| 27 | S. Villar de Olalla 1   | 930          | S    |       |   |  |
| 28 | S.PINASA 1              | 965          | S    | 100   | 3,84 (10/78)<br>4,26 (12/81)<br>4,14 (3/82) |  |
| 29 | F. Zomas                | 985          | F    |       |   | 0,5 (1/10)<br>3 (3/10)<br>1,7 (10/10)    |
| 30 | F.Colegio Fuentes       | 1020         | F    |       |   | 0 (7/09)<br>0,05 (3/10)<br>0 (8/10)      |

**Tabla 8.- Puntos de agua de la zona (LEYENDA: S-sondeo, F-fuente, P-pozo, Z-cota topográfica, nat.-naturaleza, P-profundidad, ne-nivel estático, Q-caudal, inap.-inapreciable, surg.-surgente).**

Las transmisividades calculadas a partir de ensayos de bombeo se encuentran entre 5- 40 m<sup>2</sup>/día. Hacia la población de Fuentes, Sanz (2005) estima una transmisividad entre 180-220 m<sup>2</sup>/día.

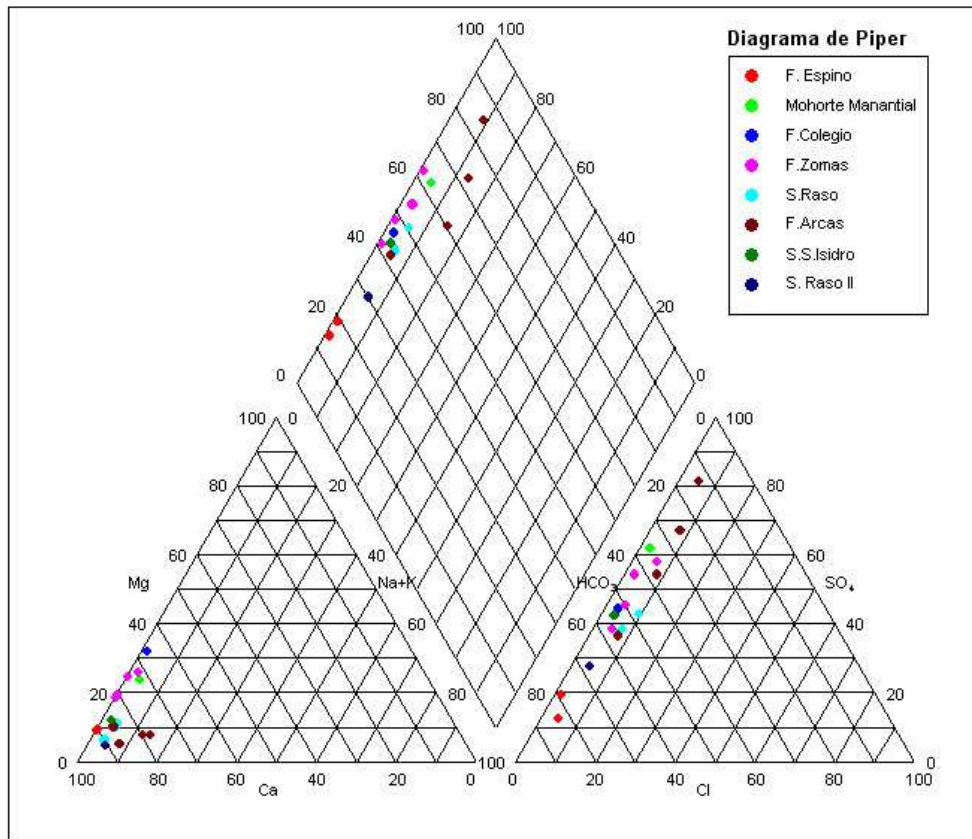
Las facies hidroquímicas, a partir de los análisis químicos realizados, cuyos valores medios se muestran en la tabla 16, reflejan un predominio de la facies bicarbonatada cálcica, tanto asociados a captaciones de escasa profundidad, incrementándose el contenido en las aguas procedentes de las captaciones que afectan a materiales yesíferos como el S. San Isidro. Asimismo, en las zonas cultivadas, el contenido en nitratos es elevado, entre 39-45 mg/L en la Fuente Zomas; también estos materiales son muy vulnerables, muestra de ello es el quimismo de las aguas asociadas a Fuente Pueblo de Arcas, con contenidos muy elevados de nitratos (90-124 mg/L), K (27-38 mg/L) y fosfatos, evidenciando una contaminación asociada a la red de alcantarillado (figura 42, tabla 9).



**Figura 41.** Situación de las captaciones terciarias, según tabla 8. En rojo las cotas piezométricas a inicios del 2004 y las flechas rojas indican circulación de aguas subterráneas. En las fotos inferiores el denominado Sondeo Surgente, en el paraje de la Ermita de San Isidro y a la derecha el sondeo de El Raso. Se puede observar en ambos el agua asociada a la superficie que genera vegetación característica, porque existen diversos horizontes acuíferos.



En el diagrama de Piper-Hill-Langelier (figura 42) se observa una mezcla entre aguas bicarbonatadas cálcicas a aguas sulfatadas cálcicas, pasando por diversas proporciones de mezcla, siendo las aguas de Fuente Espino las de menor influencia de los sulfatos y Fuente Zomas la que presenta más influencia, ello estará asociado a la presencia de la litología que constituye los sedimentos presentes en los depósitos terciarios. La Fuente Arcas se aleja del resto de las muestras por la influencia antrópica.



**Figura 42.-** Diagrama de Piper-Hill-Langelier con la representación de las aguas.

La distribución de los nitratos muestra un contenido notable (29-67 mg/L) excepto en el área de cabecera que corresponde a San Isidro, donde sus contenidos no superan los 10 mg/L.

|                   | m | Cl | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> | NO <sub>3</sub> | Na | Mg | Ca  | K  | SiO <sub>2</sub> | Sr  | pH   | CE   |
|-------------------|---|----|-----------------|------------------|-----------------|----|----|-----|----|------------------|-----|------|------|
| Espino            | 2 | 3  | 35              | 212              | 18              | 0  | 5  | 89  | 0  | 8                | 4   | 7,57 | 453  |
| mohorte_manantial | 1 | 3  | 140             | 101              | 12              | 4  | 14 | 77  | 0  | 12,4             |     | 7,8  | 407  |
| F.colegio fuentes | 1 | 6  | 142             | 209              | 9               | 2  | 26 | 96  | 0  | 8,1              | 1   | 7,6  | 637  |
| F. zomas          | 4 | 6  | 107             | 131              | 42              | 1  | 14 | 87  | 0  | 10               | 3,4 | 7,62 | 554  |
| s.raso            | 3 | 12 | 93              | 153              | 43              | 5  | 5  | 101 | 0  | 12               | 1,9 | 7,62 | 549  |
| F.Arcas           | 4 | 23 | 375             | 183              | 91              | 14 | 9  | 230 | 26 | 12               | 2   | 7,64 | 1101 |
| Arcas-2           | 1 | 8  | 186             | 297              | 7               | 4  | 12 | 162 | 1  | 12,6             |     | 7,4  | 687  |
| s.arcas_nuevo     | 1 | 6  | 60              | 182              | 28              | 5  | 2  | 94  | 0  | 12,7             | 1,3 | 7,6  | 465  |

**Tabla 9.-** Características físico-químicas medias de los análisis realizados. Leyenda: m-nº de muestras, concentraciones en mg/L, conductividad en µS/cm.

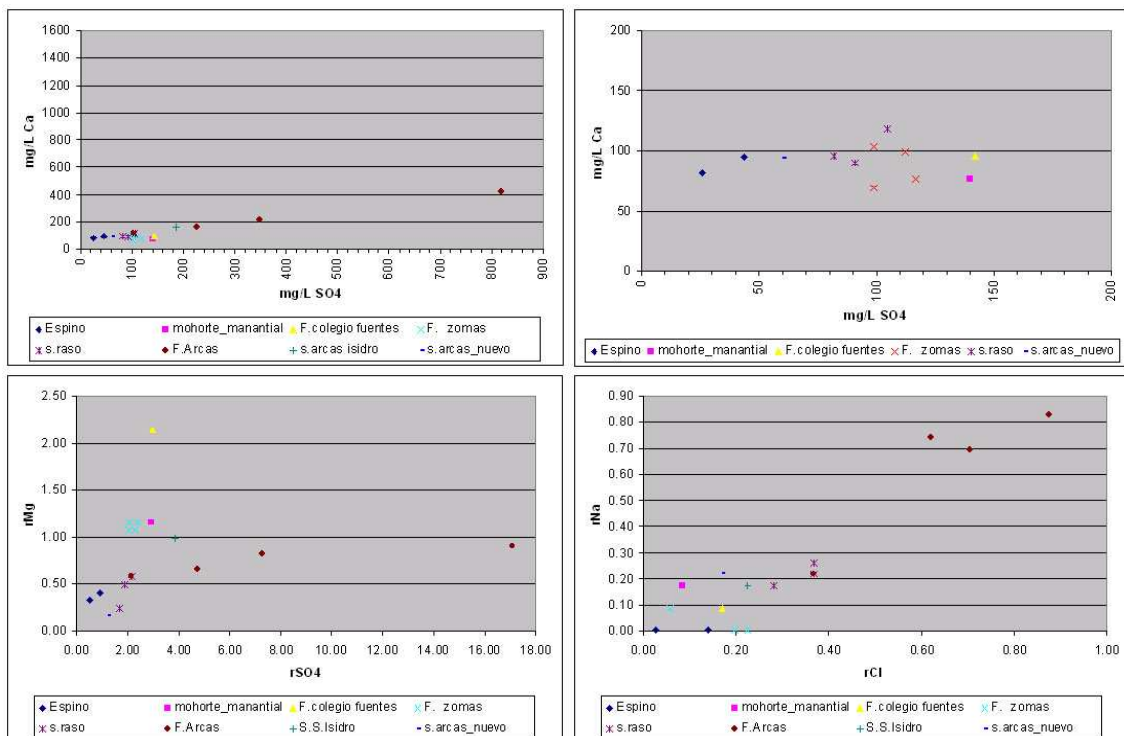
Atendiendo a la tabla 9, se observa la variación del contenido de todos los iones entre los puntos muestreados, así los sulfatos se encuentran entre 35-375 mg/L, el Mg entre 2-26 mg/L, el Ca entre 77-230 mg/L, el bicarbonato entre 131-297 mg/L. La influencia antrópica resulta evidente con contenidos en nitratos entre 7-91 mg/L, aunque se pueden agrupar aguas con un contenido entre 7-18 mg/L correspondiente a puntos con menor influencia y otros como S. Raso, F. Zomas o F.Arcas con contenidos que superan los 40 mg/L.

Tras un tratamiento estadístico se observa (tabla 10) que los coeficientes de variación son superiores al 80 % en sulfatos en F. Arcas y al 40 % en nitratos, Na, K. En el S. Raso, que recoge aguas de circulación más regional, el coeficiente de variación (CV) del cloruro es inferior al de las fuentes, y las variaciones de su contenido iónico no superan el 40 %. Fuente Arcas, con variaciones muy acentuadas, incluso en la conductividad (55 %) manifiesta una influencia diferente a la de las otras captaciones.

| CV       | m | Cl    | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> | NO <sub>3</sub> | Na    | Mg    | Ca    | K     | SiO <sub>2</sub> | Sr    | pH    | CE    |
|----------|---|-------|-----------------|------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| F. zomas | 4 | 0,451 | 0,086           | 0,334            | 0,059           | 2,000 | 0,043 | 0,190 |       | 0,137            | 0,19  | 0,016 | 0,007 |
| S.Raso   | 3 | 0,144 | 0,125           | 0,209            | 0,149           | 0,200 | 0,390 | 0,145 | 1,732 | 0,269            | 0,149 | 0,020 | 0,073 |
| F.Arcas  | 4 | 0,330 | 0,834           | 0,095            | 0,471           | 0,442 | 0,203 | 0,587 | 0,667 | 0,20             | 0,268 | 0,027 | 0,551 |

**Tabla 10.-** Coeficientes de variación (en %) de los análisis realizados para cada captación.

En las relaciones iónicas SO<sub>4</sub>/rCa muestra una relación lineal para F. Zomas que no presentan el resto de puntos muestreados; no se aprecia relación rHCO<sub>3</sub>/rCa o rSO<sub>4</sub>/rMg, resultando significativo la inexistencia de relación lineal rCl/rNa, que indica una multiplicidad de influencias en el quimismo de las aguas, tanto de origen natural (litología, pluviometría) como antrópico (Figura 43).



**Figura 43.-** Relación iónica en mg/L de los SO<sub>4</sub> y Ca, en meq/L de rSO<sub>4</sub>/rMg y rCl/rNa.

Con respecto a los metales, se han analizado en Fuente Zomas y Sondeo Raso, en agosto de 2010, presentando (tabla 11) contenidos en la primera, de circulación más superficial, en Cu, Zn, Cr, As y Se. En el sondeo Raso se presentan mayores contenidos, tanto en Cu, Pb, As, entre 7 y 10 veces más, así como la presencia de Fe y Mn. En relación con el RD 140/2003 en el sondeo Raso la presencia de Fe supera en 100 veces, superándolo también el contenido en Cu y estando próximo al límite, aunque no lo supera, en el caso del As. Estos anómalos contenidos pueden estar causados por un deterioro de la entubación, aunque sería preciso disponer de más datos para evaluar si se trata de algo puntual o extendido en tiempo y espacio en el acuífero terciario.

La temperatura de las aguas muestra variaciones asociadas a la climatología, con temperaturas bajas en invierno (inferiores a 10 °C) y elevadas en verano (21,5°C). Con respecto a la diferencia sondeo (aguas más profundas)/ fuentes (aguas superficiales) las temperaturas de los primeros son más estables, así el S. Raso oscila menos de 1°C.

| Muestra           | Fe    | Mn   | Cu   | Zn   | Cr   | Cd   | Pb  | As   | Se   | Hg | Temp |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|------|----|------|
| F.colegio fuentes | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -    | -    | -  | 9    |
| F. zomas          | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -    | -    | -  | 8,3  |
| F. zomas          | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -    | -    | -  | 11,7 |
| F. zomas          | 0     | 0    | 0,32 | 2,48 | 0,23 | 0,46 | 0   | 0,47 | 0,8  | 0  | 17,8 |
| F. zomas          | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -    | -    | -  | 14,4 |
| s.raso            | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -    | -    | -  | 14,8 |
| s.raso            | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -    | -    | -  | 15,3 |
| s.raso            | 19890 | 31,8 | 2,21 | 20,0 | 0,07 | 0,0  | 1,5 | 7,67 | 0,51 | 0  | 15,7 |
| F.Arcas           | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -    | -    | -  | 14,8 |
| F.Arcas           | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -    | -    | -  | 21,5 |
| F.Arcas           | -     | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -    | -    | -  | 17,3 |
| RD 140/2003       | 200   | 50   | 2    |      | 50   | 5    | 10  | 10   | 10   | 1  |      |

Tabla 11.- Contenido en metales ( $\mu\text{g/L}$ ) y la temperatura en  $^{\circ}\text{C}$  (-) sin determinación.

### 7.3. Acuífero carbonatado- yesífero del Tránsito

#### 7.3.1. Generalidades del acuífero

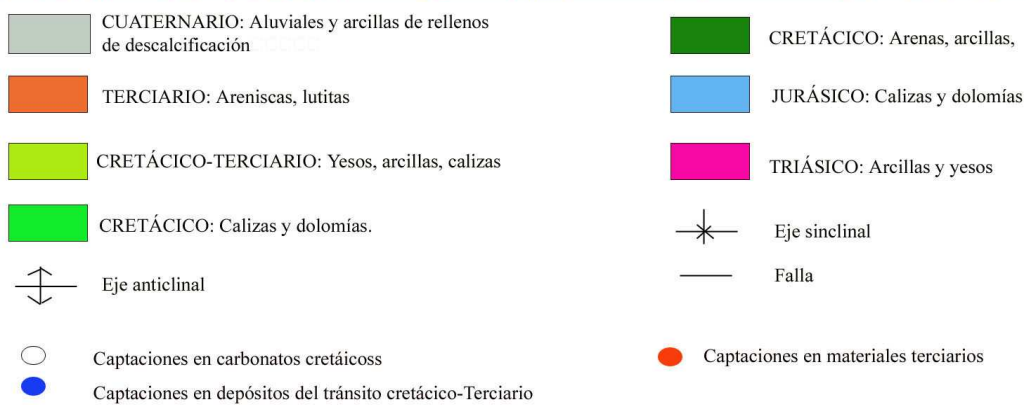
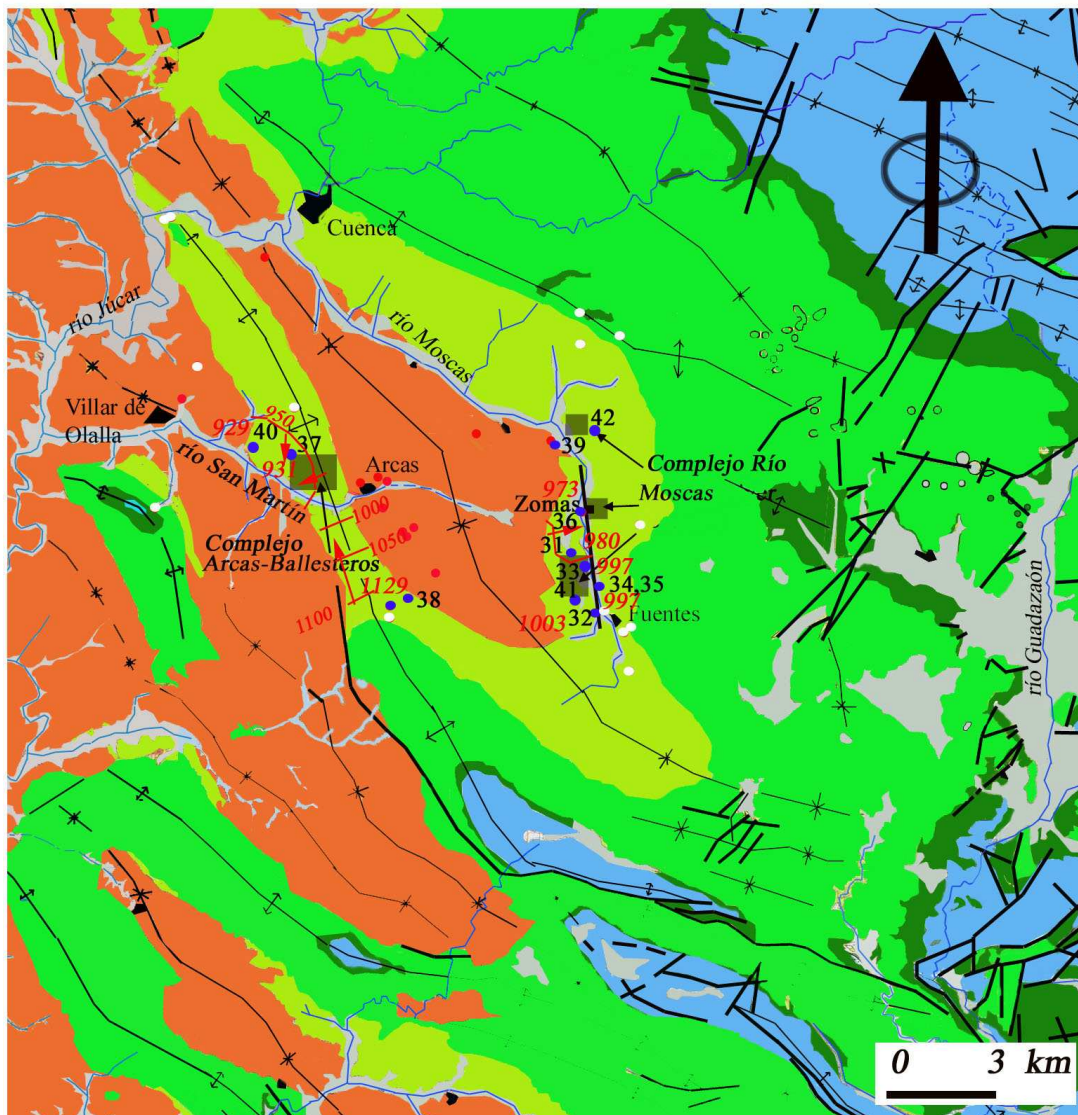
Está constituido por las formaciones calizas, margosas y yesíferas del tránsito Cretácico-Terciario (Maastrichtiense), denominada también Facies Garumniense, con un espesor en el centro del sinclinal que supera los 400 m. Estos materiales están en pleno proceso de karstificación, como se ha descrito en el apartado de geomorfología, adquiriendo una gran importancia su desarrollo en los flancos aflorantes; así el Complejo Lagunar del río Moscas se desarrolla en el flanco oriental del sinclinal de Fuentes y el Complejo Lagunar de Ballesteros en la conexión con el eje anticlinal en el flanco occidental.

En detalle, estos materiales del tránsito se han investigado escasamente, geológica e hidrogeológicamente. Se disponen de sondeos de investigación hidrogeológica en el Complejo Lagunar de Ballesteros, pero no en el área del Complejo Lagunar del río Moscas. A grandes rasgos se diferencian como formaciones acuíferas dos horizontes acuíferos: el superior, de 8-10 m de espesor, de naturaleza margoyesífera y otro subyacente, de margas yesíferas, horizontes calizos, yesos masivos e interestratificados al que se encuentra asociado el karst interestratificado. Ambos horizontes se encuentran separados por unos 30 m, en la zona de Ballesteros, de una alternancia margocaliza con presencia de yeso pero que no se ha descrito con presencia de agua; sin embargo, también debe encontrarse fracturado y permite la conexión puntual entre ambas formaciones acuíferas (figura 23).

El acuífero margoyesífero superior es de escasa permeabilidad, asociado a los horizontes yesíferos que ejercen de acuífero, recogiendo las aguas de escorrentía de las estaciones húmedas y de los arroyos temporales próximos y retrasando su percolación inferior. Forma la superficie de ambos complejos lagunares.

El acuífero yesífero inferior, de naturaleza confinada o semiconfinada, se capta en el sondeo Arcas-2, con una transmisividad de  $80 \text{ m}^2/\text{día}$  y una permeabilidad horizontal estimada de  $3,6 \text{ m}/\text{día}$  (Martínez, 2003).

En general, para ambos acuíferos se disponen de escasos datos piezométricos (figura 44, tabla 12), aunque sí que se aprecia una evidente circulación de las captaciones de aguas someras hacia los cauces fluviales de los ríos San Martín y Moscas. Existe, a su vez, una diferencia de cota piezométrica y de gradiente, siendo éste más acusado en la zona de Arcas, con cotas más bajas y más inclinadas que en la zona del río Moscas.



**Figura 44.-** Situación de los puntos de agua asociados a los acuíferos del Tránsito Cretácico-Terciario. En rojo las cotas piezométricas y con las flechas se indican las posibles direcciones de flujo, considerando una circulación preferencial hacia las zonas de las lagunas. Numeración procedente de la tabla 12.

Por tanto, entre ambos complejos lagunares no existe conexión hídrica, definiéndose dos funcionamientos independientes asociados a los cursos fluviales existentes: el complejo de Ballesteros al río San Martín, mientras que el Complejo Lagunar del río Moscas a ese mismo curso fluvial. La diferencia de cotas piezométricas entre los complejos lagunares de ambos flancos es notable, así el área de Arcas oscila entre 940-915 m s.n.m. mientras que en el Complejo Lagunar de Fuentes se halla más elevado, entre 970-980 m s.n.m, entre 30-40 m por encima de la cota, hecho que también se produce con las captaciones de aguas subterráneas.

**Tabla 12.-** Inventario de puntos de agua asociados a calizas y yesos del Tránsito Cretácico-Terciario. (Leyenda: Z-cota piezométrica en m s.n.m.; P- profundidad en m; PNP-profundidad del nivel piezométrico en m; Q-caudal en L/s). La numeración de la columna A permite situar los puntos en la figura 44.

| A  | Denominación             | Z    | P    | PNP   | Q                     | ACUÍFERO |
|----|--------------------------|------|------|---|-----------------------|----------|
| 31 | Pozo Dimas               | 985  | 6,25 | 4,25(10/09)<br>4,86(8/10)                   |                       | Superior |
| 32 | Fuentes-1                | 1005 | 19   | 1,89 (3/10)                                 |                       | Inferior |
| 33 | S.Moreno                 | 1000 | 70   | 3,25 (10/09)<br>2,9 (3/10)                  |                       | Inferior |
| 34 | S. Entrada Fuentes       | 1005 |      |   |                       | Inferior |
|    | F.Hontezuela             | 975  |      | Humedad (10/09)                             |                       | Superior |
| 35 | S. Entrada Fuentes 2     | 1004 |      | 7,65 (4/10)<br>9,14(8/10)                   |                       | Superior |
| 36 | Pozo Zomas               | 975  |      | 0,3 (4/10)<br>2,74(8/10)                    |                       | Superior |
| 37 | S. Arcas II              | 940  | 74   | 9,57 (3/03)<br>8,74 (3/10)<br>9,35(8/10)    |                       | Inferior |
| 38 | S.Villar el saz          | 1130 | 180  | 2,1 (9/02)<br>0,05 (3/03)<br>1,7 (3/10)     | 2,7                   | Inferior |
| 39 | S.Fabrica PINASA         | 965  | 300  |   |                       |          |
| 40 | S.Ballesteros            | 940  |      | 10,45 (10/09)<br>9,13(4/10)<br>10,68 (8/10) |                       |          |
| 41 | Surgencia dolina Tamariz | 1000 |      |   | 0,5(3/10)<br>0(10/10) | Superior |
| 42 | Sondeo Lagunas Mohorte   | 980  |      | 18 (12/10)                                  |                       | Inferior |

Las fracturas a las que se asocian las lagunas y por las que asciende el agua de la formación inferior, permiten una conexión hidráulica entre ambas formaciones acuíferas, así existe una circulación local hacia el cauce del río San Martín, propia del acuífero superficial, y otra profunda hacia el río Júcar y el contacto con la Depresión Intermedia. Con respecto a la primera circulación, en julio de 2009 y marzo de 2010 el río San Martín gana, tras su paso por la zona de las lagunas, un caudal de 60 y 75 L/s respectivamente, proveniente de una circulación difusa y del drenaje de la laguna de Barraganes, con un caudal en verano de 2009 de 15 L/s y en invierno de 2010 de 40 L/s, estimándose una aportación anual de 2,3 hm<sup>3</sup>.

En el caso del Complejo Lagunar del río Moscas parece jugar un papel hidrogeológico muy importante la relación con el acuífero carbonatado cretácico de la Serranía de Cuenca; así el nacimiento de las aguas del río Moscas en la población de Fuentes, asociado al lecho carbonatado, indica una cota de nivel piezométrico impuesta a las lagunas, y una posible conexión mecánica entre el acuífero carbonatado cretácico y las formaciones acuíferas maastrichtenses, como afirma Del Pozo (1976) y Martínez-Parra (2009). El río puede indicar la zona de contacto, ya que a lo largo de la misma se producen borbotones temporales de agua subterránea. Asimismo, en el valle del río Moscas parece definirse una subsidencia tal vez relacionada con la disolución de los materiales yesíferos del tránsito Cretácico-Terciario.

La PNP del acuífero inferior, medido en el sondeo Arcas-2, presenta oscilaciones hemimétricas a métricas; en abril de 2010, en un año climatológicamente húmedo, se produjo un ascenso de 1,98 m con respecto a marzo de 2009 y entre abril y agosto de 2010 descendió 0,61 m.

Con respecto a las lagunas, Camacho (1997) describió que la laguna 10b, sin drenajes, osciló entre 1989 a 1991 un máximo de 0,12 m. Las lagunas L5 y L4 entre julio de 2009 y enero de 2010 elevan su lámina de agua en torno a 0,5 m, alcanzando en marzo de 2010 cerca de 0.8 m de elevación. La laguna L5 pasa de ocupar una superficie en verano de 1200 m<sup>2</sup> a 5700 m<sup>2</sup> en invierno (un 21 % más), incrementándose el radio de superficie húmeda 26 m; en el caso de L4 el incremento es de 1700 m<sup>2</sup> a 4300 m<sup>2</sup> y un avance de 20 m (un 39 % más) (figura 45). Así se observa un comportamiento distinto entre las lagunas mencionadas.

En el valle del río Moscas también se incrementan los caudales de drenaje de las lagunas hacia el río; así la conexión entre Corba-2 y Corba-1 muestra un incremento, entre verano de 2009 e invierno de 2010, de 6 veces más, pasando de 27 L/s a 121 L/s y un descenso en otoño de 2010 a la mitad, a 67 L/s.



**Figura 45.-** Aspecto de la laguna L4 en julio de 2009 y enero de 2010. Obsérvese como desaparece la playa de fango calizo, cubierta de una lámina de agua.



**Figura 46.-** Evolución de la lámina de agua en laguna Negra, en a) julio de 2009, b) enero de 2010, c) marzo de 2010.

La oscilación del nivel de las lagunas resulta muy evidente en las temporales; así la laguna negra, que a principios del siglo XX presentaba una escasa lámina de agua, ha mostrado desde junio de 2009 a marzo de 2010 un ascenso de 3 m (figura 46).

La laguna de Corba-4 o Corba-nueva presentaba una profundidad de nivel piezométrico en julio de 2009 de 0.8 m, ascendiendo en marzo de 2010 a 0.5 m y descendiendo en octubre de 2010 a 1,38 m. Por tanto pueden mostrar variaciones que estarán asociadas al grado de conexión con el acuífero inferior. La alimentación de las lagunas, por tanto, proviene del aporte subterráneo del acuífero inferior y del superior; aunque éste último se alimenta de la infiltración de la lluvia, de la escorrentía subsuperficial que aprovecha la suave pendiente, de recoger el agua que procede de los cauces intermitentes de agua y que le aportan caudales estimados de 2-3 L/s y que se incorporan hacia las zonas húmedas y encharcadas, favorecidas a su vez por la escasa permeabilidad de estos materiales margoyesíferos. En las lagunas, la conexión con el acuífero inferior no tendrá porque ser común y en el mismo grado, ya que dependerá de su génesis formacional; las dolinas de colapso con mayores profundidades y el grado de fracturación definirán la conexión hidráulica y si su alimentación inferior se encuentra restringida (figura 47).

El grado de conexión, como se mencionó en el apartado de geomorfología, está condicionado por otros factores, como son fracturas y fallas existentes, que se definen tanto en el Complejo Lagunar de Ballesteros, una zona distensiva que corresponde a una charnela de anticlinal, como al Complejo Lagunar del río Moscas, donde los relieves parecen indicar una fracturación que ha favorecido el hundimiento del valle con respecto al entorno y que constituyen una vía de circulación preferencial, facilitando la salida de las aguas asociadas a los materiales yesíferos y carbonatados.

De las lagunas permanentes se derivan canales de desagüe, así desde Ojos de Corba 2 a Ojos de Corba 1, situada a una cota algo inferior, circulan en julio de 2009, 27 L/s; incorporándose un caudal similar hacia el río Moscas. También circulan caudales de esos órdenes procedentes de la laguna de la Atalaya e inferiores de la laguna de Las Zomas. Las variaciones de nivel estacional, en la zona de Fuentes puede ser de hasta 5 m, llegando a secarse alguna laguna (Sanz, 2005). Esta surgencia indica una conexión continua con el acuífero yesífero inferior, que alimenta a las lagunas de manera continuada, descargando hacia los cauces, favorecido por los drenes excavados.



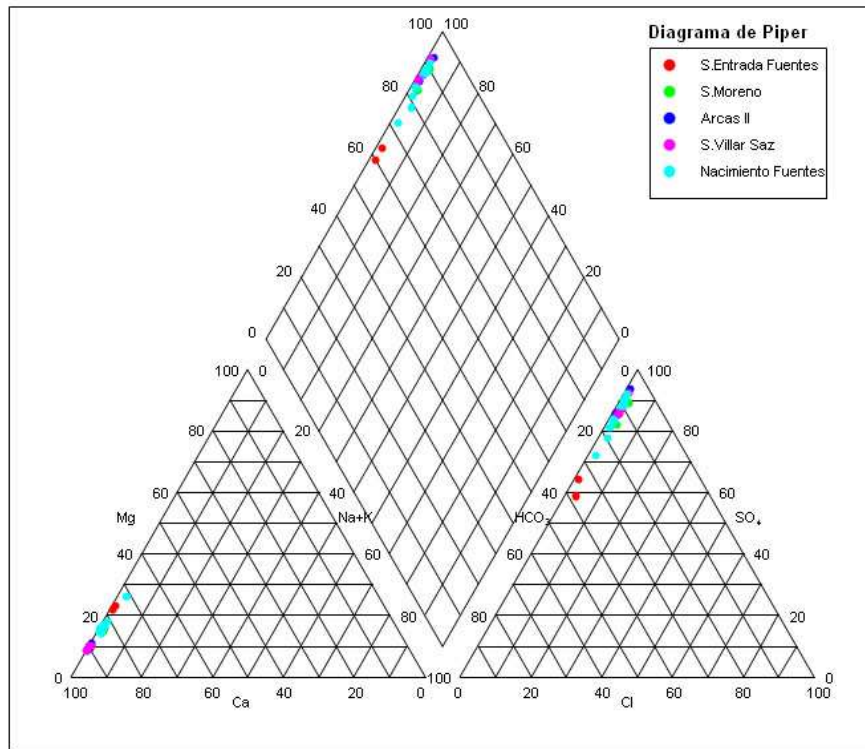
**Figura 47.-** Evolución de la lámina de agua en julio de 2009, enero y marzo de 2010 en Corba-4.

### **7.3.2. Hidroquímica del acuífero inferior en captaciones**

Hidroquímicamente las aguas son sulfatadas cálcicas (figura 48), aunque existe una variabilidad en el contenido de los sulfatos para las captaciones asociadas a dichos acuíferos. Así la facies es similar en los sondeos de Arcas II, S. Moreno y Villar el Saz, sulfatada cálcica con una mineralización elevada, entre 1500-3200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un contenido en sulfatos entre 750-1360 mg/L; sin embargo las aguas del Sondeo Entrada Fuentes y del nacimiento del río Moscas presentan una menor mineralización y en el segundo caso, una gran variabilidad, lo que podría indicar una variación en su alimentación al recibir agua procedente del



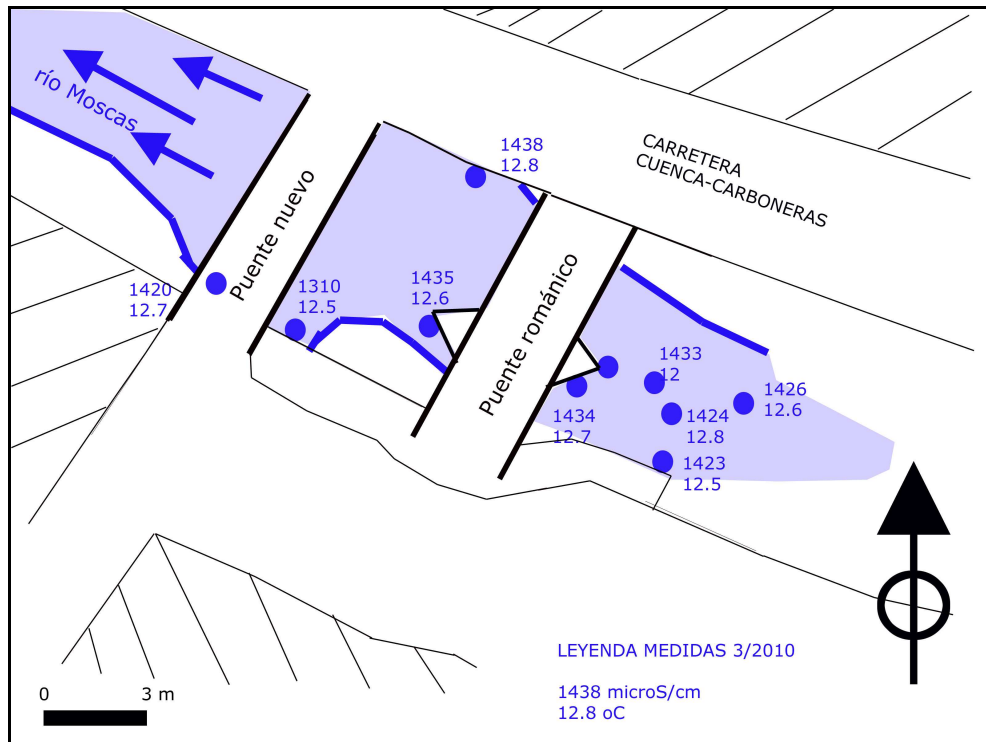
acuífero cretácico en distintas proporciones (tabla 13). En marzo de 2010 se determinó la conductividad de los diversos puntos de nacimiento en el lecho del río Moscas (figura 49) y no se observaron notables variaciones de conductividad ni temperatura, por lo que la variación es de carácter temporal y no espacial.



**Figura 48.-** Diagrama de Piper-Hill-Langelier con la representación de las concentraciones medias de las captaciones, con excepción del nacimiento de Fuentes.

|                        | m | DQO | CL | SO4  | HCO3 | NO3 | Na | Mg | Ca  | K   | pH   | Conductividad |
|------------------------|---|-----|----|------|------|-----|----|----|-----|-----|------|---------------|
| S. Entrada Fuentes     | 2 | 0,6 | 5  | 300  | 221  | 20  | 2  | 28 | 170 | 0,0 | 7,33 | 884           |
| S. Moreno              | 2 | 0,6 | 21 | 1012 | 168  | 118 | 7  | 46 | 465 | 3,5 | 7,33 | 2148          |
| Sondeo Arcas II        | 2 | 0,5 | 6  | 1440 | 185  | 16  | 3  | 34 | 605 | 2,0 | 7,40 | 3129          |
| Villar el Saz de Arcas | 4 | 0,4 | 8  | 965  | 149  | 45  | 1  | 23 | 442 | 0,0 | 7,32 | 2061          |
| Nacimiento Fuentes     | 9 | 0,6 | 6  | 836  | 148  | 24  | 3  | 38 | 357 | 1,2 | 7,33 | 1531          |

**Tabla 13.-** Concentraciones y características físico-químicas medias de las aguas asociadas a los depósitos margo-yesíferos del Transito (m- n° de muestras, contenidos en mg/L; conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).



**Figura 49.-** Determinaciones de conductividad y temperatura en las diferentes surgencias del río Moscas, en marzo de 2010.

Asimismo, este acuífero es muy sensible a la influencia antrópica, presentando notables concentraciones en nitratos, superiores a 20 mg/L en la mayoría de los casos y que puede incrementarse puntualmente por las redes de saneamiento y/o a través de las captaciones, como puede ocurrir en el caso del sondeo Moreno, situado en Fuentes y correspondiente a una explotación agropecuaria, cuyas aguas presentan elevados contenido en Cl y NO<sub>3</sub>.

Las suaves pendientes asociadas a estos materiales han favorecido la implantación de campo de cultivo de secano, que pueden influir en el quimismo de las aguas, aunque la baja permeabilidad de las margas y arcillas superiores podría indicar lo contrario, así en el sondeo de Villar el Saz de Arcas los contenidos en nitratos están próximos a 50 mg/L. Sin embargo en el área de estudio, cuyas prácticas agrarias están condicionadas a causa de su declaración de Reserva natural, su concentración es inferior a 20 mg/L. (tabla 13)

Los contenidos en metales pesados se han determinado en el sondeo Entrada Fuentes y en los nacimientos, mostrando presencia de Fe, Zn y Se en µg/L y en ínfimas cantidades la presencia de Mn, Cu, Cr, Cd y As (Tabla 14). Dichas cantidades no son significativas al ser inferiores a los límites establecidos por el RD 140/2003.

| F_Toma      | Muestra            | SiO2 | Temp | Fe   | Mn   | Cu   | Zn   | Cr   | Cd   | Pb | As   | Se   | Hg | F    |
|-------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|----|------|
| 08-12-10    | Nacimiento Fuentes | 9,8  | 12,5 | 45,9 | 0    | 0,8  | 2,74 | 0,08 | 0,42 | 0  | 0,74 | 1,01 | 0  | 0    |
| 08-12-10    | S.Entrada Fuentes  | 9,3  |      | 61,4 | 0,96 | 0,72 | 6,06 | 0    | 0,43 | 0  | 0,45 | 0,63 | 0  | 0    |
| RD 140/2003 |                    |      |      | 200  | 50   | 2    |      | 50   | 5    | 10 | 10   | 10   | 1  | 1500 |

**Tabla 14.-** Contenido en metales (µg/L), sílice (mg/L), temperatura (oC) y fluoruros (µg/L).

### 7.3.3. Características hidroquímicas del Complejo Lagunar de Ballesteros

Las aguas de las lagunas presentan un predominio de los iones SO<sub>4</sub>-Ca, aunque el contenido en los componentes mayoritarios es muy variable para las lagunas (tabla 15, figura 50).

Según los perfiles físico-químicos realizados por Armengol (1997) en mayo y octubre de 1996, no se observa estratificación térmica en las lagunas de L1, L2, L6 (Barraganes-1), L7, L17 y L31 y sí se define

una clara estratificación en las lagunas de L3, L4, L5, L8 y L9, no quedando definido claramente con las lagunas L10 y L11. Camacho (1997) observó en la laguna L9 que la estratificación térmica es estival, entre los meses de junio a octubre entre una profundidad de 4 a 5 m, con diferencias máximas de 17°C (Rodrigo, 1997), mezclándose las aguas entre octubre a marzo.

La conductividad de las aguas de las lagunas se encuentran entre 2220-5124  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , correspondiendo las de mayor mineralización a las lagunas L4 y L5 y en menor medida L1, L2, L18 en la zona central; sin embargo a los extremos la conductividad es menor de 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Curiosamente en L6, L7 la conductividad es más baja y sin embargo, una más superficial, como es L40, situada a escasos metros de L6, y de carácter temporal, presenta una mayor mineralización. Su mineralización es algo superior a la de los sondeos que captan las aguas del acuífero inferior.

Las aguas superficiales del río San Martín, a su paso por el Complejo Lagunar, muestran aguas con predominio de  $\text{SO}_4\text{-Ca}$  y quimismo similar a las lagunas, diferenciándose en el contenido en  $\text{NO}_3$ , más elevado, a causa del drenaje de los depósitos terciarios detríticos por los que circula en cabecera; ello parece confirmarse con el quimismo de las aguas del arroyo septentrional, que drena los depósitos detríticos terciarios orientales y su contenido es de 40 mg/L.

La composición fisico-química de las aguas (figuras 50, 51 y 52) de las lagunas permite establecer cuatro grupos de aguas y de funcionamiento hidrodinámico distinto:

-*Grupo A*: Formado por L3, L6, L7, L17, en la zona central del complejo. Presentan menores contenidos iónicos en  $\text{SO}_4$ , Na, Cl, Mg, K,  $\text{SiO}_2$ , Sr y menor conductividad. Su quimismo es el más parecido al del acuífero yesífero maastrichtiense.

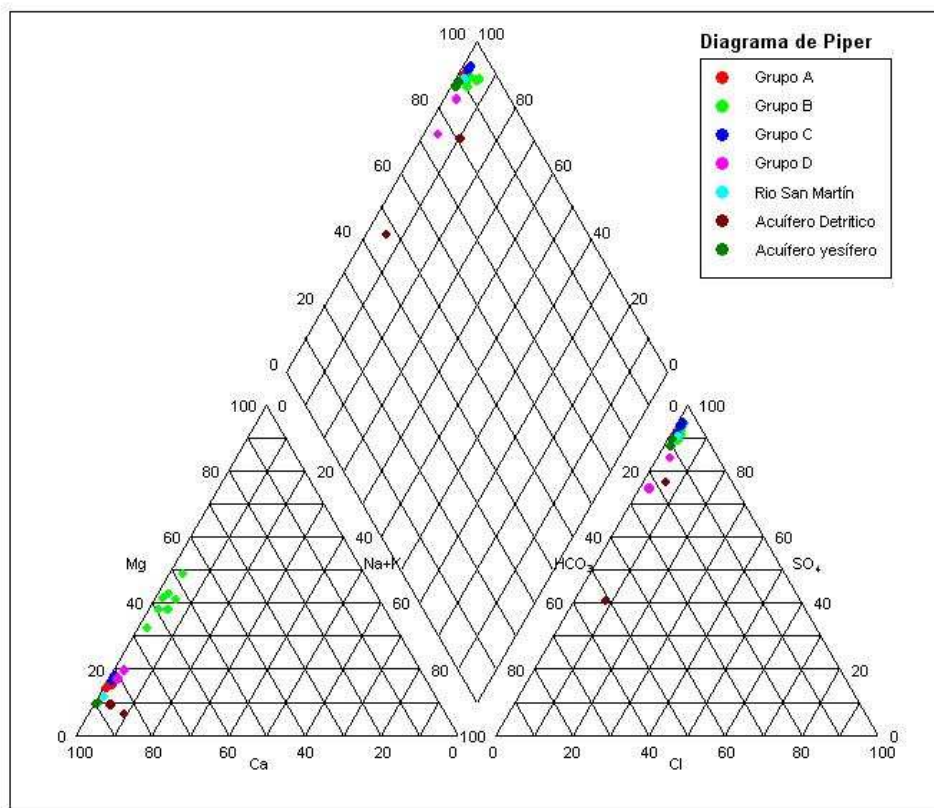
-*Grupo B*: Constituido por las lagunas de L1, L4, L5, L16, L18, L31 y L40, en la zona septentrional a central del complejo. Su contenido en Mg,  $\text{SO}_4$ , K F, Sr,  $\text{SiO}_2$  es más elevado que en el resto de grupos, al igual que su mineralización.

-*Grupo C*: Incluye las lagunas L8, L9, L10, L11, L13, situadas en la mitad SE del complejo y que muestran características fisico-químicas intermedias entre los grupos A y B.

-*Grupo D*: Corresponden a aguas superficiales en lagunas de carácter temporal (L37 y L22). Su quimismo es parecido a los cursos superficiales, con mineralización y contenidos iónicos más bajos.

| Grupo | Denominación      | m  | Cl | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> | NO <sub>3</sub> | Na  | Mg  | Ca  | K    | SiO <sub>2</sub> | Sr   | pH   | CE   |
|-------|-------------------|----|----|-----------------|------------------|-----------------|-----|-----|-----|------|------------------|------|------|------|
| A     | L6 (Barraganes-1) | 13 | 7  | 1610            | 138              | 18              | 5   | 64  | 639 | 1,5  | 12,8             | 17,4 | 7,35 | 3208 |
|       | L7                | 4  | 8  | 1687            | 177              | 8               | 6   | 70  | 684 | 5    | 14,6             | 19,7 | 7,48 | 3078 |
|       | L3                | 3  | 7  | 1667            | 157              | 14              | 7   | 81  | 636 | 1    | 13,6             | 24,1 | 7,44 | 3077 |
|       | L17               | 9  | 6  | 1548            | 157              | 11              | 4   | 55  | 634 | 1    | 11,2             | 16,9 | 7,40 | 3188 |
| B     | L5                | 6  | 21 | 2636            | 150              | 3,7             | 18  | 271 | 727 | 7,7  | 16,4             | 32   | 7,54 | 4469 |
|       | L4(Arcas-4)       | 14 | 25 | 2814            | 137              | 3               | 24  | 314 | 723 | 8,7  | 25,6             | 38,5 | 7,52 | 5014 |
|       | L1                | 4  | 45 | 2720            | 302              | 4               | 29  | 485 | 615 | 20   | 75,3             | 25,4 | 7,5  | 4753 |
|       | L18               | 4  | 8  | 1687            | 177              | 8               | 6   | 70  | 684 | 15,5 | 14,6             | 19,7 | 7,68 | 3078 |
|       | L16               | 5  | 27 | 2416            | 196              | 4               | 23  | 286 | 616 | 11   | 45,8             | 24,4 | 7,38 | 4445 |
|       | L40               | 3  | 17 | 2093            | 245              | 2               | 13  | 202 | 650 | 6    | 25,8             | 30   | 7,3  | 3918 |
|       | L31               | 5  | 37 | 2068            | 187              | 6               | 20  | 192 | 642 | 6    | 26,5             | 26,8 | 7,37 | 3888 |
| C     | L8                | 3  | 12 | 2186            | 161              | 0               | 7   | 101 | 837 | 4    | 23,9             | 25   | 7,6  | 3558 |
|       | L9                | 5  | 10 | 1990            | 148              | 2               | 6   | 92  | 755 | 3    | 15               | 24   | 7,68 | 3508 |
|       | L11               | 2  | 10 | 2033            | 162              | 1               | 8   | 97  | 776 | 9    | 28,5             | 20,7 | 7,6  | 3397 |
|       | L10               | 4  | 11 | 1935            | 161              | 2               | 7   | 95  | 731 | 3    | 23,6             | 21,4 | 7,3  | 3488 |
|       | L13               | 5  | 11 | 1860            | 176              | 7               | 7   | 82  | 726 | 9    | 17,9             | 22,5 | 7,5  | 3430 |
| D     | L22               | 1  | 10 | 584             | 224              | 8               | 4   | 36  | 260 | 9    | 9,7              | 11,6 | 7,42 | 1239 |
|       | L37               | 1  | 21 | 950             | 178              | 0               | 5   | 46  | 402 | 12   | 82               | 15,7 | 7,26 | 2220 |
| SUP   | Arroyo            | 1  | 21 | 1080            | 66               | 40              | 7   | 20  | 480 | 1    | 15               | 17,6 | 7,88 | 2280 |
|       | Río S.Martín      | 3  | 14 | 1287            | 132              | 25              | 7   | 39  | 553 | 1    | 11,3             | 15,1 | 7,61 | 2752 |
| DETR  | Sondeo Raso       | 2  | 11 | 86              | 135              | 39              | 5   | 5   | 93  | 0    | 12,7             | 2,1  | 7,64 | 532  |
|       | Fuente Arcas      | 4  | 23 | 375             | 183              | 91              | 14  | 9   | 229 | 25   | 15,9             | 2,3  | 7,68 | 1101 |
| GYPS  | Sondeo Vsaz       | 5  | 8  | 945             | 146              | 45              | 0,5 | 23  | 440 | 0    | 13,3             | 14,5 | 7,33 | 1986 |
|       | S. Arcas 2        | 2  | 6  | 1440            | 185              | 16              | 2,5 | 34  | 605 | 2    | 9,8              | 6,8  | 7,40 | 3129 |

**Tabla 15.-** Características físico-químicas medias de los análisis realizados. Leyenda: m-nº de muestras, concentraciones en mg/L, conductividad en  $\mu\text{S/cm}$ .



**Figura 50.** Diagrama de Piper-Hill-Langelier con la representación de las medias de las aguas estudiadas.

El diferente contenido en SO<sub>4</sub> (figura 52) que muestran los cuatro grupos de lagunas puede indicar una diferente alimentación de las mismas. Es más evidente con el Mg, así su contenido en las aguas del grupo

A es similar al del acuífero, al no sufrir precipitación y recibir aportes subterráneos continuos. Las del grupo B se separan claramente a causa de la desconexión con el acuífero y sobresaturación. Hay un tercer conjunto, el grupo C, que tiene una alimentación más restringida. El Sr tiene un comportamiento similar, debido a que no alcanza su índice de saturación y no precipita. El contenido en Mg de las aguas de las lagunas y del acuífero yesífero muestra que todas ellas presentan un mayor contenido en Mg, acentuándose para el grupo B, ello puede indicar una continua precipitación de calcita en las lagunas y en menor medida de yeso. Esta precipitación se hace visible en las dolinas de tipo mixto, en las que se forma una playa de fango de yeso y calcita.

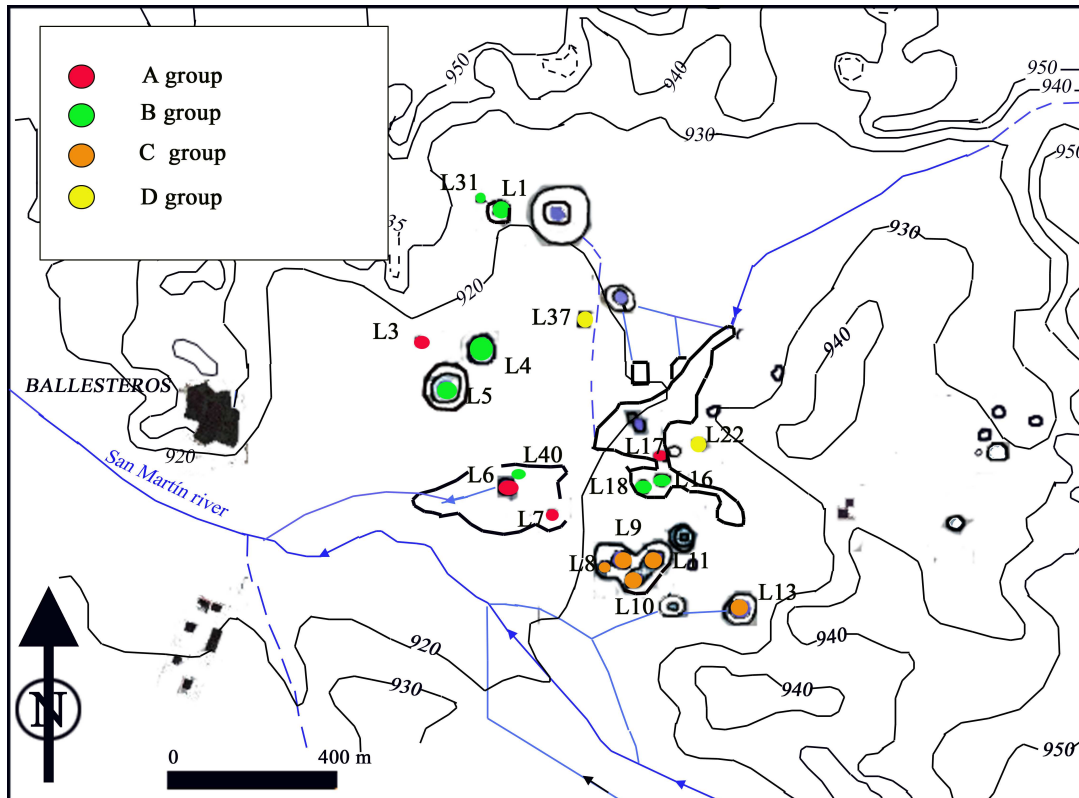


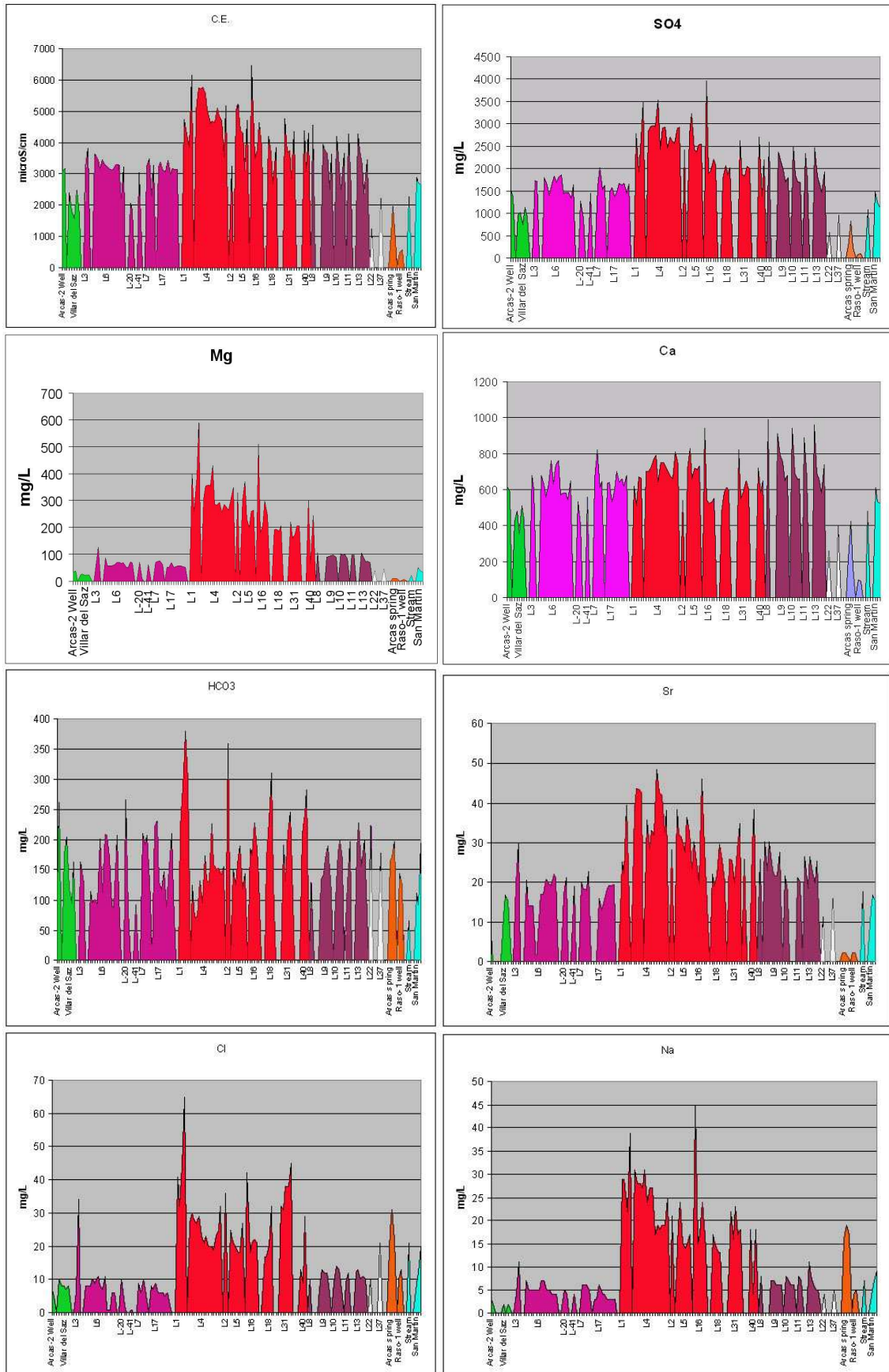
Figura 51.- Distribución espacial de los puntos según los grupos definidos.

La presencia de nitratos (figura 53), en una extensión rodeada de campos de cultivo de secano, es baja en general, con una concentración máxima registrada de 23 mg/L, aunque las concentraciones superiores a 10 mg/L se asocian a las lagunas del grupo A, siendo similares a las del acuífero yesífero en el sondeo Arcas-2. El contenido detectable en  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_2$  es puntual, de 10 y 15 % sobre el total de los análisis, respectivamente, con contenidos máximos de 3.6 mg/L, en L4 (julio de 2010) y de 1,3 mg/L en L9 (enero de 2010), pertenecientes a los grupos B y C.

Los fosfatos también aparecen de manera ocasional, inferior a un 9 % del total de análisis, en las lagunas de L1, L4, L10, L18 y L37, sin relación con grupos o cambios estacionales.

El contenido en K es elevado en las lagunas del grupo B, siendo más bajo en los acuíferos, ríos y las lagunas del grupo A. El B aparece de manera puntual en las lagunas de más evaporación (L4 y L5 del grupo B). El F también es más elevado en las lagunas del grupo B, por encima de 1 mg/L, mientras que en las aguas asociadas al grupo A y al acuífero son inferiores a 0,5 mg/L. Las aguas con contenidos entre 0,5-1 mg/L corresponden a las del grupo C, D y a las aguas superficiales. Al igual que todas las especies iónicas, el ión  $\text{SiO}_2$  presenta mayores concentraciones en el grupo B, mientras que las aguas del grupo A son muy similares a las del acuífero yesífero, del orden de 10-14 mg/L.

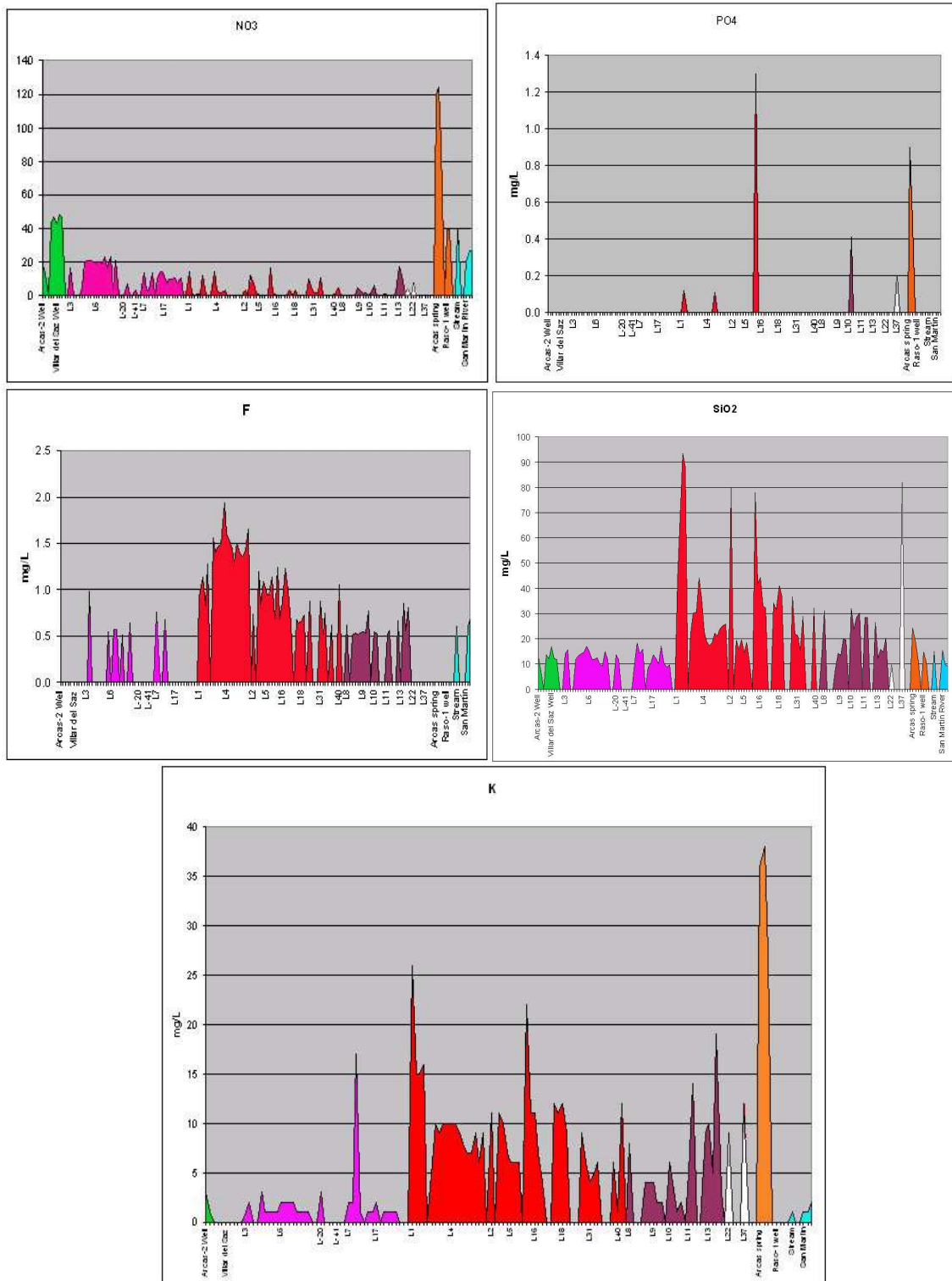
El B aparece de manera puntual en las lagunas de más evaporación (L4, L5) y en la fuente contaminada. El F también es más elevado en las lagunas del grupo B, por encima de 1 mg/L, mientras que en las aguas asociadas al grupo A y al acuífero son inferiores a 0,5 mg/L. Las aguas entre 0,5-1 mg/L corresponden a las del grupo C, D y a las aguas superficiales.



**Figura 52.-** Distribución del contenido químico en las lagunas para conductividad,  $SO_4$ , Ca, Mg,  $HCO_3$ , Na, C, Sr. Leyenda: verde-acuífero yesífero inferior, rosa-grupo A, rojo-grupo B, morado-grupo C, blanco-grupo D, naranja-acuífero terciario, azul-cursos superficiales.

El contenido medio de  $\text{SiO}_2$  en el acuífero yesífero es del orden de 10-14 mg/L y en esa magnitud se encuentran las aguas del grupo A y las aguas superficiales, sin embargo las aguas del resto de grupos (B, C, D) presentan unas concentraciones más elevadas, en especial en el grupo B, donde alcanzan hasta un 400 % más.

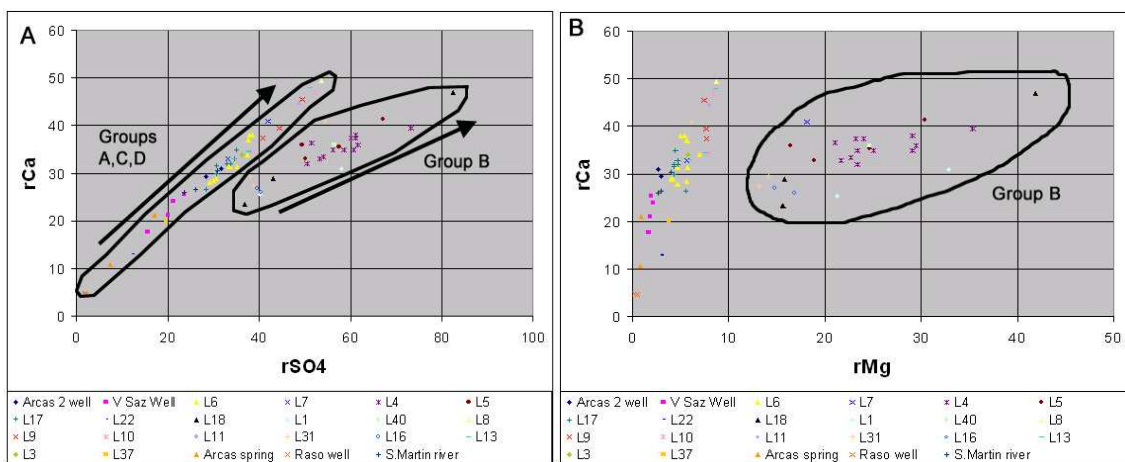
El Sr tiene un comportamiento similar al del Mg, debido a que no alcanza su índice de saturación y no precipita.



**Figura 53.-** Distribución del contenido químico en las lagunas:  $\text{NO}_3$  (en mg/L),  $\text{PO}_4$ , F, K y  $\text{SiO}_2$ .  
Leyenda: verde-acuífero yesífero inferior, rosa-grupo A, rojo-grupo B, morado-grupo C, blanco-grupo D, naranja-acuífero terciario, azul-cursos superficiales.

La relación  $rCa/rSO_4$  muestra diferente comportamiento para los diferentes grupos de lagunas. Las lagunas de los grupos A, C y D, junto con las aguas asociadas al río San Martín y las del acuífero yesífero, su relación da una recta con un coeficiente de regresión 0.98 y pendiente  $y=0.96 \cdot x$  (figura 54), muy próxima a una relación estequiométrica 1:1 propia de la disolución del yeso. Mientras que las lagunas del grupo B definen otra recta (coeficiente de regresión 0.94) claramente diferenciada de la anterior ( $y=0.41 \cdot x+11,5$ ). Estas últimas son aguas en las que se ha perdido la relación estequiométrica 1:1, mostrando una concentración de Ca inferior a la que cabría esperar por la disolución del yeso. En estas lagunas el Ca precipita como carbonato al alcanzar su sobresaturación, como se observa en el fango de las orillas y zonas someras, en las que se ha identificado por DRX la presencia de yeso y calcita. Esta sobresaturación y precipitación puede deberse a una desconexión total o parcial de las lagunas respecto al acuífero principal, que favorecerá una variación de condiciones (temperatura, pH, evaporación) y pérdida de  $CO_2$  (g).

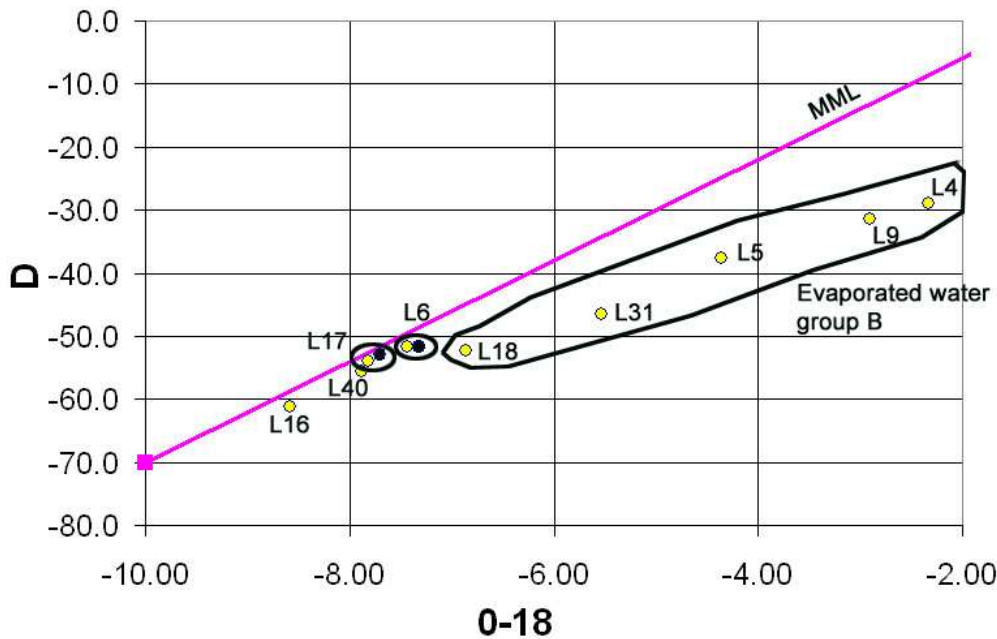
La relación  $rMg/rCa$  para las aguas de las lagunas del grupo A, C y D es inferior a 0.2, propio de un agua continental, sin embargo en las aguas del grupo B se encuentran entre 0.6 a 0.9. Su representación (figura 54) muestra una agrupamiento de las aguas del grupo A, alejándose de la tendencia de las aguas de los otros grupos de lagunas.



**Figura 54.-** Relación  $rCa/rSO_4$  (a) y  $rMg/rCa$  (b) de las aguas de las lagunas de los grupos A, B, C y D, los acuíferos yesífero y detrítico, y las aguas superficiales. En (a) se observan las dos distintas líneas de tendencia en las que se agrupan las aguas en función de su relación  $rCa/rSO_4$ .

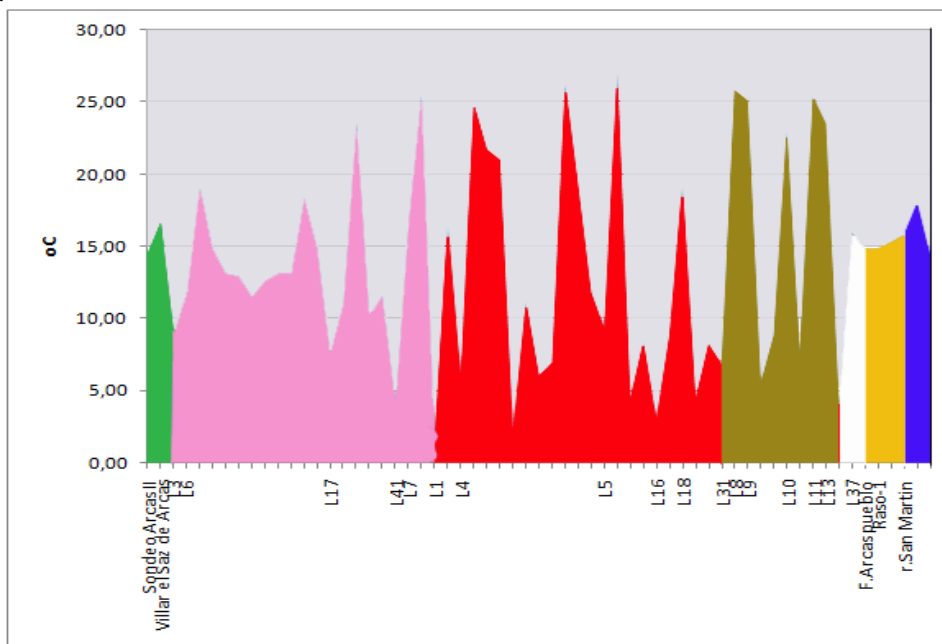
El diferente grado de conexión con las aguas subterráneas que presentan las lagunas del grupo A (alto) y grupo B (bajo), se pone de manifiesto al valorar el grado de evaporación mediante la relación de los isótopos estables  $O^{18}/D$  (figura 55). Las lagunas del grupo A se sitúan muy próximas a la recta meteórica mundial, sin mostrar apenas diferencias entre el invierno y el verano, mientras que las del grupo B, se alejan considerablemente de esta recta de referencia, lo que denota un claro proceso de evaporación.





**Figura 55.-** Isótopos estables O-18/D. En rosa la línea meteórica mundial; en amarillo los datos de enero de 2010 y en negro los de marzo de 2010.

Las temperaturas de las aguas, generalmente medidas en superficie, muestran variaciones asociadas a las estaciones climáticas, pero se acentúan más en las lagunas del grupo B, que oscilan entre verano e invierno hasta 17°C en superficie, mientras que las asociadas a las lagunas del tipo A varían 7°C; con respecto a los mínimos registrados, en las lagunas del grupo B en invierno descienden las hasta 2,2°C mientras que las del grupo A se encuentran en 11°C. Las temperaturas medidas en invierno en las aguas procedentes del acuífero yesífero se encuentran entre 14-16°C. Las lagunas del grupo C también muestran variaciones superiores a las del grupo A (figura 56). Así las temperaturas del agua en las lagunas, generalmente medidas en superficie, muestran mayores variaciones en las lagunas del grupo B que en las del grupo A, amortiguadas por el aporte continuo de las aguas subterráneas, cuya temperatura media es de 15°C.



**Figura 56.-** Distribución de la temperatura medida (en °C) en la superficie de las lagunas. Leyenda: verde-acuífero yesífero inferior, rosa-grupo A, rojo-grupo B, morado-grupo C, blanco-grupo D, naranja-acuífero terciario, azul-cursos superficiales.

La evolución temporal del quimismo de las lagunas de L4 (Arcas-4) y L6 (Barraganes-1) (figura 57), entre 2009 y 2010, muestran, para las muestras tomadas en superficie, una evolución pareja del  $\text{SO}_4$ , Ca y Mg, en L4, con un incremento de su contenido en noviembre y marzo y un descenso en enero, no coincidente con el incremento de conductividad, que se produce en julio de 2009 y 2010. A su vez, el ión  $\text{HCO}_3$  muestra una evolución contraria a los otros iones. Sin embargo, en L6 la evolución de  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Ca y Mg es pareja, mientras que la conductividad no varía.

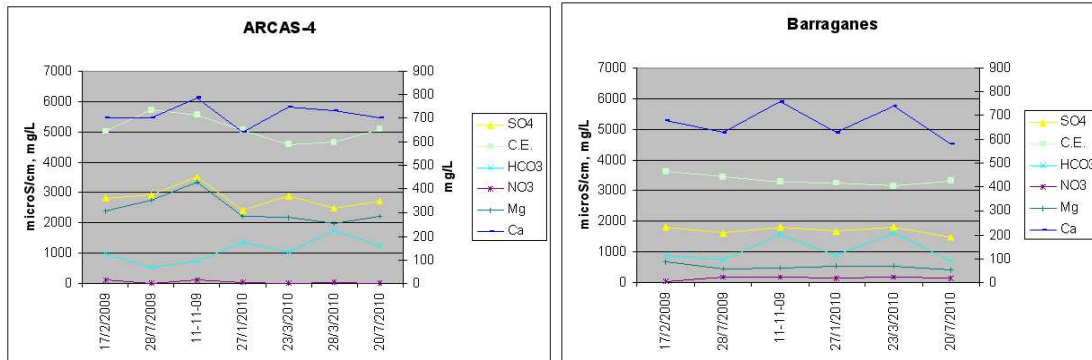


Figura 57. Evolución hidroquímica temporal de las aguas de L4 (Arcas 4) y L6 (Barraganes-1).

Estableciendo una relación conductividad/profundidad (tabla 16) se obtiene que las lagunas más profundas y que reciben influencia de las aguas del acuífero yesífero tienen un índice entre 0,23-0,42 %, las intermedias entre 0,1-0,2 % y las más superficiales (L1, L16, L40) son inferiores al 0,1 %.

|     | Prof.     | P/C (%) |
|-----|-----------|---------|
| L1  | 2,6       | 0,058   |
| L4  | 6-7,4     | 0,144   |
| L5  | 6,5-7     | 0,148   |
| L6  | 11,4-14,3 | 0,425   |
| L7  | 7,2-7,9   | 0,235   |
| L8  | 4,4       | 0,097   |
| L9  | 11,5-14   | 0,369   |
| L31 | 3,3-4,4   | 0,108   |
| L40 | 0,5       | 0,011   |
| L16 | 0-1,5     | 0,033   |
| L17 | 9-11,5    | 0,359   |
| L18 | 0-1       | 0,025   |

Tabla 16.- Relación profundidad de las lagunas/ conductividad.

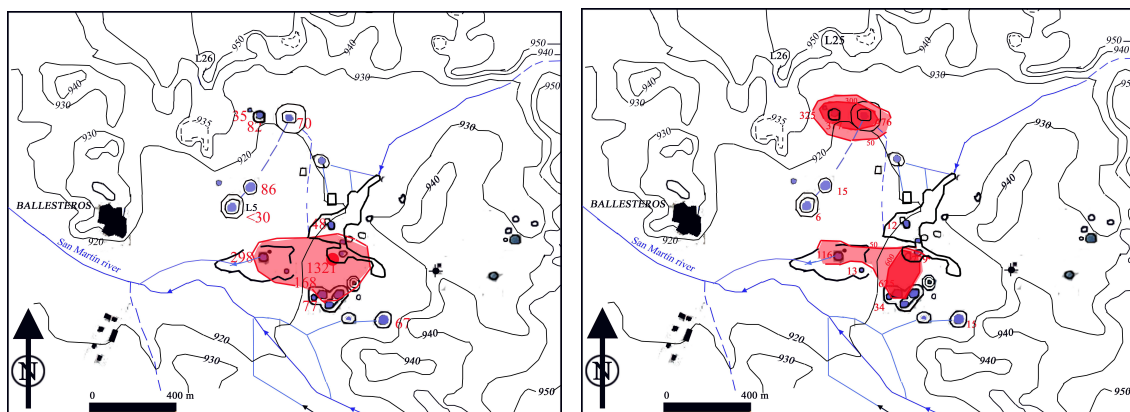
Las determinaciones de metales pesados (Se, Cr, Zn, Hg, As, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb) se han realizado detectándose la presencia de Se, Cr, Zn, As, Fe y Mn, estos dos últimos en su forma oxidada. La litología a la que se encuentran asociada, rica en rocas evaporíticas sulfatadas, puede explicar el contenido en As, Se, Fe y Mn. La presencia de Zn y Cr también podría ser de origen natural, ya que no existen zonas industriales inmediatas a las lagunas, ni vertidos de aguas residuales; no obstante, no es descartable una contaminación procedente de la atmósfera polucionada asociada a la proximidad de la ciudad de Cuenca, a unos 8 km, y a una industria de transformación maderera en Fuentes, a 8 km (tabla 17). Su contenido supera el límite establecido por el RD 140/2003 en las lagunas L9, L1, L31, L2, L18 y L6 (Barraganes 1) en el caso del Mn, L18 y L6 para el Fe y, para el As, L1, L2 y L31, estas últimas muy próximas entre sí.

En profundidad, para la laguna L6 (Barraganes-1) en julio de 2009 muestra un ligero incremento en Fe, As y Se y un descenso en Cr; en abril de 2010, los metales se presentan con mayor variedad (Mn, Cu, Zn, Cr, As, Se, Cd) aunque no se presenta el Fe; en general se mantienen con la misma concentración o disminuyen ligeramente, con excepción del Se. Para la laguna L4 (Arcas-4) se han determinado, en julio de 2009 y abril de 2010, contenidos de Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, As y Cd, que muestran, generalmente, incrementos en profundidad. Este diferente comportamiento entre ambas lagunas tiene relación con su génesis, así L6, del tipo A, está conectada con el acuífero y mantiene un ambiente oxidante, mientras que la laguna L4, del tipo B y desconectada del acuífero presenta un ambiente reductor que favorece la disolución e incorporación en las aguas.

| Muestra            | Fecha  | Prof m | Fe    | Mn   | Cu   | Zn   | Cr    | Pb   | As   | Se   | Cd   | Hg   |
|--------------------|--------|--------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| L9                 | 8/2010 |        | 168   | 625  | 0,74 | 5,51 | <0,1  | <0,4 | 2,28 | <1   | <0,4 | <1   |
| L42                | 8/2010 |        | 48,3  | 12,4 | 0,59 | 4    | <0,1  | <0,4 | 0,96 | <1   | <0,4 | <1   |
| L5                 | 8/2010 |        | <30   | 5,8  | 0,22 | 3,4  | <0,1  | <0,4 | 2,26 | <1   | 0,81 | <1   |
| L1                 | 8/2010 |        | 35,5  | 325  | <0,2 | 2,89 | <0,1  | <0,4 | 62,2 | <1   | 0,81 | <1   |
| L31                | 8/2010 |        | 69,7  | 476  | <0,4 | 9,63 | <0,2  | <0,8 | 17,6 | <2   | 1,69 | <2   |
| L2                 | 8/2010 |        | 82,4  | 377  | <0,4 | 6,89 | <0,2  | <0,8 | 29,8 | <2   | 1,69 | <2   |
| L8                 | 8/2010 |        | 77,5  | 34,2 | 0,7  | 14,7 | <0,1  | <0,4 | 1,24 | <1   | 0,85 | <1   |
| L18                | 8/2010 |        | 1321  | 779  | 0,63 | 6,19 | <0,1  | <0,4 | 8,98 | <1   | 0,81 | <1   |
| L13                | 8/2010 |        | 66,7  | 15,7 | <0,2 | 3,61 | <0,1  | <0,4 | 6,02 | <1   | 0,83 | <1   |
| L7                 | 8/2010 |        | <30   | 13,3 | 1,15 | 5,78 | <0,1  | <0,4 | 0,95 | 1,73 | 0,82 | <0,4 |
| L6 (Barraganes -1) | 7/2009 | 1      | 168.0 | 3.8  | 0    | 8.82 | 0.21  | 0    | 2.26 | 2.36 |      | <1   |
|                    | 7/2009 | 6      | 78.6  | 0    | 0    | 0    | 0.49  | 0    | 0.93 | 5.29 |      | <1   |
|                    | 7/2009 | 12     | 79.1  | 0    | 0    | 0    | 0.24  | 0    | 1.64 | 5.42 |      | <1   |
|                    | 4/2010 | 0      | <60   | 11,7 | 0,96 | 12   | <0,2  | <0,8 | 0,89 | <2   | 0,96 | <2   |
|                    | 4/2010 | 7      | <60   | <2   | 0,43 | 9,02 | 0,22  | <0,8 | 0,85 | 2,04 | 0,43 | <2   |
|                    | 8/2010 | 0      | 298   | 116  | 1,1  | 5,92 | <0,1  | <0,4 | 1,37 | <1   | 0,82 | <1   |
| L4 (Arcas-4)       | 7/2009 | 1      | 86.0  | 3.98 | 0    | 5.77 | 0     | 0    | 0.77 | 5.44 |      | <1   |
|                    | 7/2009 | 3      | 104.0 | 2.27 | 0    | 6.93 | 0     | 0    | 2.24 | 2.48 |      | <1   |
|                    | 7/2009 | 6      | 97.0  | 5.09 | 0    | 4.48 | 0     | 0    | 0.97 | 4.31 |      | <1   |
|                    | 4/2010 | 0      | 21,3  | 19   | 0,29 | 3,09 | <0,05 | <0,2 | 1,87 | <0,5 | 0,33 | <0,5 |
|                    | 4/2010 | 3,5    | 49,5  | 40,3 | 1,39 | 16,8 | <0,05 | <0,2 | 1,8  | <0,5 | 0,34 | <0,5 |
|                    | 4/2010 | 6      | 75    | 57,6 | 0,3  | 3,37 | 1,64  | <0,2 | 3,26 | <0,5 | 0,34 | <0,5 |
|                    | 8/2010 | 0      | <60   | 15,5 | 0,42 | 7,45 | <0,2  | <0,8 | 2,33 | <2   | 1,72 | <1   |
| RD 140/2003        |        |        | 200   | 50   | 2    |      | 50    | 10   | 10   | 10   | 5    | 1    |

**Tabla 17.-** Elementos minoritarios determinados en el Complejo Lagunar de Ballesteros. Concentraciones en  $\mu\text{g/L}$ . En amarillo las concentraciones que superan el RD 140/2003.

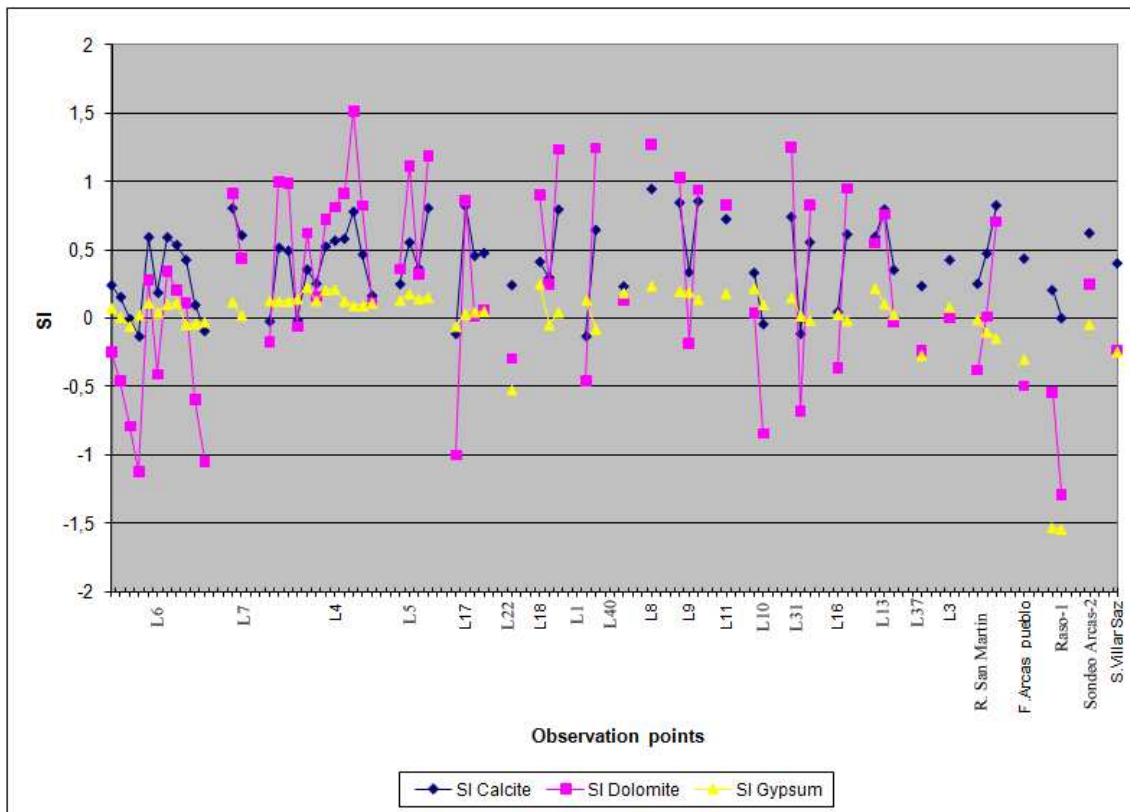
La distribución de los metales para la campaña de agosto de 2010, con mayor evaporación, muestra como el Fe supera el límite en lagunas de distintos grupos, pero concentradas en la zona más deprimida y que el drenaje de la cuenca de alimentación; en el caso del Mn, se encuentra en elevadas cantidades en dos zonas muy determinadas, en la más deprimida, pero también en la que forman las lagunas L1, L2 y L31, coincidente en esta última zona con mayor de presencia de As que en el resto (figura 58).



**Figura 58.-** Representación de la distribución del contenido en Fe ( $\mu\text{g/L}$ ) y de Mn ( $\mu\text{g/L}$ )

Los índices de saturación muestran que la mayoría de las aguas de las lagunas están saturadas o sobresaturadas en calcita, aunque en L6 se encuentra subsaturada en profundidad en los meses de verano. Igual ocurre en relación con la saturación de dolomita, aunque éste no precipita al precipitar previamente el fango calizo. El IS yeso sin embargo, muestra una gran estabilidad, tanto en las lagunas

como en las aguas superficiales, encontrándose algo subsaturada en alguna captación de aguas en el acuífero yesífero y claramente en las aguas asociadas a los depósitos detríticos terciarios. La precipitación de yeso, atendiendo a la relación  $rSO_4/Ca$  no se producirá en todas las lagunas, sino únicamente en las del grupo B, más evaporadas (figura 59).



**Figura 59.** Índices de saturación de calcita, yeso y dolomita en las aguas estudiadas.

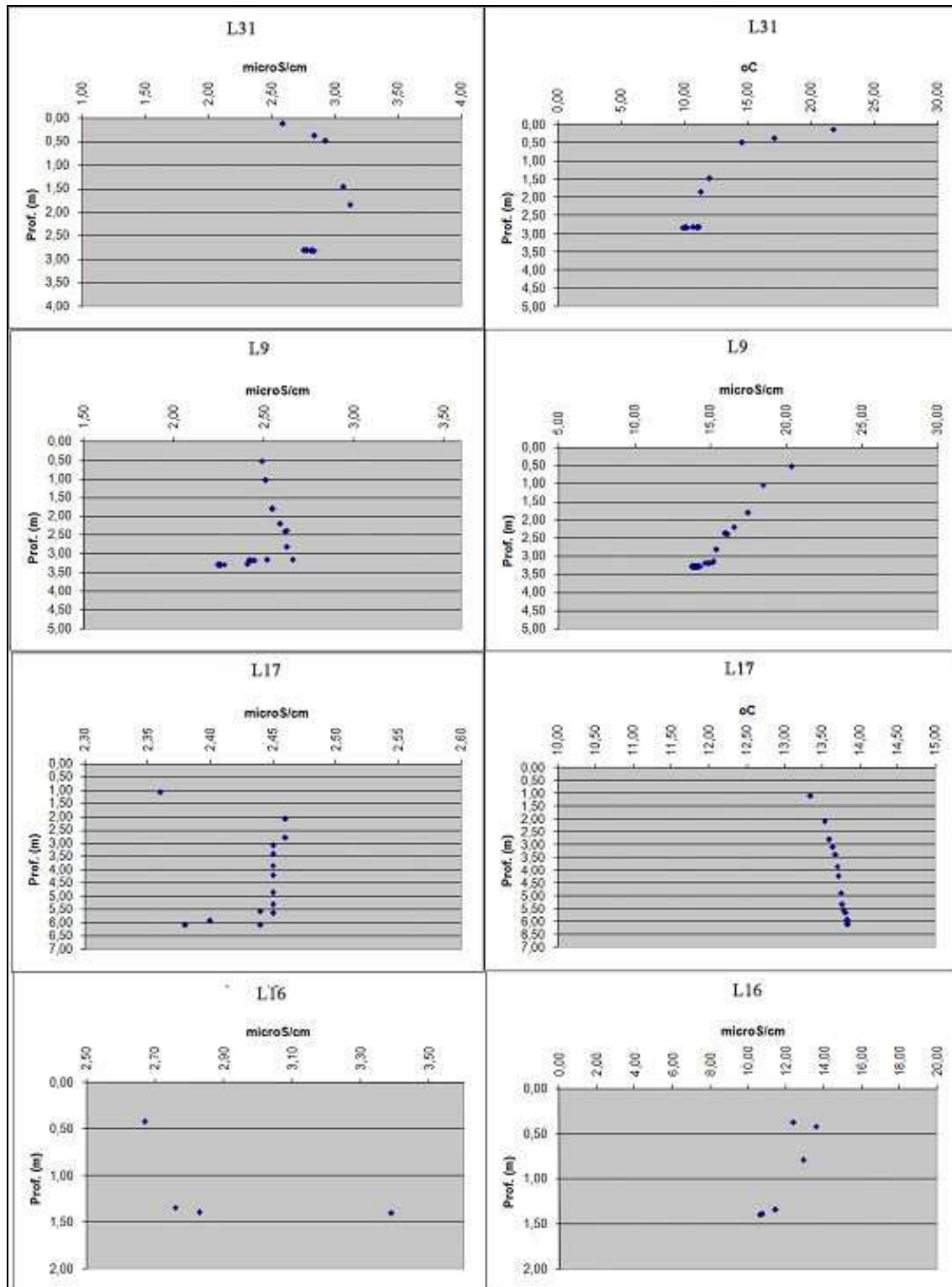
### 7.3.4. Perfiles físico-químicos de las lagunas de Ballesteros

Se han realizado dos tipos de enfoque para la realización de dichos perfiles:

- Perfiles parciales en octubre de 2010 de las lagunas L1, L9, L17 y L16,
- Selección de las lagunas L4 y L6 por su diferente emplazamiento respecto al eje fluvial, para estudiar las características físico-químicas de su columna de agua, equipamiento para medición continua de temperatura.

#### Perfiles puntuales de las lagunas L1, L9, L16 y L17

La laguna L31 muestra una fuerte variación en la temperatura, descendiendo más de 7°C en 2,8 m de profundidad, y una suave oscilación de la conductividad. L9 y L17 muestran un mantenimiento en profundidad de la conductividad con un pequeño descenso de la misma en el fondo medido de la laguna, pasando de 2660 a 2230  $\mu S/cm$  para la primera y de 2450 a 2350  $\mu S/cm$  para la segunda; la temperatura varía en profundidad en la primera de 18,9°C a 13,83°C para la primera, pero no varía para la segunda, manteniéndose homogénea entre 13-14°C. De L16 se dispone de pocos datos en profundidad, con un incremento de la conductividad en profundidad y un descenso de la temperatura en 4 °C. Así L1 y L16 se comportan de manera similar con la temperatura, mostrándose descensos en profundidad aunque su baja temperatura (10°C) es diferente a la de L9 y L17 cuya temperatura es algo más elevada (13-14°C) y similar a la del acuífero, lo que indicaría una alimentación de agua subterránea de esas dos últimas y la desconexión de las dos primeras (figura 60).



**Figura 60.-** Perfiles de conductividad y temperatura realizado en diversas lagunas en octubre de 2010.

#### Estudio de las lagunas L2 y L4

En ambas lagunas se ha efectuado el estudio en julio de 2009 y marzo de 2010, fechas representativas de las condiciones imperantes en verano e invierno respectivamente. En cada visita se ha levantado un perfil vertical detallado con los siguientes parámetros: profundidad, pH, potencial redox (ORP), conductividad eléctrica (EC), temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), clorofila-a (CHL-a), turbidez y radiación fotosintéticamente activa (PAR). También se han tomado muestras de agua a diferente profundidad para

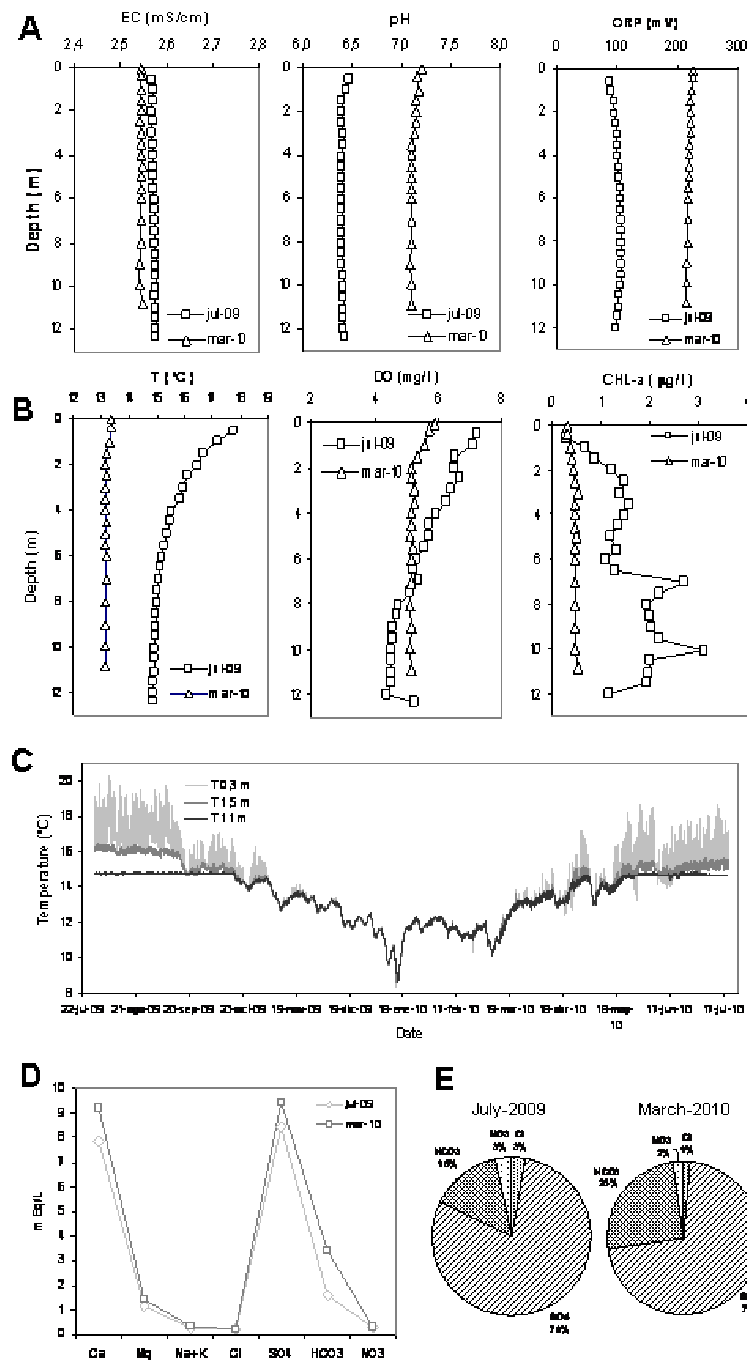
su análisis químico. Durante un año, desde julio-2009 a julio-2010, se ha registrado la temperatura a varias profundidades en ambas lagunas.

La laguna L6, del grupo A, se sitúa muy próxima al río San Martín. Está conectada hidráulicamente con el acuífero yesífero inferior. Es una laguna muy influenciada por la hidroquímica y el flujo de las aguas subterráneas. Por esta razón su conductividad eléctrica prácticamente no varía entre invierno y verano (figura 61), y además no presenta una estratificación térmica bien definida durante el verano (figura 61). Solo hay una diferencia de algunos grados entre la temperatura del agua superficial y la profunda, y son valores muy bajos para esta época del año (figura 61). Esta pequeña diferencia térmica hace que el agua más próxima a la superficie presente una menor densidad, un contacto con la atmósfera, y consecuentemente su enriquecimiento gradual de oxígeno disuelto, aproximándose a su valor de saturación. La variación de la T y el OD con la profundidad, además de la atenuación de la PAR, deben de influir en la distribución irregular del fitoplancton en la vertical, como se observa por el enriquecimiento de la clorofila-a a partir de los 7 m de profundidad (figura 61).

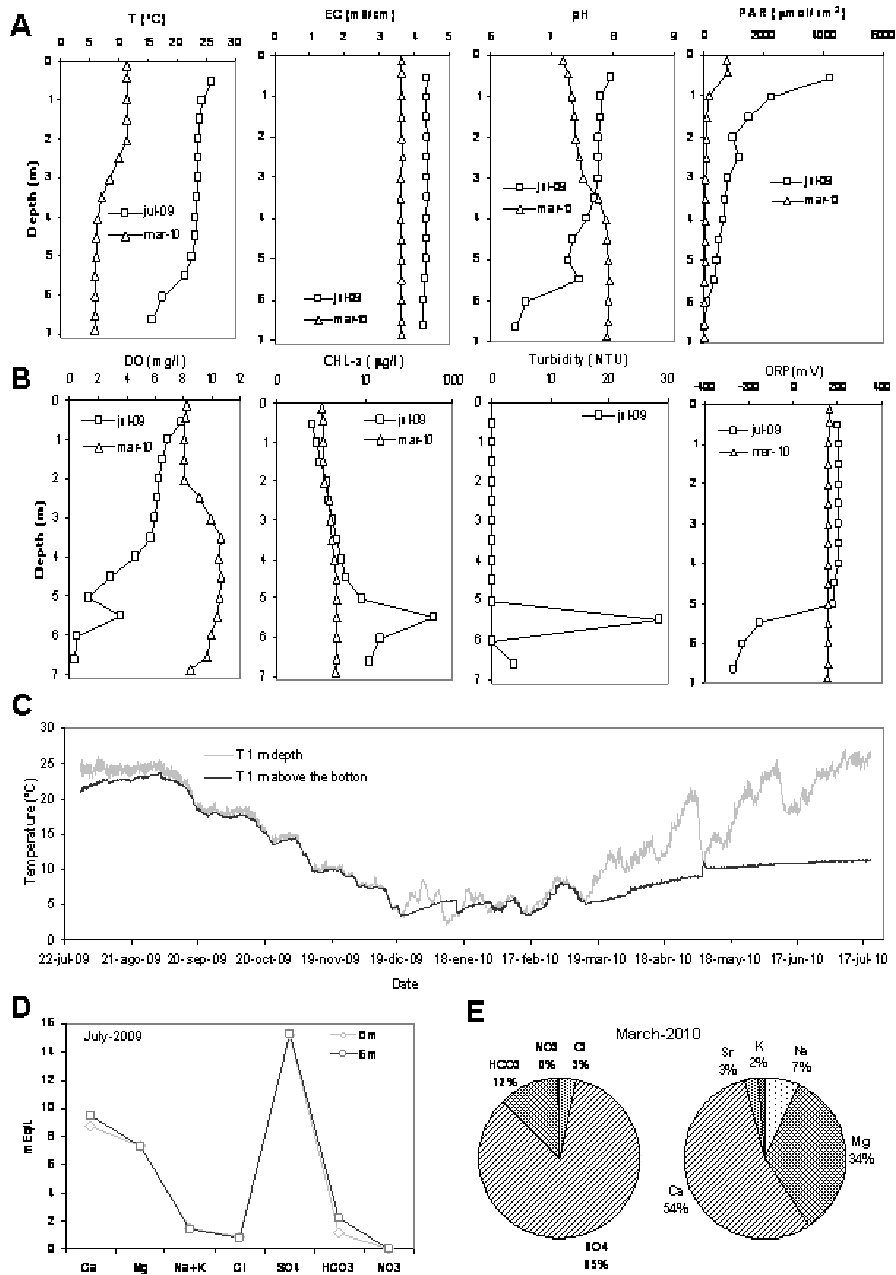
Del registro continuo de la temperatura a 0,3, 1,5 y 11 m de profundidad, se desprende que la temperatura de la columna de agua es homogénea entre octubre-2009 y abril-2010, y que esta es inferior a la temperatura del agua subterránea, cuyo valor representativo son los 14,7 °C que se registran de forma continuada a 11 m de profundidad (figura 61). En este periodo la evolución de la temperatura viene determinada por la competencia entre dos procesos: el enfriamiento de la superficie de la laguna (lo que hace que se activen los procesos de mezcla en la vertical, homogenizando y enfriando toda la columna de agua) y el flujo transversal del agua subterránea a través de la laguna (lo que hace incrementar su temperatura tendiendo a los 14,7 °C del agua subterránea). La competencia entre estos dos procesos es lo que puede explicar variaciones de varios grados y de distinto signo en tan solo unos días (p. ej. las que tuvieron lugar durante el mes de enero, figura 61).

La hidroquímica de la laguna muestra cierta evolución entre verano e invierno (figura 62). A pesar de la mayor abundancia de agua en época invernal la concentración de algunos iones aumenta. La concentración del bicarbonato se duplica, y la del  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  se incrementa entre un 10 y 20% (figura 62). El incremento de  $\text{HCO}_3^-$  puede estar relacionado en parte con el aporte de  $\text{CO}_2$  atmosférico, favorecido por los procesos de mezcla en la vertical que se dan en esta época del año, favorecido además por las bajas temperaturas. Este incremento de concentraciones hace que se alcance la sobresaturación para la calcita y dolomita en esta época del año, y el yeso tienda a la sobresaturación.

La laguna L4, del grupo B, está más alejada del principal eje fluvial (a 500 m del río San Martín) y a una cota 3 m superior que la laguna L6 (tabla 18). Presenta además evidentes fluctuaciones piezométricas estacionales. Esto pone de manifiesto que la influencia del agua subterránea es menor que en la laguna L6, donde permanece invariable su nivel durante todo el año. A la fluctuación del nivel en la laguna L4 le acompaña una variación en la conductividad eléctrica, incrementándose en verano y disminuyendo en invierno (figura 62). La conexión de esta laguna con el agua subterránea ha cambiado durante el periodo estudiado. La gráfica del registro anual de la temperatura superficial (a 1 m de profundidad) y profunda (a 1 m sobre el fondo) avala esta afirmación, apreciándose que la estratificación térmica es notablemente diferente en los veranos de 2009 y 2010 (figura 62). En julio-2009 la laguna es muy cálida, con escasa diferencia entre la temperatura superficial y profunda (24°C y 21°C respectivamente; figura 62). Sin embargo, en julio-2010, después de un invierno con precipitaciones muy importantes (685 mm desde diciembre-2009 a junio -2010), se tiene una acusada estratificación térmica, con una diferencia importante entre la temperatura superficial (25°C) y la del fondo de la laguna (11°C).



**Figura 61.** Evolución de la L6. a) variación en profundidad en julio de 2009 y marzo de 2010 de T (°C), EC (mS/cm), pH, PAR, b) variación en profundidad en julio de 2009 y marzo de 2010 de OD (mg/L), CHL-2, turbidez (NTU) y ORP (mV). c) evolución temporal, entre julio de 2009 y julio de 2010 de la temperatura (°C) a 1 m de profundidad y a 1 m del fondo. D) representación del contenido iónico del agua de julio de 2009 y marzo de 2010 en meq/L, e) Distribución porcentual del contenido iónico en julio de 2009 y marzo de 2010.



**Figura 62.** Evolución de la LA. a) variación en profundidad en julio de 2009 y marzo de 2010 de T (°C), EC (mS/cm), pH, PAR, b) variación en profundidad en julio de 2009 y marzo de 2010 de OD (mg/L), CHL-2, turbidez (NTU) y ORP (mV). c) evolución temporal, entre julio de 2009 y julio de 2010 de la temperatura (°C) a 1 m de profundidad y a 1 m del fondo. D) representación del contenido iónico del agua de julio de 2009 y marzo de 2010 en meq/L, e) Distribución porcentual del contenido iónico en julio de 2009 y marzo de 2010.



Además, la temperatura cerca del fondo muestra una relativa estabilidad desde el día 5 de mayo de 2010, fecha de la última homogenización térmica de la laguna (figura 62), desarrollándose a partir de entonces el calentamiento de su zona más superficial. La diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo (puntos situados a tan solo 5 m en la vertical), unido a lo estable de la temperatura del fondo, hacen pensar en una recarga de agua subterránea a través del fondo de la laguna, a diferencia de lo que ocurría durante el verano de 2009, donde la desconexión con el agua subterránea debería ser casi total. El diferente origen del agua subterránea en ambas lagunas se confirma con la distinta temperatura registrada en la parte más profunda de ambas lagunas. En L6, salvo en época invernal con la desestabilización de la columna de agua, la temperatura cerca del fondo es de 14.7°C, y es constante durante el resto del año (*acuífero yesífero inferior*), mientras que en L4, una temperatura relativamente estable cerca del fondo, solo se tiene después de un periodo de recarga importante y es unos 3-4°C menor que la de L6 (*acuífero margoyesífero superior*). Lógicamente la química de la laguna L4 es también diferente a la L6. En L4 el agua tiene una mayor cantidad de sólidos disueltos y es de naturaleza sulfatada-cálcico-magnésica (figura 9d y e). En general la calcita y dolomita están sobresaturadas y el yeso tiende a la sobresaturación. Solo en el hipolimnion durante el verano, la calcita y dolomita se aproximan al equilibrio.

Durante el verano de 2009, inducida por la estratificación térmica (figura 62), se desarrolla una intensa estratificación química a partir de los 5 m de profundidad. La parte más profunda de la laguna es casi anóxica y presenta un potencial redox negativo (figura 62). A 5.5 m de profundidad se tiene un máximo relativo de oxígeno disuelto, asociado a unos valores muy altos de clorofila-a y turbidez (figura 62). A partir de esta profundidad el agua desprende un fuerte olor a sulfhídrico y se ha detectado la presencia de bacterias sulfato-reductoras mediante el test BART. La descomposición anaerobia de la materia orgánica genera CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, la disolución del dióxido de carbono y su confinamiento en el hipolimnion debido a la estratificación, provoca el incremento de la concentración de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (se duplica respecto al valor del epilimnion en julio-2009), lo que conlleva una bajada del pH (figura 62).

### **7.3.5. Características isotópicas del Complejo Lagunar de Ballesteros**

La relación de isótopos estables de las lagunas del complejo de Ballesteros y otros acuíferos muestran como un conjunto de lagunas muestran una evidente evaporación independientemente de la fecha de muestreo, produciéndose tanto en enero y marzo (época húmeda) como en julio-agosto (época seca); este fenómeno se produce para las lagunas del tipo B y C, aunque las últimas presentan una menor evaporación que el tipo B, que es el más alejado de la línea meteórica mundial.

Las aguas de las lagunas del Tipo B se encuentran muy evaporadas; incrementándose dicha evaporación conforme pasan los meses, como se aprecia en L4 de enero de 2010 a agosto del mismo año. Asimismo, en profundidad las aguas de L4 muestran como las situadas cerca de la superficie están más evaporadas que en profundidad, aunque muy alejada de la marca isotópica correspondiente a las aguas ligadas al acuífero yesífero que representa en sondeo de Villar el Saz; asimismo los puntos asociados a los acuíferos detríticos terciarios también se encuentran próximos a la LMM (figura 63).

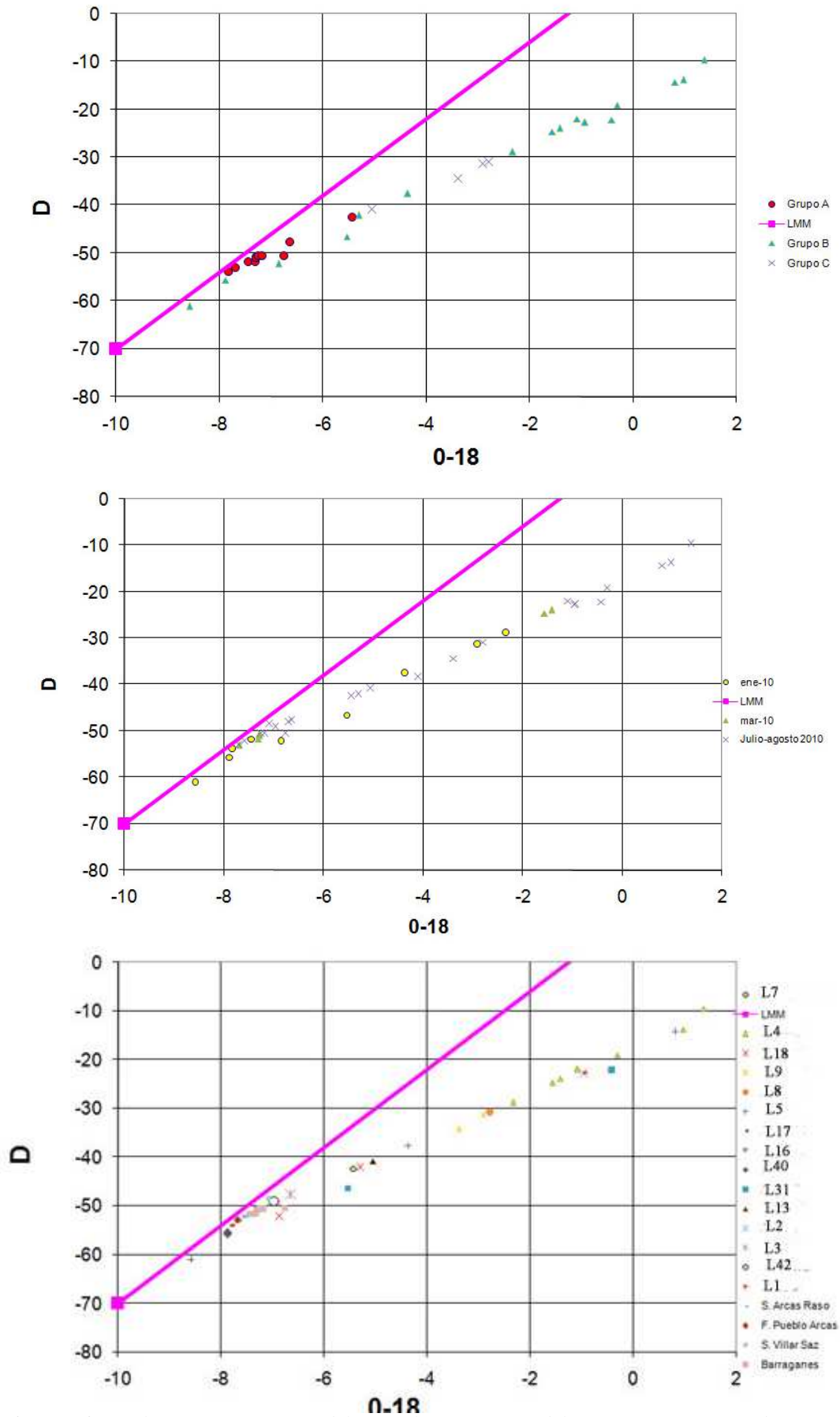
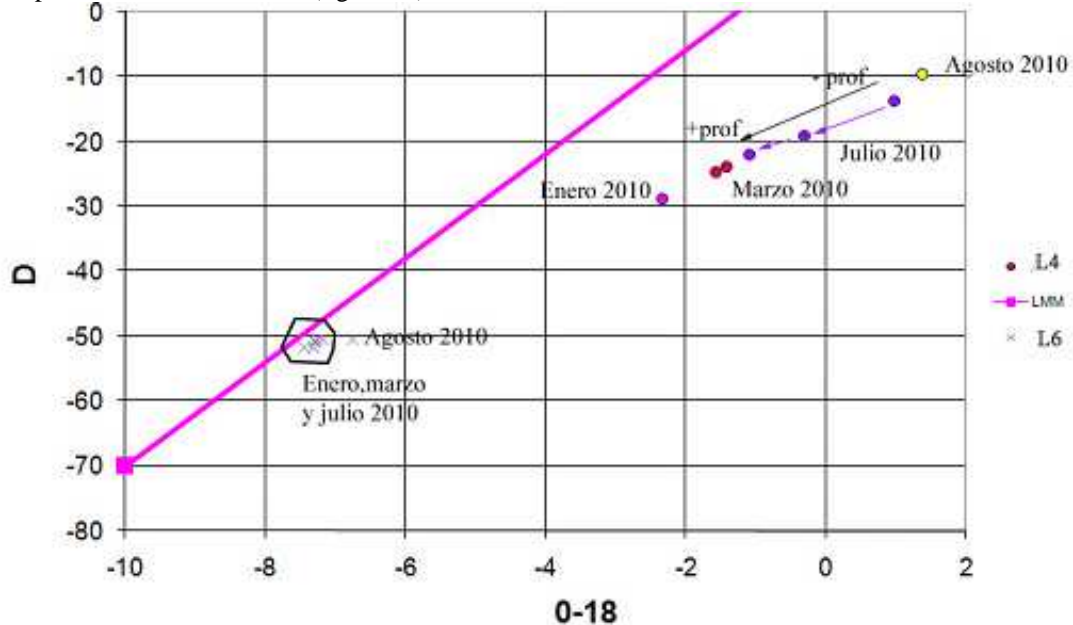


Figura 63.- Relación %D/%O-18 del Complejo Lagunar del río Moscas, agrupados por puntos muestreados y por fechas de muestreo.

En profundidad se han determinado los isótopos estables en L6 (tipo A) y L4 (tipo B) mostrando que las aguas del tipo A no cambian los isótopos en profundidad y son similares al acuífero yesífero más profundo, sin embargo en el caso de L4 se observa, dentro de un agua evaporada, escasas variaciones en profundidad para marzo de 2010 pero si sufre una gran variación en julio de 2010 estando más evaporada en superficie y menos en profundidad, lo cual se debe a su estratificación y escasa alimentación de las aguas provenientes del acuífero (figura 64).



**Figura 64.-** Relación %D/%O-18 de las lagunas de L4 y L6, agrupados por puntos muestreados y por fechas de muestreo.

El contenido en tritio se ha determinado en el nacimiento de Fuentes, Fuente Rollo y Fuente del Espino, observándose para unas aguas de escaso recorrido como las de Fuente del Espino, en terciario, un contenido de 3,3  $\pm$  0.33 U.T., similar al de Fuente del Rollo, que indicará una rápida circulación; el nacimiento de Fuentes presenta un contenido algo mayor, lo que indicaría una tiempo de residencia algo mayor con respecto a los anteriores (tabla 18).

Solo se dispone de determinaciones de T en las lagunas de Arcas, en L17 y L6, asociadas a las aguas del acuífero, al pertenecer al tipo A; su contenido, sin embargo es algo menor a los anteriores. Según Diaz-Teixeiro et al (2009) el contenido en esta zona de España se encuentra entre 5-6 UT; por ello es de suponer que las aguas de las lagunas tienen mezcla de aguas recientes y aguas más antiguas; considerando que la determinación de Fuente del Espino es el agua más superficial el porcentaje de mezcla se puede estimar un 10 % procedente de aguas más antiguas y sin isótopos de Tritio.

| F TOMA     |                    | T(UT) | T ERR |
|------------|--------------------|-------|-------|
| 17/03/2010 | NACIMIENTO FUENTES | 4,16  | 0,35  |
| 17/03/2010 | FUENTE DEL ROLLO   | 3,68  | 0,34  |
| 17/03/2010 | L17                | 2,90  | 0,32  |
| 17/03/2010 | FUENTE DEL ESPINO  | 3,33  | 0,33  |
| 24/03/2010 | L6                 | 3,01  | 0,32  |

**Tabla 18.-** Contenido en tritio y error analítico.

### 7.3.6. Características hidroquímicas del Complejo Lagunar del río Moscas

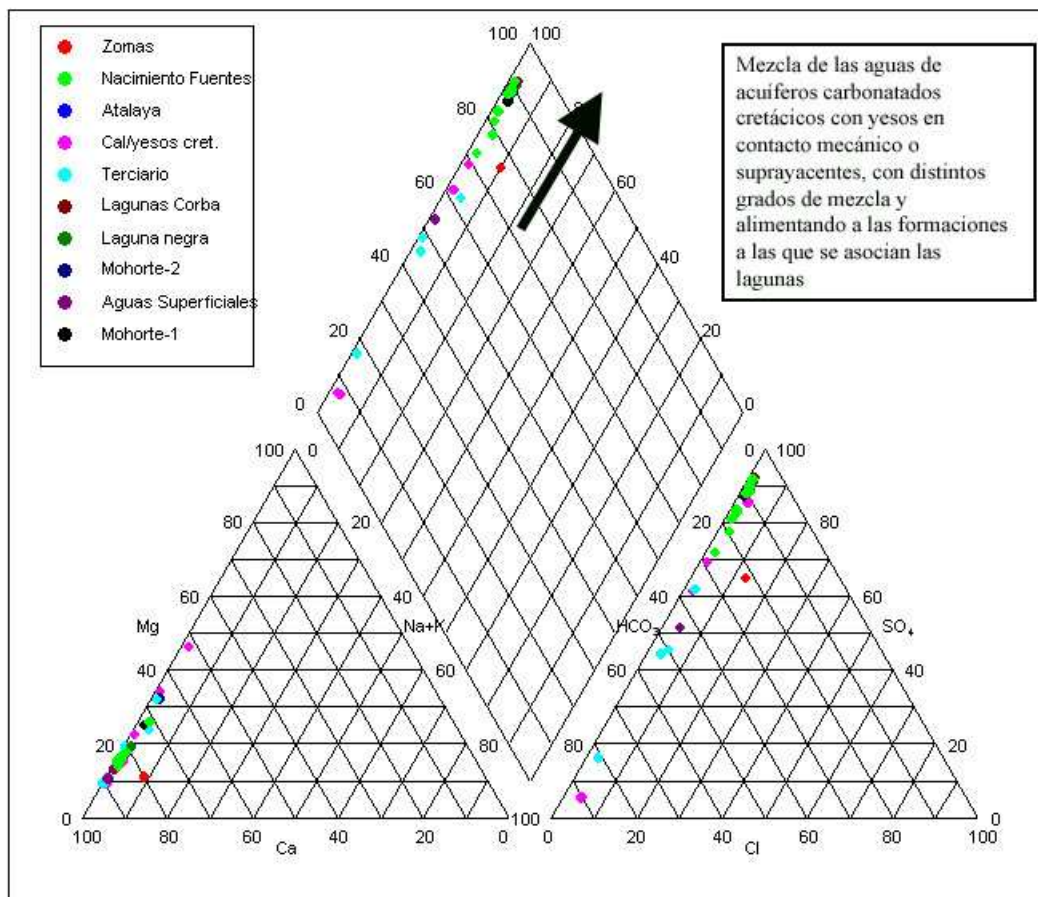
El estudio de las características físico-químicas de las aguas se ha realizado a partir del estudio de 94 análisis físicoquímicos realizados en el laboratorio del IGME, procedentes de cuatro campañas de muestreo realizadas entre los años 2009 y 2010, así como muestreos puntuales desde el año 2002. Se han determinado en laboratorio conductividad, DQO, pH, componentes mayoritarios y minoritarios ( $P_2O_5$ ,  $NH_4$ ,  $NO_2$ , Sr, F, B). Asimismo se ha determinado en campo temperatura, conductividad y pH.

En agosto de 2010 se realizó una campaña de metales en los que se determinó el contenido de Fe, Mn, Cd, Cu, Zn, As, Pb, Hg y Se.

Las aguas de las lagunas presentan un predominio de los iones  $\text{SO}_4\text{-Ca}$ , siendo muy similares en cuanto a composición general, evidenciando una misma influencia litológica. El contenido en los componentes mayoritarios es de menor variabilidad entre las lagunas que en el caso de las lagunas de Ballesteros (tabla 19, figura 65).

Asimismo son muy similares en cuanto a quimismo las aguas superficiales y las procedentes de los sondeos que captan en profundidad materiales calco-yesíferos, así como las aguas procedentes del nacimiento del río Moscas.

Las aguas de los acuíferos terciarios y de las rocas carbonatadas cretácicas presentan diferente quimismo pasando de bicarbonatadas cálcicas a una facies mixta e indicando que puede existir mezcla entre ambas aguas para alimentar a los acuíferos yesíferos cretácicos. En la figura 65 se han representado las concentraciones medias para los puntos indicados con excepción del nacimiento del río Moscas; éste muestra unas notables variaciones de quimismo para una misma captación que corresponde a una fuente de drenaje regional; ello indica que esta variación es el posible resultado de la distinta mezcla de las aguas procedentes del acuífero carbonatado cretácico con el lavado y conexión con los acuíferos yesíferos del tránsito Cretácico-Terciario, como muestran las características químicas de los otros sondeos y que, a su vez, pueden alimentar subterráneamente a las formaciones que, a su vez alimentan a las lagunas.



**Figura 65.-** Diagrama de Piper-Hill-Langelier con la representación de las medias de los grupos de aguas, con excepción de nacimiento Fuentes.

| Grupo | Denominación       | m  | Cl | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> | NO <sub>3</sub> | Na | Mg  | Ca  | K  | Sr    | SiO <sub>2</sub> | pH   | CE   |
|-------|--------------------|----|----|-----------------|------------------|-----------------|----|-----|-----|----|-------|------------------|------|------|
| A     | Zomas              | 6  | 10 | 1573            | 161              | 12              | 5  | 51  | 649 | 3  | 17,4  | 13,3             | 7,46 | 2975 |
| A     | Atalaya            | 16 | 6  | 1489            | 146              | 17              | 5  | 59  | 594 | 2  | 16,7  | 12,4             | 7,45 | 3047 |
| A     | Corba-1            | 10 | 4  | 1220            | 133              | 15              | 3  | 42  | 497 | 2  | 12,1  | 8,0              | 7,46 | 2383 |
| A     | Corba-2            | 10 | 5  | 1278            | 148              | 15              | 3  | 41  | 544 | 2  | 11,2  | 7,7              | 7,41 | 1852 |
| A     | Corba-3            | 3  | 5  | 1580            | 164              | 10              | 4  | 55  | 657 | 5  | 16,6  | 7,7              | 7,59 | 2668 |
| A     | Corba-4            | 4  | 5  | 1545            | 124              | 7               | 3  | 67  | 603 | 6  | 16,3  | 2,3              | 7,61 | 2846 |
| A     | Negra              | 4  | 5  | 1278            | 148              | 15              | 3  | 41  | 544 | 2  | 11,2  | 7,7              | 7,41 | 1852 |
| B     | Zomas II           | 1  | 89 | 660             | 282              | 44              | 20 | 26  | 370 | 43 | 54,2  | 4,8              | 7,36 | 1643 |
| C     | Mohorte-1          | 5  | 5  | 945             | 148              | 11              | 4  | 68  | 346 | 6  | 13,6  | 8,7              | 7,61 | 1658 |
| D     | Mohorte-2          | 4  | 14 | 1893            | 218              | 8               | 11 | 169 | 611 | 8  | 27,0  | 19,1             | 7,38 | 3491 |
| PROF  | Nacimiento Fuentes | 10 | 6  | 808             | 158              | 25              | 3  | 37  | 351 | 1  |       | 13,0             | 7,29 | 1503 |
|       | S. Moreno          | 2  | 21 | 1012            | 168              | 118             | 7  | 46  | 465 | 4  | 16,8  | 14,1             | 7,33 | 2148 |
|       | SE. Fuentes        | 2  | 5  | 300             | 221              | 20              | 2  | 28  | 170 | 0  | 10,00 | 10,85            | 7,33 | 884  |

**Tabla 19.-** Características físico-químicas medias de los análisis realizados. Leyenda: m-n<sup>o</sup> de muestras, concentraciones en mg/L, conductividad en  $\mu\text{S/cm}$ .

A partir de la distribución iónica de las aguas se puede establecer cuatro tipos de aguas, aunque las diferencias no son tan evidentes como en el caso del Complejo Lagunar de Ballesteros, evidenciando una mayor homogeneidad en las influencias en las lagunas.

Así se diferencian (figuras 66, 67):

**-Grupo A:** el mayoritario, en el se encuentran casi todas las lagunas con excepción de Arcas II Mohorte-1 y Mohorte-2. Son aguas sulfatadas cálcicas, con una mineralización entre 2000-4000  $\mu\text{S/cm}$ .

**-Grupo B:** corresponde al agua temporal asociada a la laguna Zomas II. Es la de menor mineralización (1500  $\mu\text{S/cm}$ ), bajo contenido en sulfatos, Ca, Mg, Sr y temperatura con respecto al resto y mayor contenido en Cl, Na, NO<sub>3</sub>, K, SiO<sub>2</sub>. La presencia de fosfatos indica un inicio de eutrofización a causa de la concentración por evaporación que, junto con una influencia de actividad antrópica, incrementan los compuestos nitrogenados y el potasio.

**-Grupo C:** asociada a la laguna de Mohorte-1. De menor mineralización que las otras lagunas permanentes, entre 1500-2500  $\mu\text{S/cm}$  y menores contenidos en SO<sub>4</sub>, Ca y mayor en Mg.

**-Grupo D:** asociada a la laguna de Mohorte-2. Es de mayor mineralización (3500-4000  $\mu\text{S/cm}$ ), con mayores contenidos en HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, Na, Mg, Sr, compuestos nitrogenados y fosfatos.

Así, las lagunas del complejo del río Moscas presentan un contenido hidroquímico bastante homogéneo, no existiendo notables diferencias entre lagunas con distintas profundidades.

La distribución de la conductividad muestra como las aguas del Complejo Lagunar están más mineralizadas que las aguas asociadas a depósitos detríticos terciarios y carbonatados cretácicos, encontrándose entre éstas y las aguas de las lagunas las correspondientes a las captadas por los sondeos y las del nacimiento del río Moscas. Se encuentran entre 1500 a 4000  $\mu\text{S/cm}$ , correspondiendo las conductividades menores a las aguas asociadas a la laguna temporal de Zomas II y la de Corba-2, que aporta un caudal continuo de 10-40 L/s y que puede estar más conectada a las formaciones calcocyesíferas infrayacentes.

El contenido en sulfatos es elevado en las lagunas profundas, las aguas del nacimiento, Mohorte-1 y S.Moreno son similares y de menor concentración, siendo las mas bajas las asociadas a los acuíferos cretácicos y terciarios; el sondeo Entrada Fuentes muestra un bajo contenido atribuible a un acuífero no yesífero.

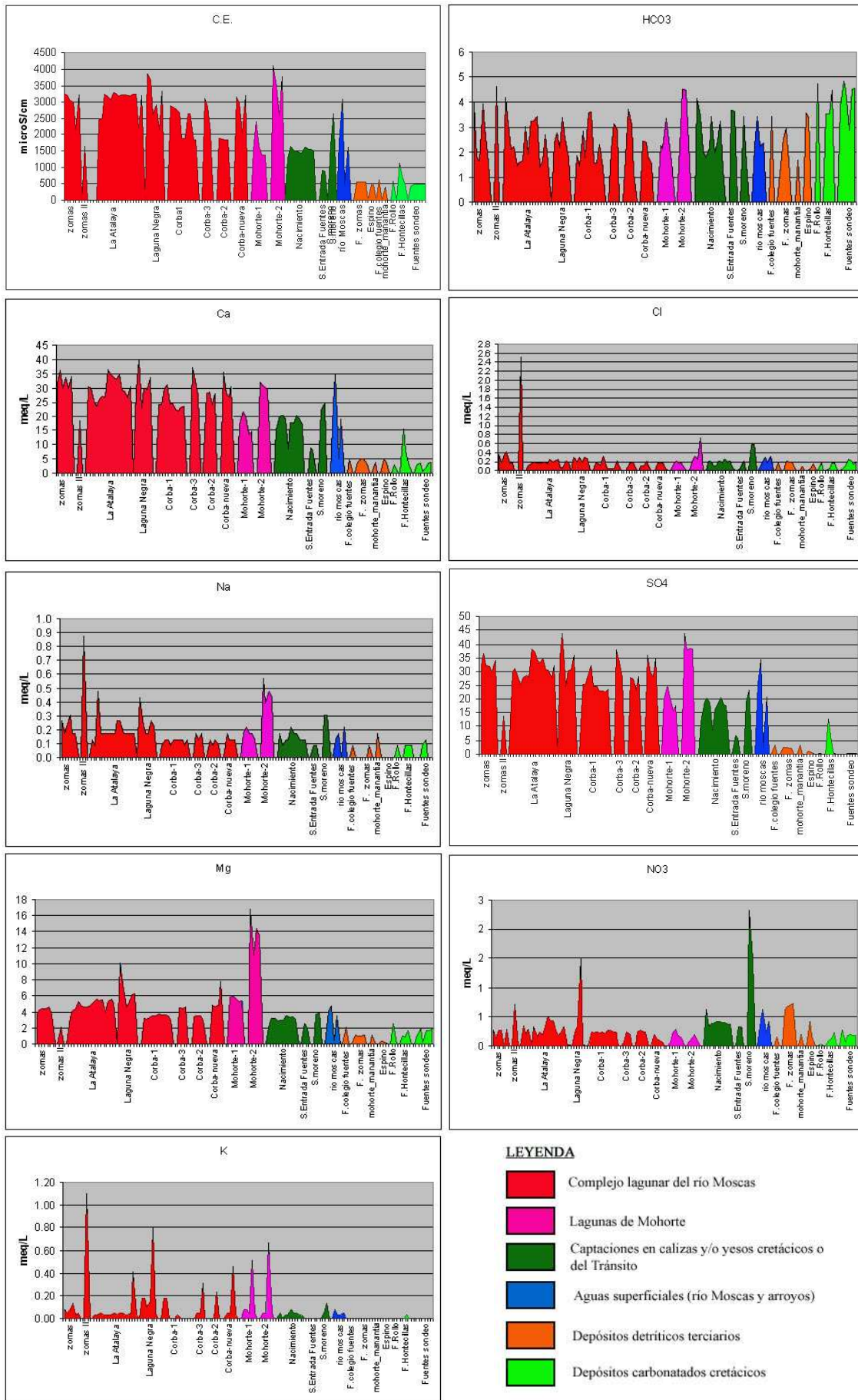


Figura 66.-Evolución de los diferentes iones y otras características físico-químicas de las aguas.

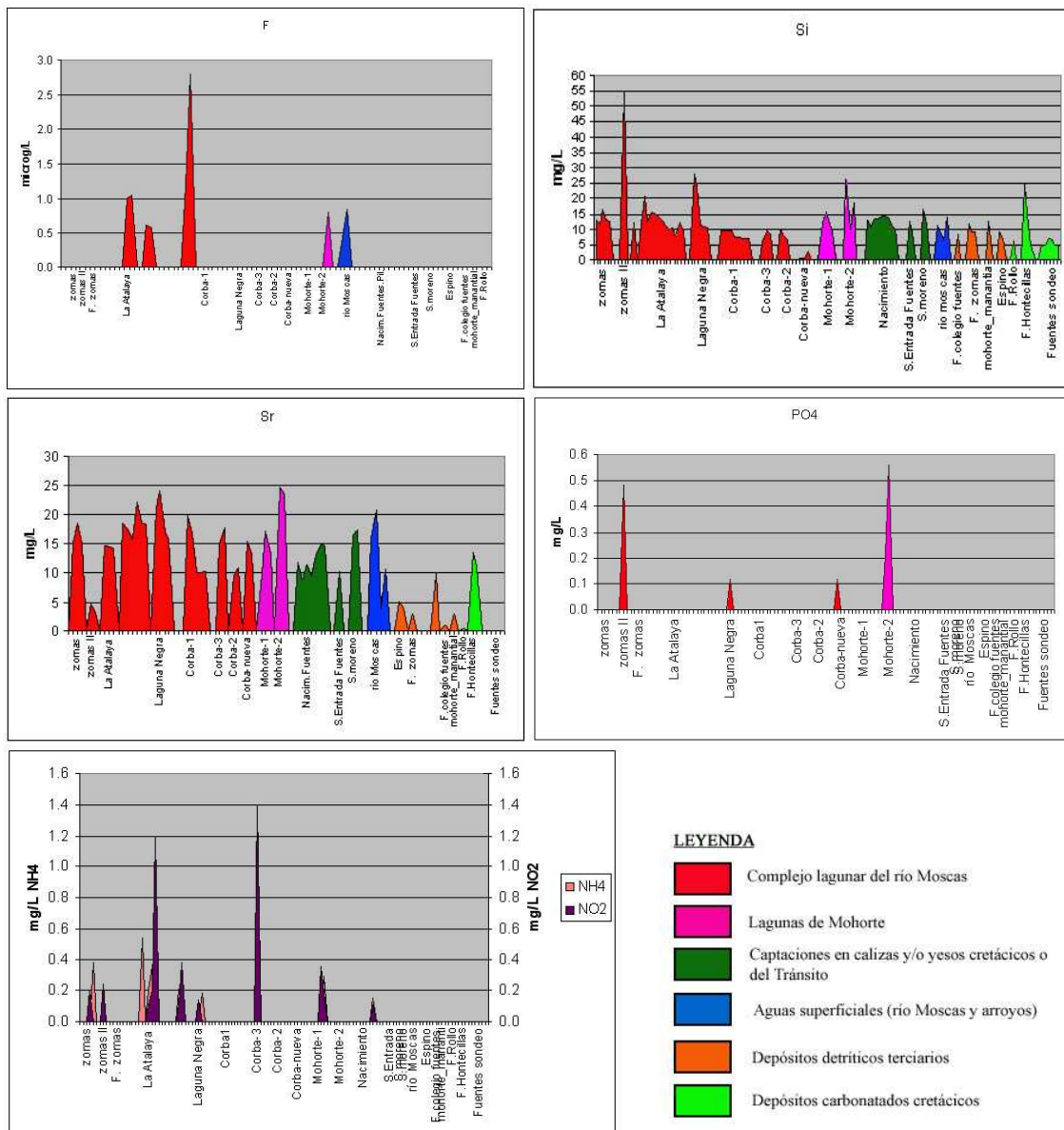


Figura 67.-Evolución de los diferentes iones y otras características físico-químicas de las aguas.

Los contenidos en fosfatos están asociados a lagunas que sufren procesos de evaporación y/o de contaminación antrópica, como son las lagunas de Mohorte-2 y Zomas-II, apareciendo también puntualmente en la laguna Negra y Corba-4 o nueva, asociado al muestreo de julio de 2009. La presencia de fluoruro aparece puntualmente en las lagunas de la Atalaya y Corba-1.

La temperatura de las aguas en el Complejo Lagunar muestra oscilaciones de 15-16°C en los cuatro tipos de aguas, con una horquilla entre 5,2 y 28°C. Las aguas asociadas al acuífero carbonatado cretácico se encuentran en torno a 10-14°C, similar a la temperatura asociada al nacimiento del río Moscas. La evolución temporal muestra elevadas temperaturas en verano, aunque en Corba-1 y Corba-2 la temperatura es menor que en el resto de lagunas; en marzo y octubre las temperaturas entre las lagunas se hacen parecidas; el único punto que muestra nula variación corresponde al nacimiento del río Moscas; esta relación con el agua subterránea se hace más evidente con el gráfico comparativo entre puntos de agua/fechas, observándose que el comportamiento del nacimiento del río Moscas no se reproduce en ninguna laguna, incluso Fuente Zomas, que corresponde a una fuente superficial asociada a los depósitos terciarios, muestra esta oscilación de bajas temperaturas en invierno, que ascienden hasta un máximo veraniego para descender en otoño (figuras 68 y 69).

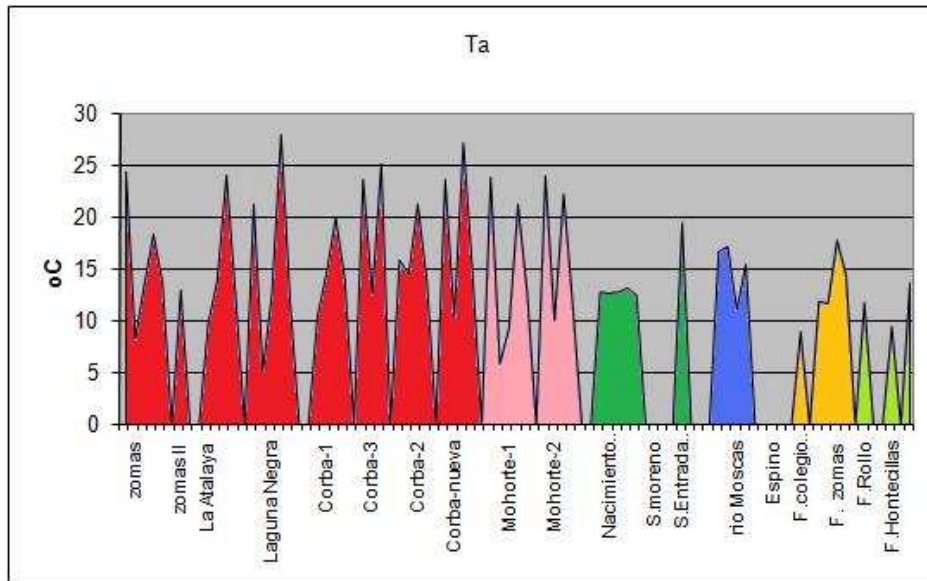


Figura 68.-Evolución de la temperatura de las agua por grupos.

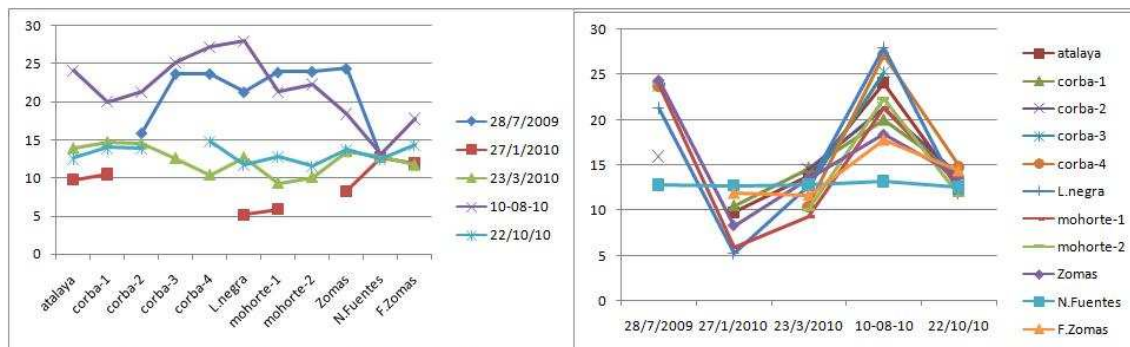


Figura 69.-Evolución de la temperatura de las aguas por fechas y por puntos medidos.

Los coeficientes de variación (tabla 20) en las lagunas, se encuentran, para los sulfatos, entre 7-19 %, con excepción de Las Zomas que supera el 42 %. El Ca se encuentra entre 4-19%. La conductividad oscila entre 1-25 %. Los otros iones muestran mayores variaciones, así el bicarbonato se encuentra entre el 7-47 %, el Mg entre 4-29 %, Cl entre 36-79 %, Na entre 15-56 %. Los nitratos muestran diferencias notables entre las lagunas, así en las lagunas de Corba, varían entre 3-55 %, la variación en las lagunas de la Atalaya y Negra oscilan entre 43-166 %, no existe, por tanto, una homogeneidad en el comportamiento. Si se compara con las aguas captadas por los sondeos, en estos, en general, los coeficientes de variación tienden a ser parecidos a las lagunas.

| Grupo | Denominación       | Cl    | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> | NO <sub>3</sub> | Na    | Mg    | Ca    | K     | SiO <sub>2</sub> | Sr    | pH    | CE    |
|-------|--------------------|-------|-----------------|------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| A     | Zomas              | 0,408 | 0,420           | 0,069            | 0,430           | 0,561 | 0,253 | 0,093 | 0,076 | 0,134            | 0,120 | 0,018 | 0,139 |
| A     | Atalaya            | 0,360 | 0,114           | 0,364            | 0,430           | 0,437 | 0,137 | 0,128 | 1,643 | 0,202            | 0,246 | 0,024 | 0,112 |
| A     | Corba-1            | 0,792 | 0,121           | 0,392            | 0,062           | 0,179 | 0,077 | 0,122 | 1,944 | 0,165            | 0,316 | 0,016 | 0,193 |
| A     | Corba-2            | 0,559 | 0,085           | 0,474            | 0,033           | 0,231 | 0,069 | 0,074 | 2,000 | 0,180            | 0,13  | 0,018 | 0,016 |
| A     | Corba-3            | 0,39  | 0,15            | 0,21             | 0,55            | 0,16  | 0,04  | 0,15  | 1,08  | 0,096            | 0,240 | 0,021 | 0,201 |
| A     | Corba-4            | 0,432 | 0,117           | 0,210            | 0,469           | 0,154 | 0,266 | 0,131 | 1,423 | 1,15             | 0,16  | 0,015 | 0,185 |
| A     | Negra              | 0,167 | 0,195           | 0,217            | 1,660           | 0,382 | 0,298 | 0,183 | 1,127 | 0,44             | 0,187 | 0,024 | 0,210 |
| C     | Mohorte-1          | 0,417 | 0,177           | 0,271            | 0,468           | 0,177 | 0,047 | 0,189 | 1,307 | 0,355            | 0,207 | 0,023 | 0,253 |
| D     | Mohorte-2          | 0,598 | 0,073           | 0,306            | 0,439           | 0,159 | 0,171 | 0,040 | 1,500 | 0,36             | 0,16  | 0,033 | 0,184 |
| PROF  | Nacimiento Fuentes | 0,386 | 0,225           | 0,348            | 0,188           | 0,248 | 0,122 | 0,200 | 0,730 |                  | 0,231 | 0,027 | 0,074 |
| PROF  | S. Moreno          | 0,034 | 0,151           | 0,345            | 0,312           | 0,000 | 0,031 | 0,076 | 0,606 | 0,046            | 0,216 | 0,001 | 0,318 |
| PROF  | SE. Fuentes        | 0,849 | 0,144           | 0,013            | 0,000           | 0,000 | 0,129 | 0,067 |       | 0,014            | 0,202 | 0,031 | 0,026 |

Tabla 20.- Coeficientes de variación de las aguas muestreadas en la zona del Complejo Lagunar del río Moscas.



La evolución de los sulfatos (figura 70), de escaso coeficiente de variación, si muestra, comparando las diferentes campañas durante 2009-2010 en los puntos muestreados, escasa variación en las aguas asociadas al nacimiento de Fuentes, mostrándose mayores variaciones temporales en la laguna Negra, Corba-3 y Corba-4. En detalle, la laguna Atalaya y Corba-1 muestran un descenso del contenido en sulfatos en verano y un incremento en época húmeda.

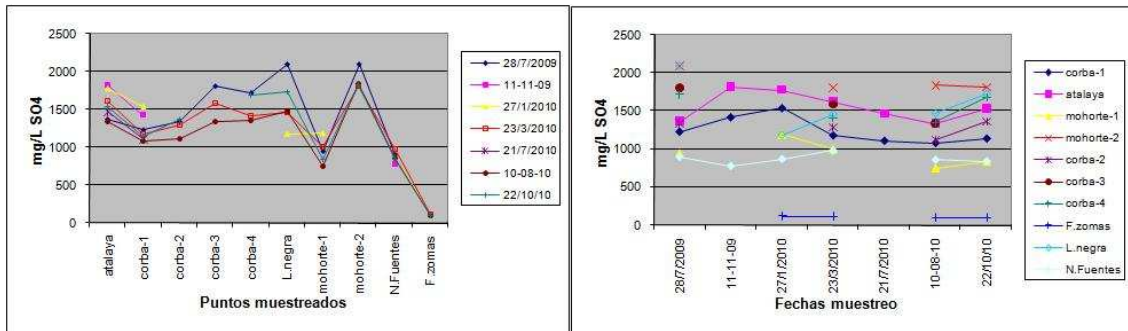


Figura 70.-Evolución de los sulfatos de las aguas por fechas y por puntos medidos.

La evolución de los nitratos (figura 71) muestra una cierta estabilidad de los nitratos en cada punto con excepción de Laguna Negra y Mohorte-1 que muestran oscilaciones más notables que con el resto de puntos.

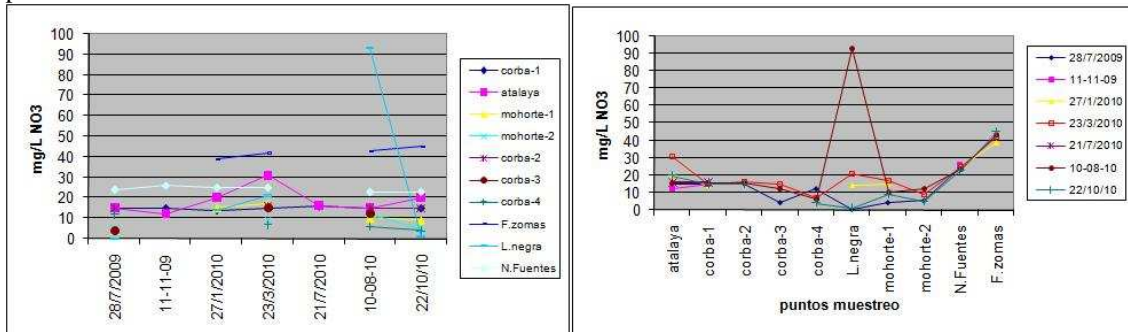


Figura 71.-Evolución de los nitratos de las aguas por fechas y por puntos medidos.

La relación  $rSO_4/rCa$  se muestra alineada siguiendo la línea  $y=0,965x$  y una  $r=0,97$ , alejándose de la misma la laguna de Mohorte-2, las medidas del verano de 2009 de Corba-4 y laguna Negra y el sondeo Moreno. Ellos, al igual que en el caso de las lagunas de Arcas, pueden indicar en el caso de las lagunas, un proceso de evaporación y desconexión del acuífero infrayacente, y en el caso del Sondeo Moreno por la influencia antrópica. La relación  $rHCO_3/rCa$  sin embargo no muestra ninguna relación, al igual que la  $rNa/rCl$  (figura 72).

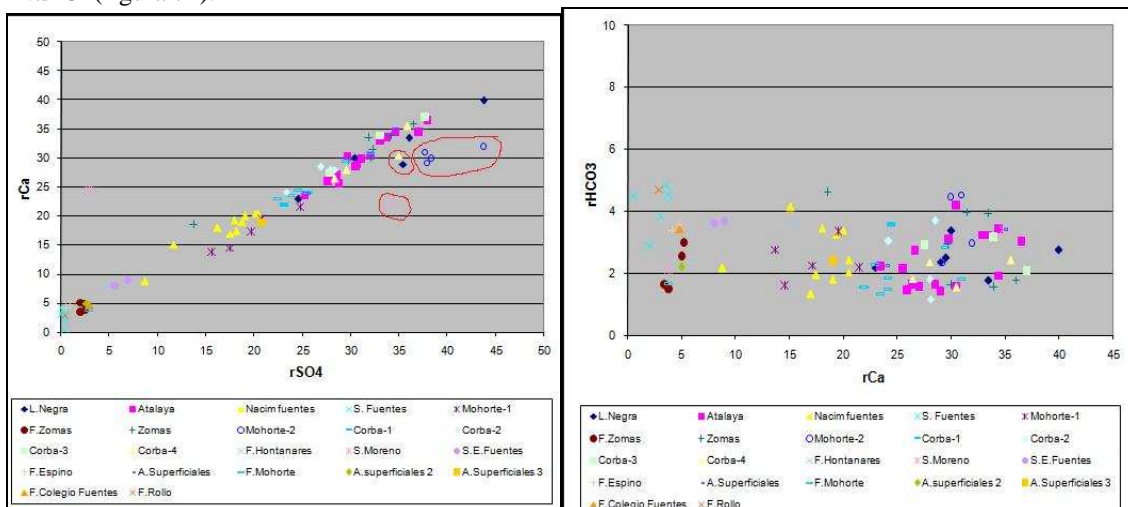


Figura 72.- Relaciones iónicas  $rCa/rSO_4$  que mantiene una evidente relación lineal, alejándose de la misma los puntos de Mohorte-2, Laguna negra, Mohorte-2, Corba-4, S.Moreno. Relación  $rHCO_3/rCa$ .

El IS yeso muestra que las aguas están claramente subsaturadas en los materiales terciarios como Fuente Zomas o Fuente Colegio Fuentes; sin embargo tanto los cauces superficiales como en las lagunas y en el nacimiento de Fuentes se encuentran próximos a la saturación. En detalle, Corba 1 y 2 se encuentran subsaturadas, Corba 3 y Corba-4 próximas a la saturación, al igual que Atalaya, Laguna negra y Mohorte-2. Las aguas del nacimiento de Fuentes se encuentran subsaturadas y con un valor algo más bajo que el conjunto de las lagunas (figura 73).

Con respecto al IS Calcita se encuentra subsaturado para todas las lagunas y el resto de formaciones acuíferas, con excepto de una de las muestras de agua superficial; igual ocurre con el IS dolomita, aunque más próximos a la saturación; sin embargo, en ambos índices se observan fuertes variaciones temporales (figura 73).

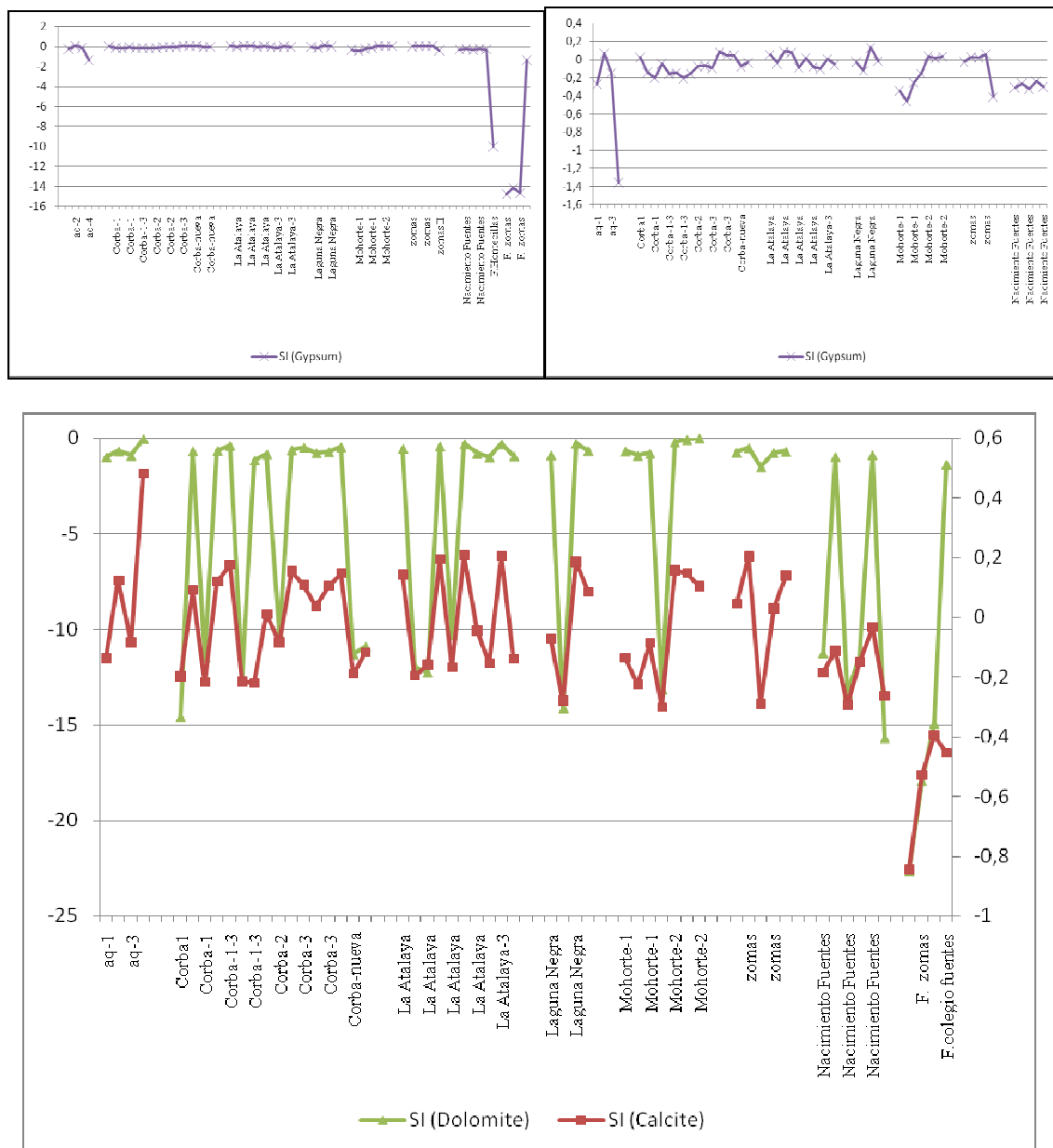


Figura 73.- IS yeso, IS calcita e IS dolomita en las aguas de las lagunas del río Moscas.

La relación profundidad/conductividad (%), a diferencia del Complejo Lagunar de Ballesteros, no muestra un patrón de comportamiento distinto si se encuentran conectadas o no, y si una gran variación entre todas ellas (tabla 21).

|         | Prof.max. | P/C (%) |
|---------|-----------|---------|
| Zomas   | 15,1      | 0,51    |
| Corba-1 | 7         | 0,29    |
| Corba-2 | 10        | 0,54    |
| Corba-3 | 6,6       | 0,25    |
| Corba-4 | 10,2      | 0,36    |
| Atalaya | 4,1       | 0,13    |
| Negra   | 5         | 0,27    |

**Tabla 21.-** Relación profundidad de las lagunas/ conductividad.

Las determinaciones de metales pesados (Se, Cr, Zn, Hg, As, Cu, Fe, Mn, Pb) se han realizado en agosto de 2010 en la mayoría de las lagunas y a distintas profundidades en las lagunas de Atalaya y Corba-1. Se detecta la presencia de Se, Cr, Zn, As, Fe y Mn, estos dos últimos en su forma oxidada, siendo más abundante la presencia de Fe. Al igual que en el caso del Complejo Lagunar de Ballesteros, el contenido en As, Se, Fe y Mn puede estar asociado a la litología evaporítica, la presencia de Zn y Cr puede ser de origen natural, aunque en las proximidades del Complejo Lagunar se encuentra la población de Fuentes, el vertido de aguas residuales procedentes de la población y la empresa maderera próxima a Fuentes, ya que no es descartable una contaminación procedente de la atmósfera polucionada asociada a la proximidad de la ciudad de Cuenca, a unos 8 km, y a una industria de transformación maderera en Fuentes, a 8 km (tabla 22). No obstante, ningún metal supera el límite establecido por el RD 140/2003.

| F_Toma    | Muestra            | Prof. | Fe    | Mn   | Cu   | Zn   | Cr   | Cd   | Pb   | As   | Se   | Hg |
|-----------|--------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 08-11-10  | Zomas              |       | 572   | 8,71 | 0,59 | 4,12 | 0    | 0,82 | 0    | 0,89 | 0    | 0  |
| 28/7/2009 | La Atalaya         | 0     | 91,7  | 0    | 0    | 1,83 | 1,27 |      | 1,76 | 0,67 | 5,09 |    |
| 28/7/2009 |                    | 3     | 88    | 0    | 0    | 8,05 | 0,25 |      | 0    | 0,94 | 6,76 |    |
| 08-10-10  |                    | 0     | 35,5  | 15,9 | 0,73 | 4,84 | 0    | 0,81 | 0    | 0    | 2,65 | 0  |
| 08-10-10  | Laguna Negra       |       | 134   | 25,6 | 2,48 | 11,7 | 0,19 | 0,94 | 0,84 | 6,8  | 1,24 | 0  |
| 28/7/2009 | Corba-1            | 0     | 180,0 | 42,2 | 0    | 6,43 | 0,1  |      | 0    | 4,52 | 0    |    |
| 28/7/2009 |                    | 3     | 69,9  | 3,98 | 0    | 1,83 | 0,22 |      | 0    | 0,97 | 0    |    |
| 08-11-10  | Corba-2            |       | 154   | 2,59 | 0,73 | 4,38 | 0    | 0,83 | 0    | 0,81 | 1,06 | 0  |
| 08-11-10  | Corba-3            |       | 0     | 4,72 | 0,62 | 11   | 0    | 0,8  | 0    | 1,36 | 1,46 | 0  |
| 08-11-10  | Mohorte-1          |       | 39,8  | 22,2 | 0,66 | 3,88 | 0    | 0,43 | 0    | 2,73 | 0,67 | 0  |
| 08-11-10  | Mohorte-2          |       | 293   | 517  | 0,99 | 7,22 | 0,26 | 0,42 | 0,59 | 22,9 | 0    | 0  |
| 08-12-10  | S.Entrada Fuentes  |       | 61,4  | 0,96 | 0,72 | 6,06 | 0    | 0,43 | 0    | 0,45 | 0,63 | 0  |
| 08-12-10  | Nacimiento Fuentes |       | 45,9  | 0    | 0,8  | 2,74 | 0,08 | 0,42 | 0    | 0,74 | 1,01 | 0  |
| 08-12-10  | Fuentes sondeo     |       | 0,0   | 0    | 7,23 | 11   | 0    | 0,45 | 0    | 0,16 | 0    | 0  |
|           | RD 140/2003        |       | 200   | 50   | 2    |      | 50   | 5    | 10   | 10   | 10   | 1  |

**Tabla 22.-** Elementos minoritarios determinados a distintas profundidades. Concentraciones en  $\mu\text{g/L}$ .

### 7.3.7. Perfiles físico-químicos de las lagunas del río Moscas

En las Lagunas de Atalaya y Corba-2 se ha efectuado el estudio en julio de 2009 y marzo de 2010, fechas representativas de las condiciones imperantes en verano e invierno respectivamente. En cada visita se ha levantado un perfil vertical detallado con los siguientes parámetros: profundidad, pH, potencial redox (ORP), conductividad eléctrica (EC), temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), clorofila-a (CHL-a), turbidez y radiación fotosintéticamente activa (PAR). También se han tomado muestras de agua a diferente profundidad para su análisis químico. Durante un año, desde julio-2009 a julio-2010, se ha registrado la temperatura a varias profundidades en ambas lagunas. Asimismo se hizo un perfil en la laguna de Corba-4.

La laguna Atalaya está conectada hidráulicamente con el acuífero yesífero inferior, sin embargo, esta conexión no parece continua en el tiempo o se restringe en verano. Por esta razón su conductividad eléctrica prácticamente no varía entre invierno y verano (figura 74), aunque se observa, para la temperatura diferencia de comportamiento entre invierno y verano; así la temperatura en invierno varía pocos grados entre el agua superficial y profunda sin embargo, en verano se observa una fuerte diferencia de 0-2 m y en profundidad, de hasta 7°C (figura 74). La diferencia térmica hace que el agua más próxima

a la superficie presente una menor densidad, un contacto con la atmósfera, y consecuentemente su enriquecimiento gradual de oxígeno disuelto, aproximándose a su valor de saturación. La variación de la T y el OD con la profundidad, además de la atenuación de la PAR, deben de influir en la distribución irregular del fitoplancton en la vertical, como se observa por el enriquecimiento de la clorofila-a y turbidez a partir de los 3,5 m de profundidad (figura 74).

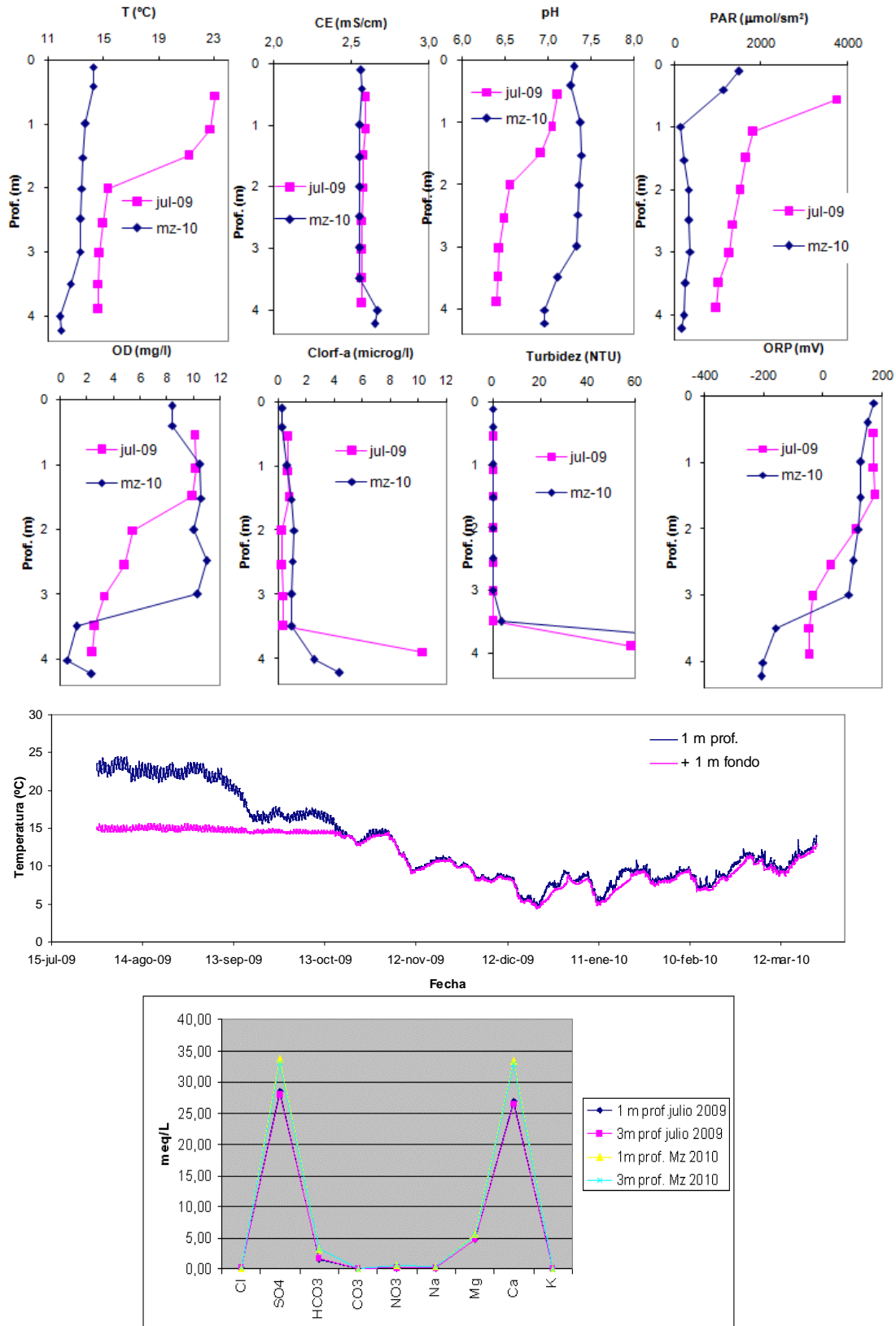
Del registro continuo de la temperatura a 1 y 3,4 m de profundidad, se desprende que la temperatura de la columna de agua es homogénea entre octubre-2009 y abril-2010, y que ésta es inferior a la temperatura del agua subterránea, cuyo valor representativo son los 14,7-14,8 °C que se registran de forma continuada a 3,4 m de profundidad (figura 74). En este periodo la evolución de la temperatura viene determinada, al igual que en L6, por la competencia entre dos procesos: el enfriamiento de la superficie de la laguna (lo que hace que se activen los procesos de mezcla en la vertical, homogenizando y enfriando toda la columna de agua) y el flujo transversal del agua subterránea a través de la laguna (lo que hace incrementar su temperatura tendiendo a los 14,7 °C del agua subterránea). Sin embargo, durante el verano de 2009, inducida por la estratificación térmica (figura 62), se desarrolla una estratificación química a partir de los 2 m de profundidad. A 3,5 m de profundidad se tiene un máximo relativo de oxígeno disuelto, asociado a unos valores altos de clorofila-a y turbidez (figura 74).

La hidroquímica de la laguna muestra cierta evolución entre verano e invierno (figura 74). A pesar de la mayor abundancia de agua en época invernal la concentración de algunos iones aumenta. La concentración del sulfato y calcio se duplica. Este incremento de concentraciones hace que se alcance la sobresaturación para la calcita y dolomita en esta época del año, y el yeso tienda a la sobresaturación.

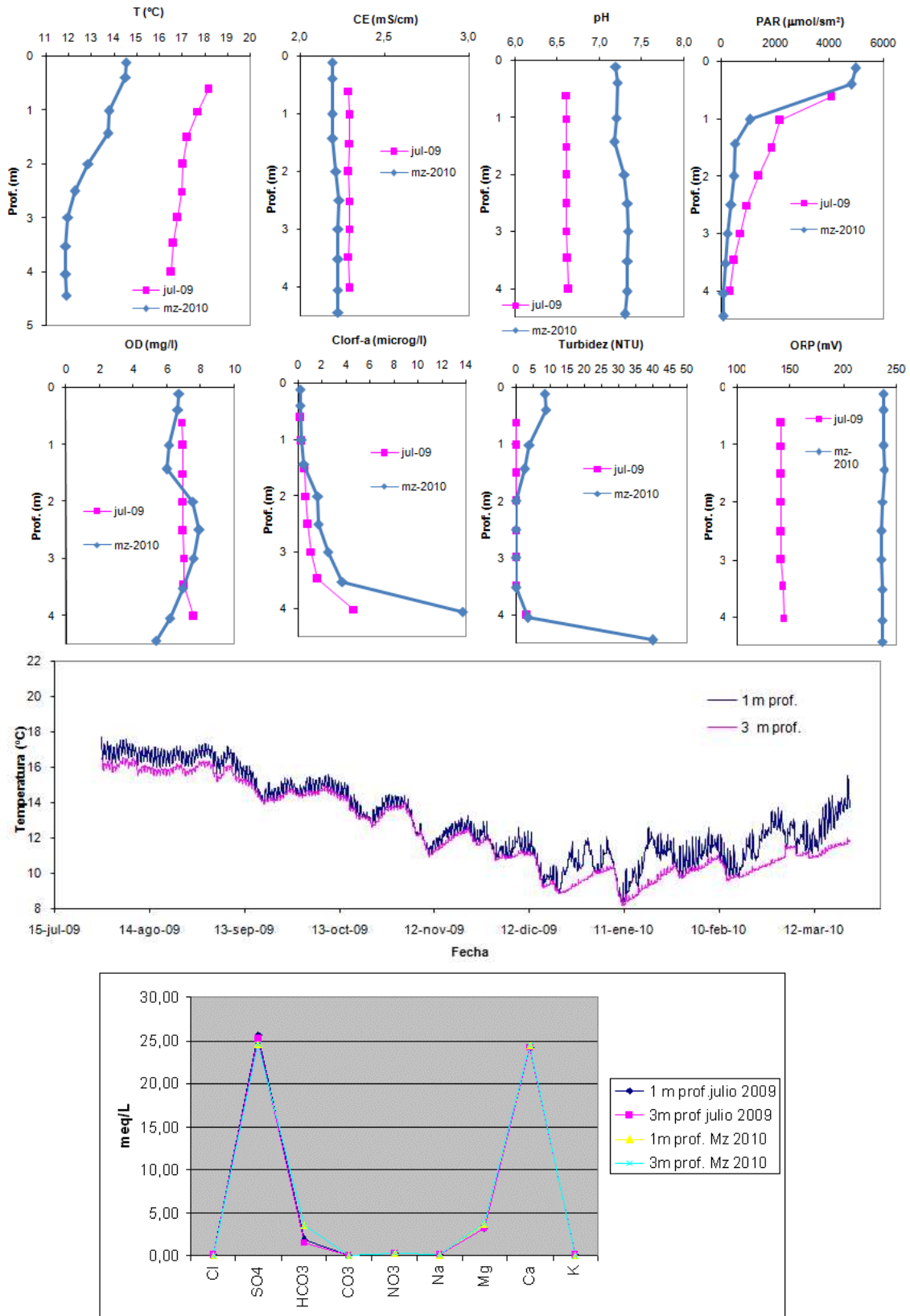
La laguna Ojo de Corba-2 presenta una mejor conexión con el acuífero yesífero inferior (figura 75). No varían en profundidad ni la conductividad, ni la temperatura, ni el pH ni el potencial Redox. Se advierte, en el fondo de la misma, la presencia de clorofila y turbidez, a partir de los 3, 5 m de profundidad.

Del registro continuo de temperatura se observa que no existe diferencia en profundidad, con excepción de una pequeña diferencia en invierno causada a la mezcla por el enfriamiento del agua más superficial.

La hidroquímica de la laguna no muestra variación entre verano e invierno (figura 75), con excepción de un leve incremento en  $\text{HCO}_3^-$  puede estar relacionado en parte con el aporte de  $\text{CO}_2$  atmosférico, favorecido por los procesos de mezcla en la vertical que se dan en esta época del año, favorecido además por las bajas temperaturas. Esta escasa variación evidencia el contacto con el acuífero yesífero inferior.

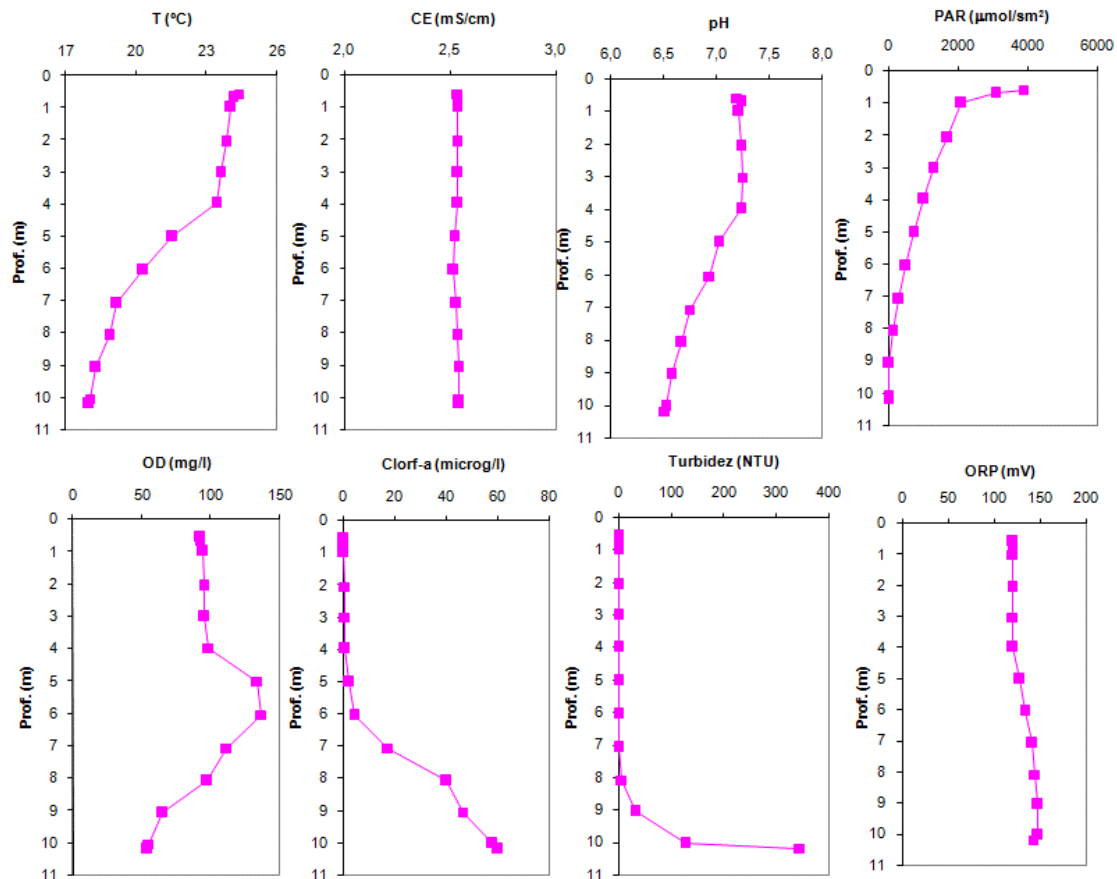


**Figura 74.** Evolución de la laguna Atalaya a) variación en profundidad en julio de 2009 y marzo de 2010 de T (°C), EC (mS/cm), pH, PAR, OD (mg/L), CHL-2, turbidez (NTU) y ORP (mV). Evolución temporal, entre julio de 2009 y julio de 2010 de la temperatura (°C) a 1 m de profundidad y a 1 m del fondo. Representación del contenido iónico del agua de julio de 2009 y marzo de 2010 en meq/L.



**Figura 75.** Evolución de la laguna Corba-1, variación en profundidad en julio de 2009 y marzo de 2010 de T (°C), EC (mS/cm), pH, PAR, OD (mg/L), CHL-2, turbidez (NTU) y ORP (mV). Evolución temporal, entre julio de 2009 y julio de 2010 de la temperatura (°C) a 1 m y a 3 m de profundidad.. Representación del contenido iónico del agua de julio de 2009 y marzo de 2010 en meq/L.

La laguna Corba-4 (figura 76) muestra una conexión más restringida con el acuífero inferior, ya que aunque la conductividad es homogénea en toda la laguna, la temperatura muestra una cierta estratificación a partir de 4 m de profundidad, con un cambio en pH. Asimismo el OD muestra un incremento entre 5-7 m de profundidad y la clorofila muestra un incremento a partir de los 7 m; ello puede indicar el desarrollo de vegetación que se extienden hasta los 5 m de profundidad, incrementando la presencia de OD en esa franja y desarrollándose a mayor profundidad las algas, aunque no incrementan la turbidez, ya que la laguna se formó recientemente.



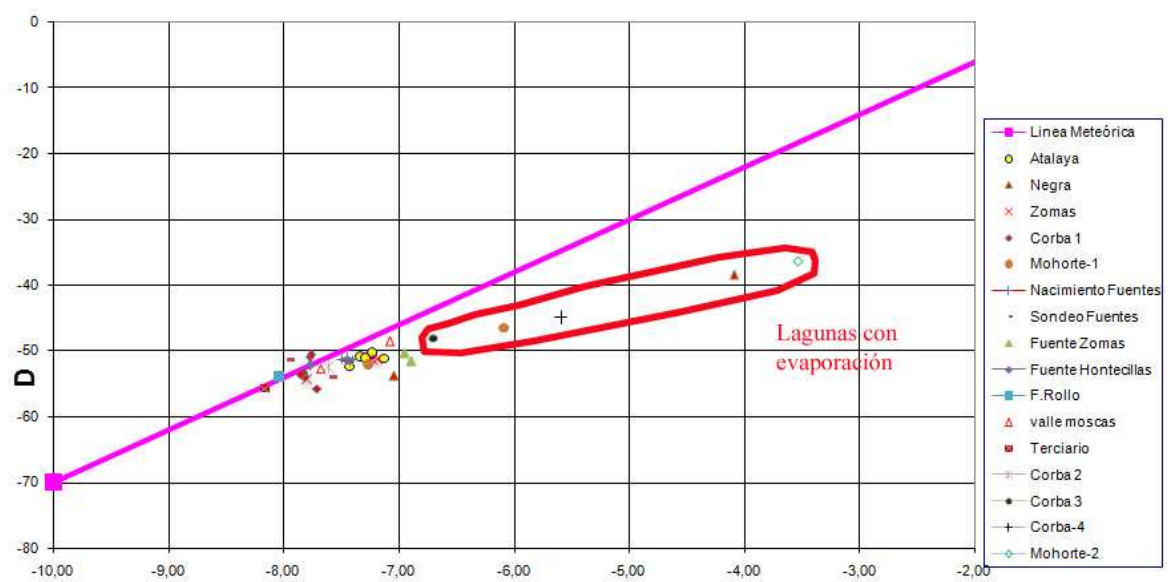
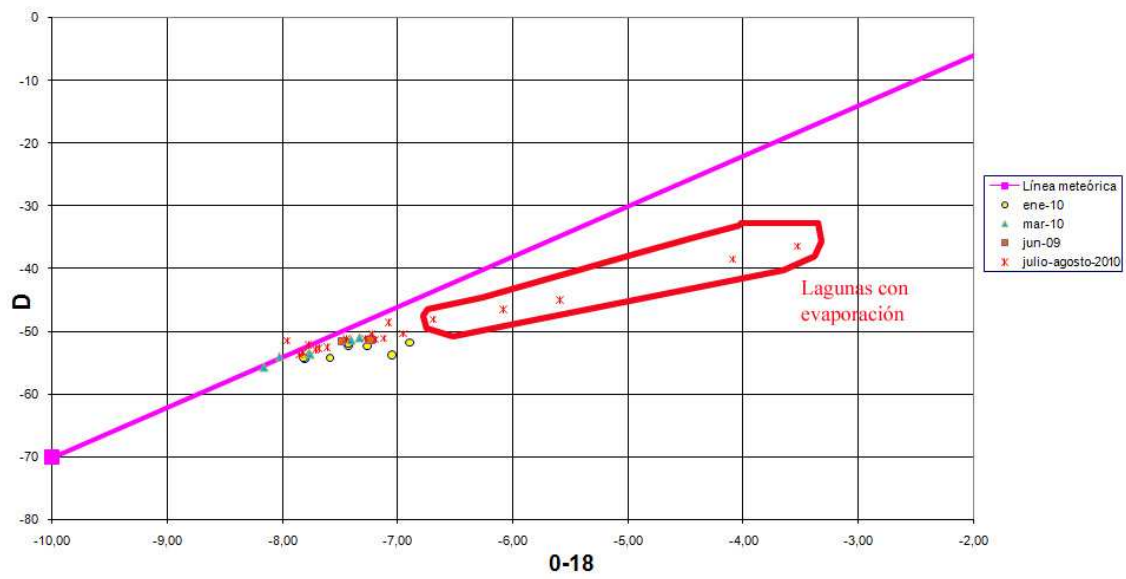
**Figura 76.** Evolución de la laguna Corba-4: variación en profundidad en julio de 2009 de T (°C), EC (mS/cm), pH, PAR, OD (mg/L), CHL-2, turbidez (NTU) y ORP (mV).

### 7.3.8. Características isotópicas del Complejo Lagunar del río Moscas

La evolución isotópica de las lagunas del río Moscas muestran, para enero de 2010 como una marca isotópica se queda alineada o próxima a la línea meteórica mundial, sin embargo, en agosto de 2010 se puede distinguir como se diferencian dos tipos de lagunas, las conectadas con el acuífero profundo y las desconectadas, total o parcialmente, como son, en agosto de 2010 las lagunas de Mohorte 1 y 2, y las lagunas de Corba-3 y Corba 4. Sin embargo, esta desconexión no parece continua temporalmente, ya que las lagunas Negra y Mohorte 1, en enero de 2010, no presentan dicha desconexión (figura 77).

Asimismo, para marzo de 2010 se han muestreado en profundidad las lagunas de Corba 1 y Atalaya, en marzo y julio de 2010 no observándose variaciones significativas, por lo que se puede afirmar que toda la columna de agua de ambas lagunas tiene el mismo origen y no sufren evaporación ni estratificación.

Las fuentes asociadas a materiales terciarios (F.Espino) o a acuíferos carbonatados cretácico (F.Rollo, F. Hontecillas) se alinean con la línea meteórica, las aguas captadas en el sondeo cretácico muestra una ligera separación (S. Fuentes). Sin embargo, los que coinciden en isótopos, siendo muy similares los sondeos asociados a los materiales yesíferos (denominados Valle Moscas en la figura 77: S.Moreno, S. Entrada Fuentes), el nacimiento del río Moscas y las aguas del Complejo Lagunar, confirmando un mismo origen de las aguas.



**O-18**

**Figura 77.-** Contenido isotópico O-18/D por captaciones y por fechas de muestreo.



## 8. APROXIMACIÓN A LA PROTECCIÓN DE LAS LAGUNAS

### 8.1. Protección legal

En la actualidad ambos complejos lagunares, tienen alguna declaración que les permite controlar las actividades a realizar en su superficie.

El *Decreto 27/2002 de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha* en el que se aprueba el Plan de ordenación de los recursos naturales del Complejo Lagunar de Arcas (posteriormente se denominará Complejo lagunar de Ballesteros) y se declara la reserva natural del Complejo Lagunar de Arcas (Cuenca) que contempla, en su artículo 4 que está sujeta al régimen de protección siguiente:

1. Los planes de ordenación territorial y urbanística calificarán el suelo como rústico de protección ambiental, natural y paisajística.
2. El régimen de usos y actividades de aplicación en esta reserva se regula en el anexo 1 que indica la regulación de usos y actividades.

Los permitidos corresponden a los de carácter tradicional, no lesivos con el ecosistema y que resulta compatible con las figuras a proteger. Dentro de estos usos, unos son libres y otros están regulados por la legislación sectorial a través del régimen de autorización administrativa. En el caso de los acuíferos y la relación con la génesis de las lagunas, permiten la agricultura, con uso de maquinaria, abonos y fitosanitarios de baja toxicidad y la ganadería extensiva, entre otros usos no significativos hidrogeológicamente.

Los usos a regular específicamente por la planificación de espacio natural protegido son los que por poder afectar con frecuencia a los recursos y valores naturales o por carecer de regulación sectorial adecuada debe realizarse de acuerdo con una regulación sectorial específica que permita anular o disminuir su efecto negativo. Desde un punto de vista hidrogeológico son usos recreativos, tránsito de vehículos, instalaciones industriales, aprovechamiento de aguas minerales o termales y explotaciones mineras. Estos usos deben ser objeto de autorización expresa y previa para cada caso particular por la Administrador del espacio protegido.

Los usos prohibidos corresponden a los que causan impactos graves sobre recursos y valores ecológicos, incompatibles con los objetivos de conservación. Hidrogeológicamente son edificaciones, vertidos, enterramientos, almacenamiento o incineración de escombros, RSU, residuos líquidos, transformaciones a regadío, o la roturación de cualquier superficie de vegetación natural, entre otras influencias de menor relación con la hidrogeología.

Con respecto a la agricultura se establecerán criterios orientadores como la retirada de la producción de tierras de cultivo en las zonas colindantes a las lagunas, reducción del empleo de fertilizantes, biocidas o uso alternativo de sustancias de baja peligrosidad. Con respecto a la ganadería se pretende reducir la cabaña ovina, el pastoreo en zonas encharcables y zonas periféricas de las lagunas.

Con respecto al Complejo Lagunar del Río Moscas, según el *Decreto 46/2010*, de 04/05/2010, se declaró la microrreserva: Complejo Lagunar del Río Moscas, en los términos municipales de Arcas del Villar, Cuenca y Fuentes, de la provincia de Cuenca, y se establece en su artículo 3 “*Usos, aprovechamientos y actividades*” restricciones similares a las del Complejo Lagunar de Ballesteros aunque la figura legal es distinta a la de Ballesteros. Dichos usos, aprovechamientos y actividades con ordenación, están descritas de manera similar y más detallada:

- Los usos y las actividades se someten a la regulación establecida debiéndose realizar en todo caso de forma compatible con la conservación de los diferentes recursos naturales, con especial atención a los considerados protegidos.

- Se consideran permitidos los siguientes usos y actividades: la agricultura, en las condiciones y sobre las superficies donde se realice esta actividad a la entrada en vigor del presente Decreto, el empleo de fitosanitarios y fitocidas de baja toxicidad (tipología AAA) en las superficies cultivadas, la ganadería extensiva al exterior de las cubetas lagunares y de la vegetación natural perilagunar, la actividad cinegética al exterior de las lagunas y con la excepción de la caza de aves acuáticas que se considera una actividad prohibida, la libre circulación a pie, en montura o con vehículo por las carreteras y por el resto de caminos públicos, teniendo en cuenta las especificaciones que pudieran derivarse de los instrumentos

de planificación del espacio. Así como la circulación campo a través del personal relacionado con la propiedad, aprovechamientos, vigilancia, gestión de los terrenos u otros servicios públicos, siempre y cuando sea de forma justificada y no alteren negativamente los recursos naturales protegidos. Son aquéllos de carácter tradicional que no son lesivos a los ecosistemas ni a los recursos naturales prioritarios y que resultan compatibles con las figuras legales de protección a aplicar. Dentro de los usos permitidos, algunos tienen carácter libre y otros ya se encuentran regulados por la legislación sectorial, debiendo los órganos administrativos competentes tener en cuenta en sus actuaciones las prescripciones derivadas del presente Decreto.

-Se someten al requisito de previa autorización ambiental las siguientes actividades con relación con la hidrogeología:

- abrevado del ganado en la laguna Negra, en tanto no haya otra alternativa viable, aprovechamientos forestales, incluidos las leñas, los tratamientos silvícolas y los preventivos contra incendios, reforestaciones para la recuperación de la vegetación autóctona de la zona, actividades de investigación, así como la toma de muestras de agua, bentos o sedimentos, y la recolección de material edáfico, geológico o paleontológico; el acondicionamiento, mantenimiento y mejora de las construcciones, infraestructuras, instalaciones y edificaciones existentes, siempre sin aumento de alturas ni de superficie de ocupación y las labores de limpieza de los drenajes existentes.

Las referidas autorizaciones serán emitidas por los Servicios Provinciales del Organismo Autónomo Espacios Naturales de Castilla-La Mancha.

-Las siguientes actividades serán objeto de regulación a través de los instrumentos de planificación de la microrreserva: empleo de abonos y fertilizantes en los cultivos agrícolas; las actividades de uso público y las actividades deportivas no armadas en el espacio natural.

Con respecto a los usos y actividades prohibidas, se mencionan las relacionadas con la hidrogeología:

- La roturación, descuaje, alzado, deterioro o alteración de las cubiertas vegetales naturales y cualquier actividad que pueda afectar negativamente su estado o regeneración; la transformación a regadío de superficies cultivadas; el empleo de fitosanitarios o fitocidas de mayor toxicidad que la codificada como AAA, así como la aplicación de agroquímicos en una banda de 10 metros alrededor de las lagunas; la ganadería en el interior de las cubetas lagunares o sobre la vegetación natural perilagunar, con excepción de los usos autorizables de abrevado de ganado; las reforestaciones cuyo objetivo sea distinto al de recuperar la vegetación potencial de la zona, exceptuando las plantaciones productivas de chopos sobre terrenos en labor que tendrán la condición de autorizables; la construcción de pozos, drenajes, canales, puentes, presas, diques y otras obras similares, así como cualquier otra actuación que altere negativamente la dinámica natural de las aguas superficiales o subterráneas y la alteración física de los lechos lagunares; las actividades mineras y todas aquéllas que impliquen movimiento de tierras con modificación del suelo o de la roca, incluso la recolección de rocas y minerales, a excepción de los trabajos de investigación arqueológica debidamente autorizados; la extracción o depósito de áridos, suelos o turba, incluido el aprovechamiento de aguas minero-medicinales; la nueva construcción de instalaciones industriales, edificaciones e instalaciones de cualquier otro tipo; las infraestructuras para la comunicación o para el transporte de personas o bienes, tales como carreteras o caminos en sus diversos tipos, vías de ferrocarril, tendidos eléctricos, parques eólicos, acueductos, huertos solares, oleoductos o gasoductos; la nueva construcción de instalaciones industriales así como de edificaciones e instalaciones destinadas a otros usos. Incluyendo también las viviendas o construcciones portátiles, con excepción de las que estrictamente requiera la gestión del espacio protegido; el vertido, enterramiento, incineración o depósito de escombros, residuos sólidos o líquidos, incluidos las sustancias tóxicas, nocivas o peligrosas, así como cualquier otra forma de contaminación, entre otras.

-Están excluidas de la prohibición establecida para los usos y actividades especificados en el anterior apartado, las actividades de gestión de la Microrreserva que se programen y desarrollen de acuerdo con lo que dispongan sus instrumentos de planificación, y que deberán ser autorizadas por el órgano en cada caso competente.

## 8.2. Generalidades

La protección de estos espacios húmedos singulares debe ir pareja a la limitación de las actividades antrópicas que se realicen en la definición de los Complejos Lagunares de Ballesteros y del río Moscas (figura 1).

El funcionamiento hidrodinámico de las lagunas está íntimamente asociado a los acuíferos yesíferos infrayacentes, por lo que cualquier sondeo o perforación para la explotación de agua subterránea pueden alterar el funcionamiento y la alimentación de las lagunas. Por ello es preciso definir un perímetro de protección para los complejos lagunares, con una limitación a perforar en los terrenos declarados como reserva. Las perforaciones que se realicen en los terrenos vecinos, deberían presentar, para su autorización, un estudio hidrogeológico en el que se identifique que acuífero se va a captar, las características constructivas, el aislamiento de los acuíferos asociados a las lagunas y el caudal de explotación previsto. No es aconsejable captar los acuíferos yesíferos superficial y profundo en las proximidades de los complejos lagunares, en cuanto pueden influir en la alimentación de las lagunas.

En la actualidad, ambos complejos lagunares son efluentes, vertiendo las aguas al río Moscas y San Martín. Por ello los vertidos que se realicen en los cauces superficiales no influirán en el quimismo de las lagunas. Sin embargo, un cambio de funcionamiento con un cambio de los ríos a influentes, a causa de cambios en el régimen de alimentación o de instalación de captaciones con grandes extracciones, tanto de manera continua como episódica y a lo largo de todos los cauces o por tramos, podría influir en el quimismo de las lagunas e incluso en las formaciones acuíferas profundas.

La escasa presencia de compuestos nitrogenados en las lagunas, muestran que, en el periodo de estudio, las prácticas agrarias no parecen afectar al quimismo de las lagunas.

No obstante, como medidas a aplicar, se recomienda:

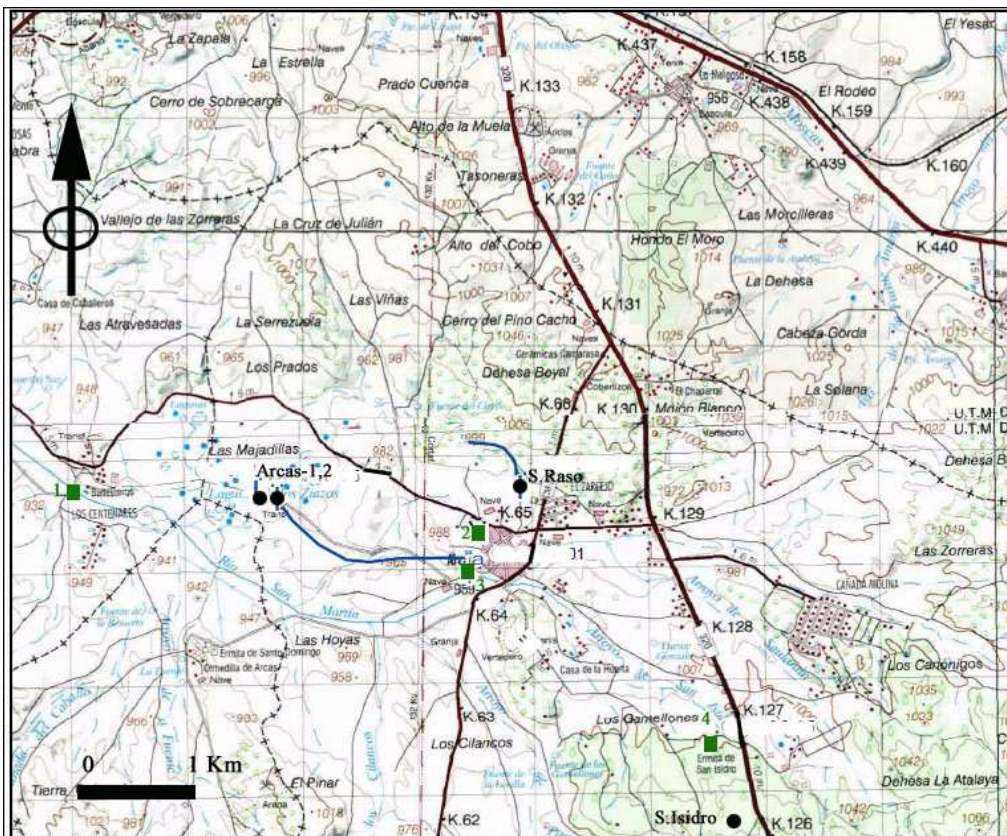
- Inventario actualizado de puntos de agua de ambas captaciones con sus características constructivas, equipamiento y volumen extraído de manera mensual.
- Instalación de una red de control piezométrica y de calidad en ambos complejos, así como el equipamiento de aparatos de registro continuo de las lagunas más representativas en ambos complejos, para conocer la evolución piezométrica y la oscilación del nivel de las lagunas.
- Estudio agronómico para adecuar los kg/ha de abono, así como los productos fitosanitarios que se puedan emplear en las áreas limítrofes a los Complejos lagunares y aplicaciones de los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias.
- Estudio de la posible polución atmosférica asociada a la fabrica de madera de PINASA.
- Elaboración de dos perímetros de protección para ambos complejos lagunares, que, además de la superficie declarada de protección, y conjuntamente con los Ayuntamientos, regulen las actividades a realizar y autorizar, así como las perforaciones futuras, a partir de las pertinentes modificaciones de los planes de ordenación local.

## 8.3. Focos potenciales de contaminación

Ambos complejos lagunares se encuentran en zonas de cultivo de secano, cuyas prácticas agrarias generarán una contaminación difusa de componentes nitrogenados y productos fitosanitarios que puedan emplearse. Se han realizado estudios que recogen focos de contaminación asociados tanto a las formaciones geológicas asociadas a las lagunas como a otras (IGME, 2006; Martínez-Parra y Alonso, 2010). Con esta información y la propia de este estudio se han identificado un conjunto de focos puntuales que se recogen en la tabla 23 y figura 78.

| Próximo al Complejo Lagunar de Ballesteros |         |         |              |  |
|--|---------|---------|--------------|--|
|  | X (UTM) | Y(UTM)  | Z (m s.n.m.) | Naturaleza contaminante                                  |
| 1.Vertido aguas residuales casas           | 572074  | 4427751 | 900          | Materia orgánica, microorganismos, aceites y grasas, etc |
| 2.Cementerio                               | 575522  | 4427371 | 980          | Compuestos nitrogenados                                  |
| 3.Granja de ovejas                         | 575527  | 4427405 | 980          | Compuestos nitrogenados, K, fosfatos                     |
| 4.Vertedero incontrolado                   | 575834  | 4426408 | 1000         | variada  |
| Próximo al Complejo Lagunar del río Moscas |         |         |              |  |
| Gravera abandonada                         | 583373  | 4424476 | 1000         | Vertidos incontrolados                                   |
| Gravera abandonada                         | 583805  | 4426472 | 1020         | Vertidos incontrolados                                   |
| ARU Fuentes                                | 583450  | 4423292 | 990          | Materia orgánica, microorganismos, aceites y grasas, etc |
| Vertedero inertes                          | 582586  | 4422996 | 1020         | variada  |
| Instalación ganadera                       | 583462  | 4423078 | 1000         | Nitratos, fosfatos, potasio                              |
| Redil de ganado                            | 582507  | 4424220 | 990          | Nitratos, fosfatos, potasio                              |
| Redil de ganado                            | 584328  | 4422545 | 1030         | Nitratos, fosfatos, potasio                              |
| Cementerio                                 | 583176  | 4422589 | 1010         |  |
| Fabrica maderera PINASA                    | 582080  | 4427850 | 980          | Polución atmosférica(?), industrial(?)                   |
| Gasolinera                                 | 581273  | 4429193 | 980          | Hidrocarburos  |

**Tabla 23.-** Focos de contaminación potencial de las áreas de estudio. Se entiende como potencial el riesgo que existe y que tipo de contaminación podría generar, no que se estén produciendo.



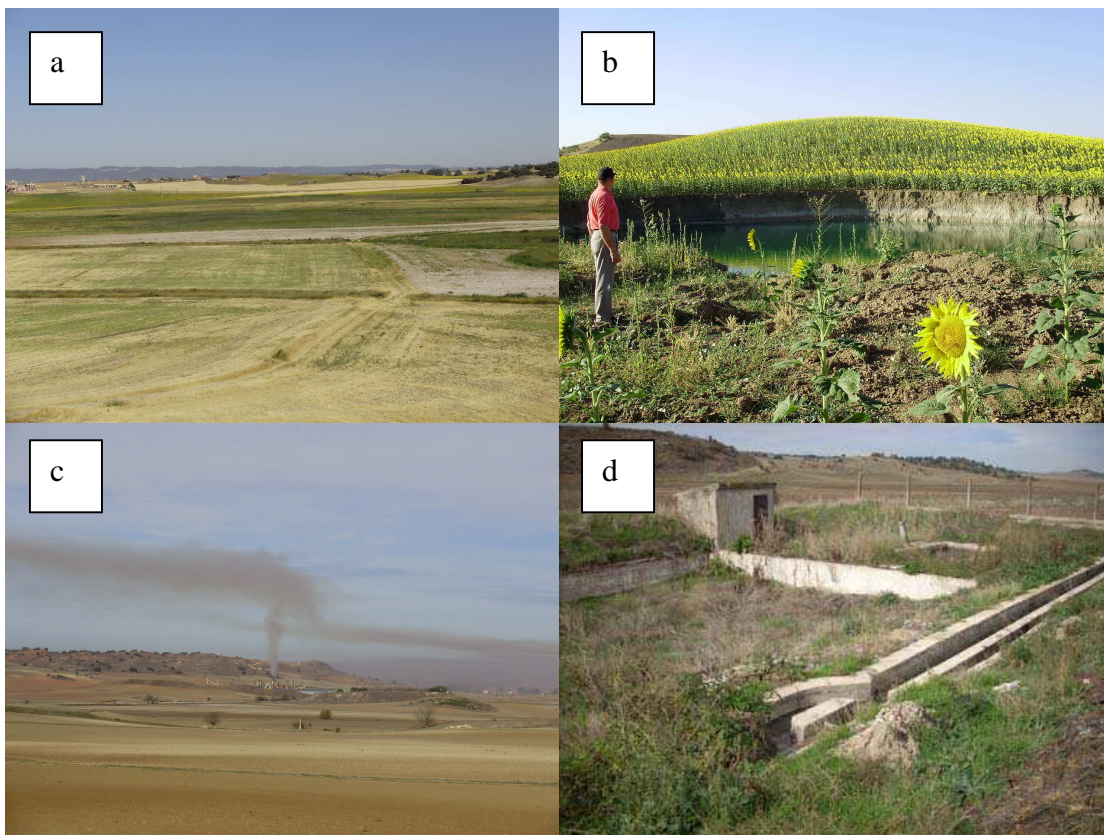
**Figura 78.-** Focos de contaminación puntual y potencial en la zona del Complejo Lagunar de Ballesteros (tabla 23).

El entorno de las zonas corresponde a un área de cultivos de secano y, en el caso de Arcas, también de bosques de pinos. Los núcleos urbanos (Arcas del Villar, Ballesteros y casas próximas, Fuentes y Las Zomas)

se encuentran próximos y constituyen un foco potencial de contaminación, en el caso de fugas de la red de alcantarillado y existencia de pozos negros. La población de Fuentes vierte sin tratar las aguas residuales al río Moscas (IGME, 2007), sin embargo las aguas residuales de Arcas del Villar se conducen por canalización a Villar de Olalla, por lo que no se vierte al río San Martín en las inmediaciones de la zona estudiada. Se ignora como se eliminan las aguas residuales en la pedanía de Las Zomas y en Ballesteros, aunque en este último caso es probable que se conduzca a Villar de Olalla, sin embargo sí se ha observado un vertido de 0.5 L/s al río San Martín procedente de las casas situadas en su orilla derecha, alejadas del núcleo de Ballesteros; sin embargo, su incidencia, será mínima, ya que se encuentra fuera del Complejo Lagunar de Ballesteros.

Las extracciones de áridos en el valle del río Moscas se encuentran abandonadas o en desuso, y suponen una zona de riesgo potencial, en cuanto se pueden realizar vertidos no autorizados en los mismos. Los rediles de ganado e instalación ganadera en Fuentes son de escasa importancia, sin embargo la instalación dispone de un sondeo cuya agua presenta elevados contenidos en nitratos, tal vez por una deficiente construcción.

La fábrica de productos de madera sita en Fuentes no ha suministrado información alguna en cuanto a las captaciones que dispone. Tampoco se conocen los posibles vertidos sólidos y líquidos, así como emisiones gaseosas (figura 79) que su actividad industrial puede generar, y el tratamiento que reciben, por lo que se ha incluido la instalación como foco potencial.



**Figura 79.-** a) Campos de secano en el Complejo Lagunar de Ballesteros, b) Campos de girasoles en la zona del río Moscas, c) Emisión de humos procedentes de PINASA, d) lagunaje sin uso en Fuentes.

#### 8.4. Perímetro de protección del sondeo de abastecimiento de Fuentes

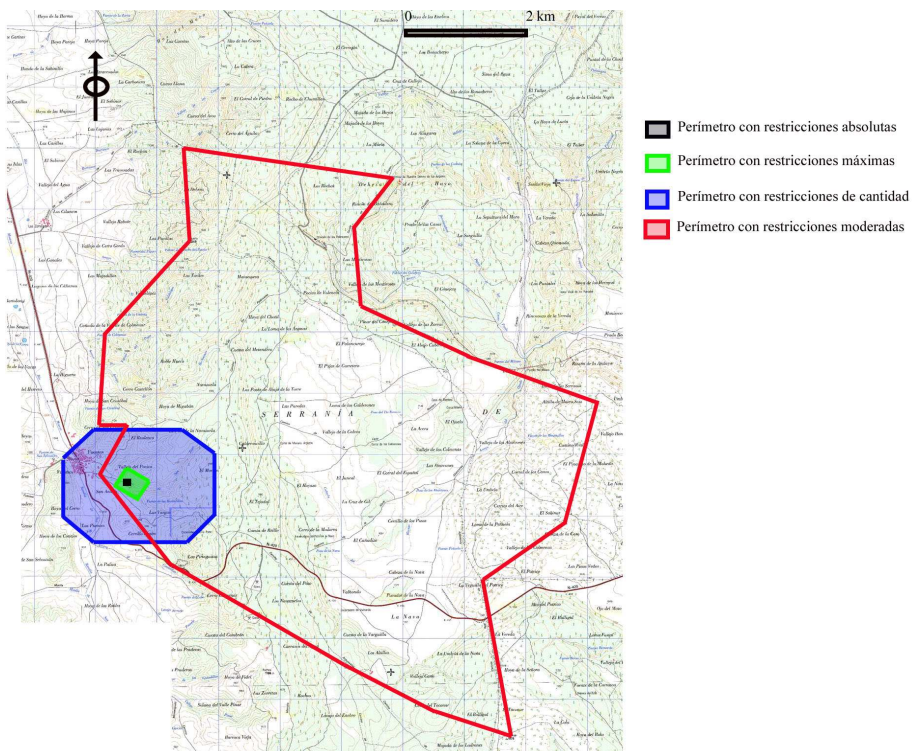
Para la captación de abastecimiento a Fuentes, correspondiente a un sondeo que capta el acuífero carbonatado cretácico, el IGME ha elaborado un perímetro de protección (Martínez-Parra y Alonso, 2010) de la calidad y de la cantidad (tabla 24, figura 80).

Considerando la posible conexión entre el acuífero carbonatado cretácico de la Serranía de Cuenca y los materiales calcoyesíferos del Tránsito Cretácico-Terciario, se incluye en el estudio dicho perímetro, para que se contemple su aplicación y las recomendaciones de restricción de actividades.

La definición de los perímetros de protección de las captaciones de abastecimiento humano se basa fundamentalmente en **criterios hidrogeológicos**, apoyándose además, en métodos paramétricos. Como resultado se obtiene una zonación dentro del perímetro de protección de las distintas captaciones en tres zonas las cuales contarán con restricciones de uso tanto mayor cuanto más próximas se encuentren a las captaciones:

- Zona inmediata o de restricciones absolutas: tiempo de tránsito 1 día o área fija de 100-400 m<sup>2</sup>. Suele estar vallada.
- Zona próxima o de restricciones máximas: tiempo de tránsito 50 días. Protege de la contaminación microbiológica con criterios hidrogeológicos. En algunos estudios se ha usado el descenso del nivel piezométrico o el poder autodepurador.
- Zona alejada o de restricciones moderadas: se usa el tiempo de tránsito de varios años en función de los focos contaminantes, criterios hidrogeológicos o ambos.

Para la captación de abastecimiento de Fuentes, un sondeo que capta las aguas del acuífero carbonatado cretácico, se ha delimitado, además de los perímetros de protección de la calidad, también de la cantidad (Martínez y Alonso, 2010). La posible conexión del acuífero carbonatado cretácico en Fuentes con el yesífero, en la zona del nacimiento del río Moscas, lleva a recomendar la aplicación del perímetro propuesto para proteger también al área de alimentación del Complejo Lagunar del río Moscas.



**Figura 80.-** Perímetro de protección propuesto para el sondeo de abastecimiento de Fuentes (Martínez y Alonso, 2010).

Las actividades a restringir en las distintas zonas del perímetro se recogen en la Tabla 25.

|  | Nº PUNTO | UTM_X  | UTM_Y   | Z (m s.n.m.) |
|--|----------|--------|---------|--------------|
| <b>ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS</b>   | A        | 584732 | 4422427 | 995          |
|  | B        | 584750 | 4422425 | 995          |
|  | C        | 584750 | 4422417 | 995          |
|  | D        | 564732 | 4422422 | 995          |
| <b>ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS</b>     | A        | 584500 | 4422400 | 1020         |
|  | B        | 584750 | 4422790 | 1100         |
|  | C        | 585220 | 4422535 | 1100         |
|  | D        | 584970 | 4422120 | 1040         |
| <b>ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS</b>   | A        | 585482 | 4427974 | 1080         |
|  | B        | 588891 | 4427533 | 1190         |
|  | C        | 588202 | 4426718 | 1165         |
|  | D        | 588323 | 4425433 | 1125         |
|  | E        | 592156 | 4423837 | 1160         |
|  | F        | 591604 | 4421021 | 1115         |
|  | G        | 590300 | 4420937 | 1124         |
|  | H        | 590693 | 4418353 | 1178         |
|  | I        | 589553 | 4418761 | 1132         |
|  | J        | 585249 | 4421149 | 1080         |
|  | K        | 584029 | 4422680 | 1020         |
|  | L        | 584511 | 4423488 | 1120         |
|  | M        | 584073 | 4423500 | 1123         |
|  | N        | 584142 | 4424952 | 1040         |
|  | O        | 585506 | 4426472 | 1248         |
| <b>ZONA DE PROTECCION DE LA CANTIDAD</b> | A        | 584000 | 4423500 | 1120         |
|  | B        | 585000 | 4423500 | 1160         |
|  | C        | 586000 | 4423000 | 1160         |
|  | D        | 586000 | 4422000 | 1150         |
|  | E        | 585000 | 4421600 | 1100         |
|  | F        | 584000 | 442160  | 1020         |
|  | G        | 584000 | 4422000 | 1060         |
|  | H        | 583500 | 4423000 | 1000         |

**Tabla 24.-** Propuesta de perímetros de protección del sondeo de abastecimiento de Fuentes (Martínez y Alonso, 2010).

Aunque la zona de estudio y los perímetros calculados para ella abarcan una zona en general agreste, sí existen algunos campos de cultivo y alguna granja las cuales tendrían que estar sujetas a un control al estar incluidas en un área de vulnerabilidad alta y dentro del perímetro de restricciones máximas y moderadas. Así también, todo tipo de vertidos, actividades industriales, uso de pesticidas y ganadería intensiva quedarían prohibidas. El uso de fertilizantes y herbicidas estarán condicionados a un estudio técnico sobre su posible afección al acuífero. En el caso de apertura de canteras, ésta quedaría prohibida en el área de restricciones máximas y apertura condicionada en el caso de la zona de restricciones moderadas.

En el caso de perforación de sondeos, deberán estar supeditados a la presentación de un estudio hidrogeológico en el que se contemple la inexistencia de afección del sondeo a la captación municipal. Este control debe repetirse en el caso del perímetro de protección de la cantidad, dentro del cual, todos los sondeos precisarán de dicho estudio hidrogeológico y, si se autoriza, de un adecuado informe final de obras con ensayo de bombeo y adecuación de los sondeos para su medida periódica de niveles piezométricos. Asimismo estarán equipados de contadores para determinar que caudal se extrae.

|                          | DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES   | ZONA DE RESTRICCIONES ABSOLUTAS | ZONA DE RESTRICCIONES MÁXIMAS |        | ZONA DE RESTRICCIONES MODERADAS |         |        |         |
|--------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|--------|---------------------------------|---------|--------|---------|
|                          |   | Prohibido                       | Prohib.                       | Cond.* | Permit.                         | Prohib. | Cond.* | Permit. |
| ACTIVIDADES AGRÍCOLAS    | Uso de fertilizantes  | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Uso de herbicidas   | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Uso de pesticidas   | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Almacenamiento de estiércol   | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Vertido de restos de animales   | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Ganadería intensiva   | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Ganadería extensiva   | •                               | •                             |        |                                 |         |        | •       |
|                          | Almacenamiento de materias fermentables para alimentación del ganado          | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Abrevaderos y refugios de ganado  | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
| Silos                    | •   | •                               |                               |        | •                               |         |        |         |
| ACTIVIDADES URBANAS      | Vertidos superficiales de aguas residuales urbanas sobre el terreno           | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Vertidos de aguas residuales urbanas en fosas sépticas, pozos negros o balsas | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Vertidos de aguas residuales urbanas en cauces públicos                       | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Vertido de residuos sólidos urbanos   | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Cementerios   | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
| ACTIVIDADES INDUSTRIALES | Asentamientos industriales  | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Vertido de residuos líquidos industriales                                     | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Vertido de residuos sólidos industriales                                      | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Almacenamiento de hidrocarburos   | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Depósito de productos radiactivos   | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Inyección de residuos industriales en pozos y sondeos                         | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Conducciones de líquido industrial  | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Conducciones de hidrocarburos   | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Apertura y explotación de canteras  | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Relleno de canteras o excavaciones  | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
|                          | Campings  | •                               | •                             |        |                                 | •       |        |         |
| OTRAS                    | Acceso peatonal   | •                               |                               |        | •                               |         | •      |         |
|                          | Transporte redes de comunicación  | •                               |                               | •      |                                 | •       |        |         |

\* El proyecto de actividades deberá incluir informe técnico sobre las condiciones que debe cumplir para no alterar la calidad existente del agua subterránea.

**Tabla 25.** Definición de las actividades restringidas o prohibidas dentro del perímetro de protección.



## 9. CONCLUSIONES

El área estudiada se encuentra en el extremo occidental de la Serranía de Cuenca, asociado a los pliegues de orientación NO-SE, que definen depresiones rellenas de depósitos detríticos terciarios, como la de Fuentes.

En detalle, los complejos lagunares se desarrollan sobre un eje anticlinal y en un sinclinal asimétrico, con el flanco occidental más verticalizado, aflorando los materiales del Tránsito Cretácico-Terciario. Existe un mallado de fracturas distensivas NO-SE y SE-NO que favorecen el desarrollo de las geomorfologías kársticas de ambos complejos lagunares, además se desarrolla una subsidencia asociada al flanco oriental del sinclinal en la zona de Fuentes.

En la zona de estudio se definen tres grandes conjuntos acuíferos, que de base a techo, son:

- el acuífero carbonatado cretácico,
- el conjunto de materiales margo-yesíferos y yesíferos del Tránsito Cretácico-Terciario, sobre el que se desarrollan los complejos lagunares del río Moscas y de Ballesteros,
- las formaciones acuíferas detríticas terciarias.

El acuífero carbonatado cretácico presenta una circulación del flujo de SE a NO, hacia el Júcar, con cotas piezométricas entre 880-1000 m s.n.m., con un gradiente hidráulico del 15 ‰. En la zona de Fuentes el río se dispone alineadamente indicando una posible existencia de una falla y de un contacto mecánico entre los materiales cretácicos carbonatados orientales y los yesíferos, cuyo grado de conexión estará condicionado al tipo de año hidrológico. Los años húmedos pueden favorecer la rápida formación de dolinas de colapso.

Las formaciones acuíferas terciarias se encuentran desconectadas hidrogeológicamente de los otros acuíferos, mostrando una gran vulnerabilidad a las actividades antrópicas.

En los materiales margo-yesíferos del tránsito Cretácico-Terciario se definen dos acuíferos: uno margoyesífero superior y otro yesífero inferior, confinado, en el que se ha formado el karst interestratificado. El desarrollo del complejo está condicionado por la fracturación, que crea zonas de debilidad y facilita la conexión hidráulica entre los acuíferos. Dicha fracturación permite una circulación preferencial de las aguas subterráneas y una vía de ascenso del acuífero inferior.

Las dolinas y lagunas desarrolladas son de disolución y de colapso, aunque en la zona de Ballesteros se desarrolla una morfología mixta, por disolución y posterior colapso. Son lagunas de pequeños diámetros, máximos de 187 m en Ballesteros y de 141 m en la zona de Moscas. Las profundidades se encuentran entre 1 y 14,3 m en Ballesteros y 4-15 m en la zona de Fuentes.

El funcionamiento hidrodinámico en estos complejos lagunares, muestran como dichas lagunas suponen un área de descarga de los acuíferos, hacia los cursos de los ríos Moscas y San Martín, que ganan un volumen anual de que recogen el agua drenada del sistema lagunar, con un volumen anual aproximado de 16,86 hm<sup>3</sup>/año.

La utilización de la hidroquímica y de las características físicas para el estudio de las aguas, tanto en superficie como en profundidad y temporalmente, resulta fundamental para diferenciar distintos funcionamientos hidrodinámicos en las lagunas, causados por un distinto grado de conexión con el acuífero yesífero inferior.

Los iones predominantes son SO<sub>4</sub>-Ca, aunque la variación en el contenido iónico y demás características físico-químicas de las aguas permite diferenciar cuatro tipos de lagunas para ambos complejos lagunares. En el caso del Complejo Lagunar de Ballesteros: los grupos A, B, C y D, con distintas características y funcionamiento: el **grupo A** corresponde a las lagunas conectadas a la formación acuífera inferior, de mayor profundidad, generalmente dolinas de colapso, con escasas variaciones piezométricas, menores contenidos en elementos mayoritarios y en conductividad, menores oscilaciones térmicas y mayor similitud con las aguas del acuífero yesífero inferior; en el **grupo B** están las lagunas con escaso o nulo grado de conexión con el acuífero inferior, asociadas a dolinas de disolución o mixtas, con oscilaciones piezométricas de carácter métrico, mayor mineralización de las aguas y exceso en Mg, favorecido por procesos de evaporación y precipitación de calcita y yeso; en las lagunas del **grupo C** presentan características intermedias de los grupos anteriores, con una conexión hidráulica más restringida que la

del grupo A y en el **grupo D** se encuentran las lagunas con agua de manera episódica y temporal. Las temperaturas de las aguas, generalmente medidas en superficie, muestran variaciones asociadas a las estaciones climáticas, pero se acentúan más en las lagunas del grupo B. Las temperaturas medidas en invierno en las aguas procedentes del acuífero yesífero se encuentran entre 14-16°C. Las lagunas del grupo C también muestran variaciones superiores a las del grupo A.

El estudio de la evolución temporal y a diferentes profundidades en dos lagunas de los grupos A y B muestra un distinto comportamiento hidrodinámico entre ambas. Así la del grupo A no presenta una clara estratificación térmica, las temperaturas del agua están condicionadas principalmente por las aguas subterráneas. La del grupo B muestra una marcada estratificación térmica.

Las lagunas del complejo del río Moscas presentan un contenido hidroquímico bastante homogéneo, no existiendo notables diferencias entre lagunas con distintas profundidades. Se diferencian también cuatro grupos; así el **grupo A** es el mayoritario, siendo sulfatadas cálcicas, con una mineralización entre 2000-4000  $\mu\text{S/cm}$ ; el **grupo B** corresponde a la laguna Zomas II, de menor mineralización (1500  $\mu\text{S/cm}$ ), bajo contenido en sulfatos, Ca, Mg, Sr y temperatura con respecto al resto y mayor contenido en Cl, Na,  $\text{NO}_3$ , K,  $\text{SiO}_2$  así como presencia de fosfatos; el **grupo C** corresponde a la laguna de Mohorte-1, de menor mineralización (entre 1500-2500  $\mu\text{S/cm}$ ), aunque mayor contenido en Mg; y el **grupo D**, asociada a la laguna de Mohorte-2, es la de mayor mineralización (3500-4000  $\mu\text{S/cm}$ ), con mayores contenidos en bicarbonatos, sulfatos, cloruro, Na, Mg, Sr, compuestos nitrogenados y fosfatos.

El estudio de la evolución temporal y a diferentes profundidades en dos lagunas del grupo A muestra distintos grados de conexión con el acuífero yesífero que favorecen una cierta estratificación térmica en una de ellas. No obstante, las temperaturas del agua están condicionadas principalmente por las aguas subterráneas.

El acuífero es muy sensible a la influencia antrópica, presentando notables concentraciones en nitratos, superiores a 20 mg/L en la mayoría de los casos y que puede incrementarse puntualmente por las redes de saneamiento y/o a través de las captaciones.

En las lagunas del río Moscas y de Ballesteros se detecta la presencia de Se, Cr, Zn, As, Fe y Mn, estos dos últimos en su forma oxidada, siendo más abundante la presencia de Fe. Al igual que en el caso del Complejo Lagunar de Ballesteros, el contenido en As, Se, Fe y Mn puede estar asociado a la litología evaporítica, la presencia de Zn y Cr puede ser de origen natural, aunque también se podría asociar a actividad antrópica. No obstante, ningún metal supera el límite establecido por el RD 140/2003.

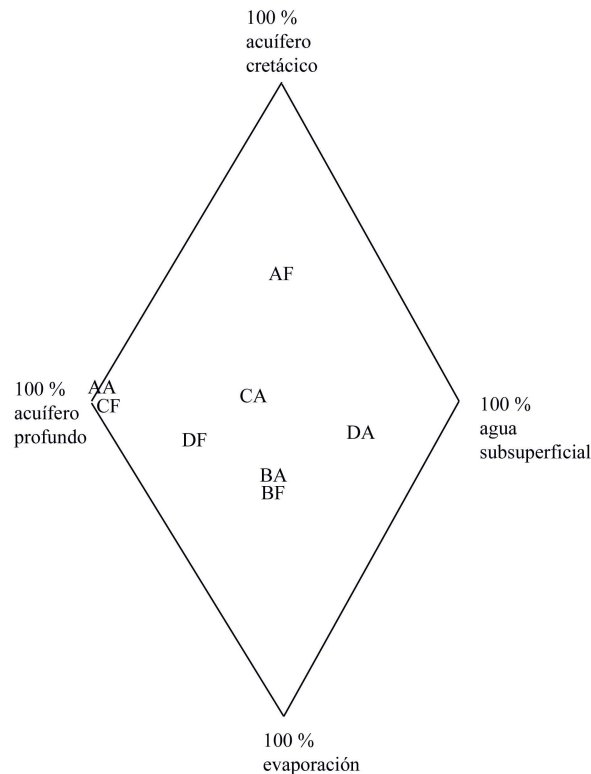
Los complejos lagunares de Arcas y del río Moscas presentan distintos grados de conexión con el acuífero yesífero, lo que permite diferenciar distintos tipos de lagunas. Su alimentación provendrá, de manera gradada, de la diferente conexión de las lagunas con los acuíferos profundos. Asimismo, en el caso del Complejo Lagunar del río Moscas, se debe añadir una influencia proveniente de la posible alimentación del acuífero carbonatado cretácico de la Serranía de Cuenca.

La relación de isótopos estables de las lagunas del complejo de Ballesteros y otros acuíferos muestran como un conjunto de lagunas muestran una evidente evaporación independientemente de la fecha de muestreo, produciéndose tanto en enero y marzo (época húmeda) como en julio-agosto (época seca); este fenómeno se produce para las lagunas del tipo B y C, aunque las últimas presentan una menor evaporación que el tipo B, que es el más alejado de la línea meteórica mundial. La evolución isotópica de las lagunas del río Moscas muestran una alineación con la LMM en época húmeda, pero en época seca se diferencian dos tipos de lagunas, las conectadas con el acuífero profundo y las desconectadas, total o parcialmente, aunque dicha desconexión no parece permanente, sino temporal, como se advierte con las lagunas Negra y Mohorte-1.

Las aguas de las lagunas tienen mezcla de aguas recientes y aguas más antiguas; se puede estimar un 10 % procedente de aguas más antiguas y sin isótopos de Tritio.

En la hidroquímica de ambos complejos lagunares afectan cuatro factores (figura 81):

- la relación con el acuífero carbonatado cretácico, fundamentalmente en el grupo A de la zona de Moscas (AF);
- la alimentación y conexión con el acuífero yesífero inferior o profundo, principalmente en los grupos A de ballesteros (AA), C de Moscas (CF);
- la infiltración de aguas subsuperficiales;
- la evaporación, que influyen fundamentalmente en las lagunas desconectadas.



**Figura 81.-** Estimación de las distintas influencias en el quimismo del agua de las lagunas, según los grupos definidos. Leyenda: Complejo Lagunar de Ballesteros-grupos A, B, C y D son AA, BA, CA y DA respectivamente; Complejo Lagunar del río Moscas- grupos A; B, C y D son AF, BF, CF y DF respectivamente.

Los índices de saturación muestran que la mayoría de las aguas de las lagunas de Ballesteros están saturadas o sobresaturadas en calcita, aunque en la laguna de Barraganes se encuentra subsaturada en profundidad en los meses de verano. Igual ocurre en relación con la saturación de dolomita, aunque éste no precipita al precipitar previamente el fango calizo. El IS yeso sin embargo, muestra una gran estabilidad, tanto en las lagunas como en las aguas superficiales, encontrándose algo subsaturada en alguna captación de aguas en el acuífero yesífero y claramente en las aguas asociadas a los depósitos detríticos terciarios. La precipitación de yeso, atendiendo a la relación  $rSO_4/Ca$  no se producirá en todas las lagunas, sino únicamente en las del grupo B, más evaporadas (figura 14). En el caso de las lagunas del río Moscas es diferente, las aguas se encuentran, en general, subsaturadas en calcita y dolomita.

Existe una relación profundidad/conductividad en el Complejo Lagunar de Ballesteros que no reproduce en el Complejo Lagunar del río Moscas.

En la actualidad ambos complejos lagunares, tienen alguna declaración que les permite controlar las actividades a realizar en su superficie. Así el Complejo Lagunar de Ballesteros se declaró reserva natural (Decreto 27/02) y el Complejo Lagunar del río Moscas de declara microrreserva (Decreto 46/10). Sin embargo las figuras de protección son muy similares.

La protección de estos espacios húmedos singulares debe ir pareja a la limitación de las actividades antrópicas que se realicen en los Complejos lagunares de Arcas y del río Moscas, pero también en su entorno.

El funcionamiento hidrodinámico de las lagunas está íntimamente asociado a los acuíferos yesíferos infrayacentes, por lo que cualquier sondeo o perforación para la explotación de agua subterránea pueden alterar el funcionamiento y la alimentación de las lagunas. Es preciso definir un perímetro de protección para los complejos lagunares, con una limitación a perforar en los terrenos declarados como reserva.

Las perforaciones que se realicen en los terrenos vecinos, deberían presentar, para su autorización, un estudio hidrogeológico en el que se identifique que acuífero se va a captar, las características constructivas, el aislamiento de los acuíferos asociados a las lagunas y el caudal de explotación previsto.

Se recomienda:

- Inventario actualizado de puntos de agua de ambas captaciones con sus características constructivas, equipamiento y volumen extraído de manera mensual.
- Instalación de una red de control piezométrica y de calidad en ambos complejos, así como el equipamiento de aparatos de registro continuo de las lagunas más representativas en ambos complejos, para conocer la evolución piezométrica y la oscilación del nivel de las lagunas.
- Estudio agronómico para adecuar los Kg/ha de abono, así como los productos fitosanitarios que se puedan emplear en las áreas limítrofes a los Complejos lagunares y aplicaciones de los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias.
- Estudio de la posible polución atmosférica asociada a la fábrica de madera de PINASA.
- Elaboración de dos perímetros de protección a aguas subterráneas para ambos complejos lagunares, que, además de la superficie declarada de protección, y conjuntamente con los Ayuntamientos, regulen las actividades a realizar y autorizar, así como las perforaciones futuras mediante la regulación de las mismas en los planes de ordenación local de cada municipio.

## 10. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro del convenio firmado entre la Excm. Diputación Provincial de Cuenca y el IGME, para los años 2009 al 2011. También se ha apoyado, para la realización de los análisis isotópicos, en el Convenio IGME/CEDEX dirigido por FJ. Arévalo (CEDEX) y Silvino Castaño (IGME) Asimismo se ha recibido el apoyo del Organismo Autónomo de Espacios Naturales en la provincia de Cuenca, de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, y de J.Enrique Montero Verde (coordinador provincial) y de M<sup>a</sup> Jesús Moreno Segovia, que nos han proporcionado información propia e inédita, así como documentación y favorecido el trabajo en campo, acompañándonos inicialmente. También se agradece a los particulares que nos han apoyado en la realización del estudio, y el permiso de los dueños de las lagunas de la Atalaya (Jose Luis Jaureguiza Serrano), Corba-2 (Antonio Valverde Bodoque), L4 y L6 (Angel Martínez Ocaña).

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armengol J (1997)** Caracterización estructural del zooplancton de las lagunas cársticas de Cuenca, con especial atención a su distribución vertical. Tesis doctoral. Universitat de Valencia.
- Camacho A (1997)** Ecología de los microorganismos fotosintéticos en las aguas microaerobias y anóxicas de la laguna de Arcas. Doctoral Thesis. Universitat de Valencia.
- Cullimore DR (1993)** Practical Manual of Groundwater Microbiology. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Ford DC, Williams PW (2003)** Karst geomorphology and hydrology. London. Unwin Hyman, 601 pp.
- Del Pozo, M. (1976):** Informe sobre las posibilidades de captación de aguas subterráneas para riego en la zona de Fuentes. IGME-IRYDA. Nota técnica interna 211.
- De la Hera A , Martínez-Parra M, López-Pamo E , Santofimia E (2009)** Primeros resultados sobre el estudio hidrogeológico del sinclinal de Fuentes y su relación con los complejos de humedales de Arcas y del río Moscas (Cuenca, España). Póster. Jornadas sobre “El papel del agua subterránea en el funcionamiento de los humedales” Zaragoza 22-23 October 2009. International Association of Hydrogeologists-Spanish Group.
- Gutiérrez F, Cooper AH, Johnson KS (2008)** Identification, prediction and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas. Environmental Geology. 2008. Vol 53. pp 1007-1022.
- IGME (2006):** Actualización de la situación actual de los sistemas de abastecimiento urbano de 10 municipios en la provincia de Cuenca: Fuentes.
- Klimchouk A (1996)** The typology of gypsum karst according to its geological and geomorphological evolution. In: Klimchouk A, Lowe D, Cooper A, Sauro U (eds). Gypsum karst of the world. International Journal of speleology 25 (3/4). pp. 49-60.
- Klimchouk A, Andrejchuk V (1996)** Sulphate Rocks as an arena for karst development. In: Klimchouk A, Lowe D, Cooper A, Sauro U (eds). Gypsum karst of the world. International Journal of speleology 25 (3/4). pp 9-20.
- Klimchouk A, Cucchi F, Calaforra JM, Aksem S, Finocchiaro F, Forti F. (1996)** Dissolution of gypsum from field observations. In: Klimchouk A, Lowe D, Cooper A, Sauro U (eds). Gypsum karst of the world. International Journal of speleology 25 (3/4). pp. 37-48.
- Klimchouk A, Aksem SD (2002)** Gypsum karst in the Western Ukraine: hydrochemistry and solution rates. Carbonates and Evaporites, v. 17 . no- 2, pp. 142- I 53 .
- Martínez-Parra M (2003)** Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento público de agua potable a la localidad de Arcas del Villar (Cuenca). Informe interno.
- Martínez-Parra M (2007)** Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento público de agua potable a la localidad de Arcas del Villar (Cuenca). Informe interno.
- Martínez, M.; Alonso, E. (2010)** Propuesta del perímetro de protección del sondeo de abastecimiento público para el abastecimiento al municipio de Fuentes (Cuenca). Informe interno.
- Martínez-Parra M, De la Hera A, López-Pamo E, Moreno MJ, Montero E, Santofimia E (2010)** Geomorphological characteristics of the karst-related lakes in gypsum in the Arcas and river Moscas Lake complexes (Cuenca province). B.Andreo et al (eds.)Advances in research in karst media. pp361-365.
- Martínez-Parra M, López-Pamo E, De la Hera A, , Santofimia E (2011)** Main characteristics of ponds associated with gypsum karst aquifer in the Arcas pond complex (Cuenca, Spain). Carbonates and Evaporites (2011) 26:47-60 DOI 10.1007/s13146-011-0045-6.
- Moreno, M.J.; Montero, E. (2009):** Informe sobre la evolución geomorfológica del complejo lagunar del río Moscas. Organismo Autónoma de Parque Naturales (Cuenca). Informe interno.
- Rodrigo MA (1997)** Limnología comparada de las lagunas de dos sistemas cársticos de Cuenca. Bacterias fotosintéticas de la laguna de la Cruz y la Laguna L5. Doctoral Thesis. Universitat de Valencia.
- Sanz E (2005)** El karst en yesos en Fuentes. Karst and environment Fundación Cueva de Nerja; Nerja-Málaga. Book of proceedings. pp. 351-358.
- Sauro U (1996)** Geomorphological aspects of gypsum karst areas with special emphasis on exponed karsts. In: Klimchouk A, Lowe D, Cooper A, Sauro U (eds). Gypsum karst of the world. International Journal of speleology 25 (3/4).pp 105-114.
- Soriano MA, Simon JL, Gracia J, Salvador T (1994)** Alluvial sinkholes over gypsum in the Ebro basin (Spain): genesis and environmental impact. Hydrological Sciences -Journal- des Sciences Hydrologiques,39,3, June, 257-267



## **ANEXOS**





**Anexo I**  
**DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS**  
**FORMAS LAGUNARES**



## Complejo lagunar de Ballesteros





**L3, L4, L5**



L3:  
X: 572788 Y:4428060  
L4 :  
X: 572838 Y:4427946  
L5:  
X: 572936 Y:4428042

Z: 918 m s.n.m.

L3 (5.6 m de profundidad) tiene forma de cuenco; L5 tiene forma de sombrero de copa invertido, muestra un área cubierta por una fina lámina de agua, inferior a 1 m y que ocupa en torno al 25 % y una parte central con una profundidad máxima de 7 m. Similar disposición se produce con L4, con una profundidad máxima de 7-7.4 m (Armengol, 1997). Es llamativo el sedimento blanquecino (mud o fango calizo) que se origina en las lagunas. Entre enero y marzo de 2010 la columna de agua ascendió 0.2-0.3 m.



L-5



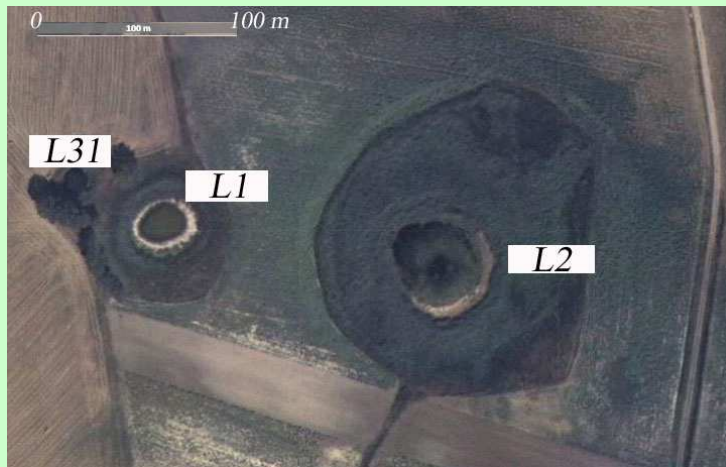
Sedimento de L-4



L-4



## *L1, L2, L31*



L31  
X: 572922 Y:4428392  
L1  
X: 572972 Y:4428374  
L2  
X: 573100 Y:4428348

Z: 921 m s.n.m.

Son las lagunas más elevadas topográficamente, en la zona de Arcas, a más de 920 m s.n.m.

**L31** tiene forma de cono truncado (profundidad máxima de 4.4 m); sus paredes son muy verticales y el aspecto que ofrecen sus aguas es amarillento a grisáceo.

**L1** es más llana, con un perímetro cubierto de vegetación y una profundidad máxima de 2.6 m.

**L2**, la de mayor extensión, corresponde a una dolina de disolución, con una profundidad máxima de 1.5 m; su acceso es difícil al encontrarse cubierta de abundante vegetación en gran parte de su superficie. De esta laguna surge un drenaje que desagua las aguas cuando éstas ocupan la totalidad de la superficie, como ocurrió en marzo de 2010, desbordándose hacia la pista forestal situada al E.



*L-1*



*L31 en primer plano ,luego L1 y L2  
(enero 2010)*



*L2 (abril 2008)*





**L8, L9, L10 y L11**



L8:  
 X: 573223 Y:4427524  
 L9  
 X: 573271 Y:4427546  
 L11  
 X: 573349 Y:4427540  
 L10  
 X: 573289 Y:4427484

Z: 922 m s.n.m.

Es un conjunto de cuatro lagunas conectadas formando dos uvalas: L8, L9, L10 y L11. L8 tiene forma de embudo un una pequeña depresión interior de 1-2 m, y profundidad máxima de 14 m (Armengol, 1997). L9 es más llana, con una profundidad máxima de 4.4 m. El conjunto de L10 y L11 (Armengol, 1997) las consideraba unidas, separadas por un umbral que queda expuesto en ocasiones y con una profundidad máxima de 7.4 m.



L8



L10 y L11



L9



**L16, L17, L18, L19, L20, L22, L42**



L19:  
X: 573289 Y: 4427875  
L18  
X: 573072 Y: 4427712  
L16  
X: 573359 Y: 4427777  
L22:  
X: 573445 Y: 4427822  
L16  
X: 574357 Y: 4427738  
L20  
X: 573301 Y: 4427862  
L42  
X: 573215 Y: 4427841

Z: 920-922 m s.n.m.

Estas lagunas se sitúan dentro de la zona central del complejo de Ballesteros, que se encuentra más hundida, por fenómenos de disolución y subsidencia. De éstas, L17 es la de paredes más verticales y su formación por colapso es más evidente, su oscilación piezométrica es mínima. Las lagunas situadas más al sur (L18 y L16) no son permanentes, encontrándose sin agua en julio de 2009, aunque luego, en épocas lluviosas, la columna de agua asciende; así L18 presentaba en octubre de 2010 una columna de 0,40 m y L16 de 1,40 m.

Próximo a L42 circula un drenaje proveniente de las lagunas situadas más al norte y que discurre hacia la L41 y L6; asimismo, frente a las lagunas L16 y L18 se encuentra otro drenaje que muestra un escaso hidrodinamismo.



L17



L16



L18 en julio de 2009, sin agua.



### *L13 y L14*



L14:  
X: 573376 Y:4427422  
L13:  
X: 573557 Y:4427422

Z: 926 m s.n.m.

Son dos lagunas conectadas por una canalización excavada y a su vez conectadas con el río San Martín. Arcas-13 parece mostrar mayor estacionalidad, ya que como se aprecia en las fotos adjuntas, la lámina de agua puede llegar a prácticamente secarse. Arcas-19 tiene morfología llana, con una profundidad máxima de 5.7 m. y se sitúa a los pies de una loma o relieve.



*L13*



### **L6 (Barraganes 1), L7, L40 y L41**



L6 (Barraganes 1):  
X: 572992 Y:4427707  
L7  
X: 573094 Y:4427655  
L40:  
X:573006 Y:4427745  
L41:  
X: 573072 Y:4427734

Z: 925-926 m s.n..m.

Se sitúan próximas al río San Martín. **L6 (Barraganes-1)** tiene forma de embudo, y es la de mayor profundidad de todas las lagunas, alcanzando los 14.3 m (Armengol, 1997); A ella le entra agua procedente de la laguna L41, a su vez recoge la aguas circulantes de las lagunas de mayor cota topográfica; en octubre de 2010 ascendía a 11 L/s; a su vez por el extremo occidental otro drenaje conduce el agua de la laguna hacia un socavón que ha diluido el subsuelo y comunica con el río San Martín. Próximo a ella se encuentra la pequeña laguna estacional **L40**, situada a una cota algo más elevada.

**L7** tiene aspecto troncocónico y menor profundidad, 7.9 m (Armengol, 1997). No tiene conexión con otras lagunas ni está drenada.



*L6 y L7*

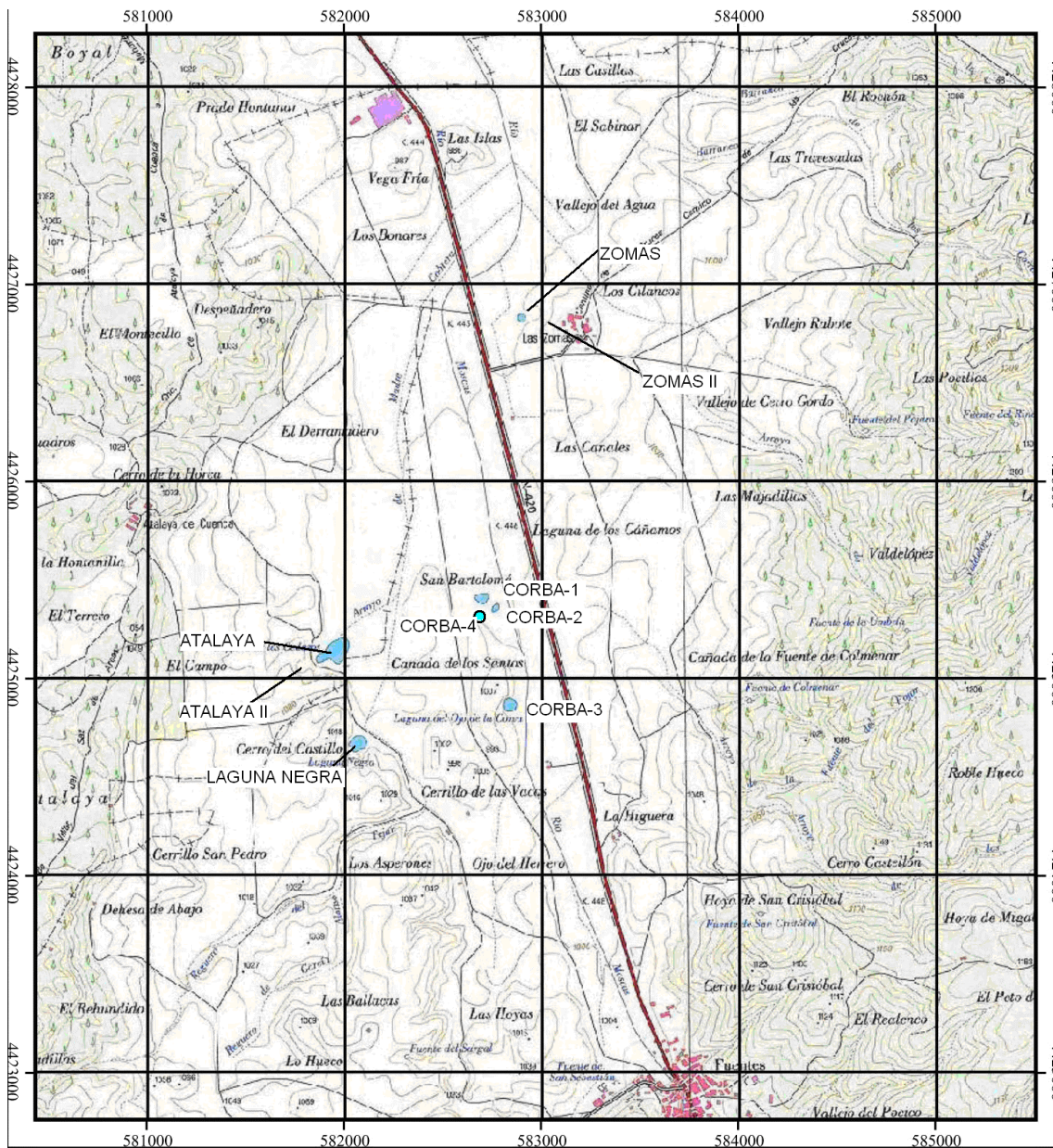


*L6 al fondo y L40 en primer plano*





# Complejo lagunar del río Moscas





### *Lagunas de la Atalaya o Cedazos*

La laguna principal es la mayor de la zona; corresponde a dos lagunas unidas por mano del hombre, rebajando el umbral que las separaba. Se emplea para el riego, bombeándose el agua con depresiones de hasta 2 m.



Atalaya 1:  
X: 581963 Y: 4425129  
Atalaya 2:  
X: 581773 Y: 4425041

Z: 978 -985 m s.n.m.

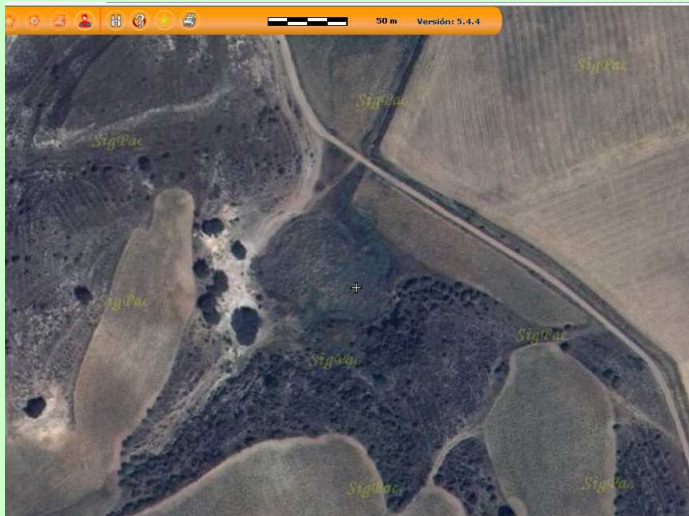
La profundidad de la laguna de mayor extensión es de 3.3 m, mientras que la pequeña alcanza los 4.1 m (Armengol, 1997).



En sus proximidades y a una cota superior se encuentra la dolina Atalaya II, de menor diámetro y definida sobre materiales margoyesíferos.



## Laguna Negra



X: 562091 Y: 4424681  
Z: 990 m s.n.m.



Laguna de colapso y gran diámetro y forma irregular, próxima a un relieve. En el año 2008 estaba prácticamente seca, no siendo citada en estudios anteriores presumiblemente por falta de agua en la misma; en el periodo de estudio ha recuperado entre 3-5 m de columna de agua. En el entorno se observa un canal de drenaje, por lo que estas fuertes oscilaciones se han debido producir con regularidad. Asimismo, en 2008, el fondo de la laguna mostraba unas líneas perimetrales que indicaban un hundimiento en el fondo del vaso de la misma, al igual que en algunos puntos del exterior, por lo que la profundidad de la laguna se ha podido acentuar.



### Ojo de Corba-1



X: 582702 Y: 4425407  
Z: 975 m s.n.m.

Es un colapso en el que se diferencian dos pequeñas lagunas, en una zona deprimida y colonizada por abundante vegetación que impide un mejor reconocimiento; según Armengol (1997) su profundidad máxima es de 7 m. En el reconocimiento realizado por el IGME en la laguna mayor, la profundidad alcanza los 4 m. A ella le llega un canal de desagüe procedente del Ojo de Corba 2 y a su vez de desagua hacia el río Moscas. Toda la zona del entorno meridional parece estar deprimiéndose más y posiblemente, según los lugareños, se pueda formar una nueva laguna o se incremente su tamaño.



Foto de la laguna mayor. La foto inferior corresponde a la laguna más pequeña y de forma más elipsoidal.







## Ojo de Corba-2



X: 582770 Y:4425343  
Z: 975 m s.n.m.

Esta laguna, de forma elipsoidal, presenta un perfil irregular, con una zona de mayor profundidad de hasta 9.9 m (Armengol, 1997). Está comunicada con la laguna Ojo de la Corba-1 por un canal de desagüe, lo que indica que se encuentra a una mayor cota topográfica y piezométrica.





### Ojo de Corba- 3



X: 582848 Y: 4424865  
Z: 990 m s.n.m.

Laguna muy regular, con una profundidad máxima de 6.6 m (Armengol, 1997). Se sitúa a los pies de un relieve constituido por margas yesíferas y a unos 50 m del río Moscas.





### Ojo de Corba-4



X: 582665 Y: 4425309  
Z: 975 m s.n.m.

Laguna generada en marzo de 2009. Se observa en las fotos el inicio de la misma (Moreno y Montero, 2009) y como se encontraba en julio de 2009. Las paredes no estaban estabilizadas por falta de vegetación y seguían derruyéndose.





## Las Zomas



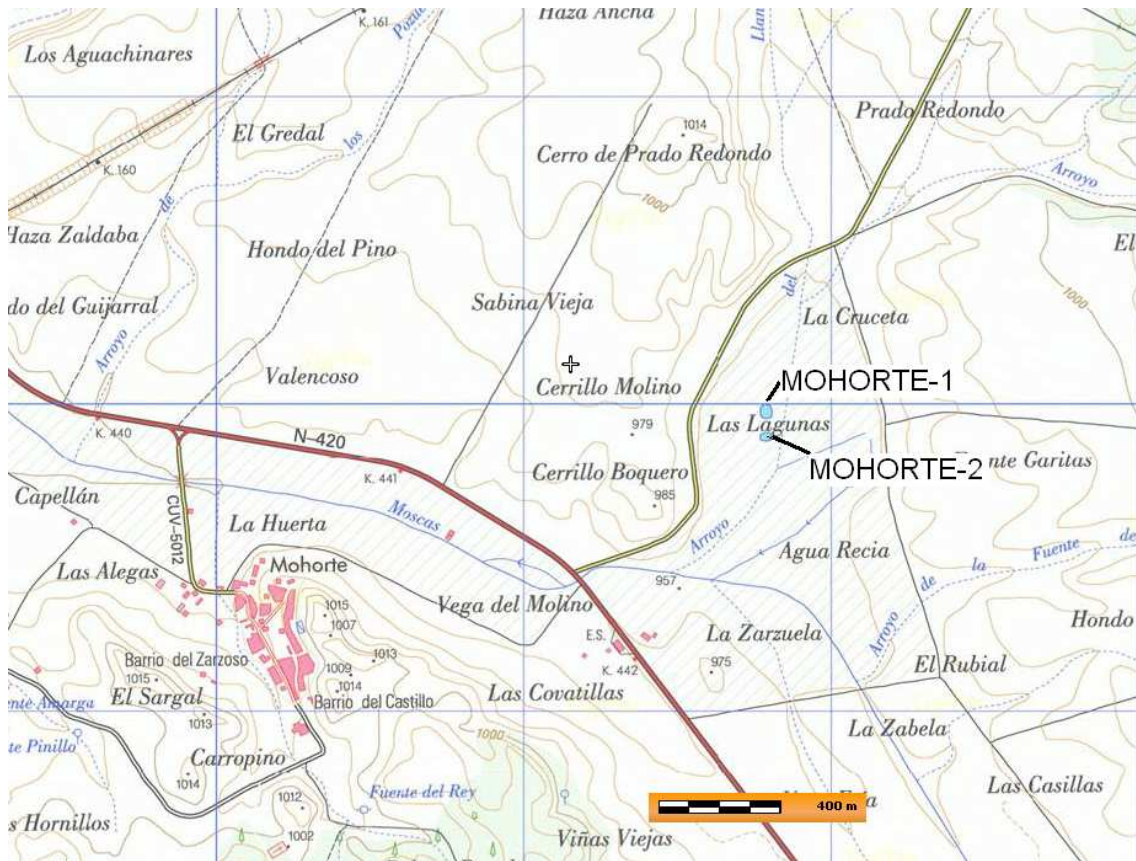
La laguna de Las Zomas se encuentra a los pies de un relieve carbonatado, posiblemente mesozoico. De forma circular, en profundidad es irregular, con una zona más profunda, que podría corresponder a una chimenea de colapso, que alcanza los 15.1 m (Armengol, 1997). Está equipada con un pequeño equipo de bombeo para riego. A su vez, de la misma se deriva un canal de desagüe, que se lleva al río Moscas. Próxima a la laguna se encuentra una pequeña dolina, Zomas II, que tiene agua de manera no periódica.





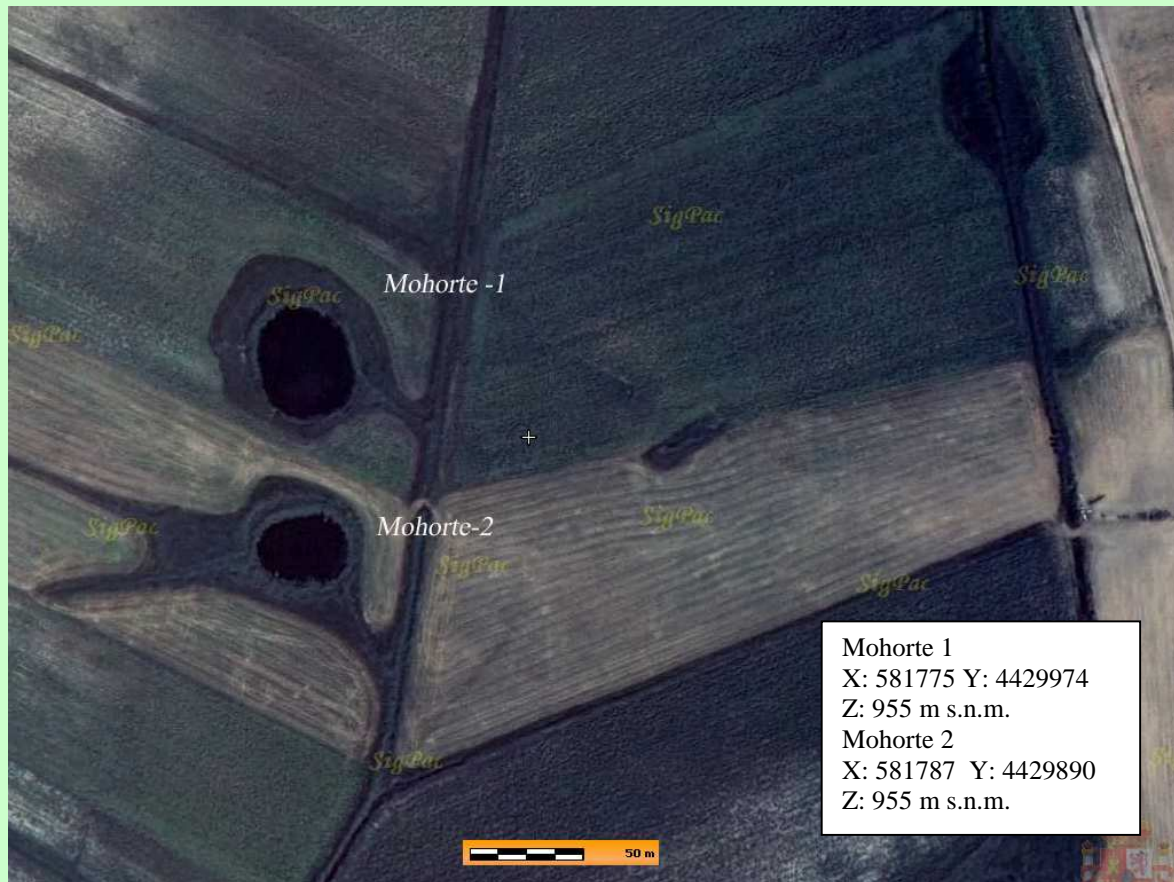


## Lagunas de Mohorte (Cuenca)





## Lagunas de Mohorte



Son dos lagunas alejadas del resto del Complejo Lagunar del río Moscas. Se encuentran cerca de la pedanía de Mohorte. Son de forma ligeramente elipsoidal, y se drenan hacia el arroyo del Llano, tributario del río Moscas.







