

INFORME FINAL

PROYECTO

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS HUMEDALES DE MIGUEL IBÁÑEZ (SEGOVIA)



Autores: **Á. de la Hera Portillo**
J.J. Durán Valsero

15 ABRIL 2013

El presente estudio se enmarca dentro del proyecto del IGME “Caracterización hidrogeológica de los humedales de Miguel Ibáñez” realizado entre los meses de marzo a diciembre del año 2012.

Directora del proyecto: África de la Hera Portillo

Equipo de trabajo y autores:

África de la Hera Portillo. IGME. Área de Geología Ambiental y Geomatemáticas.

Juan José Durán Valsero. IGME. Director del Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica.

Raquel Morales. IGME. Área de Hidrogeología General y Calidad del Agua.

Jose Manuel Murillo Díaz. IGME. Jefe del Área de Geología Ambiental y Geomatemáticas.

Rafael Ochando, Auxiliar de Investigación.

Colaboradores:

Elena Pérez Zabaleta. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

ÍNDICE

RESUMEN

1. ENCUADRE GEOGRÁFICO Y LEGISLATIVO

2. ANTECEDENTES

3. INTRODUCCIÓN

4. METODOLOGÍA

5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.1. Caracterización climática de la zona de estudio

5.2. Caracterización geológica de la zona de estudio

5.3. Caracterización hidrogeológica de la zona de estudio

5.4. Caracterización hidroquímica del acuífero terciario detrítico

5.5. Identificación de las presiones

6. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DETALLADO

6.1 Estudio climático

6.2 Estudio geológico

6.3 Inventario de puntos de agua

6.4 Hidroquímica del acuífero terciario detrítico

6.5 Datos hidroquímicos de las muestras obtenidas en las campañas de campo

6.6 Concentraciones en arsénico de las aguas del acuífero terciario detrítico

6.7 Análisis estadístico

6.8 Datos isotópicos

6.9 Características morfométricas de la Laguna de la Fuente Santa

7. MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS DE FUENTE SANTA, Balsa de la Ermita y San Pedro

8. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA PROTECCIÓN DE LAS LAGUNAS

9. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE INCLUSIÓN DE LOS HUMEDALES DE MIGUEL IBÁÑEZ EN EL INVENTARIO DE LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO DE LA PROVINCIA DE SEGOVIA.

10. CONCLUSIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

- 1.- Tabla de lecturas de la escala ubicada en la laguna de Fuente Santa durante el periodo 1 abril a 31 de agosto de 2012.
- 2.- Batimetría realizada en la laguna de Fuente Santa el 29 de marzo de 2012.
- 3.-Fotografías.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo ha sido identificar el sistema de flujo de tres humedales localizados en el área de Miguel Ibáñez (Segovia), conocidos como Fuente Santa, Balsa de la Ermita y San Pedro. Estos tres humedales son los últimos remanentes de zonas húmedas mucho más extensas que existieron en esta zona en el siglo pasado. La metodología ha consistido en cuatro campañas de campo estacionales en once puntos de agua, tanto superficial, como subterránea, entre los meses de marzo a diciembre de 2012. La interpretación de los datos físico-químicos e isotópicos obtenidos, y el registro de la altura del nivel de agua en laguna de la Fuente Santa durante cinco meses, proporcionaron los medios para realizar una aproximación cualitativa al sistema de flujo. Los valores de arsénico proporcionaron una herramienta auxiliar, aunque no es posible identificar una causa dominante de su presencia en las tres lagunas. Estos resultados explican que el sistema consiste en flujos subterráneos de escala local que dan lugar a tres comportamientos hidrogeológicos independientes a pesar de su proximidad. Estos resultados permitirán sentar las bases de estrategias de conservación y protección más efectivas para estos humedales.

1. ENCUADRE GEOGRÁFICO Y LEGISLATIVO.

Las Lagunas de Miguel Ibáñez se sitúan a unos 130 km de Madrid, al NO de Segovia, en la pedanía de Miguel Ibáñez que pertenece jurisdiccionalmente al término municipal de Santa María la Real de Nieva (Figura 1). Las coordenadas UTM Datum 1950 uso 30 de la pedanía de Miguel Ibáñez son las siguientes: X= 386513; Y= 4549617; Z= 885 m s.n.m.

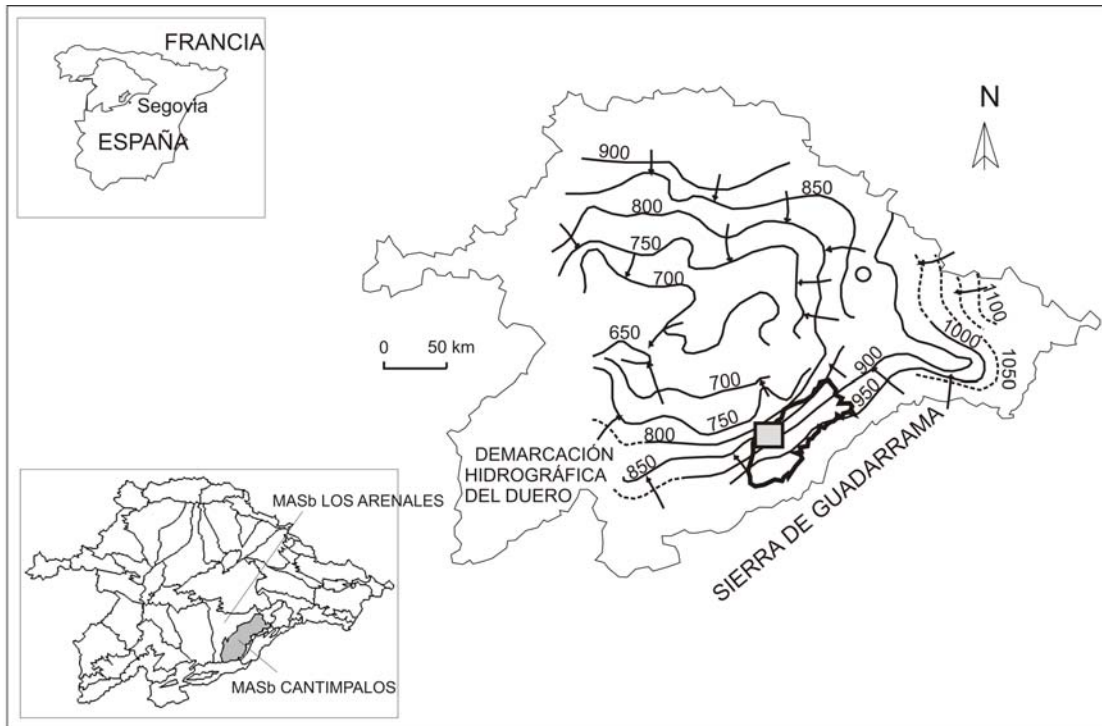


Figura 1. Localización de la zona de estudio, en la provincia de Segovia y dentro de la demarcación hidrográfica del Duero, a caballo entre las masas de agua subterránea de Los Arenales y de Cantimpalos. Mapa de isopiezas del flujo regional en la demarcación hidrográfica del Duero (Modificado de IGME-DGA, 2010,c,d).

En la localidad de Miguel Ibáñez (Segovia) se localizan 3 lagunas naturales conocidas como: Laguna de Fuente Santa, Laguna de Balsa de la Ermita y Laguna de San Pedro. Se localizan en el sector occidental de la provincia de Segovia, a unos 133 km de Madrid, dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla-León.

Estas lagunas no constituyen zonas ZEPA, ni LICs, ni forman parte del Inventario Nacional de Zonas Húmedas, ni del Catálogo de Zonas Húmedas de Castilla-León. Sin embargo, constituyen una de las últimas reminiscencias de zonas húmedas de Castilla, al tratarse de humedales naturales de pequeña escala, relacionados con formaciones aluviales.

2. ANTECEDENTES

En marzo de 2012 el IGME aprobó la ejecución del proyecto titulado: “Caracterización hidrogeológica de los humedales de Miguel Ibáñez (Segovia)” cuyo

investigador principal es la firmante de este informe y en cuyo equipo de trabajo participaron Juan José Durán, José Manuel Murillo y Raquel Morales.

El Sr. Alcalde de Santa María la Real de Nieva, Jaime Pérez Esteban, nos facilitó el acceso al antiguo pozo de abastecimiento de la pedanía de Miguel Ibáñez, así como la ayuda necesaria para poder realizar lecturas diarias de la escala instalada en la laguna de la Fuente Santa.

No existen trabajos previos de estudios hidrogeológicos en esta pedanía. Únicamente se cuenta con un escueto informe facilitado por el Ayto. de Santa María la Real de Nieva referente a los acuíferos subyacentes a la pedanía de Miguel Ibáñez. Esta pedanía corresponde a una localidad de apenas 25 habitantes ubicada al noroeste de la ciudad de Segovia, a unos 35 km de la misma. Esta localidad vive de la agricultura y dispone de pozos de bombeo distribuidos tanto en los inmuebles particulares como en el campo; sin embargo no hemos tenido acceso a ellos, con excepción de un antiguo pozo de abastecimiento de la pedanía que visitamos con fecha 28 de marzo de 2012, en el que pudimos tomar una muestra de agua gracias a la Alcaldesa pedánea, Dña. Asunción Rodríguez García.

3. INTRODUCCIÓN

Las interacciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas juegan un papel fundamental en el ciclo hidrológico. Los flujos de base en los humedales, a menudo dependen de los niveles de aguas subterráneas, que pueden requerir mantenerse cerca de la superficie del suelo para proporcionar soporte adecuado a flora y fauna (Winter, 1999; Sophocleous, 2002). El análisis de esta conectividad humedal-acuífero puede abordarse desde metodologías muy diversas (Camacho et al., 2009), basadas tanto en estudios cuantitativos de la red de flujo, como en estudios cualitativos focalizados en determinaciones analíticas. La elección de la aproximación metodológica va a depender fundamentalmente de los datos previos disponibles y de los datos obtenidos en campo. En nuestro caso, la ausencia de datos cuantitativos y la dificultad para acceder a ellos, determinó la elección metodológica segunda.

Desde el punto de vista hidrológico, las lagunas de Miguel Ibáñez forman parte de la demarcación hidrográfica del Duero, encontrándose en la subcuenca del río Eresma y en el entorno del Arroyo del Tormejón, tributario del Eresma por la margen izquierda (Figura 2), que a su vez es tributario del río Duero, también por su margen izquierda. La superficie del municipio es de 179,80 km² y su altitud de 907 m s.n.m. Como curiosidad podemos indicar que los numerosos restos arqueológicos y enterramientos datados de la Edad del Bronce encontrados en la localidad de Domingo García (pocos km al noroeste de Miguel Ibáñez), llevan a pensar que el flujo del Arroyo del Tormejón debió de ser antaño permanente, y los humedales existentes entonces, de número y extensión considerablemente superiores a los actuales, constituían la principal fuente de sustento para su población. De hecho, estos humedales constituyen la última reminiscencia de las grandes extensiones de humedales interiores de agua dulce que existían en este sector de la demarcación hidrográfica del Duero. Prueba de ello son las extensiones cartografiadas como limos orgánicos correspondientes a fondos de charcas dentro del Cuaternario (IGME, 1991).

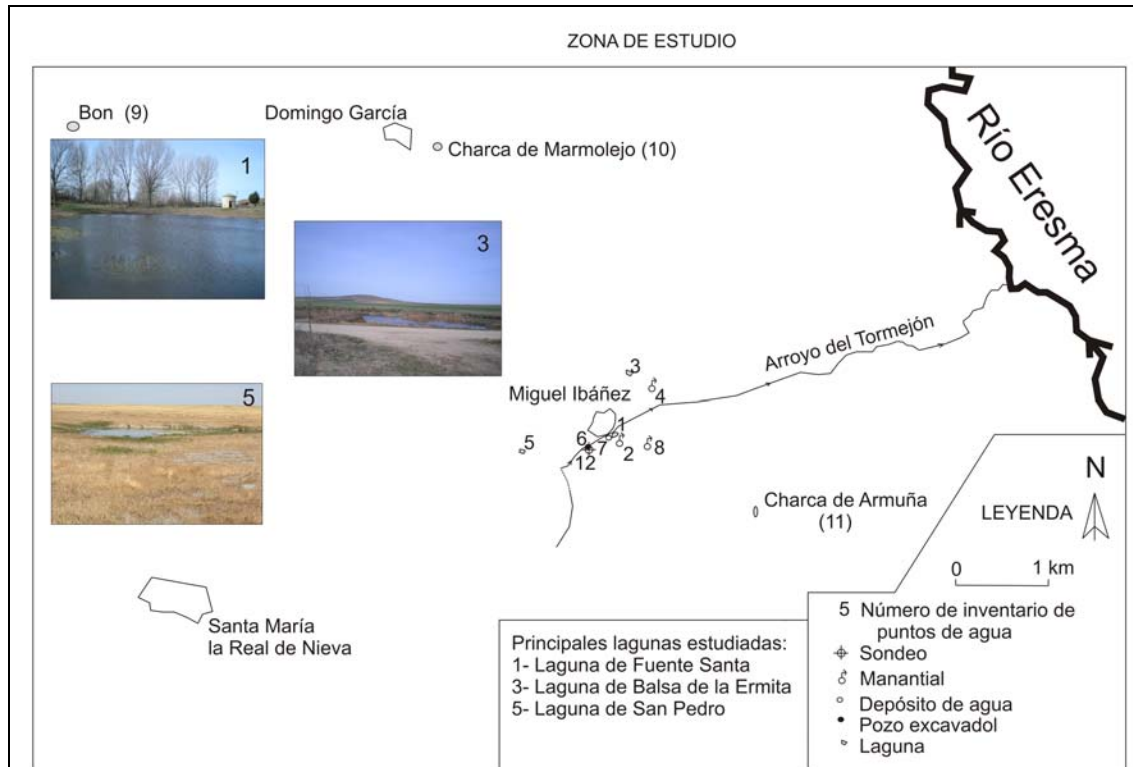


Figura 2. Localización de los puntos de muestreo en la zona de estudio. Las fotos corresponden a los tres humedales principales objeto de estudio (números 1, 3 y 5), para diferenciarlos de los restantes humedales auxiliares (números 9, 10 y 11).

Los humedales de Miguel Ibáñez constituyen un conjunto de tres humedales reminiscentes de las amplias extensiones de zonas húmedas del pasado. En este trabajo buscamos las causas que explican la persistencia de estos pequeños humedales y analizamos su interacción con el acuífero. El intercambio de flujos humedal-acuífero viene determinado por una variedad de factores climáticos, geológicos, hidrogeológicos y bióticos (Winter, 1999; Sophocleous, 2002). El objetivo de este trabajo es explorar dicho conjunto de factores de modo que sea posible explicar la persistencia de estos pequeños humedales y analizar las interacciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas. A lo largo del informe los términos “laguna” y “humedal” se usan indistintamente.

En una primera hipótesis de partida consideramos que la Laguna de la Fuente Santa de carácter permanente, debe ser dependiente en alto grado de las aguas subterráneas. El Manantial de la Fuente Santa en su orilla meridional, que alimenta a la laguna, hace pensar que sea el principal componente de entrada de agua a la misma.

La hipótesis planteada para la Laguna de la Balsa de la Ermita, de carácter semipermanente, es que podría recibir una cierta alimentación procedente de una descarga de agua subterránea de carácter difuso. Sus características físico-químicas son

comparativamente semejantes a la Laguna de la Fuente Santa, sin embargo presenta un mayor grado de salinidad reflejado en una conductividad eléctrica más elevada.

Por último, la laguna de San Pedro, presenta aguas de características físico-químicas diferentes a las dos lagunas anteriores, lo que conduce a pensar en una procedencia diferente de las aguas que la alimentan. Además, su carácter temporal induce a pensar que su grado de dependencia de las aguas subterráneas sería bajo.

En los apartados que siguen se describe en primer lugar, las características específicas de la zona de estudio, atendiendo a factores climáticos, geológicos, hidrogeológicos, así como las presiones que afectan a los humedales. En segundo lugar, se expone la metodología de trabajo, y en tercer lugar, se aborda la interpretación de las muestras de agua obtenidas en las campañas de campo, así como los datos obtenidos relativos a las concentraciones de arsénico en las campañas de campo y la interpretación de las determinaciones isotópicas. En base a todos estos datos y a su interpretación, se construyen las hipótesis de funcionamiento hidrogeológico de los tres humedales.

4. METODOLOGÍA

La metodología ha consistido en las siguientes actividades:

a) Solicitud a la AEMET de los datos meteorológicos de las estaciones próximas a Miguel Ibáñez. Estos datos se han referido a: (1) Series históricas de precipitación en la estación de Segovia (2465); (2) Datos diarios de precipitación en la estación de Migueláñez (2482-B); (3) Datos diarios de evaporación en las tres estaciones más próximas del entorno (Segovia-2465, Ávila-2444 y Valladolid-2422). Mediante estos datos se ha calculado la evaporación diaria en Miguel Ibáñez.

b) Recopilación de datos geológicos de la base de datos del IGME. Se recopilaron un total de 59 columnas litológicas en la zona de estudio cuyas localizaciones se muestran en la Figura 3.

c) Caracterización hidroquímica de las aguas del acuífero terciario detrítico. Hemos realizado un análisis de la información proporcionada por datos procedentes de las redes de observación de calidad de agua del IGME y de la CHD. Existen cuatro puntos de control de calidad de las aguas subterráneas dentro de la zona de estudio, tres de la CHD y uno del IGME.

d) Determinación de las concentraciones en arsénico en el acuífero terciario detrítico en el área de Miguel Ibáñez. La presencia de arsénico en esta zona de la cuenca del Duero ha sido indicada por diversos autores (Moyano *et al.* 2003; Díez y Martín Duque, 2005; Leal Meca y Lillo Ramos, 2009) y se ha considerado como un buen elemento traza para comprobar la presencia de aguas subterráneas en los humedales estudiados. Se ha comprobado la presencia de arsénico en los análisis químicos realizados por la CHD en los puntos de la red de control de calidad de dicha demarcación (CA0255017, CA0255014 y CA0245027).

e) Elaboración de un inventario de puntos de agua, consistente en 11 puntos en un entorno de 10 km con centro en Miguel Ibáñez (Figura 2): 6 lagunas, 3 manantiales, 1

pozo excavado y 1 depósito de agua. Estos dos últimos, antiguos pozos de abastecimiento de la pedanía de Miguel Ibáñez. Todos los puntos de agua fueron localizados con la ayuda de un GPS manual con una precisión horizontal de ± 5 m.

f) Toma de muestras en 11 de los 12 puntos de agua inventariados con una periodicidad estacional. Se han realizado cuatro campañas de muestreo datadas en marzo, junio, julio y octubre de 2012. Los detalles de los puntos de muestreo se exponen en la Tabla 7. Se procedió a la medida in situ de pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica y Total de Sólidos Disueltos (TDS). Todas las muestras se almacenaron en botellas de polietileno de 1000 ml para su envío al laboratorio y cuatro muestras fueron almacenadas en botellas de 50 ml para análisis isotópicos. Algunos de los puntos inventariados permanecieron secos en algunas de las campañas de muestreo tal y como se indica en la Tabla 7. Los puntos inventariados como números 9, 10 y 11 corresponden a tres humedales adicionales que fueron incluidos en el estudio como información complementaria.

g) Se han realizado un total de 24 análisis físico-químicos para determinar la facies hidroquímica de las aguas muestreadas. Los análisis químicos e isotópicos se llevaron a cabo de acuerdo con los métodos y procedimientos standards seguidos por los laboratorios del IGME y del CEDEX.

h) Análisis estadístico de algunos de los resultados físico-químicos. Cada análisis físico-químico cuenta con 10 componentes (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3H^- , NO_3^- , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^+ , conductividad eléctrica (C.E.) y pH). Se ha aplicado un test de Student para analizar las muestras obtenidas en campo con un mismo procedimiento. Asumiendo que: (1) la localización de la muestra de agua nº 6 en la Figura 2 es la más representativa de las muestras de agua subterránea del acuífero terciario detrítico en la zona de estudio; los criterios que justifican esta representatividad se comentan en el apartado 6.3 de este informe; y (2) las aguas de la Laguna de la Fuente Santa podrían proceder parcialmente de este acuífero, se procedió a comparar 9 de los 10 componentes de los análisis de aguas de muestras obtenidas por el mismo procedimiento y en la misma fecha en ambas localizaciones. El resultado del Test de Student es la aceptación o rechazo de la hipótesis nula. Si las medias de ambas componentes son las mismas, ambas muestras contienen el mismo porcentaje de analítica; si las medias son significativamente diferentes, cada muestra contiene porcentajes diferentes de la analítica; se asume que el test proporciona resultados dentro de un nivel de confianza predefinido, en el campo del análisis químico, es decir, un 95%.

i) Las concentraciones en arsénico de los puntos de agua inventariados se determinaron en base a los análisis de aguas para comprobar si estos puntos recibían aportes del acuífero terciario detrítico. Las muestras de agua de los humedales y manantiales se tomaron en dos campañas de campo (Julio y Octubre 2012) y se analizaron en el Laboratorio de Aguas del IGME (Tabla 8).

j) Las determinaciones de las concentraciones isotópicas de oxígeno/deuterio de 4 muestras de agua se realizaron en el Laboratorio de Isótopos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

k) Selección de un humedal piloto para el estudio, en particular para el seguimiento diario de la evolución del nivel de agua. Se eligió la Laguna de Fuente Santa para este

fin por las siguientes razones: (1) Ser de carácter permanente. (2) Estar ubicada en el propio casco urbano de Miguel Ibáñez.

l) Realización de una batimetría en la Laguna de Fuente Santa con el fin de obtener la geometría del vaso del humedal. Esta batimetría fue realizada el 29 de marzo 2012 a pie, utilizando una escala y un GPS. En esa fecha la profundidad máxima del nivel de agua era de 1,90 m.

m) Instalación de una escala limnimétrica en la Laguna de Fuente Santa. Su ubicación se indica en la Figura 16a. Esta escala ha sido leída diariamente con continuidad por personal de Ayuntamiento y de la pedanía de Miguel Ibáñez desde 1 de abril hasta 15 de septiembre de 2012.

n) Construcción de los modelos conceptuales de funcionamiento de los humedales objeto de estudio.

5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.1 Caracterización climática de la zona de estudio

La orografía de la cuenca del Duero es predominantemente llana y elevada, rodeada de un sistema montañoso que la enmarca y que consiste en tres ambientes separados: el anillo montañoso periférico, la llanura central y las tierras bajas portuguesas. La zona de estudio se localiza en la cuenca alta del Duero, muy próxima al anillo periférico y concretamente a la Sierra de Guadarrama (Figura 1). Esta parte meridional de la cuenca del Duero presenta un clima típico mediterráneo continental con condiciones de sequía en verano que afectan al 90 % de la superficie de la cuenca (CHD, 2012).

La información meteorológica local procede de las estaciones meteorológicas especificadas en la Tabla 1.

Nombre de la Estación	Nº de Referencia	Coord UTMX	Coord UTM Y	Coord Z	Parámetro	Periodo (mes/año)
Segovia	2465	405190	4533294	1005	Precipitación y evaporación	10/88-12/12
Migueláñez	2482B	384510	4553700	870	Precipitación diaria	3/12-11/12
Ávila	2444	357981	4502280	1130	Evaporación diaria	1/83-5/12
Valladolid	2422	353884	4611387	735	Evaporación diaria	10/73-5/12

Tabla 1. Descripción de las estaciones meteorológicas usadas en el estudio (AEMET).

Los datos de precipitación procedentes de la estación de Migueláñez (2482B) corresponden a datos diarios del periodo comprendido entre marzo a noviembre de 2012. Así mismo, los datos de evaporación de las estaciones de Segovia, Ávila y Valladolid, corresponden a datos diarios del registro histórico existente.

5.2. Caracterización geológica de la zona de estudio

La zona de estudio corresponde a una fosa tectónica paralela a las Sierras de Guadarrama y Somosierra, rellena por materiales del Terciario y Cuaternario definida por el rejuego de fracturas profundas tardihercínicas de dirección fundamental NE-SO,

con un borde meridional cabalgante sobre las series terciarias (Figura 3). El zócalo se presenta cubierto por materiales cretácicos. De acuerdo con CHD (2012), la columna litológica consiste de arriba a abajo en materiales cuaternarios, generalmente arenas, limos, gravas y bloques; materiales neógenos compuestos de gravas, conglomerados, brechas y arcillas; Paleógeno, formado por conglomerados y areniscas; y un Cretácico tardío formado por calizas y arenas; rocas plutónicas del Carbonífero tardío y pizarras del Cámbrico y rocas ácidas metamórficas del Precámbrico.

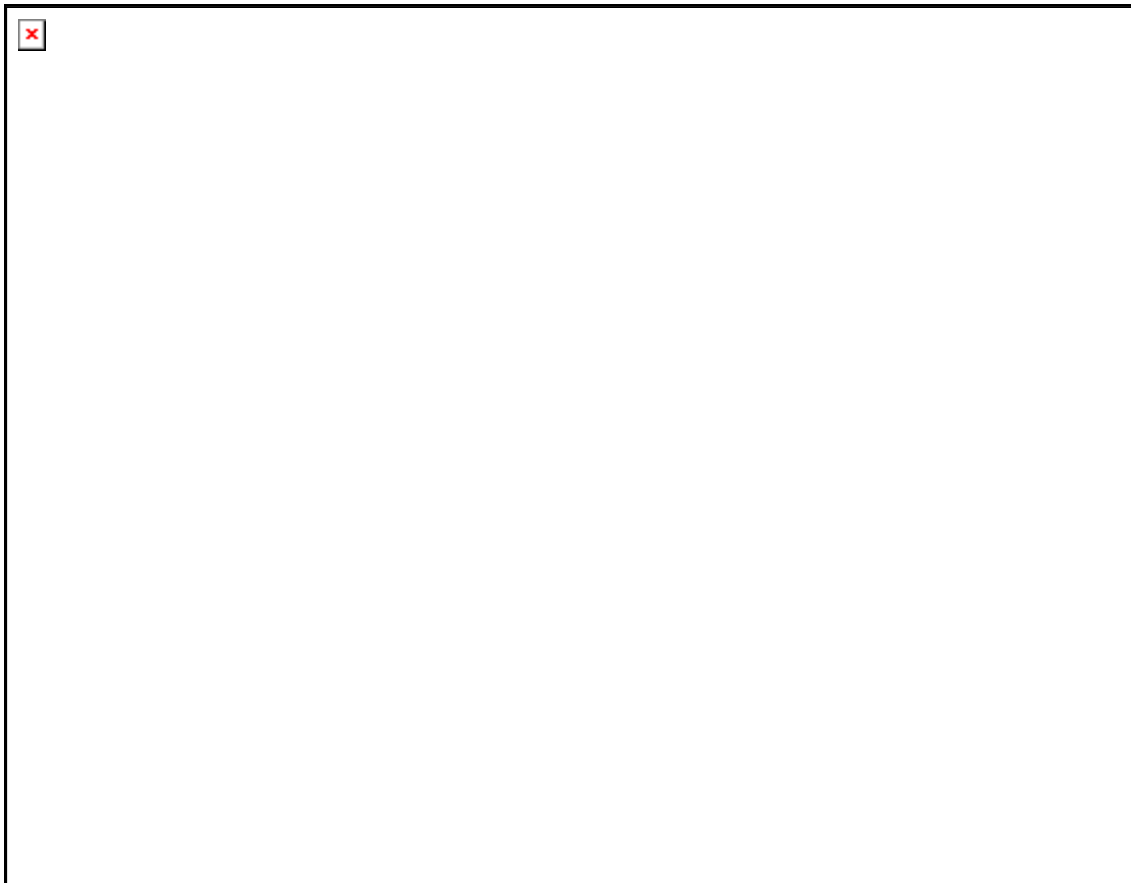


Figura 3. Mapa geológico detallado del entorno de los humedales de Miguel Ibáñez. Corresponde a la Hoja del MTP escala 1.50:000 n° 456 (17-18) dividida en ocho octantes. La figura también indica los núcleos urbanos existentes dentro del área, la ubicación de los tres humedales objeto de estudio, la localización de los principales puntos de descarga (manantiales) y de los sondeos existente de acuerdo con las bases de datos consultadas del IGME y de la CHD (especificados en la Tabla 2).

No de Referencia ⁽¹⁾	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z	Prof. (m) ⁽²⁾	Naturaleza	Edad del acuífero
171810001	376981	4553931	820	220	Sondeo	-
171820001	382275	4554989	823	250	Sondeo	-
171820002	380910	4553275	835	113	Sondeo	Mioceno
171830001	391680	4549312	855		Manantial	-
171840001	395784	4550710	897	72	Sondeo	-
171840002	398739	4555208	865	80	Sondeo	Terciario
171840003	397632	4555739	865	60	Sondeo	Mioceno

171840004	394711	4555806	865	92	Sondeo	Mioceno
171840005	396472	4554595	880	100	Sondeo	Mioceno
171840006	397384	4551027	896	80	Sondeo	Mioceno
171840007	397616	4554999	865	60	Sondeo	Mioceno
171840008	394605	4553195	921	80	Sondeo	Mioceno
171840009	395287	4554002	901	80	Sondeo	Mioceno
171840010	396309	4553545	901	70	Sondeo	-
171840011	395315	4553721	901	85	Sondeo	Mioceno
171840012	396575	4556126	860	81	Sondeo	-
171840013	395367	4555302	870	95	Sondeo	Mioceno
171840014	399782	4555439	860	50	Sondeo	Mioceno
171840015	394408	4550789	873	56	Sondeo	-
171840016	394555	4551188	883	90	Sondeo	Mioceno
171840017	395098	4551705	895	70	Sondeo	Mioceno
171840018	395150	4552013	897	90	Sondeo	Mioceno
171840019	393502	4551046	870	57	Sondeo	-
171840020	393834	4549777	883	96	Sondeo	-
171840021	395569	4550342	897	80	Sondeo	-
171840022	394029	4551965	925	180	Sondeo	Mioceno
171840023	399789	4555220	863	100	Sondeo	Mioceno
171840024	399341	4551432	889	82	Sondeo	-
171850001	375398	4546200	850	94	Sondeo	Mioceno
171850002	378413	4548986	858	80	Sondeo	Mioceno
171860001	384627	4541571	898	200	Sondeo	-
171860002	384595	4541706	897	74	Sondeo	Mioceno
171860003	385834	4542602	910	148	Sondeo	-
171860004	384653	4541723	890	253	Sondeo	-
171860005	384361	4542530	910	96	Sondeo	-
171860006	384628	4541663	895	120	Sondeo	-
171860007	384717	4542581	905	90	Sondeo	Terciario
171870001	387512	4542333	880	96	Sondeo	-
171870002	392439	4548593	845	80	Sondeo	-
171870003	392740	4540356	905	98	Sondeo	-
171880001	399882	4542994	950	102	Sondeo	Mesozoico
171880002	397525	4541139	901	62	Sondeo	Mesozoico
171880003	397664	4540973	882		Sondeo	-
171880004	395930	4543790	875	80	Sondeo	-
171880005	397646	4544406	950	100	Sondeo	Mesozoico
171880006	399424	4542681	950	100	Sondeo	Mesozoico
171880007	396071	4541988	900		Manantial	-
171880008	397575	4547939	902	100	Sondeo	-
171880009	397971	4547476	905	102	Sondeo	-
171880010	398884	4548386	902	89	Sondeo	-
171880011	397237	4547586	900	105	Sondeo	-
171880012	397130	4546735	920	120	Sondeo	-
171880013	399030	4542436	950	105	Sondeo	Mesozoico
171880014	399079	4542652	950	82	Sondeo	Mesozoico
171880015	395988	4543768	886	119	Sondeo	Mioceno
171880016	397795	4544363	843	100	Sondeo	Mioceno
171880017	398026	4547568	905	102	Sondeo	Mioceno
171880018	398428	4547903	893	89	Sondeo	-
171880019	398251	4543525	965	108	Sondeo	-

Tabla 2. Descripción de los sondeos con información de columna litológica (datos procedentes de la base de datos del IGME). (1) Los cuatro primeros dígitos de este número corresponden a número de la hoja del Mapa Topográfico Nacional (1718); el quinto dígito es el número del octante, numerado de izquierda a derecha primero en la mitad superior y después en la inferior; los últimos dígitos corresponden al número del punto dentro del octante correspondiente. (2) La profundidad se refiere a profundidad del sondeo.

5.3. Caracterización hidrogeológica de la zona de estudio

El Río Duero constituye el punto de descarga de flujos subterráneos regionales. La zona de estudio se localiza entre las masas de agua subterráneas (MASb) de Cantimpalos (021.055) y Los Arenales (021.045) (Figura 1) en las que se superponen diversos niveles acuíferos: básicamente cuaternario arenoso, terciario detrítico y mesozoico basal.

El acuífero principal consiste en materiales detríticos compuestos de arenas terciarias, gravas y cantos distribuidos en lentejones y rodeados por una matriz arcillosa menos permeable para formar un acuífero confinado o semiconfinado multicapa, heterogéneo y anisótropo (IGME-DGA, 2010a,b). Por esta razón, los niveles superiores de este acuífero con frecuencia constituyen acuíferos colgados. Los acuíferos más próximos a la superficie se asocian con materiales cuaternarios, de naturaleza detrítica y compuestos de arenas, arcillas, cantos y gravas que constituyen materiales de fondo de valle. El Arroyo del Tormejón comienza en el municipio de Pinilla-Ambroz y circula según una dirección Sur-Norte.

Las MASb Sepúlveda y Segovia (colindantes por el Norte y Noreste a la de Cantimpalos, Figura 1) son de carácter mesozoico y ceden sus aguas a la MASb de Cantimpalos siguiendo el sentido del flujo subterráneo en este sector de la cuenca, que es de dirección Sureste - Noroeste. Asimismo, ésta MASb vierte aguas hacia la de Los Arenales (situada al oeste de la misma) (Figura 1).

5.4. Caracterización hidroquímica del acuífero terciario detrítico

De acuerdo con lo comentado en la metodología, existen 4 puntos de control de aguas subterráneas en la zona de estudio (Tabla 3) cuya localización se indica en la Figura 3.

Punto (1)	MASb	UTMX (2)	UTMY (2)	Prof. (3)	Naturaleza (4)	Municipalidad (5)	Fuente (6)
CA0245027	Los Arenales	373488	4557891	54	Piezómetro	Nava de la Asunción	CHD
CA0255017	Cantimpalos	391397	4544166	40	Piezómetro	Añe	CHD
CA0255014	Cantimpalos	395051	4550704	35	Piezómetro	Tabanera la Luenga	CHD
17184001	Cantimpalos	395784	4550710	72	Sondeo	Tabanera la Luenga	IGME

(1) Identificador de la red de control de calidad.

(2) Coordenadas UTMX y UTM Y.

(3) Profundidad desde la superficie del suelo.

- (4) Naturaleza: manantial, piezómetro, sondeo, etc.
 (5) Municipalidad: principal núcleo urbano donde se localiza en punto.
 (6) Fuente del dato: CHD: Confederación Hidrográfica del Duero; IGME: Instituto Geológico y Minero de España.

Tabla 3. Descripción de los puntos de control de calidad de aguas subterráneas pertenecientes a redes oficiales dentro de la zona de estudio (IGME y CHD).

El único punto de la red de control de calidad de aguas subterráneas de la base de datos del IGME disponible en esta zona (171840001) se sitúa a 7 km al Sureste de Bernardos (Figura 3). Tiene 92 m de profundidad, aunque no dispone de datos de su columna litológica. Presenta aguas bicarbonatadas cálcicas (Figura 4) con conductividades eléctricas comprendidas entre 387 y 696 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

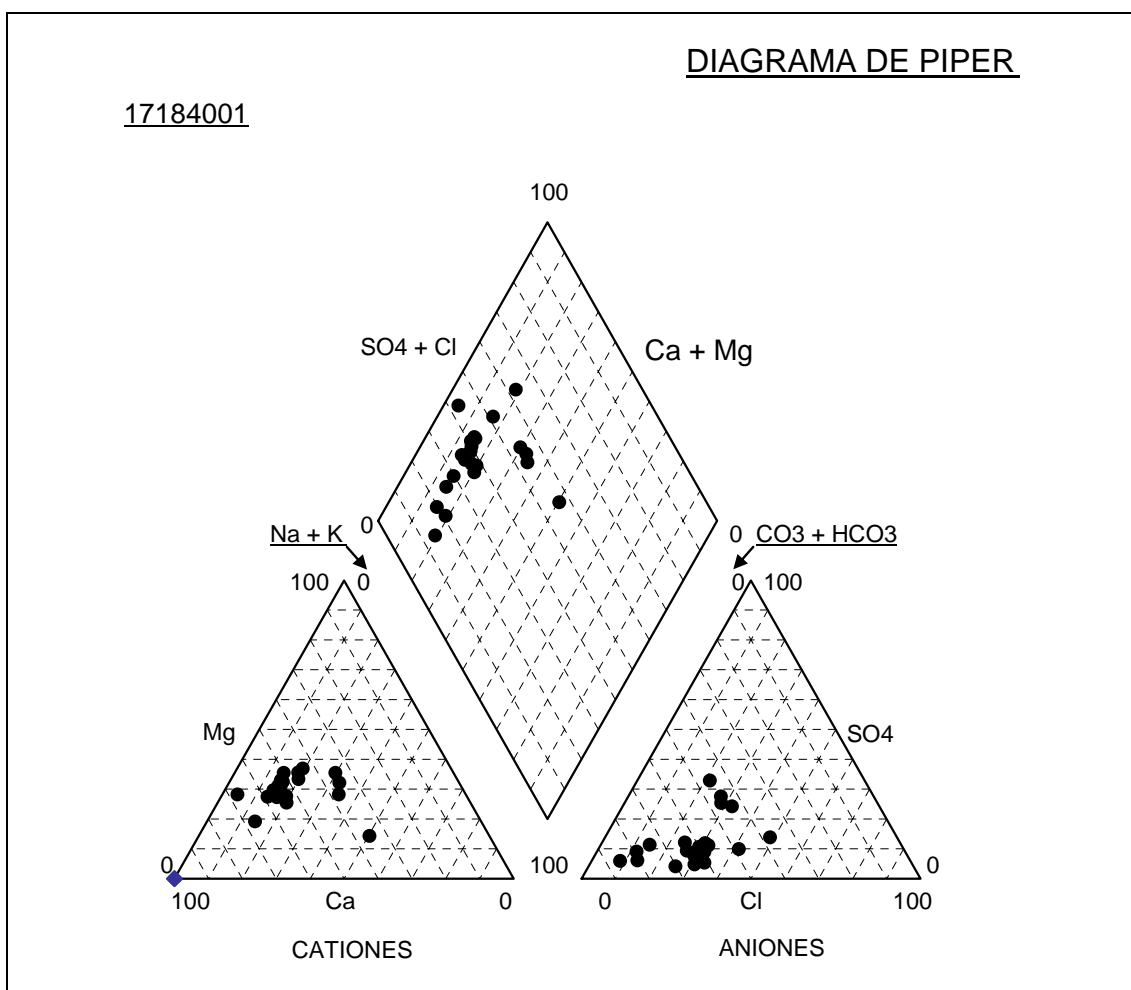


Figura 4. Diagrama de Piper de 20 muestras correspondientes al punto de la red de control de calidad de aguas subterráneas del IGME 171840001 situado en Bernardos (muestras tomadas en el periodo 1982-1998) indicado en la Figura 3.

5.5. Identificación de las presiones.

El estado actual de estos humedales presenta cierto grado de alteración debido a diversas actuaciones de excavaciones y drenajes que afectan a la morfología de sus cubetas, y también a su régimen hídrico. La persistencia de una lámina de agua en estas lagunas está condicionada por los aportes de los manantiales o flujos subsuperficiales que las alimentan.

Por otro lado, los humedales se encuentran rodeados de tierras de cultivo. En este caso los excedentes de riego pueden ser conducidos por la escorrentía superficial hasta las cubetas de los humedales modificando sus condiciones físico-químicas y régimen de flujo. Los fertilizantes utilizados con el riego pueden incorporarse tanto a las aguas de escorrentía como al acuífero, provocando el incremento de las concentraciones de nitratos y el incremento de nutrientes. A todo lo dicho hay que añadir el hecho de que la Laguna de Fuente Santa se usa como abrevadero para ganado, además de recibir vertidos variados de materia orgánica.

6. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DETALLADO

6.1 Estudio climático

Según los datos facilitados por la Agencia Española de Meteorología (AEMET), la estación pluviométrica con registro histórico más prolongado y más próxima a la localidad de Miguel Ibáñez es Segovia (2465), localizada a 25 km, que dispone de datos de precipitación para el periodo octubre-1988 a diciembre-2012. La evolución de esta serie histórica para los años naturales correspondientes al periodo 1989-2012 se muestra en la Figura 5.

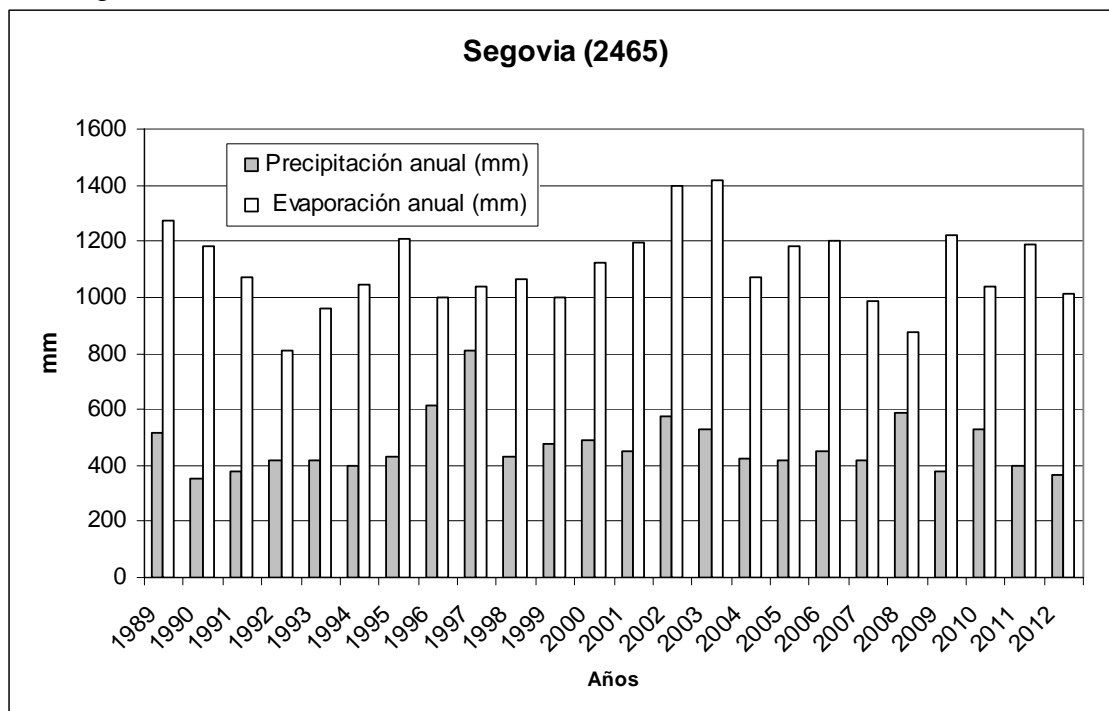


Figura 5. Precipitación mensual en la estación de Segovia (2465) durante el periodo 1989-2012.

De acuerdo con la serie histórica de precipitación analizada, la precipitación media obtenida es de 474,12 mm. Siguiendo el criterio de Custodio y Llamas (1983) considerando como “año seco” aquel con una pluviometría al menos un 15% inferior a la media aritmética ($P_m < 403$ mm); “año húmedo” aquel en el que las precipitaciones superen al menos en un 15% a esa misma media ($P_m > 545,23$ mm), y año medio aquel cuya precipitación se encuentre entre $\pm 15\%$ de la precipitación media ($403 < P_m < 545,23$ mm), se puede establecer una clasificación de la serie de años estudiada. En los 22 años representados, han transcurrido 5 años secos (1990; 1991; 1994; 2009 y 2011) y 3 años húmedos (1996; 1997 y 2002), y 15 años medios, por lo que la frecuencia de los primeros es casi el doble que la probabilidad de ocurrencia de los segundos, siendo el año medio el más frecuente.

En la Figura 6 se muestra la evolución de la media de las precipitaciones mensuales en la estación meteorológica de Segovia según un año hidrológico, versus la precipitación mensual en el año hidrológico 2011/2012. El año 2011/2012 ha sido un año particularmente bajo en precipitaciones salvo en los meses de noviembre y abril de 2012 en los que la precipitación ha superado la media de las precipitaciones en esos meses.

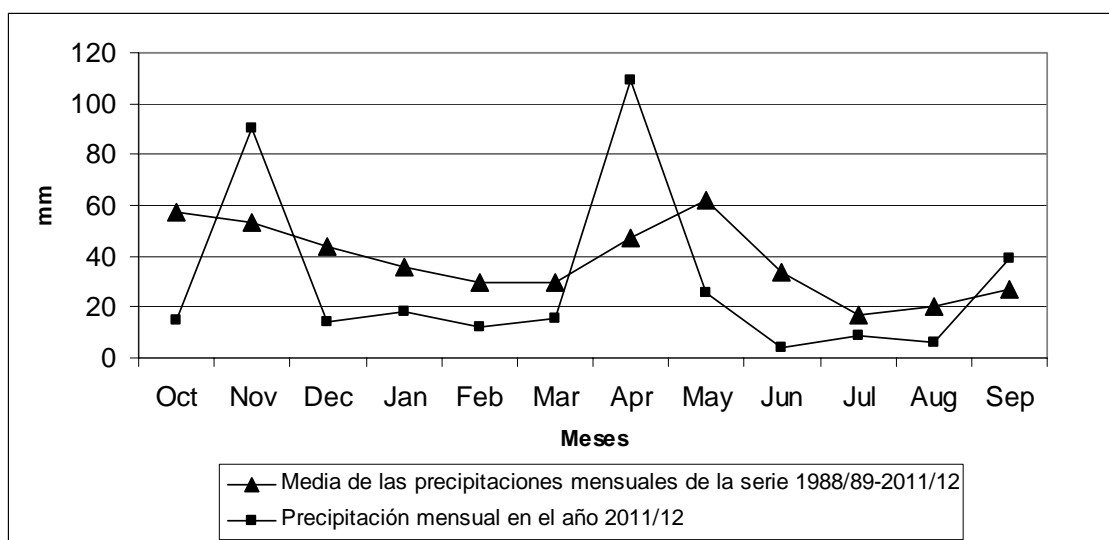


Figura 6. Comparación de la precipitación media mensual del periodo 1988/89-2011/12 y la precipitación mensual del año hidrológico 2011/2012 en la estación meteorológica de Segovia (2465) (datos proporcionados por la AEMET).

De acuerdo con la misma fuente, las estaciones que disponen de datos de evaporación en el entorno de Miguel Ibáñez son: Valladolid (70 km), Ávila (55 Km) y Segovia (25 km). En la Figura 7 se muestra la evolución de la evaporación y simultáneamente de la precipitación para el periodo de observación comprendido entre 1 de abril a 30 de noviembre de 2012. De acuerdo con Custodio y Llamas (1983) las medidas de evaporación obtenidas mediante evaporímetro de Piché, se han ajustado aplicando un factor de corrección de 0,7.

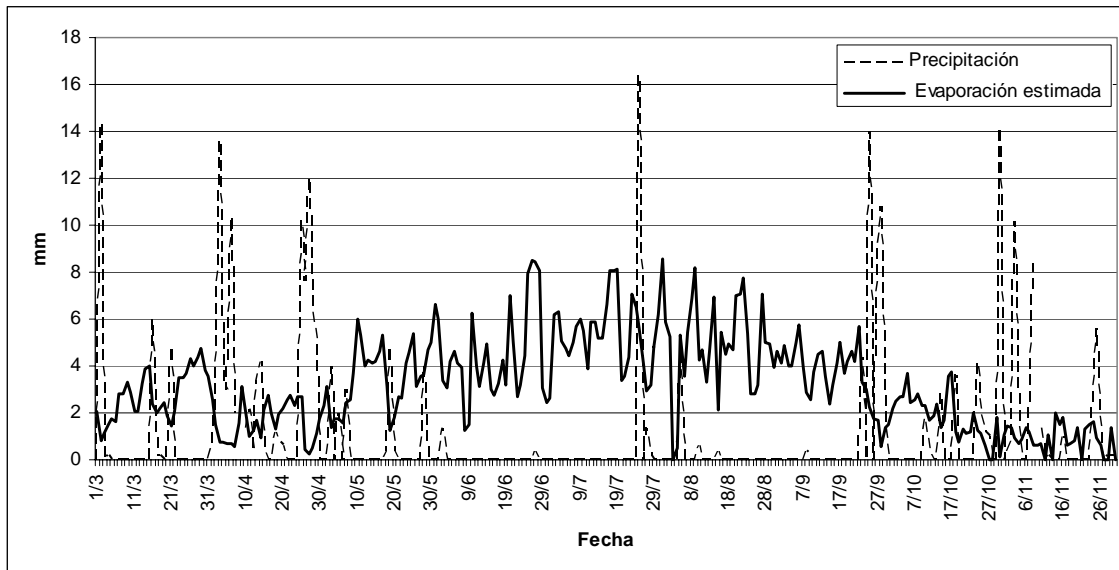


Figura 7. Evolución de la precipitación (estación de Migueláñez-2482B) y evaporación diaria (media de la evaporación diaria de las estaciones de Segovia-2465, Ávila-2444 y Valladolid-2422 corregidas) para el periodo comprendido entre 1 de abril a 30 de noviembre de 2012. Puede observarse que la precipitación máxima para este periodo ha sido de 16 mm y la evaporación ha superado los 8 mm/día.

6.2 Estudio geológico

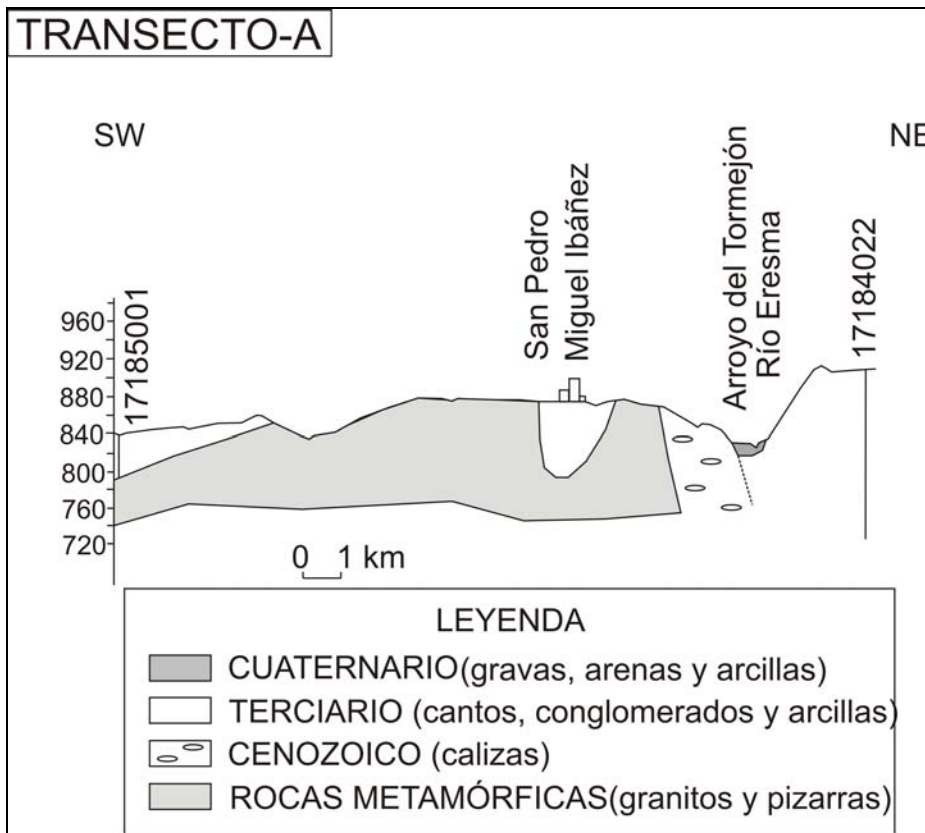
En la zona de Miguel Ibáñez el relleno detrítico presenta un espesor reducido debido a la existencia de un umbral del zócalo paleozoico que llega a aflorar en el Cerro de San Isidro (Figura 3). Este afloramiento de cuarcitas y pizarras se presenta también a modo de regolito en la cubeta de la Laguna de San Pedro. En la Figura 8 se muestran dos perfiles geológicos que permiten hacerse una idea de la estructura geológica local.

En el transecto A puede verse que el relleno terciario detrítico en el núcleo urbano de Miguel Ibáñez parece encontrarse en torno a los 80 m. Está formado por materiales limo-arcilloso, de baja-media permeabilidad. Sin embargo, la potencia de este relleno sedimentario es muy variable incluso en distancias pequeñas, según comunicación verbal de habitantes de la pedanía y comunicación escrita de Víctor del Barrio con fecha 3-4-2012.

Respecto a los materiales del acuífero terciario detrítico, cuando los limos son abundantes y la morfología de la cuenca es semi-endorreica, se forman los fondos de charca. Estos fondos de charca son de dimensiones reducidas debido a la poca extensión que cubren y a su escaso espesor. Habitualmente no superan los 3-4 m de potencia. Estos materiales afloran al Sur de Miguel Ibáñez y a lo largo del Arroyo del Tormejón.

Entre los materiales cuaternarios, son de destacar los abanicos aluviales en forma de glacis, formados por arenas y cantos de cuarzo (alta permeabilidad). El agua que se infiltra a través de estos abanicos, debido a la morfología y a la elevación del terreno, aflora en el entorno del Arroyo del Tormejón dando lugar a manantiales como el Manantial de la Ermita, cerca de la Balsa de la Ermita (punto 4 de la Figura 2). Bajo el aluvial del Arroyo del Tormejón y principalmente hacia el Norte, se encuentran los

materiales terciarios de origen sedimentario formados por conglomerados de cantos y bloques de pizarra y granito con arenas de matriz limo-arcillosa (Figura 8, transecto-B). Estos materiales constituyen el soporte físico del acuífero terciario detrítico.



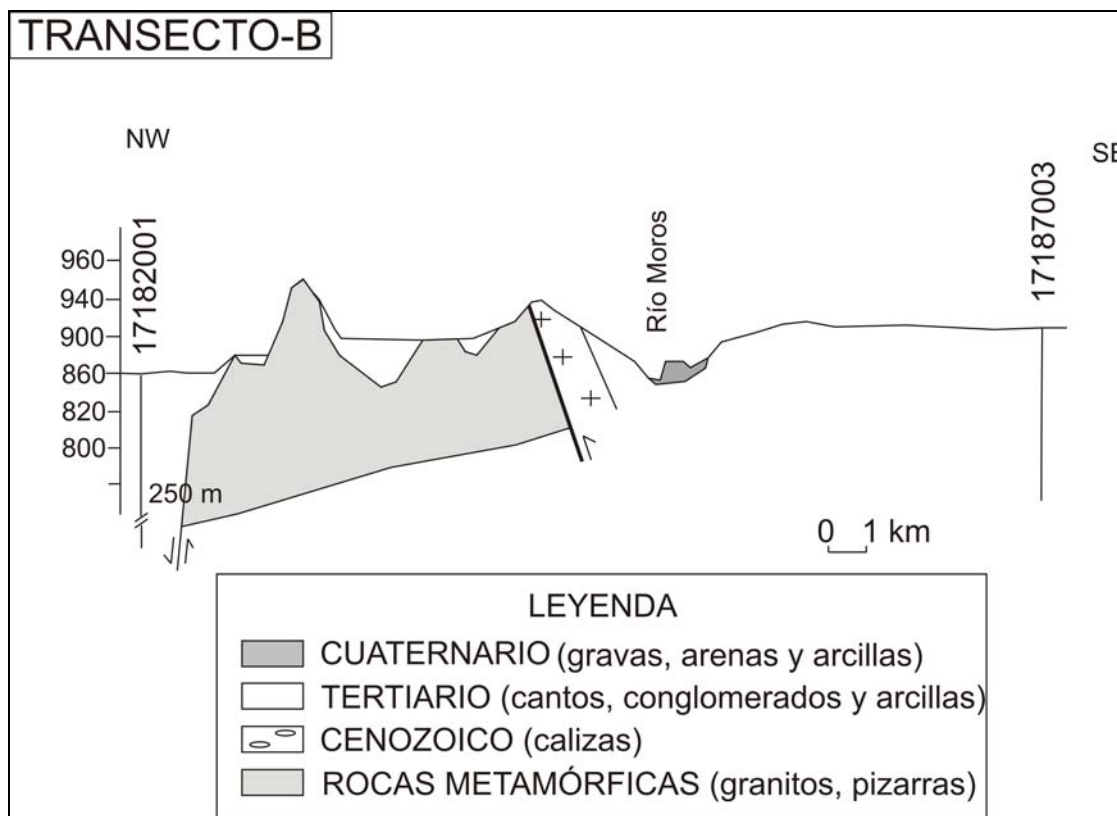


Figura 8. Cortes geológicos de la zona de estudio según las trazas indicadas en la Figura 3 como transectos A y B.

Estos materiales rellenan un pequeño valle situado al SE del macizo rocoso paleozoico de Santa María la Real de Nieva.

El Arroyo del Tormejón dibuja un punto de inflexión en su curso cuando alcanza los materiales del detrítico terciario, es decir, unos 300 m antes de alcanzar el núcleo urbano de Miguel Ibáñez. Desde ese punto, su caudal se incrementa y permanece más o menos estable, aunque cuando suceden largos periodos secos, se vuelve intermitente, reduciéndose a pequeñas pozas y llega a secarse. En general este arroyo se comporta como perdedor, es decir, alimenta al acuífero (comunicación escrita de Víctor del Barrio, CHD, 3-4-2012).

6.3 Inventario de puntos de agua

El inventario de puntos de agua subterránea en el entorno próximo de las lagunas se ha realizado mediante dos procedimientos: (1) Mediante un recorrido a pie y/o en coche, en función de las distancias y de la accesibilidad de los alrededores de las lagunas, en el que se han ido tomando lectura de las coordenadas UTM utilizando un GPS GARMIN GPSMAP 62st que ha permitido la georeferenciación de los puntos encontrados. Estos puntos de agua han sido pozos, sondeos, depósitos de agua y manantiales. (2) Mediante consulta a las bases de datos de puntos de agua del IGME y de la Confederación Hidrográfica del Duero.

6.4 Hidroquímica del acuífero terciario detrítico

Existen cuatro puntos de la red de control de calidad de aguas subterráneas dentro de la zona de estudio (Figuras 4 y 9 y Tablas 4 y 5).

Point Name	Sample date	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K	Ar	pH ⁽¹⁾	C.E. ⁽¹⁾
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	(µg/l)	µS/cm
CA0255017	23/01/2012	22,74	16,94	262,4	129	22	17,7	85,1	1,4	<5	8,6	710
	17/06/2010	23,1	15,5	325,9	104	24,8	19	84,8	1,6	0,005	7,04	652
	01/06/2009	23,7	12,4	257,5	2	23,5	16,7	35,1	0		7,77	414
	09/06/2008	23	14,1	319,7	73,6	26,4	15,8	67,1	1,8	0	7,29	426
	09/01/2007	17	12	347,5	82	30,8	19,6	87	2,1	0,0022	7,19	565
CA0255014	24/01/2012	76,03	34,9	146,4	245	4,6	18,4	97,1	1	0	7,3	915
	18/06/2010	55	5,9	325,6	5,3	42,6	17,4	59,4	0	0	7,86	574
	09/06/2009	52,3	11,1	338,8	0	39	17,4	61	0		7,69	574
	12/06/2008	42,4	0	241	0	36,8	12,1	24,5	0,9	0	8,13	440
	05/07/2007	37,2	14,2	214,7	34	35,8	9,9	39,1	0		6,83	433
	12/12/2006	41,3	27,6	193,4	159	30	13,5	74,4	0	0	5,84	602
CA0245027	08/02/2012	46,83	25,85	140,3	28,2	42,4	9,3	34,1	1,9	0	6,9	490
	25/01/2010	49,9	36,1	111,4	0	41,3	12,8	10	5,5	0	9,11	376
	04/06/2009	48,2	36,7	112	0	46,3	14,4	9,4	5,8		9,09	383
	15/01/2008	45	25,6	111,4	0	48,1	6,9	6,4	3,5	0	8,96	358
	09/01/2007	36	0	108,2	0	40,2	4,5	7	0	0	9,23	271

(1) Parámetro medido in situ en campo.

Tabla 4. Resultados de los análisis químicos de los puntos CA0255017, CA0255014 y CA0245027 de la red de control de calidad de aguas subterráneas de la CHD.

Fecha	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K	C.E.
Muestreo	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µS/cm
22/11/1983	21	22	244	15	29	22	70	3	387
09/05/1984	53	28	172	76	24	26	81	2	650
22/04/1985	57	28	187	146					681
01/10/1987									387
01/04/1988					16	18	49	2	390
24/05/1988	16	15	277	18	25	25	49	2	435
15/11/1988	78	30	103	54	16	16	34	1	577
30/04/1991	17	18	150	14	14	18	42	2	440
29/10/1991	18	11	184	16	23	25	71	1	424
08/04/1992	60	17	201	100	25	26	73	1	696
13/05/1993	57	28	200	80	26	27	82	2	630
17/11/1993	55	24	215	108	23			2	639
15/11/1994	47	15		96	24	25	74	2	616
09/05/1995	46	10	216	88	24	28	73	2	641
24/10/1995	48	23	200	96	24	23	76	2	603
29/04/1996	60	13	187	92	23	25	66	1	608
30/10/1996	53	18	193	86	25	20	65	2	595
26/11/1997	51	21	184	72	25	22	51	2	590
17/03/1998	62	20	125	88	23	20	68	2	585

26/10/1998	49	25	157	84	22	22	72	2	591
16/04/1999	55	26	169	88	6	20	79	2	598
29/10/1999	42	28	187	88	32	21	74	2	590
28/04/2000	53	11	189	104	21	22	78	2	625
30/10/2000	60	23	192	92	21	15	86	2	593
20/04/2001	53	15	170	96					579

Tabla 5. Resultados de los análisis químicos del punto 17184001 de la red de control de calidad de aguas subterráneas del IGME.

Además de los datos proporcionados por los puntos de las redes de control de aguas subterráneas, dentro de los puntos de nuestro inventario de campo, el punto 6, presenta aguas procedentes de 6 m de profundidad, por lo que presumiblemente proceden del acuífero terciario detrítico, y corresponden al único punto de muestreo de aguas subterráneas más próximo a las lagunas objeto de estudio. La técnica de muestreo de este punto fue la misma que la aplicada en las lagunas, por lo que en principio, se considera viable la aplicación de un análisis estadístico de muestras tomadas por el mismo procedimiento mediante el Test de Student, que se comentará en el apartado 6.7.

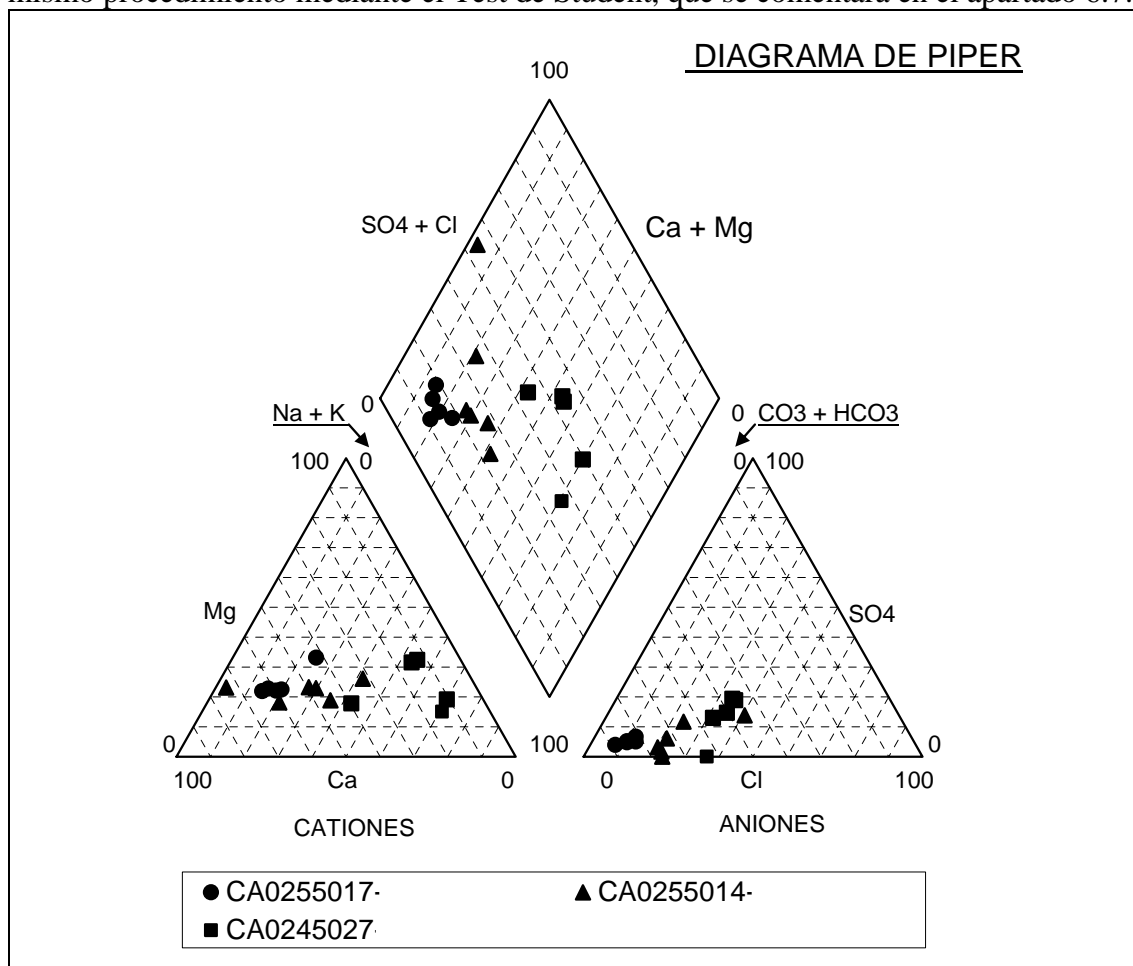


Figura 9. Diagrama de Piper mostrando los resultados de los análisis químicos de los puntos CA0255017, CA0255014 y CA0245027 de la red de control de aguas subterráneas de la CHD.

6.5 Datos hidroquímicos de las muestras obtenidas en las campañas de campo.

La Tabla 6 indica las características de los puntos de muestreo y la Tabla 7 presenta los resultados de los análisis químicos obtenidos.

Número	Nombre	Coord.UTM-X	Coord.UTM-Y	Naturaleza	Prof. (m)
1	Laguna de Fuente Santa	386673	4549525	Humedal	1,7
2	Manantial de Fuente Santa	386541	4549264	Manantial	-
3	Balsa de la Ermita	386891	4549741	Humedal	0,5
4	Manantial de la Ermita	386968	4549968	Manantial	-
5	Laguna de San Pedro	385690	4549275	Humedal	0,3
6	Pozo excavado	386375	4549183	Pozo	6
7	Tanque de agua de Fuente Santa	386500	4549308	Tanque de agua	2
8	Manantial Vía del tren	386715	4549221	Manantial	-
9	Laguna de Bon	380800	4552800	Humedal	0,5
10	Charca de Marmolejo	384700	4552550	Humedal	0,3
11	Charca de Armuña	388159	4548726	Humedal	0,5
12	Sondeo	386375	4549183	Sondeo	30

Tabla 6. Descripción del inventario de puntos de agua realizado en los trabajos de campo.

Nº punto	Nombre punto	Fecha muestreo	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	Na	Mg	Ca	K	pH	C.E. a 20 °C
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
1	Laguna de Fuente Santa	08/03/2012	93	44	400	0	0	92	42	49	21	7,62	836
2	Manantial de Fuente Santa	08/03/2012	16	40	86	0	120	12	16	56	1	6,7	434
3	Laguna de la Balsa de la Ermita	08/03/2012	167	185	760	0	0	220	68	120	37	8,14	1620
4	Manantial de la Ermita	08/03/2012	22	60	226	0	110	29	25	82	0	7,12	632
5	Laguna de San Pedro	08/03/2012	sin agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Pozo excavado depósito	29/03/2012	32	61	253	0	45	25	24	86	2	7,16	641
7	Depósito agua Fuente Santa	29/03/2012	39	59	306	0	33	40	22	89	12	7,57	705
8	Manantial vía tren	29/03/2012	18	48	119	0	96	11	16	67	1	7,37	472
1	Laguna de Fuente Santa	05/06/2012	94	65	249	7,25	9	108	30	23	16	8,54	692
2	Manantial de Fuente Santa	05/06/2012	20	48	86	0	100	14	15	60	0	6,38	425
3	Laguna de la Balsa de la Ermita	05/06/2012	226	223	560	37,5	4	309	54	59	23	8,81	1420
4	Manantial de la Ermita	05/06/2012	29	57	172	0	90	31	23	68	0	7,03	617
5	Laguna de San Pedro	05/06/2012	296	594	432	6,04	8	235	96	156	142	8,35	2540
9	Laguna Bon	05/06/2012	25	179	136	0	10	34	20	65	33	6,75	609
10	Charca de Marmolejo	05/06/2012	31	16	212	0	7	27	15	47	13	7,26	420
1	Laguna de Fuente Santa	05/07/2012	128	70	146	0	0	107	22	15	25	7,60	741
2	Manantial de Fuente Santa	05/07/2012	17	48	83	0	100	11	16	58	0	7,05	446
3	Laguna de la Balsa de la Ermita	05/07/2012	444	404	397	21,75	0	449	52	38	68	8,78	1959,2
4	Manantial de la Ermita	05/07/2012	23	57	211	0	80	25	22	81	0	7,41	435,6
5	Laguna de San Pedro	05/07/2012	sin agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Charca de Armuña	05/07/2012	56	73	324	166,75	0	120	87	14	10	9,67	959

1	Laguna de Fuente Santa	26/10/2012	169	67	396	0	0	130	58	31	37	8,14	1137
2	Manantial de Fuente Santa	26/10/2012	18	44	80	0	110	11	16	57	0	7,36	429
4	Manantial de la Ermita	26/10/2012	21	57	217	0	90	26	24	80	0	7,78	644
5	Laguna de San Pedro	26/10/2012	125	500	188	0	0	78	60	138	108	7,61	1455
11	Charca de Armuña	26/10/2012	72	148	598	2,41	2	126	85	57	16	8,25	1223

Tabla 7. Resultados de los análisis químicos de las muestras de agua obtenidas durante las campañas de muestreo realizadas en los meses de marzo, junio, julio y octubre de 2012.

Básicamente corresponden a tres grupos de aguas: aguas del acuífero detrítico (muestras 6 y 7), aguas de lagunas (muestras 1, 3, 9, 10 y 11) y aguas de manantiales (muestras 2, 4, 8).

En general se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas de mineralización baja (Figuras 10 a 13).

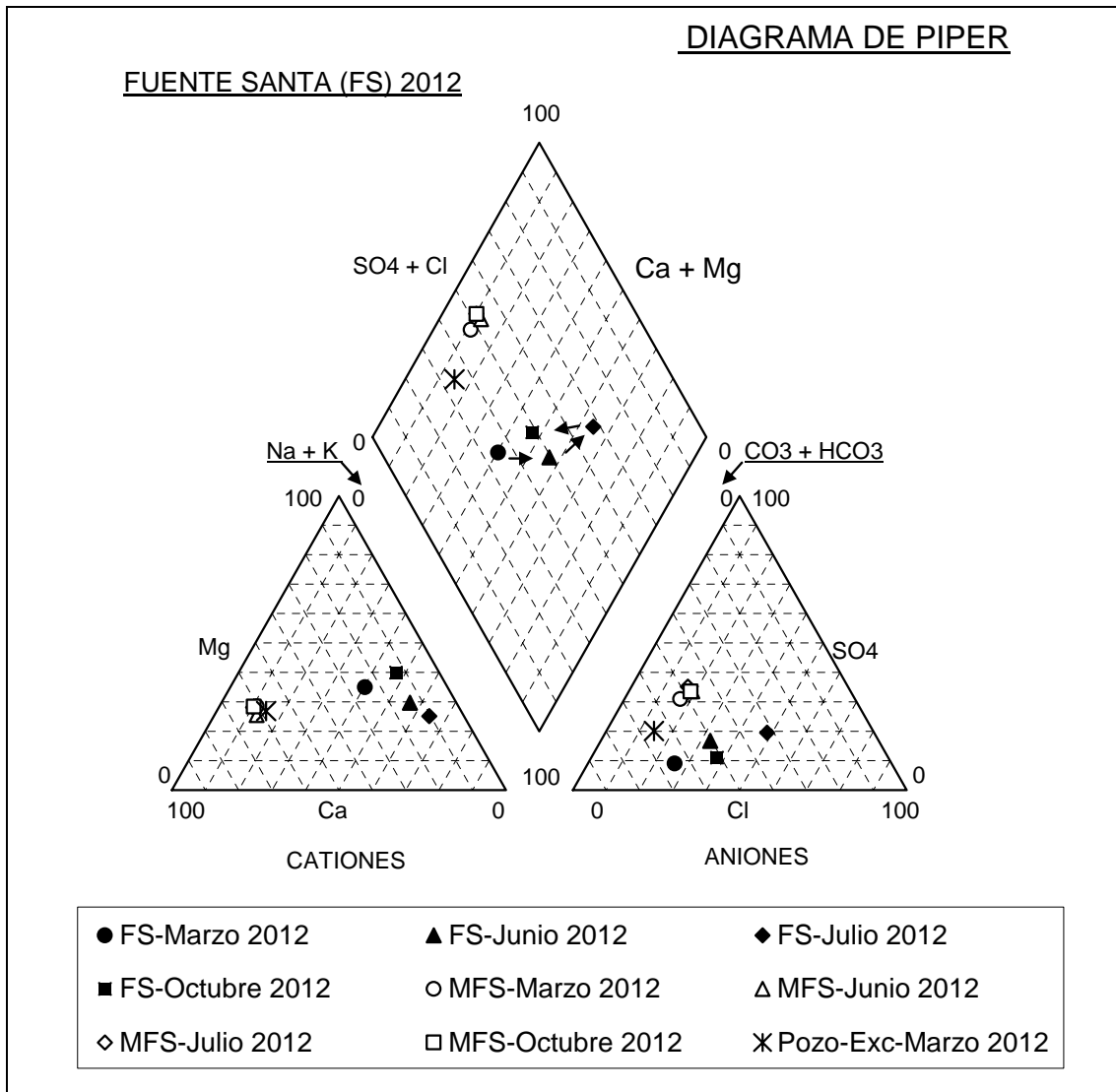


Figura 10. Diagrama de Piper representando los resultados de los análisis químicos de las muestras obtenidas en la Laguna de la Fuente Santa en las cuatro campañas de campo. FS: Laguna de Fuente Santa. MFS=Manantial de Fuente Santa. Pozo-Exc.=Pozo excavado.

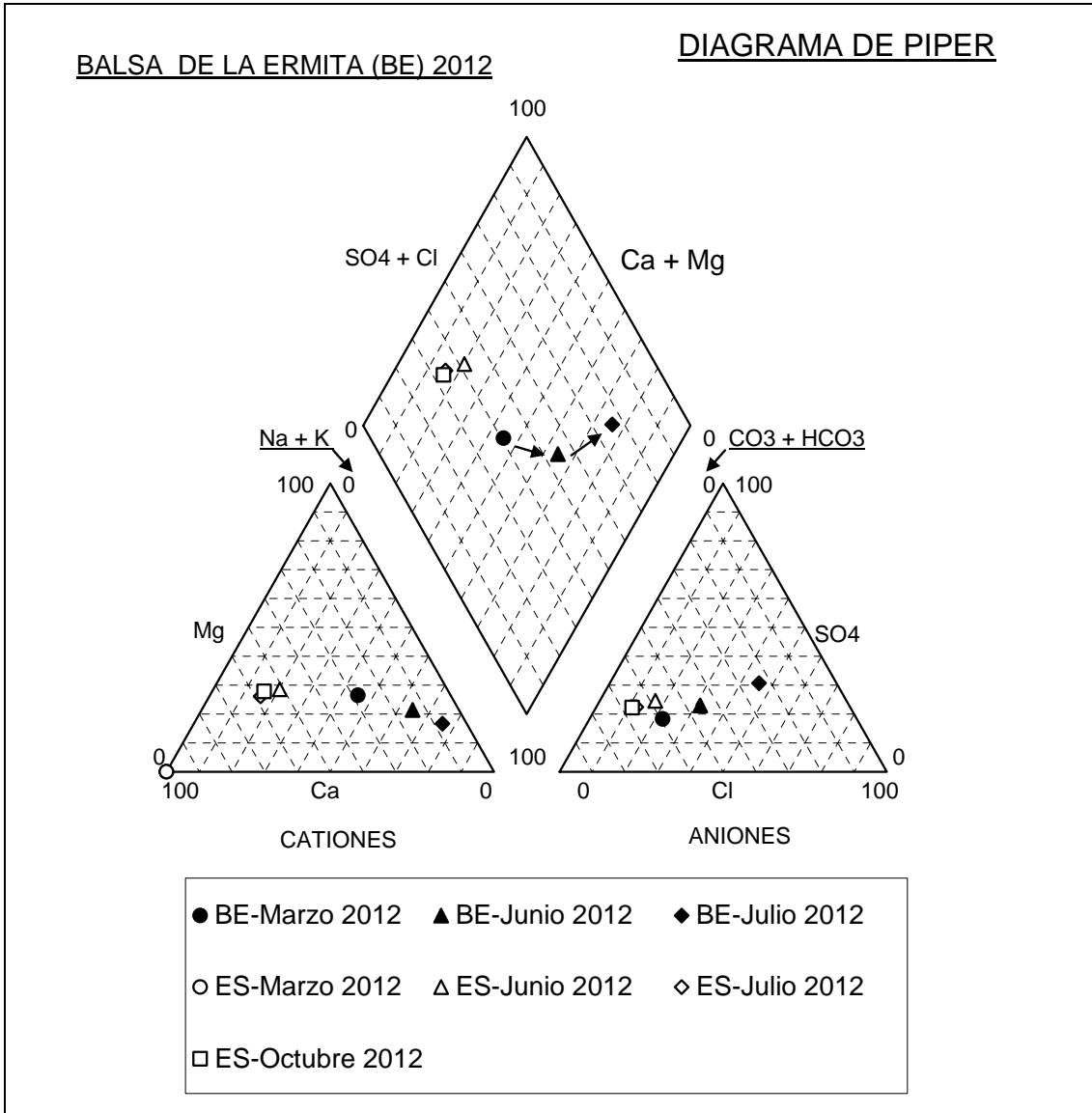


Figura 11. Diagrama de Piper mostrando los resultados de los análisis químicos de las muestras obtenidas en la Balsa de la Ermita y puntos del entorno en las campañas de campo. BE=Laguna de la Balsa de la Ermita. ES=Manantial de la Ermita.

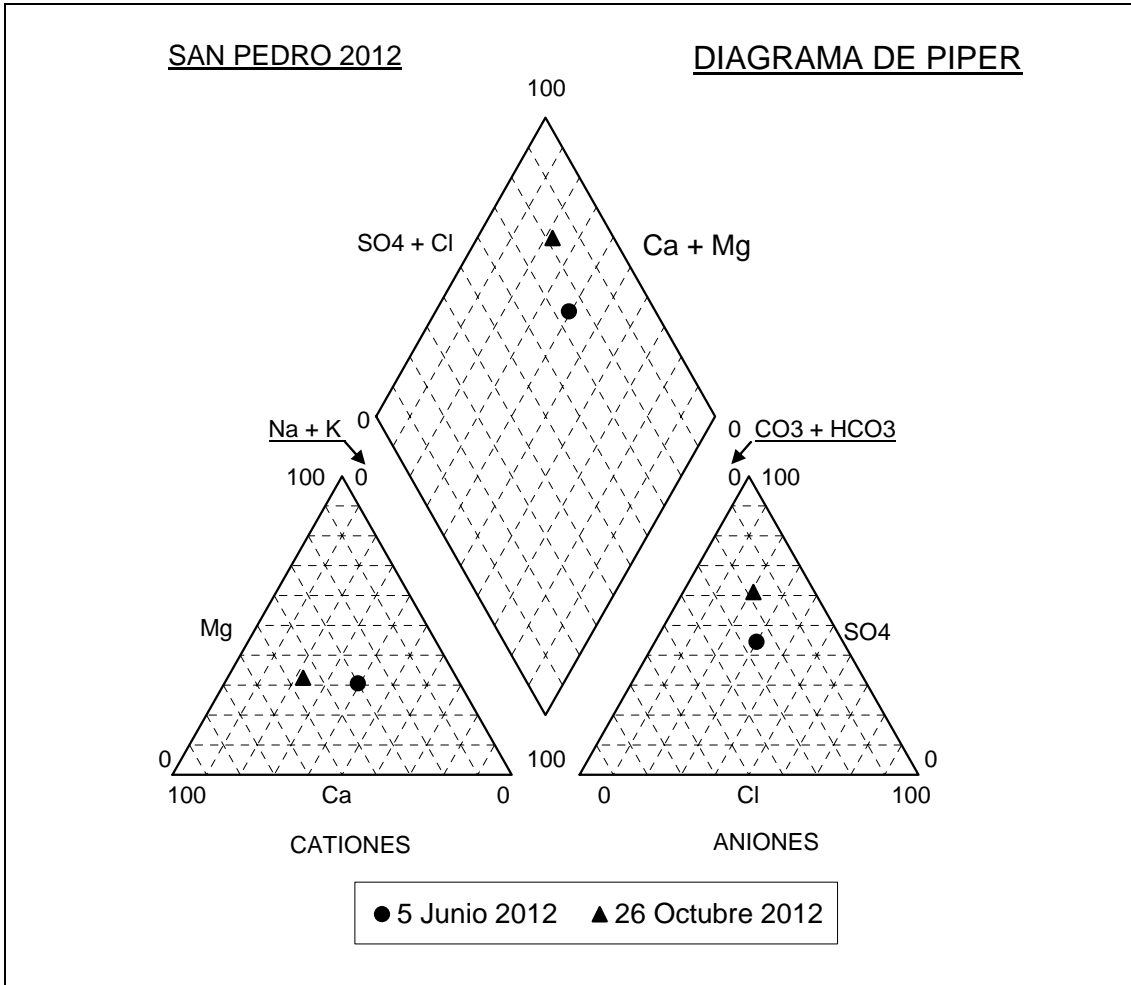


Figura 12. Diagrama de Piper representando los resultados de los análisis químicos de las muestras tomadas en la Laguna de San Pedro en las campañas de campo.

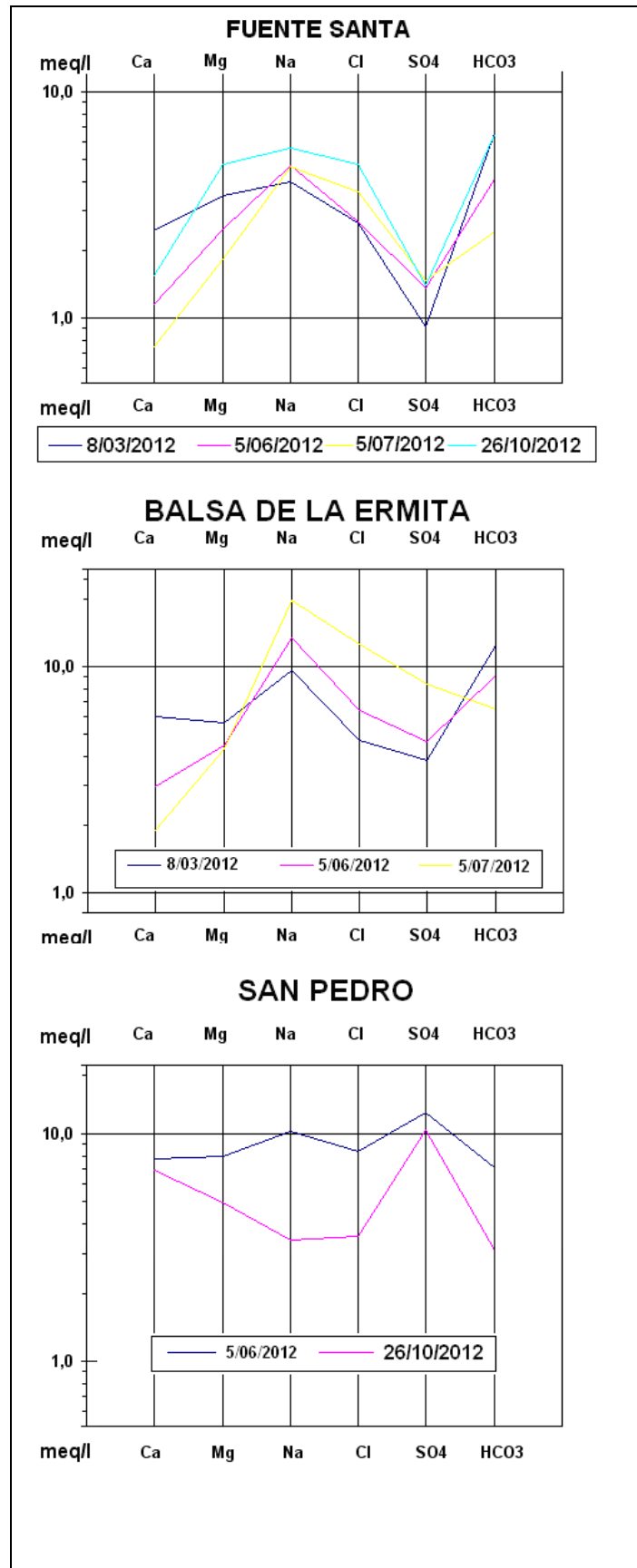


Figura 13. Diagrama de Schoeller-Berkalof mostrando los análisis químicos de las muestras de agua tomadas en cada uno de los humedales.

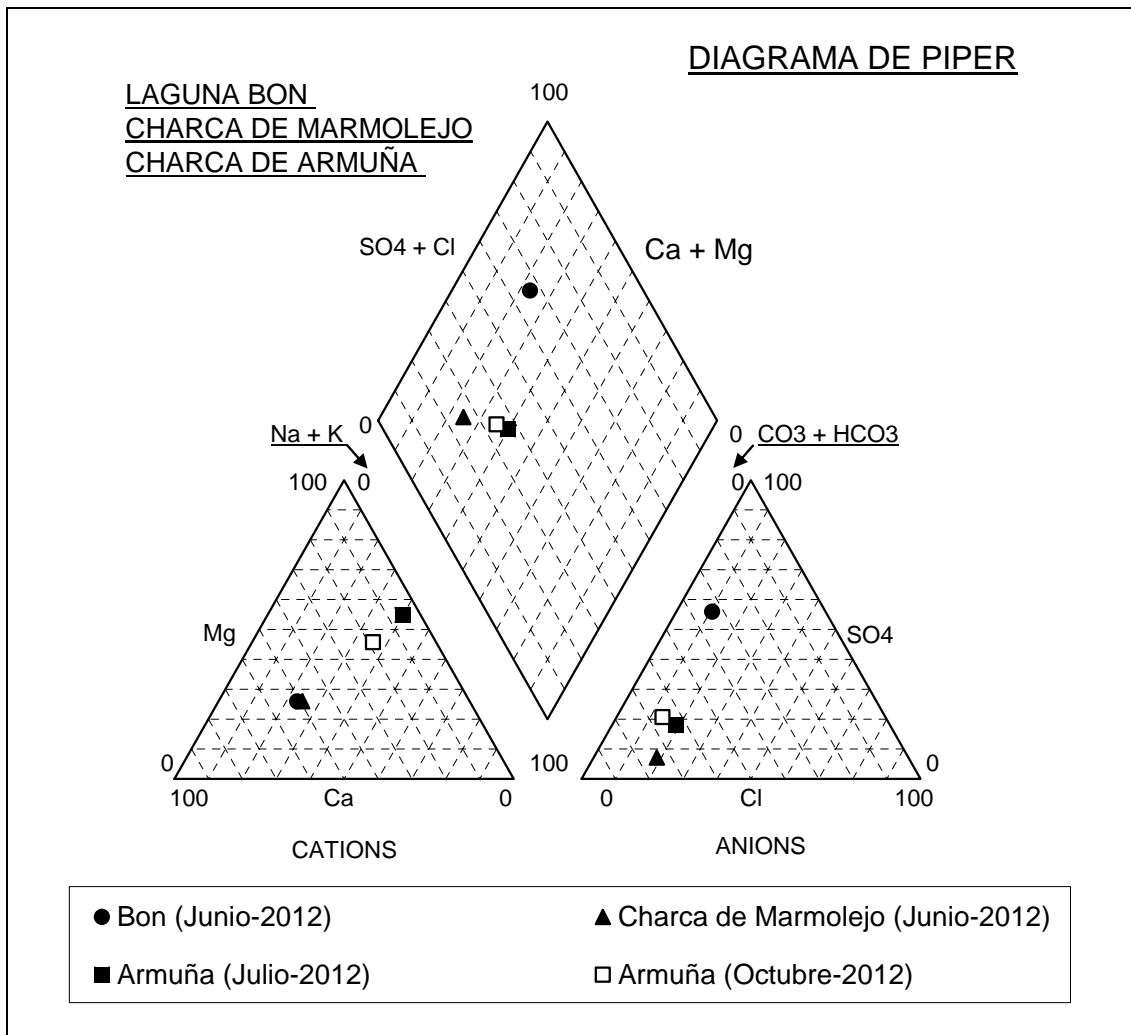


Figura 14. Diagrama de Piper de las muestras de agua tomadas en las lagunas auxiliares (Laguna de Bon, Charca de Marmolejo, Laguna de Armuña).

Los resultados obtenidos a partir de las muestras de agua tomadas en la Balsa de la Ermita y el Manantial de la Ermita (puntos 3 y 4 respectivamente de la Figura 11) muestran que se trata claramente de dos procedencias distintas. Y se observa otra discrepancia paralela entre la Laguna de Fuente Santa y el Manantial de la Fuente Santa (puntos 1 y 2 respectivamente de la Figura 10). No obstante, las aguas de ambos manantiales son muy semejantes entre sí y a las aguas del acuífero terciario detrítico (cf. Figuras 4, 9, 10 y 11).

La calidad química de las aguas de la Laguna de la Fuente Santa no es todo lo semejante que cabría esperar con respecto a las aguas del acuífero detrítico y a las aguas del Manantial de la Fuente Santa.

a) Comparación aguas laguna de Fuente Santa—acuífero terciario detrítico:

Los datos apuntan a que podría tratarse del mismo agua del acuífero, aunque con mayor concentración de Sodio, Potasio y Cloro.

Los datos obtenidos de puntos de agua del acuífero (punto 171840001 de la red de control de calidad de aguas subterráneas del IGME y punto 6 de nuestros puntos de

muestreo) indican que las aguas de esta procedencia presentan considerables concentraciones en Nitratos. Este hecho se confirma también en las aguas del Manantial de la Fuente Santa. Sin embargo la laguna de la Fuente Santa sólo presenta nitratos en una de las tres campañas (Junio-2012).

b) Comparación de aguas laguna de Fuente Santa-manantial de la Fuente Santa: Por otro lado, el agua de la laguna de la Fuente Santa es diferente al agua del manantial del mismo nombre. Las aguas de éste son considerablemente menos mineralizadas y más próximas a las aguas del acuífero detrítico que a las de la laguna según se demuestra en los diagramas de Piper obtenidos.

Por otro lado, las aguas del manantial presentan cierta concentración en nitratos, al igual que las aguas del acuífero.

Se ha comprobado que los aportes del Manantial de la Fuente Santa son de carácter discontinuo, llegando el manantial a secarse en los meses de estiaje, observándose entonces un acusado descenso del nivel de agua en el humedal.

c) Un análisis de la evolución temporal de las aguas de la laguna de la Fuente Santa (Figura 10) pone de manifiesto una progresión de las aguas de tipo bicarbonatadas cálcicas (en marzo de 2012) a bicarbonatadas sódicas (en junio de 2012), a cloruradas sulfatadas sódicas (en julio de 2012) y finalmente de nuevo a bicarbonatadas cálcicas en octubre-2012. Esta evolución responde a un enriquecimiento en cloruros y sulfatos.

6.6 Concentraciones en arsénico de las aguas del acuífero terciario detrítico

En cuanto a las concentraciones en arsénico detectadas, según resultados obtenidos a partir de muestras tomadas en la campaña de campo de verano 2012, todos los puntos de agua sin excepción presentan concentraciones en arsénico por encima del límite admisible (Tabla 8) siendo la Charca de Marmolejo el punto donde se registra su máxima concentración. Este hecho es indicativo de que las lagunas (al igual que los manantiales) reciben agua subterránea procedente del acuífero.

Nº punto	Nombre punto	Fecha muestreo	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
			$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
1	Laguna de Fuente Santa	05/06/2012	21,4	<50	<0,2	<0,05	0,75	19,6	67,26	<0,2	2,294
2	Manantial de Fuente Santa	05/06/2012	33,2	<50	<0,2	0,05	0,29	<15	0,6791	<0,2	2,633
3	Laguna de la Balsa de la Ermita	05/06/2012	46	<50	<0,2	0,05	0,88	19,3	19,545	<0,2	1,154
4	Manantial de la Ermita	05/06/2012	13,5	<50	<0,2	<0,05	<0,2	<15	0,6691	<0,2	1,21
5	Laguna de San Pedro	05/06/2012	67,8	<200	<0,4	0,51	7,08	655	31,681	1,56	3,898
9	Laguna Bon	05/06/2012	13,1	92	<0,2	0,07	2,24	308	19,988	<0,2	1,837
10	Charca de Marmolejo	05/06/2012	96,5	<50	<0,2	0,1	1,23	3843	1088,1	2,54	2,529

Tabla 8. Resultados obtenidos de las concentraciones en arsénico y otros metales de las muestras tomadas en la campaña de campo de verano 2012. Se han sombreado las celdas cuyas concentraciones superan el límite admisible en la legislación española.

6.7 Análisis estadístico

Asumiendo que las aguas del acuífero terciario detrítico más representativas de la zona de estudio corresponden al punto 6 de nuestro inventario de puntos de agua, se aplicó un análisis estadístico mediante el test de Student cuyos resultados se indican en la Tabla 9. Puede observarse que el test se confirma para 6 de los 9 parámetros analizados, indicando que las muestras podrían pertenecer a la misma población, es decir, a aguas del acuífero terciario detrítico.

Componente	t_{exp}	t_{st}	Confirmación del Test
Cl ⁻	2,23	3,18	Sí
SO ₄ ⁻²	0,03	3,18	Sí
HCO ₃ ⁻	0,32	3,18	Sí
NO ₃ ⁻	8,55	3,18	No
Ca ⁺²	3,5	3,18	No
Mg ⁺²	0,8	3,18	Sí
Na ⁺	8,48	3,18	No
K ⁺	2,29	3,18	Sí
C.E.	0,95	3,18	Sí

Tabla 9. Resultados del análisis estadístico realizado mediante el Test de Student comparando nueve componentes de los análisis químicos de las cuatro muestras de la Laguna de la Fuente Santa con la muestra de agua subterránea del punto 6 de nuestro inventario de puntos de agua (asumiendo que corresponde al acuífero terciario detrítico). C.E.= Conductividad Eléctrica.

6.8 Datos isotópicos

La caracterización isotópica se ha realizado en base a cuatro muestras de agua tomadas en dos lagunas (Laguna de Fuente Santa y Balsa de la Ermita) y dos manantiales (manantial de Fuente Santa y manantial de la Ermita) cuya ubicación se indicaba en la Figura 2. En la Tabla 10 se incluyen los resultados obtenidos junto con el exceso de deuterio calculado para cada muestra y la conductividad eléctrica medida en campo. En la Figura 15 se han representado las desviaciones isotópicas de las muestras medidas junto con la Línea Mundial de Aguas Meteoricas (LMAM).

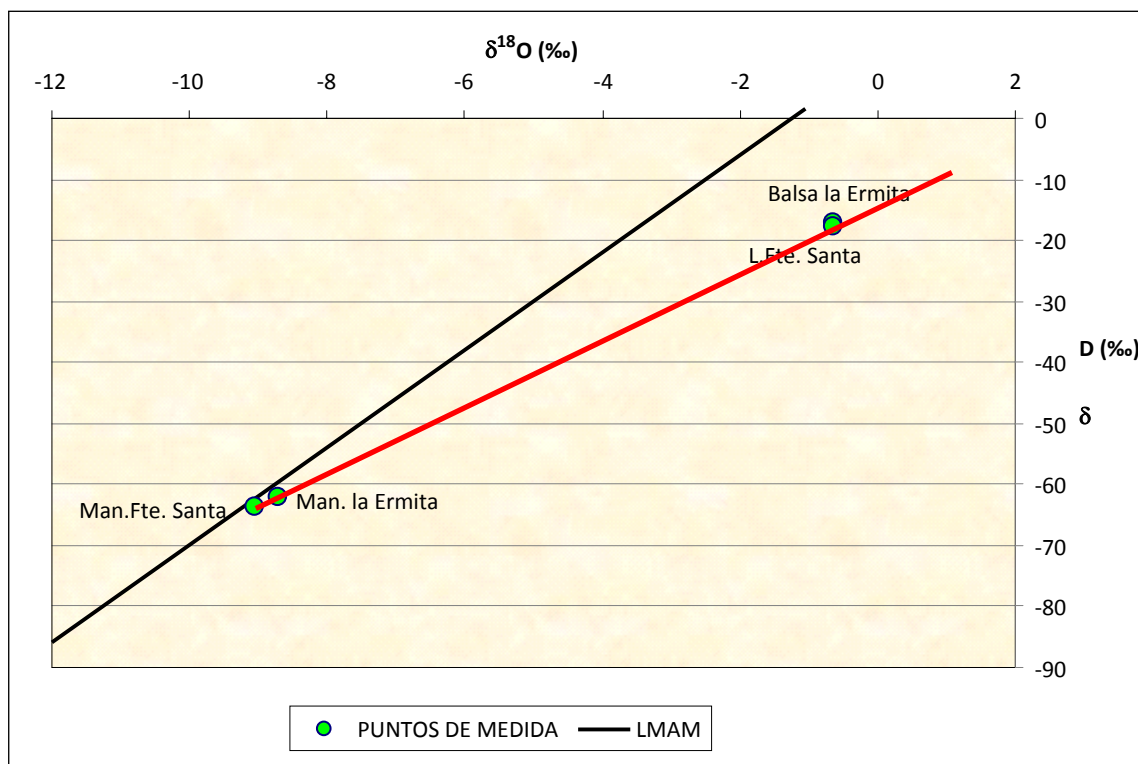


Figura 15. Línea Mundial de las aguas meteóricas y desviaciones isotópicas de las muestras medidas. En rojo se indica la recta isotópica local.

Núm.-Punto de muestreo	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Exc D	CE($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1- Laguna de Fuente Santa	-17,8	-0,65	-12,6	944
2- Manantial de Fuente Santa	-63,6	-9,06	8,9	497
3- Laguna Balsa de la Ermita	-17	-0,65	-11,8	1876
4- Manantial de la Ermita	-62,2	-8,7	7,5	719

Tabla 10. Resultados obtenidos junto con el exceso de deuterio calculado y la Conductividad Eléctrica medida en la campaña de campo de marzo 2012.

Los resultados obtenidos indican que las muestras tomadas en los manantiales la Ermita y Fuente Santa se ajustan a la LMAM por lo que parecen proceder de precipitaciones que se infiltraron directamente sin sufrir procesos de evaporación. La similitud entre los valores obtenidos en ambas muestras no permite descartar que pudieran tener el mismo origen, la diferencia entre los valores obtenidos en la conductividad eléctrica sería indicativa de un mayor tiempo de residencia del agua que aflora en el manantial de la Ermita. Respecto a las muestras tomadas en la Balsa de la Ermita y la Laguna Fuente Santa, que también tienen una composición isotópica muy similar entre si, presentan unas desviaciones isotópicas muy positivas lo que demuestra que son aguas evaporadas y los valores obtenidos en el exceso de deuterio lo confirman. En las fechas del año en la que fueron tomadas las muestras deberían haber estado influenciadas por las precipitaciones y aportes invernales, y no mostrar tanta evidencia de evaporación pero las precipitaciones fueron escasas así como los aportes de aguas subterráneas.

6.9 Características morfométricas de la Laguna de la Fuente Santa.

La batimetría de detalle de la laguna (Figura 16a) se ha proyectado utilizando un método geoestadístico de “krigeado ordinario” usando el programa SURFER v.8.0 (Golden Software).

Una vez realizada la batimetría, se procedió a la ubicación de la escala limnimétrica. En la Figura 16b se muestra una imagen de la misma.

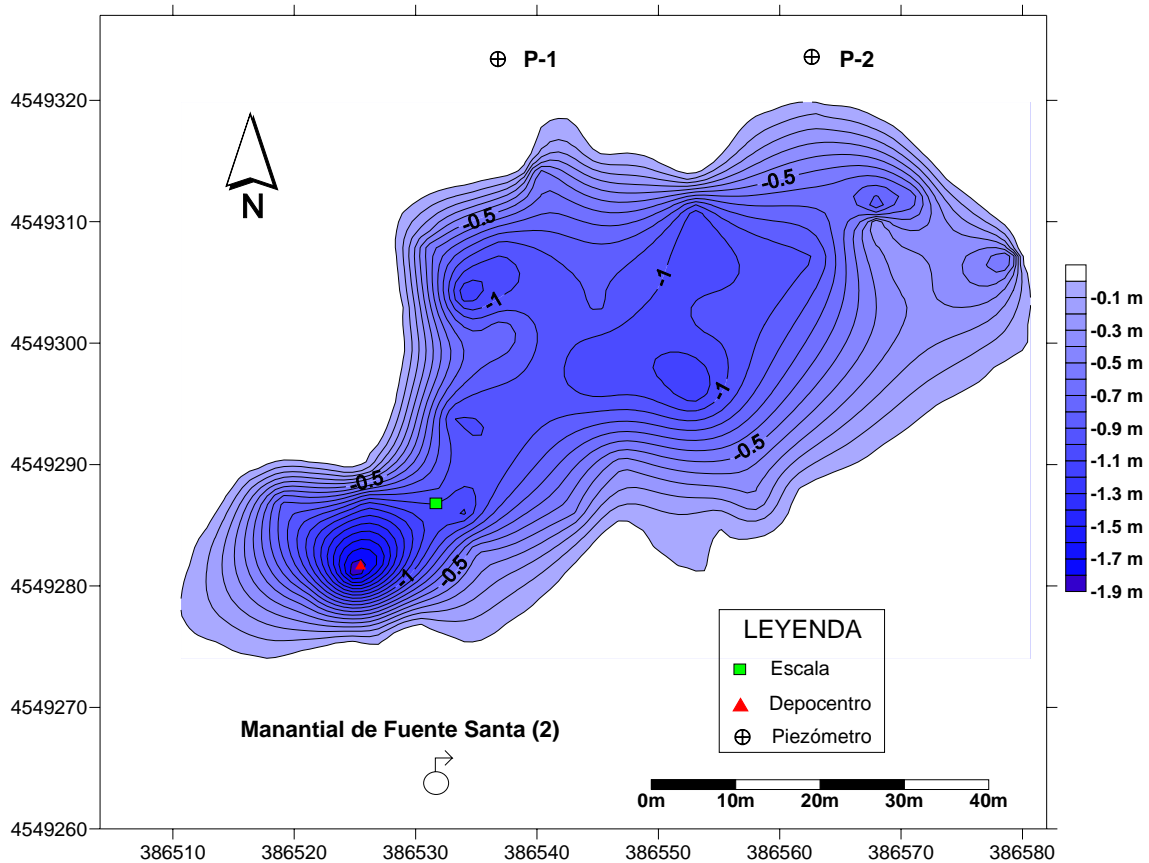


Figura 16a. Mapa batimétrico de la Laguna de Fuente Santa realizado el 29 de marzo 2012.

16b. Fotografía de la escala instalada. Al fondo de la imagen, el arco románico es el manantial de la Fuente Santa.



La evolución temporal de las lecturas diarias de la lámina de agua se muestra en la Figura 17. Puede observarse un considerable incremento de la lámina de agua (de 30 cm) entre los días 29 de abril y 3 de mayo debido a las intensas lluvias inmediatamente precedentes. Así como el acusado descenso de la altura de lámina de agua a partir del 16 de Junio 2012, que responde a la intensidad de la evaporación, ausencia de precipitación y posiblemente reducción de los aportes de entrada de agua (cf. Figura 4).

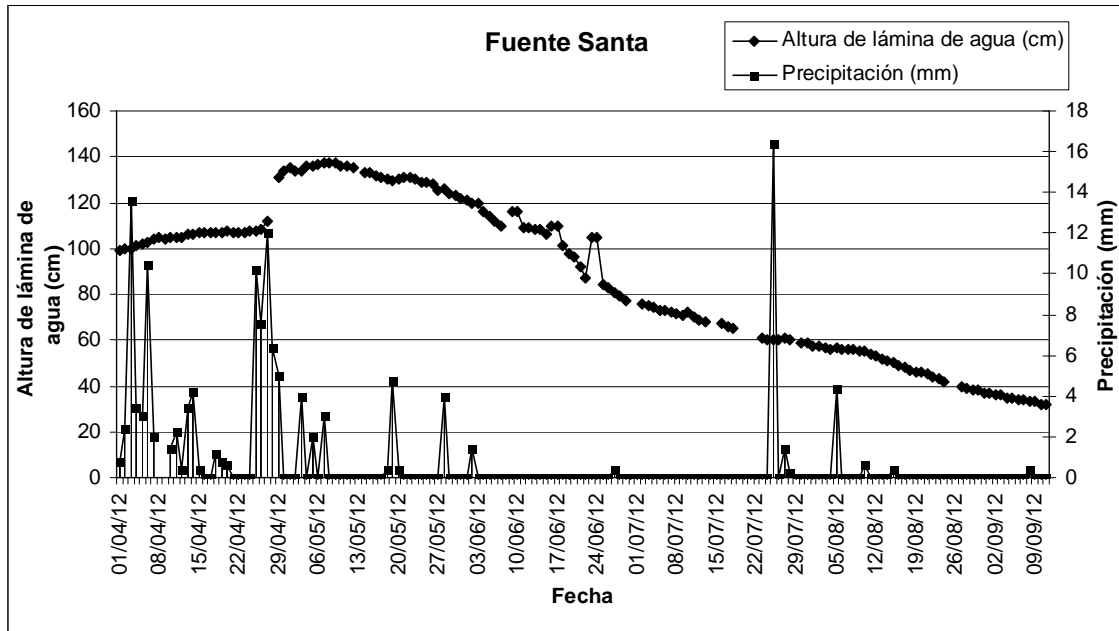


Figura 17. Evolución de la precipitación diaria en la estación de Migueláñez-2482B y de la altura de la lámina de agua en la Laguna de Fuente Santa en el periodo 1 de Abril a 15 de Septiembre de 2012.

Con fecha 28-3-2012 se midieron los niveles de agua en el pozo (nº 6) y depósito de agua (nº 7 en la Figura 1b) colindante a la laguna (Figura 18). La existencia de un sondeo cerrado (nº 12) junto al pozo (nº 6) hace pensar que la profundidad del acuífero detrítico en este lado de la laguna de la Fuente Santa alcanza al menos los 40 m de profundidad. Sin embargo, en un perfil transversal al anterior (Figura 19) se observa que las pizarras afloran no sólo en la cubeta del humedal sino que están presentes a 1-2 m escasos de profundidad entre la laguna y el Arroyo del Tormejón.

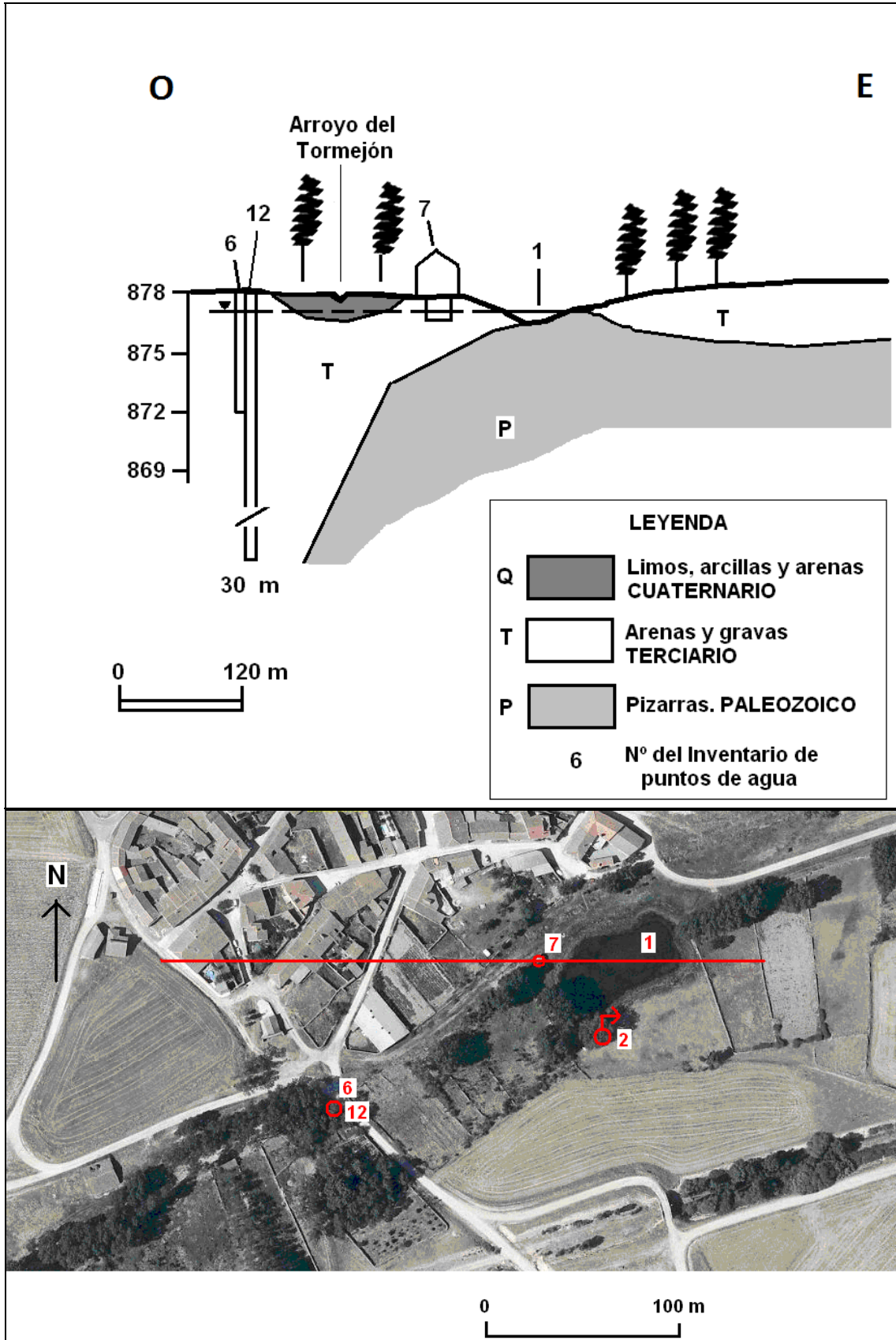


Figura 18. Perfil hidrogeológico de la Laguna de la Fuente Santa, a partir de las medidas de niveles realizadas el 28 de marzo 2012.

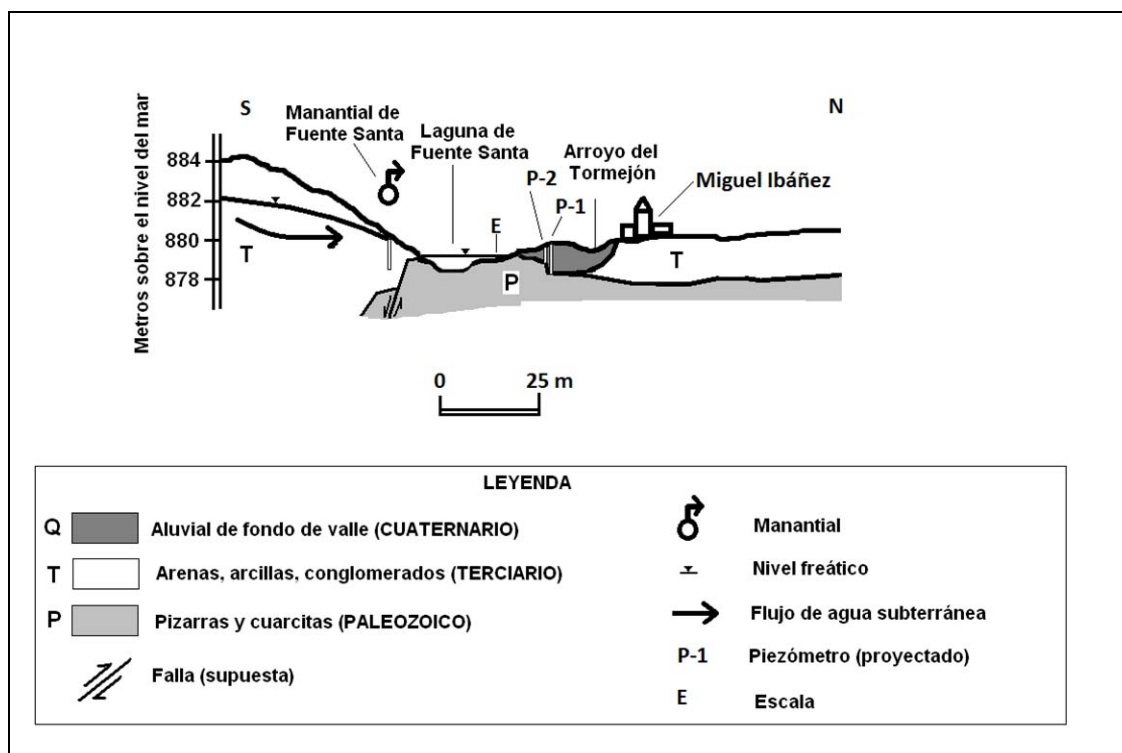


Figura 19. Modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de la Laguna de Fuente Santa según un perfil transversal al indicado en la Figura 18.

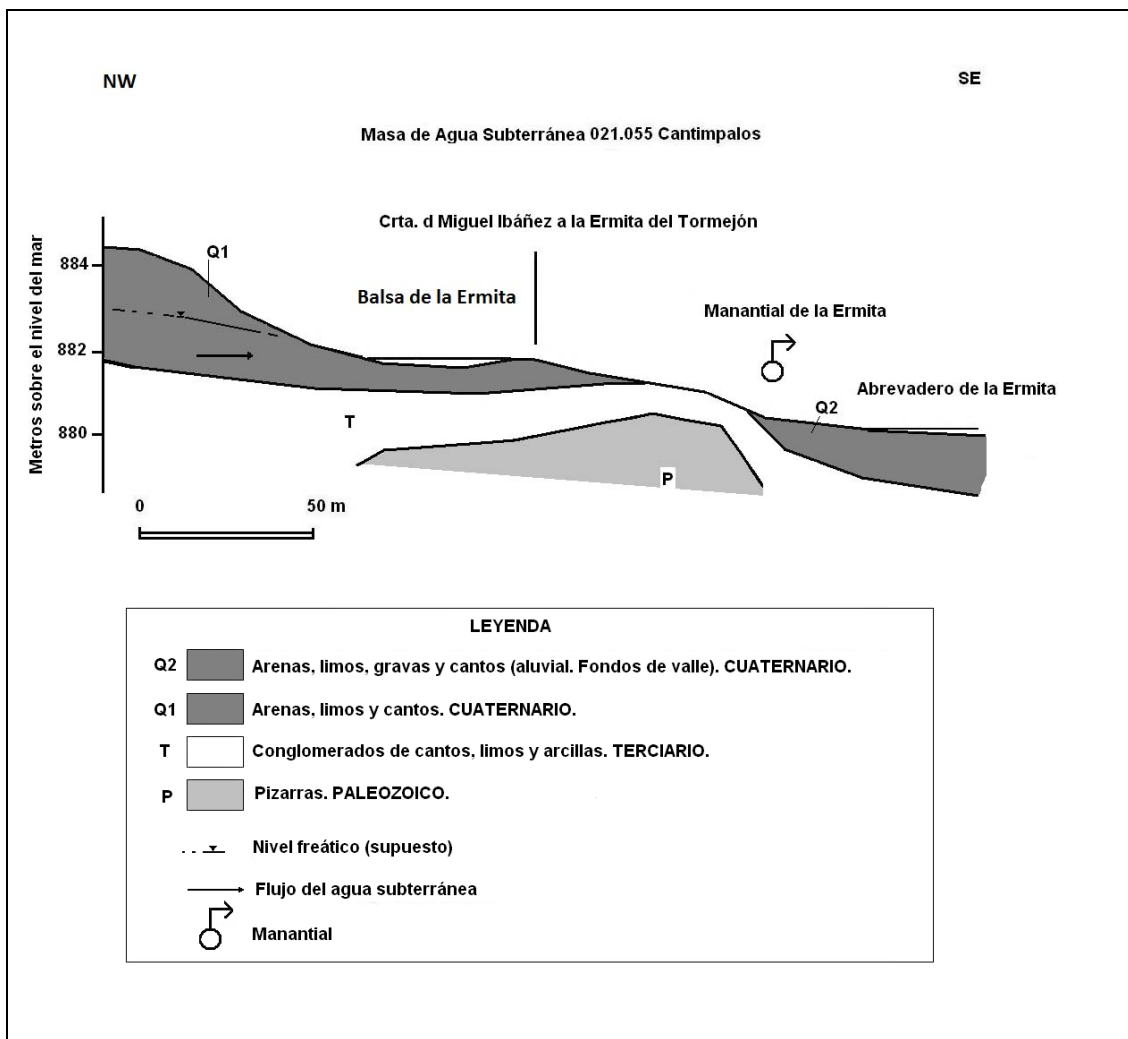
7. MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS DE FUENTE SANTA, Balsa de la Ermita y San Pedro

Si la Laguna de la Fuente Santa recibiera aguas exclusivamente del acuífero terciario detrítico, como supuestamente estaría ocurriendo en los meses de estiaje, sería de esperar que presentara la misma composición química que las aguas de éste aunque no necesariamente, dado que se sabe que existen vertidos antrópicos. Se observa que presenta una concentración en sales considerablemente superior a la esperada en este caso, ausencia de nitratos y presencia de arsénico. El incremento progresivo temporal en cloro y sulfatos puede ser indicativo de un cambio en la procedencia del agua, aunque también es posible que esta evolución se deba a aportes antrópicos externos, unido a las consecuencias de la evaporación, principal componente responsable de las salidas de agua de la laguna. Por tanto, la Laguna de Fuente Santa parece depender predominantemente de la alimentación de las aguas subterráneas que recibe, en parte por descargas difusas, favorecidas por la excavación realizada en su cubeta, y en parte, por los aportes del manantial de la Fuente Santa.

El Manantial de la Ermita presenta unas características físico-químicas coherentes con las aguas del acuífero detrítico poniendo de manifiesto esta procedencia y presenta concentraciones en arsénico y nitratos en concentraciones coherentes con el agua del acuífero. Sin embargo, la Laguna de la Balsa de la Ermita presenta unas características

físico-químicas semejantes a las de la Laguna de la Fuente Santa y a las de las Charcas de Armuña y Marmolejo. Además, al igual que la Laguna de la Fuente Santa, el análisis de la evolución temporal experimentada a lo largo de las tres campañas de campo en las que se pudo tomar muestra de agua, pone de manifiesto una evolución paralela (Figura 20) lo que induce a pensar que el origen del agua es el mismo.

Los datos obtenidos en el caso de la Laguna de la Balsa de la Ermita ponen de manifiesto un funcionamiento hidrogeológico independiente respecto a la Laguna de la Fuente Santa. Se trata de un humedal que presenta un modo de alimentación mixto, es decir, recibe tanto aportes de escorrentía superficial y precipitación, como aportes de descarga de aguas subterráneas y que está independizado del flujo subterráneo del acuífero regional (Figura 20).



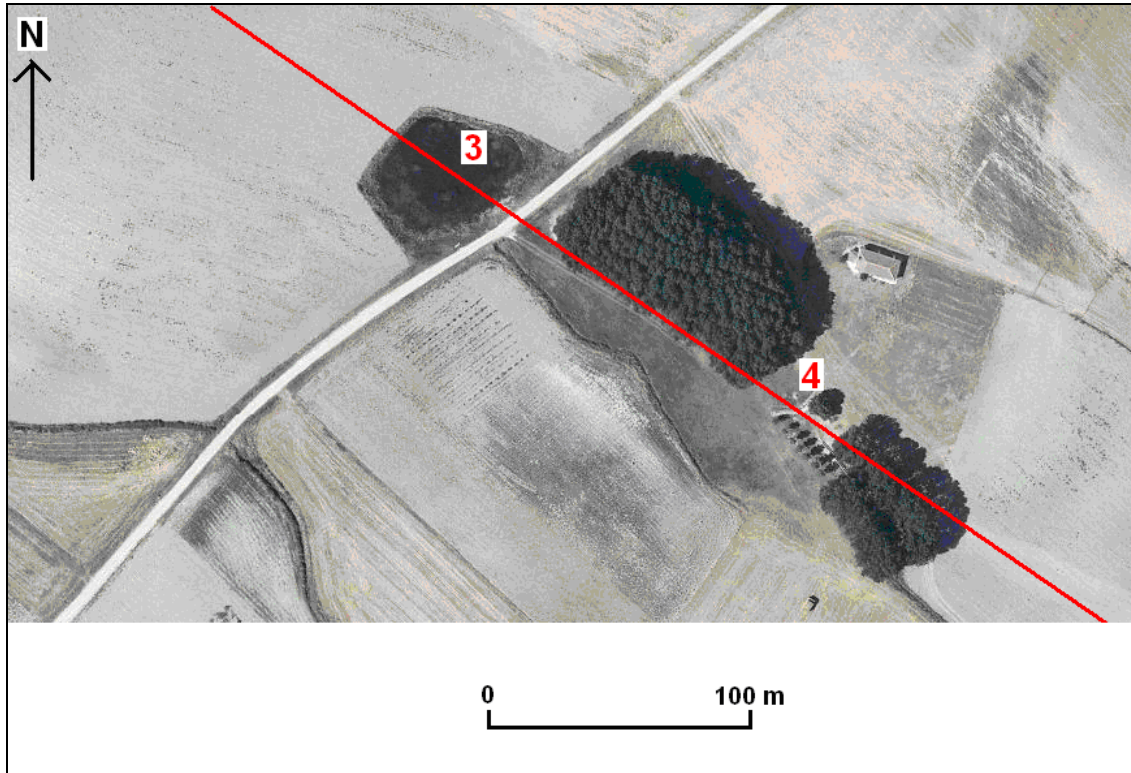


Figura 20. Modelo conceptual de funcionamiento de la Laguna de la Balsa de la Ermita.

Por último, la laguna de San Pedro junto con la Laguna de Bon son las que presentan las características físico-químicas más dispares del conjunto de puntos de agua analizados. Presentan aguas de tipo clorurado-sulfatado cálcico y/o magnésico. Este hecho indica una procedencia distinta de los aportes de alimentación a las mismas. De hecho, la cubeta de la Laguna de Bon se asienta en arenas del Mioceno. Esto indica que los aportes de ambas lagunas pueden proceder de la descarga de flujos locales procedentes de las arenas; en el caso de la Laguna de San Pedro de los Arenales situados inmediatamente al norte de la misma en su contacto discordante con las pizarras subyacentes.

La laguna de San Pedro ha permanecido seca durante la mayor parte del periodo de tiempo de nuestro estudio, concretamente desde 1-3-2012 a 5-6-2012, fecha en la que presentaba una lámina de agua de unos 15 cm en su depocentro, pero que un mes más tarde, visitada de nuevo con fecha 5-7-2012, estaba de nuevo seca. Esta laguna se localiza en un afloramiento de pizarras paleozoicas, y su cubeta está formada por un regolito del mismo material (Figura 21). Todo parece indicar que se trata de un humedal epigénico alimentado predominantemente por la precipitación y la escorrentía superficial o subsuperficial que recibe a partir de su cuenca de drenaje.

Los componentes de su balance hídrico serían idénticos a los definidos para la Laguna de la Balsa de la Ermita.

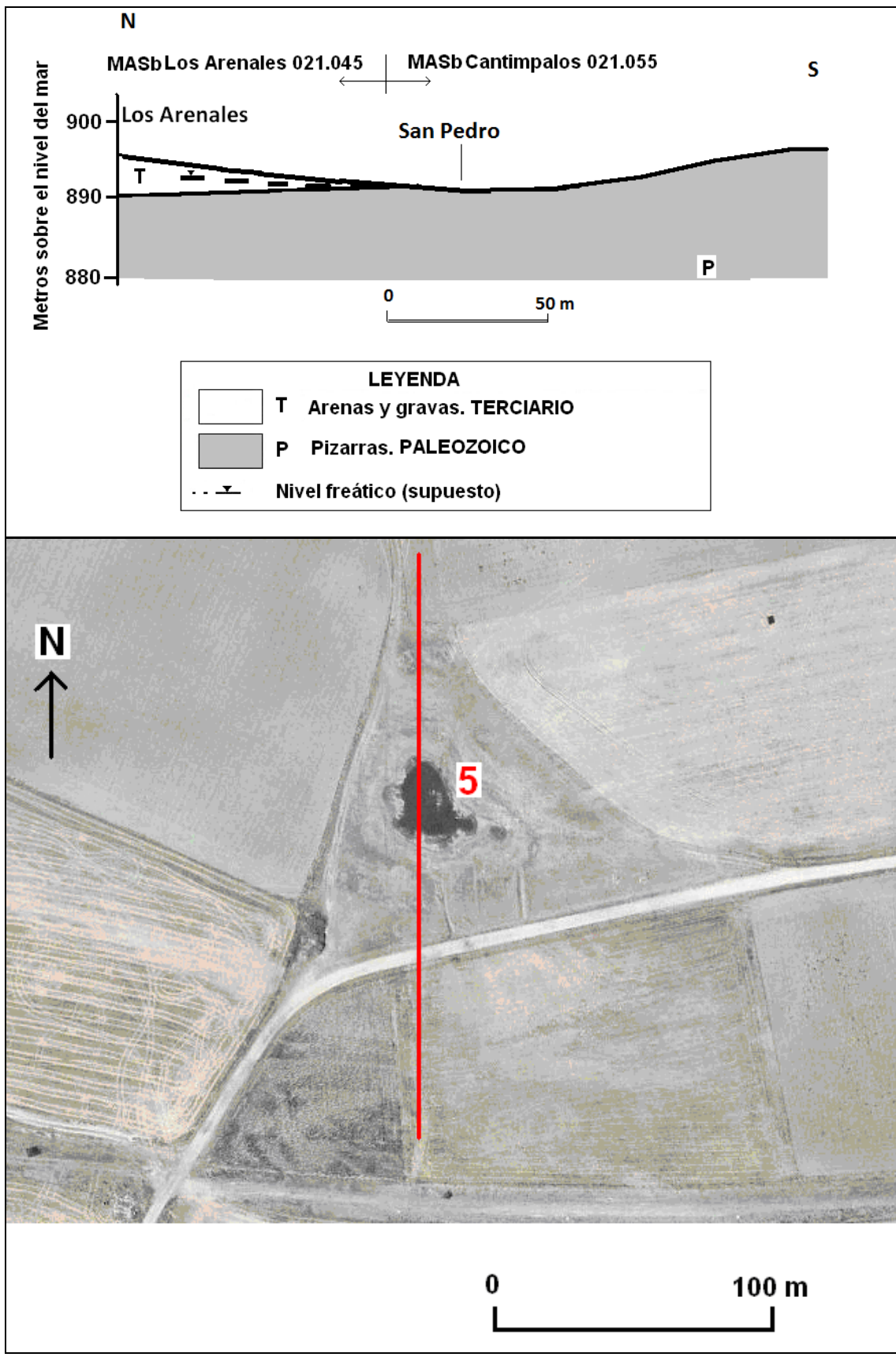


Figura 21. Modelo conceptual de funcionamiento de la Laguna de San Pedro.

8. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA PROTECCIÓN DE LAS LAGUNAS

Dada la situación actual de ausencia de protección oficial de estos humedales, no existe ninguna normativa que regule actualmente las actividades a desarrollar en su entorno. Esta ausencia de regulación repercute directamente en el estado de los humedales.

La Laguna de la Fuente Santa, situada inmediatamente al Sur de la localidad de Miguel Ibáñez, es objeto de vertidos de naturaleza orgánica y no se desecha que pueda serlo también de inorgánica. Constituye un humedal muy vulnerable tanto a potenciales detrimentos de los flujos subterráneos que recibe, bien a través de la descarga del Manantial de la Fuente Santa, bien como descarga difusa, en la propia cubeta del humedal. En la periferia de su zona inundada existen cultivos que se riegan con aguas subterráneas en los meses de estiaje. Estos bombeos pueden causar un detrimento a los flujos de agua subterránea que recibe el humedal. Por otro lado, el uso de fertilizantes agrícolas hace que dichos productos se incorporen a las aguas subterráneas y alteren la calidad química de las aguas naturales de la zona.

Los impactos descritos son extrapolables a las Lagunas de la Balsa de la Ermita y de San Pedro. Si bien éstas no se encuentran próximas al núcleo urbano, están rodeadas en todo su perímetro por cultivos que pueden provocar los mismos efectos comentados.

La correcta gestión en pro de la conservación de estos ecosistemas requeriría como medidas inmediatas:

- a) Reducir las actividades agrícolas en el entorno inmediato de las lagunas, así como el uso de fertilizantes en los terrenos de cultivo del entorno.
- b) Eliminar cualquier tipo de vertido a las lagunas.
- c) Reducir los bombeos en el entorno de las lagunas durante los meses de estiaje.

Serían viables actividades y usos de los humedales no lesivos con el ecosistema: Ganadería extensiva, agricultura con fitosanitarios de baja toxicidad. Los usos a regular, serían los que son susceptibles de afectar a los recursos y valores naturales. Deberían definirse los usos prohibidos, es decir, aquéllos que causan impactos graves sobre los recursos y valores ecológicos, incompatibles con los objetivos de conservación. Hidrogeológicamente son edificaciones, vertidos, enterramientos, almacenamiento o incineración de escombros, residuos líquidos, transformaciones a regadío o roturación de cualquier superficie de vegetación natural.

Con respecto a la agricultura, deberían establecerse criterios orientadores como la retirada de 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.

La protección de estos espacios húmedos singulares debe ir pareja a la limitación de las actividades antrópicas que se realicen en su entorno. Sería necesaria la definición del área a proteger y el establecimiento de medidas reguladoras para tal fin.

9. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE INCLUSIÓN DE LOS HUMEDALES DE MIGUEL IBÁÑEZ EN EL INVENTARIO DE LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO DE LA PROVINCIA DE SEGOVIA.

Los humedales entendidos como manifestaciones del ciclo del agua llamadas por algunos autores “anomalías hídricas positivas” (González Bernáldez, 1992), adquieren en esta zona del Duero de clima semiárido, un valor añadido. Si bien es cierto que nos movemos en un espacio donde existen varias zonas húmedas protegidas incluidas en la Red Natura 2000, catalogadas como Lugar de Interés Comunitario (LIC) o Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPAs) (Tabla 11) dentro de la Directiva Habitat (92/43/CEE), también es cierto que a pesar de dicha protección, no ha podido detenerse el deterioro de buen número de ellas, causado fundamentalmente por la explotación intensiva de las aguas subterráneas. Como consecuencia del acusado descenso del nivel freático, muchos humedales han quedado desconectados de los flujos subterráneos que los alimentaban. El detrimento de estos flujos de descarga subterráneo a muchos humedales de este sector de la cuenca del Duero ha provocado que aquéllos que antaño eran permanentes, hoy se manifiesten como temporales; y los que hace décadas eran temporales, presenten hoy día un patrón de inundación esporádico o errático (Casado y Montes, 1995), habiendo desaparecido un buen número de ellos cuyos únicos vestigios, hoy día, son los testigos representados como fondos de charca en las fuentes cartográficas. Por tanto, los humedales pequeños son importantes desde el punto de vista patrimonial y son muy sensibles a los cambios climáticos y al manejo del agua subterránea. Estas zonas húmedas constituyen hábitat de especial anidación para la avifauna y resultan de especial interés como corredores ecológicos (Díaz Pineda y Schmitz, 2011) para la conexión ecológica entre otros lugares del territorio castellano.

Nombre de la laguna/complejo	Categoría y Código oficial	Observaciones
Lagunas de Cantalejo	LIC: ES4160106	Lagunas de Cantalejo
	ZEPA: ES4160048	
Coca-Olmedo	LIC: ES1460082	Lagunas de Coca-Olmedo
Laguna Rodrigo	LIC: ES4160063	Santa María la Real de Nieva

Tabla 11. Zonas protegidas incluidas en la Red Natura 2000 en el entorno de Miguel Ibáñez.

La valoración del interés y de la importancia del patrimonio geológico de los humedales de esta región del Duero, requiere un análisis de su valor intrínseco que justifique al menos, su propuesta como Lugar de Interés Geológico (LIG) y cuáles son las características que lo hacen singular (Carcavilla et al., 2007). Este trabajo constituye una primera aproximación a dicha valoración.

El inventario de los Puntos de Interés Geológico (PIG) de la provincia de Segovia ha sido realizado por Díez (1991). En él se incluyen un total de 142 puntos entre los que no están incluidos los humedales aquí estudiados. De acuerdo con García-Cortés y Carcavilla (2009) y Cendrero (1996) hemos aplicado una serie de criterios e indicadores para la medida del valor intrínseco de un PIG a los humedales de Miguel Ibáñez (Tabla 10). El valor intrínseco se refiere al interés del PIG referido en términos científicos. Es preciso indicar que los términos LIG y PIG son ambivalentes, si bien éste último debe

ser desaconsejado al no estar incluido en la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (García Cortés y Carcavilla, 2009). A la luz de los resultados alcanzados, expuestos en la Tabla 12, la representatividad de los humedales de Miguel Ibáñez puede considerarse baja tanto desde el punto de vista genético, como geológico.

Criterio	Valor	Indicador asignado	Valor aplicado a Miguel Ibáñez
Abundancia/rareza	5	Solamente existe un lugar/ejemplo en España	1
	4	Hay 2-4 ejemplos	
	3	5-10 ejemplos	
	2	11-20 ejemplos	
	1	>20 ejemplos	
Extensión superficial	5	> 1.000.000 m ²	1
	4	100.000-1.000.000 m ²	
	3	10.000-100.000 m ²	
	2	1.000-10.000 m ²	
	1	< 1.000 m ²	
Grado de conocimiento o de investigación	5	Más de una tesis doctoral y numerosos artículos inter/nacionales	1
	4	Se ha realizado al menos una tesis doctoral y/o más de un artículo publicado en revistas internacionales y/o en revistas nacionales	
	3	Algunos artículos en revistas nacionales o un artículo en revistas internacionales	
	2	Algunas notas breves en revistas nacionales o algún artículo en revistas regionales-locales	
	1	No existen trabajos publicados	
Utilidad como modelo para ilustrar procesos	5	Muy útil	1
	3	Moderadamente útil	
	1	Poco útil	
Diversidad de elementos de interés presentes	5	5 o más tipos de interés	2
	4	4 tipos de interés	
	3	3 tipos de interés	
	2	2 tipos de interés	
	1	1 tipo de interés	
Edad geológica	5	Precámbrico	4
	4	Paleozoico	
	3	Mesozoico	
	2	Terciario	
	1	Cuaternario	
Carácter de localidad-tipo	5	Es una localidad tipo formalmente reconocida como tal	

	4	Es una localidad tipo secundaria o de referencia	3
	3	No ha sido propuesta como localidad tipo	
Asociación con restos o elementos arqueológicos, históricos, artísticos, etnográficos	5	Existen en el lugar o su entorno inmediatos restos de interés arqueológico y de otros tipos arriba indicados	3
	4	Restos arqueológicos y de otro tipo	
	3	Restos arqueológicos	
	2	Elementos de interés no arqueológico	
	1	No existen otros restos o elementos de interés	
Asociación con otros elementos del medio natural	5	Paisaje sobresaliente, flora y fauna notable por su abundancia, grado de desarrollo, proximidad o presencia de especies de interés	1
	4	Paisaje sobresaliente y flora o fauna notables	
	3	Paisaje sobresaliente	
	2	Flora o fauna notables	
	1	No hay otros elementos de interés	
Estado de conservación	5	Perfectamente conservado, sin ningún deterioro	3
	4	Algún deterioro	
	3	Excavaciones acumulaciones o construcciones que enmascaran parcialmente el rasgo, pero que no impide apreciar sus características esenciales	
	2	Numerosas excavaciones, acumulaciones, construcciones que deterioran algunas características de interés	
	1	Fuertemente deteriorado, con numerosas construcciones que casi alteran totalmente el rasgo	

Tabla 10. Parámetros de valoración de un PIG según criterios e indicadores establecidos por Cendrero, 1996 en Carcavilla et al., 2007.

10. CONCLUSIONES

La situación del límite superior de la zona saturada a partir de los trabajos del IGME-MIMAM (2010) nos ha conducido a establecer como punto de partida, que los humedales de Miguel Ibáñez presentaban una situación de desconexión humedal-acuífero regional. Su situación geológica, en una zona de umbral del basamento paleozoico, presenta con un comportamiento hidrogeológico individualizado.

Las condiciones físico-químicas de las aguas del manantial de la Fuente Santa versus las aguas de la Laguna del mismo nombre, son considerablemente distintas. Esto puede deberse, bien a aportes adicionales de distinta procedencia, bien a procesos biogeoquímicos en la zona hiporreica que pueden alterar sus condiciones iniciales, bien a aportes antrópicos que alteran sustancialmente la calidad del sistema natural.

Los datos hidroquímicos e isotópicos ponen de manifiesto que las aguas de las tres lagunas de Miguel Ibáñez son distintas a las lagunas del acuífero terciario detrítico: (1) Presentan mayor concentración de iones reflejado también en valores más elevados de conductividad eléctrica. (2) Aunque en el primer muestreo presentan la misma facies hidroquímica que aquéllas, esto no permite atribuirles la misma procedencia. Los resultados de las tres campañas muestran para las aguas de las lagunas de la Fuente Santa y de Balsa de la Ermita, una evolución temporal paralela, lo que indica que la procedencia de las aguas de alimentación podría ser la misma. (3) Ausencia de nitratos.

La presencia de arsénico en los tres muestreos realizados pone de manifiesto la indudable procedencia subterránea de las aguas de alimentación de las lagunas.

Por otro lado los datos hidrométricos obtenidos en la Laguna de la Fuente Santa nos han permitido asistir a un proceso de llenado seguido de uno de vaciado. Es precisamente durante éste último cuando se observan los cambios en la composición química de las aguas de la laguna que responden a un cambio en el origen del agua que la alimenta. En los meses de invierno los aportes proceden fundamentalmente del manantial de la Fuente Santa, mientras que a finales de la primavera y verano, cuando el manantial queda inactivo, los aportes proceden de la descarga de un flujo subterráneo procedente del acuífero terciario detrítico. Este esquema responde a un sistema de flujos locales, si bien no se descarta la posibilidad de contaminación antrópica por vertidos orgánicos y agropecuarios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la AEMET, los datos sobre las estaciones consultadas. Al Ayuntamiento de Santa María la Real de Nieva y ciudadanos de Miguel Ibáñez su asistencia en datos de campo. Al Alfredo García de Domingo, sus cambios de impresiones y asesoramiento en campo. Al Dr. Luis Moreno por su constructiva lectura crítica y aportaciones. Y a Enrique López-Pamo, sus valiosas sugerencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acreman, M.C. & Adams, B. (1998). *Low flows, groundwater and wetland interactions – a scoping study*. Report to Environment Agency (W6-013), UKWIR (98/WR/09/1) and NERC (BGS WD/98/11).

Acreman, M. (2007). *Water for Nature; sustainable solution or long-term liability?* International scientific meeting on Water Management: technology, economics and the environment. Madrid (Spain), 19-20 January 2007.

Bernáldez, F.J. y Rey, J.M. 1992. *Geochemical relationships groundwater and wetland soils and their effects on vegetation in central Spain*. *Geoderma* 55: 273-288.

Bernáldez, F.J.; Rey, J.M. y Martínez, A. (1993). *Ecological impact of groundwater extraction on wetlands (Douro basin, Spain)*. *J. Hydrol.* 141 (1-4): 219-238.

Camacho, A.; Borja, C.; Valero-Garcés, B.; Sahuquillo, M.; Soria, J.M.; Rico, E.; De La Hera, A.; García de Domingo, A.; Chicote, A. & Gosálvez, R.U. (2009). *31 Aguas continentales retenidas. Ecosistemas leníticos. Freshwater habitats-standing waters*. En: W.A.A. (2009). *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Medio Marino. 412 pp.

Carcavilla, L.; Durán, J.J. y López-Martínez, J. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*. Cuadernos Colecciones del Museo. IGME. Madrid.

Casado, S. y Montes, C. 1995. *Guía de los lagos y humedales de España*. En Reyero, J.M. (ed), Madrid, 255 pp.

Cendrero, A. (1996). El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. En MOPTMA. *El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización*, 17-38. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, Madrid. 112 p.

Custodio, E. y Llamas, M.R. (1983). *Hidrología Subterránea*. Editorial Omega. 2 volúmenes. Barcelona.

Díaz Pineda, F. y Schmitz, M. F. (coords). 2011. *Conectividad Ecológica Territorial. Estudio de casos de conectividad ecológica y socioecológica*. O. A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 236 pp. Madrid.

Díez, A. (1991). Puntos de Interés Geológico de la Provincia de Segovia. *Litos*, 6, 31-33.

García Cortés, A. y Carcavilla, L. (2009). *Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG)*. 61 pp. Informe Inédito. Centro de Documentación del IGME.

García-Sánchez, A., Moyano, A., Mayorga, P. 2005. *High arsenic contents in groundwater of central Spain*. *Environmental Geology*, 47, 847 – 854.

Gómez, L.P., L.P., Lillo, J. and Sahún, B. 2006. *Naturally occurring arsenic in groundwater and identification of the geochemical sources in the Duero Cenozoic Basin, Spain*. *Environmental Geology*, 50, 1151 – 1170.

González Bernáldez, F. 1992. *Los paisajes del agua: Terminología popular de los humedales*. En: Reyero, JM (ed), Madrid, 257 pp.

IGME-DGA (2010a). Actividad 2. Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015. Demarcación Hidrográfica del Duero. *Masa de Agua Subterránea 022.055 Cantimpalos*. IGME. 100 pp. Centro de Documentación del IGME.

IGME-DGA, 2010b. Actividad 2. Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015. Demarcación Hidrográfica del Duero. *Masa de agua subterránea de Los Arenales*. Ministerio de Ciencia e Innovación y Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Informe Inédito. 114 págs. Centro de Documentación del IGME.

IGME-DGA, 2010c. Actividad 10. Apoyo a la implementación de la Directiva de protección de aguas subterráneas. *Determinación de tendencias y de puntos de partida para la inversión de tendencias. Demarcación hidrográfica del Duero*. Ministerio de Ciencia e Innovación y Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 123 págs. Centro de Documentación del IGME.

IGME-DGA, 2010d. Actividad 6. Actuaciones en aguas subterráneas para la revisión de los planes de sequía. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Demarcación Hidrográfica del Duero. Páginas. Centro de Documentación del IGME.

ITGE (1991). Mapa geológico de España. Escala 1/50.00. *Nava de la Asunción 456 (17-18)*. Segunda Serie, Primera Edición.

Junta de Castilla-León (2009). *Atlas Forestal de Castilla y León*. 2 Tomos. Junta de Castilla y León.

Llamas, M.R. (1988). *Conflicts between wetlands conservation and groundwater exploitation: two case histories in Spain*. Environ. Geol. Water Sci. 11(3):241-251.

Martín Escorza, C. 2006. *Excursión a Domingo García y Santa María la Real de Nieva (Segovia)*. *Arte en las piedras*. Sociedad de Amigos del Museo Natural de Ciencias Naturales. 38 páginas. ISBN: 84-931531-2-5.

McCartney, M.P. and De la Hera, A. (2004). *Hydrological assessment for wetland conservation at Wicken Fen*. Wetlands Ecology and Management 12: 189-204, 2004. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.

Santos Cirujano et al. (2010). *Las Lagunas de Cantalejo (Segovia)*. *Actuaciones y resultados del proyecto de restauración y puesta en valor*. Fundación Biodiversidad, Junta de Castilla y León y Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. Serie Técnica. Valladolid. 150 p.

Sophocleous, M. (2002). *Interactions between groundwater and surface water: the estate of the science*. Hydrogeol. J. 10(1):52-67.

Temño, J.; García-Hidalgo, J.F. & Segura, M. (1997). *Caracterización evolución geológica del sistema humedales de Cantalejo (Segovia)*. Revista Estudios Geológicos 53: 135-143

Tóth, J. (1963). *A theoretical análisis of groundwater flow in small drainage basins*. J. Geophys. Res. 68: 4785-4812.

Vegas, J. (2000). *El patrimonio geológico de la provincia de Segovia: geodiversidad y geoconservación*. Colección Naturaleza y Medio Ambiente, 26. Caja Segovia, 1-69.

Velasco, J.L.; Soriano, O.; Fernández, J. y Rubio, A. (2004). *Características físico-químicas de diferentes masas de agua: II Cuenca del Duero (España)*. Ecología, nº 18, 2004, 21-34.

Winter, T.C. (1999). *Relations of stream, lakes and wetlands to groundwater flow system*. Hydrogeol. J. 7(1):28-45.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de lecturas diarias de la escala ubicada en la Laguna de la Fuente Santa durante el periodo 1 de abril a 31 de agosto de 2012.

Fecha	Escala (cm)	Fecha	Escala (cm)	Fecha	Escala (cm)
1-4-12	99	14-5-12	133	26-6-12	83
2-4-12	100	15-5-12	133	27-6-12	81
3-4-12	100	16-5-12	132	28-6-12	79
4-4-12	101	17-5-12	131	29-6-12	77
5-4-12	102	18-5-12	130	30-6-12	
6-4-12	103	19-5-12	129,5	1-7-12	
7-4-12	104	20-5-12	130	2-7-12	76
8-4-12	105	21-5-12	131	3-7-12	75
9-4-12	104	22-5-12	131	4-7-12	74
10-4-12	104,5	23-5-12	130	5-7-12	73
11-4-12	104,5	24-5-12	129	6-7-12	73
12-4-12	104,5	25-5-12	129	7-7-12	72
13-4-12	106	26-5-12	128	8-7-12	71,5
14-4-12	106	27-5-12	125	9-7-12	71
15-4-12	107	28-5-12	126	10-7-12	72
16-4-12	107	29-5-12	124	11-7-12	70
17-4-12	107	30-5-12	123	12-7-12	69
18-4-12	107	31-5-12	122	13-7-12	68
19-4-12	107	1-6-12	121	14-7-12	
20-4-12	107,5	2-6-12	120	15-7-12	
21-4-12	107	3-6-12	120	16-7-12	67
22-4-12	107	4-6-12	116	17-7-12	66
23-4-12	107	5-6-12	114	18-7-12	65
24-4-12	107,5	6-6-12	112	19-7-12	
25-4-12	107,5	7-6-12	110	20-7-12	
26-4-12	108	8-6-12		21-7-12	
27-4-12	112	9-6-12	116	22-7-12	
28-4-12		10-6-12	116	23-7-12	61
29-4-12	131	11-6-12	109	24-7-12	60
30-4-12	134	12-6-12	109	25-7-12	60
1-5-12	135	13-6-12	108	26-7-12	60
2-5-12	134	14-6-12	108	27-7-12	61
3-5-12	134	15-6-12	106	28-7-12	60,5
4-5-12	136	16-6-12	110	29-7-12	
5-5-12	136	17-6-12	110	30-7-12	59
6-5-12	136,5	18-6-12	101	31-7-12	58,5
7-5-12	137	19-6-12	98	1-8-12	57,5
8-5-12	137	20-6-12	96	2-8-12	57
9-5-12	137	21-6-12	92	3-8-12	56,5
10-5-12	136	22-6-12	87	4-8-12	56
11-5-12	136	23-6-12	105	5-8-12	56,5
12-5-12	135	24-6-12	105	6-8-12	56
13-5-12		25-6-12	84	7-8-12	56

Fecha	Lectura (m)
8-8-12	56
9-8-12	55
10-8-12	55
11-8-12	54
12-8-12	53
13-8-12	52
14-8-12	51
15-8-12	50
16-8-12	49
17-8-12	48
18-8-12	47
19-8-12	46
20-8-12	46
21-8-12	45
22-8-12	44
23-8-12	43
24-8-12	42
25-8-12	
26-8-12	
27-8-12	40
28-8-12	39
29-8-12	38
30-8-12	37
31-8-12	37

Anexo 2. Batimetría realizada en la Laguna de la Fuente Santa el 29 de
Marzo de 2012 (Datos en coordenadas UTM, huso 30, Datum de 1950).

Nº	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z (cm)
1.	386568	4549319	0
2.	386569	4549318	0
3.	386573	4549314	0
4.	386586	4549304	0
5.	386566	4549290	0
6.	386573	4549301	0
7.	386569	4549308	0
8.	386573	4549297	0
9.	386573	4549295	0
10.	386558	4549286	0
11.	386556	4549291	0
12.	386554	4549281	0
13.	386551	4549282	0
14.	386547	4549286	0
15.	386538	4549283	0
16.	386532	4549282	0
17.	386545	4549285	0
18.	386536	4549275	0
19.	386530	4549258	0
20.	386529	4549264	0
21.	386533	4549276	0
22.	386529	4549277	0
23.	386524	4549273	0
24.	386525	4549276	0
25.	386519	4549274	0
26.	386515	4549264	0
27.	386518	4549274	0
28.	386515	4549275	0
29.	386510	4549277	0
30.	386508	4549276	0
31.	386515	4549288	0
32.	386513	4549285	0
33.	386518	4549292	0
34.	386518	4549294	0
35.	386526	4549289	0
36.	386529	4549299	0
37.	386528	4549312	0
38.	386526	4549313	0
39.	386525	4549307	0
40.	386526	4549315	0
41.	386527	4549312	0
42.	386539	4549314	0
43.	386541	4549320	0
44.	386545	4549315	0
45.	386547	4549317	0

46.	386552	4549313	0
47.	386558	4549319	0
48.	386558	4549320	0
49.	386552	4549308	0
50.	386564	4549305	0
51.	386568	4549303	0
52.	386568	4549310	-18
53.	386571	4549306	-24
54.	386569	4549306	-30
55.	386572	4549313	-32
56.	386574	4549303	-30
57.	386574	4549292	-21
58.	386558	4549287	-29
59.	386547	4549290	-32
60.	386543	4549286	-42
61.	386535	4549283	-41
62.	386531	4549274	-41
63.	386522	4549268	-57
64.	386533	4549275	-60
65.	386539	4549274	-22
66.	386530	4549280	-53
67.	386532	4549272	-57
68.	386514	4549261	-53
69.	386522	4549273	-59
70.	386514	4549268	-71
71.	386520	4549273	-90
72.	386522	4549279	-53
73.	386507	4549270	-44
74.	386513	4549274	-59
75.	386521	4549279	-60
76.	386519	4549287	-82
77.	386521	4549300	-78
78.	386522	4549308	-100
79.	386512	4549300	-85
80.	386525	4549302	-84
81.	386520	4549301	-86
82.	386527	4549307	-48
83.	386525	4549310	-75
84.	386531	4549309	-30
85.	386540	4549314	-58
86.	386531	4549308	-55
87.	386535	4549316	-38
88.	386543	4549319	-30
89.	386551	4549319	-32
90.	386552	4549316	-32
91.	386559	4549326	-40
92.	386567	4549328	-32
93.	386569	4549322	-34
94.	386560	4549321	-92

95.	386553	4549311	-105
96.	386568	4549311	-90
97.	386579	4549307	-70
98.	386571	4549312	-68
99.	386563	4549307	-90
100.	386554	4549302	-95
101.	386533	4549294	-100
102.	386545	4549303	-88
103.	386537	4549308	-96
104.	386534	4549304	-120
105.	386542	4549302	-96
106.	386545	4549297	-110
107.	386553	4549296	-120
108.	386537	4549301	-70
109.	386526	4549287	-110
110.	386534	4549286	-112
111.	386532	4549288	-90

Anexo 3. Fotografías.



1. Arroyo del Tormejón, entre la Laguna de Fuente Santa y Miguel Ibáñez.



2. Balsa de la Ermita el 8-3-2012.



3. Balsa de la Ermita el 8-3-2012 desde la carretera.



4. Canal de desagüe de la balsa de la Ermita. Fotografía tomada el 8-3-2012.



5. Canal de desagüe de la Balsa de la Ermita hacia el abrevadero (8-3-2012).



6. Abrevadero junto al Manantial de la Ermita (8-3-2012)



7. Laguna de Fuente Santa desde la orilla oriental (8-3-2012).



8. Laguna de Fuente Santa. Al fondo, el Manantial de Fuente Santa (8-3-2012).



9. Laguna de Fuente Santa desde la orilla occidental (8-3-2012).



10. Laguna de San Pedro, seca con fecha 8-3-2012.



11. Laguna de San Pedro. Obsérvense las diaclasas en el regolito de pizarras.



12. En primer plano, grietas de mud cracks en el fondo de la Laguna de San Pedro (8-3-2012).



13. Manantial de la Balsa de la Ermita (8-3-2012).



14. Pozo excavado junto a sondeo perforado a 200 m de la Laguna de la Fuente Santa. Corresponde al punto de agua nº 6 en la Figura 2.



15. Detalle del pozo excavado (punto de agua nº 6 en la Figura 2). Fotografía tomada el 28 de marzo 2012.



16. Manantial de la vía del tren (punto de agua nº 8 en la Figura 2). Fotografía tomada el 28 de marzo de 2012.



17. Detalle del Manantial de la vía del tren (punto de agua nº 8 en la Figura 2).
Fotografía tomada el 28 de marzo de 2012.



18. Preparación de las escalas para su instalación en la Laguna de la Fuente Santa (29-3-2012).



19. Escala a instalar en la Laguna de la Fuente Santa (29-3-2012).



20. Escala instalada en la Laguna de la Fuente Santa el 29 de marzo de 2012. En ese momento su lectura era de 36 cm.



21. Detalle de la escala instalada en la Laguna de la Fuente Santa, indicando 36 cm de altura de lámina de agua el 29 de marzo de 2012.



22. Balsa de la Ermita el 5-6-2012.



23. Charca de Marmolejo el 5-6-2012.



24. Detalle de la vegetación en la Laguna de Fuente Santa el 5-6-2012.



25. Detalle de la vegetación en la Laguna de San Pedro el 5-6-2012.



26. Laguna de Bon el 5-6-2012. Presentaba dos cubetas. En la fotografía siguiente se muestra la segunda cubeta. Compárese esta imagen con las fotografías 80 y 81.



27. Laguna de Bon el 5-6-2012.



28. Laguna de Fuente Santa el 5-6-2012.



29. Laguna de San Pedro el 5-6-2012.



30. Laguna de San Pedro el 5-6-2012.



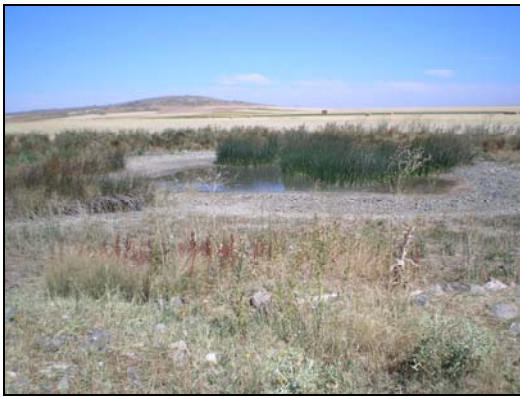
31. Laguna de Fuente Santa el 5-6-2012.



32. Laguna Rodrigo el 5-6-2012.



33. Balsa de la Ermita el 4-8-2012.



34. Balsa de la Ermita el 4-8-2012.



35. Balsa de la Ermita el 4-8-2012.



36. Detalle de la zona inundada de la Balsa de la Ermita el 4-8-2012.



37. Detalle de la cubeta de la Laguna de la Fuente Santa el 4-8-2012.



38. Laguna de Fuente Santa el 4-8-2012.



39. Laguna de Fuente Santa el 4-8-2012.



40. Laguna de Fuente Santa el 4-8-2012.



41. Laguna de Fuente Santa el 4-8-2012.



42. Laguna de San Pedro el 4-8-2012.



43. Manantial de la Fuente Santa el 4-8-2012.



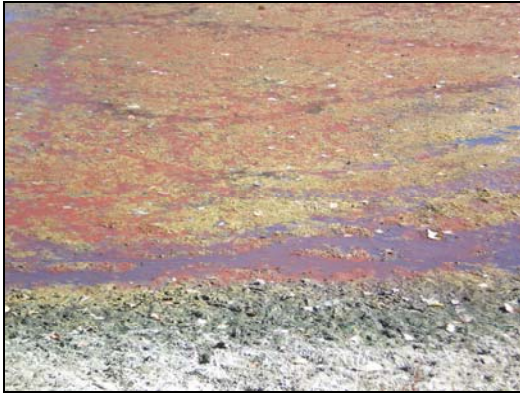
44. Orla de desecación en el entorno de la zona inundada de la Balsa de la Ermita el 4-8-2012.



45. Orla de desecación en el entorno de la Laguna de la Fuente Santa. Los resaltes que se observan en primer plano corresponden a afloramientos de pizarras (4-8-2012).



46. Regolito de la Laguna de San Pedro el 4-8-2012.



47. Sanguinaria en la Laguna de la Fuente Santa el 4-8-2012.



48. Sanguinaria en la Laguna de la Fuente Santa el 4-8-2012.



49. Laguna de la Fuente Santa el 12-9-2012.



50. Laguna de la Fuente Santa el 12-9-2012.



51. Detalle de afloramiento de pizarras en la orilla meridional de la cubeta desecada de la Laguna de la Fuente Santa el 12-9-2012.



52. Detalle de afloramiento de pizarras en la orilla meridional de la cubeta desecada de la Laguna de la Fuente Santa el 12-9-2012.



53. Detalle de afloramiento de pizarras en la orilla meridional de la cubeta desecada de la Laguna de la Fuente Santa el 12-9-2012.



54. Detalle de uno de los chopos que rodean la Laguna de la Fuente Santa (12-9-2012).



55. Cantos de cuarcita que rodean la Laguna de la Fuente Santa en su orilla occidental (12-9-2012).



56. Cantos de cuarcita que rodean la Laguna de la Fuente Santa en su orilla occidental (12-9-2012).



57. Laguna de la Fuente Santa el 12-9-2012.



58. Laguna de la Fuente Santa el 12-9-2012.



59. Laguna de la Fuente Santa el 12-9-2012.



60. Laguna de la Fuente Santa el 12-9-2012.



61. Manantial de la Fuente Santa el 12-9-2012.



62. Afloramiento de pizarras en las orillas de la Laguna de la Fuente Santa el 12-9-2012.



63. Margen occidental de la Laguna de la Fuente Santa (12-9-2012).



64. Vegetación acuática en la Laguna de la Fuente Santa (12-9-2012).



65. Arroyo del Tormeji3n (mirando hacia aguas arriba) el 12-9-2012.



66. Arroyo del Tormeji3n (mirando hacia aguas abajo) el 12-9-2012.



67. Balsa de la Ermita el 12-9-2012.



68. Chopos recién plantados junto a la Balsa de la Ermita el 12-9-2012.



69. Balsa de la Ermita el 12-9-2012.



70. Balsa de la Ermita el 12-9-2012.



71. Laguna de San Pedro el 12-9-2012.



72. Fotografía Laguna de San Pedro el 12-9-2012.



73. Afloramiento de pizarras junto la vía del tren (26-10-2012).



74. Canal a la Charca de Bon (26-10-2012).



75. Charca de Armuña (26-10-2012).



76. Charca de Armuña (26-10-2012).



77. Charca de Armuña (26-10-2012).



78. Charca de Armuña (26-10-2012).



79. Charca de Armuña (26-10-2012).



80. Laguna de Bon. Cubeta occidental (26-10-2012).



81. Laguna de Bon. Cubeta oriental (26-10-2012).



82. Charca de Marmolejo (26-10-2012).



83. Charca de Marmolejo (26-10-2012).



84. Balsa de la Ermita el 26-10-2012.



85. Balsa de la Ermita el 26-10-2012.



86. Afloramiento de pizarras en la cortada junto a la vía del tren y la manantial de la vía del tren (26-10-2012).



87. Laguna de la Fuente Santa el 26-10-2012.



88. Laguna de la Fuente Santa el 26-10-2012.



89. Laguna de la Fuente Santa el 26-10-2012.



90. Laguna de San Pedro el 26-10-2012.



91. Laguna de San Pedro el 26-10-2012.