

Guía Didáctica de los acuíferos del Parque Natural Sierra Norte de Sevilla

VOLUMEN II Las aguas subterráneas



Guía Didáctica de los Acuíferos del Parque Natural Sierra Norte de Sevilla

VOLUMEN II
Las aguas subterráneas

Cuaderno del Profesor
Fichas de trabajo para los alumnos

Guías didácticas de los acuíferos del Parque Natural Sierra Norte de Sevilla / J.A. López Geta, M. Martín Machuca, C. Mediavilla Laso, A. Cosano Prieto, J.L. Girón Méndez, coords.- Madrid: Instituto Geológico y Minero de España; Diputación de Sevilla, 2011

2 vols.; ils; 17cm.

ISBN 978-84-7840-862-7

Glosario. Bibliografía

1. Agua subterránea. 2. Acuífero. 3. Enseñanza secundaria. 4. Libro guía. 5. Provincia Sevilla. I. Instituto Geológico y Minero de España, ed. II. Diputación de Sevilla, ed. III. López Geta, J.A., coord. IV. Martín Machuca, M., coord. V. Mediavilla Laso, C., coord. VI. Cosano Prieto, A, coord. VII. Girón Méndez, J.L., coord.

556.1(460.353)

ISBN: 978-84-7840-862-7

NIPO: 474-11-011-8

Edición: Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y Diputación de Sevilla

Asistencia técnica: ADOR Consultoría

Fotografía de portada: Francisco J. Hoyos

Diseño portada: Gerardo Ramos Gutiérrez (IGME)

Imprime: TIASA

1ª edición: abril de 2011

PRESENTACIÓN

Nuestra provincia presenta una gran variedad de espacios naturales de gran valor ecológico que tenemos el deber de proteger y preservar. Para ello, la educación ambiental se configura en la actualidad como uno de los mejores instrumentos para promover el respeto por los valores naturales que tenemos la gran suerte de poder disfrutar, y la obligación de conservarlos para que las generaciones futuras tengan las mismas oportunidades de disfrute que hemos tenido nosotros.

Con esta guía pretendemos contribuir desde la Diputación Provincial a esa disciplina transversal en la que se ha convertido la educación ambiental en los últimos años. Es nuestro deber, como responsables públicos, promocionar este tipo de iniciativas, encaminadas a dar a conocer nuestra riqueza medioambiental y a difundir sus valores entre toda la población.

Espero que esta publicación, dirigida a la comunidad educativa, se configure como una herramienta más de trabajo y elemento fundamental a la hora de conocer un elemento concreto de nuestro rico patrimonio natural, como son los acuíferos de la Sierra Norte de Sevilla, un espacio natural protegido de gran valor, cuyos rasgos más característicos y definitorios deben ser conocidos por todos, para que todos se involucren y participen en las tareas de conservación y preservación del mismo.

Fernando Rodríguez Villalobo
Presidente de la Diputación de Sevilla

PRESENTACIÓN

La Sierra Norte de Sevilla es uno de los espacios naturales más bellos y de mayor valor ambiental de nuestra provincia. Dentro de ella, los acuíferos constituyen un elemento de especial importancia para la formación del paisaje característico de esta zona, además de servir como aprovechamiento para todas aquellas actividades tradicionales que se desarrollan en la misma.

Con esta guía, destinada a la comunidad educativa, trataremos de adentrar a escolares y profesores en el apasionante mundo de la hidrogeología de este valiosísimo espacio que es la Sierra Norte de Sevilla. Comprender el importante papel que juegan los acuíferos en nuestro entorno es la mejor herramienta para promover actitudes y comportamientos de respeto hacia el medio, y más concretamente, hacia el recurso agua.

En esta guía encontraréis una parte destinada al profesorado, el Cuaderno del Profesor, así como una serie de Fichas de Trabajo para los alumnos, encaminados ambos elementos a servir como instrumento para que nuestros destinatarios puedan entender los principales conceptos y procesos relativos a la hidrogeología de la Sierra Norte de Sevilla.

La conservación de las masas de agua y su protección frente a la contaminación, ya sean superficiales o subterráneas, es una de las tareas principales en la que todos y todas debemos sentirnos involucrados. Este es el fin último de esta guía, convertirse en un instrumento más al servicio del desarrollo sostenible en un ámbito de actuación concreto, como es el de los acuíferos.

Rosa Moreno Marchena
*Diputada del Área de Sostenibilidad y Ciclo Hidráulico
Diputación de Sevilla*

PRESENTACIÓN

Aunque podría considerarse que el conjunto de la sociedad es consciente de la importancia del agua desde diferentes puntos de vista, y en particular en el ciclo biológico y en nuestra propia vida, no es tan evidente, sin embargo, que datos por todos conocidos como por ejemplo que aproximadamente el 70 % del cuerpo humano es agua, o que dos terceras partes de nuestro planeta Tierra están bajo el agua, sean interpretados y valorados en su justa medida, por razones, entre otras, como las que se comentan a continuación. En la hidrosfera, la distribución del agua es muy irregular: la mayoría, es decir el 97,5%, es agua salada; el 1,74% está acumulada en los glaciales y casquetes polares, lo que supone el 69,7% del agua dulce total; el 0,76% son aguas subterráneas, que corresponde al 30,1% del agua dulce, porcentaje que puede sorprendernos al compararlo con el de 0,006% de agua dulce que circula por nuestros ríos.

En España, más de 20.000 millones de metros cúbicos son aguas subterráneas que circulan y se almacenan en los acuíferos cada año. Estas formaciones geológicas que contienen y transmiten el agua, se extienden prácticamente por todo el territorio español, lo que permite abastecer a más del 25% de la población, porcentaje que se ve ampliamente superado en épocas de sequía. Estas cifras ponen en evidencia la importancia que tiene esta parte del ciclo hidrológico, tanto por su valor patrimonial, como por su condición de bien social y económico, así como por ser el sustento de numerosos humedales y ecosistemas acuáticos, tan abundantes en España.

Es por ello importante respetar este recurso subterráneo y para respetar es necesario conocer. Este conocimiento se aporta en su mayor medida por las Administraciones públicas en sus distintos ámbitos de actuación, cada una de ellas con fines diferentes, pero todas convergentes y con un denominador común: el valor de nuestro patrimonio hídrico. Una de las grandes líneas de actuación del Instituto Geológico y Minero de España es la hidrogeología y la Diputación de Sevilla, cuya misión es suministrar agua a los diferentes núcleos de población de la provincia, en cantidad y calidad adecuada. Adicionalmente, nuestra tarea es también difundir este conocimiento, no sólo entre los científicos, sino a la sociedad en general y en este caso a los habitantes de los numerosos núcleos de población dispersos por los rincones más diversos de la provincia y, en el caso que nos ocupa, de los situados en la Sierra Norte de Sevilla.

Con esta publicación pretendemos cubrir esa doble finalidad. Hemos mejorado el conocimiento que se disponía sobre la hidrogeología de la Sierra y de los acuíferos ubicadas en ella, completando la información sobre su funcionamiento y el por qué de la presencia de esos manantiales naturales o fuentes que dan lugar a los ríos y arroyos que discurren por la Sierra. Y también hemos puesto esta publicación a disposición de los profesores de Enseñanza Secundaria y Bachillerato, pues en ella se incluyen los conceptos más utilizados en hidrogeología, las características físicas de nuestra Sierra y, para que los alumnos se ejerciten en esos conocimientos, un conjunto de fichas que deben completar.

Me gustaría que la lectura de esta publicación sirviera para aprender y también para disfrutar de los recorridos descritos en la Guía. Y en particular para que los más jóvenes, fueran el medio de trasmisión de estos conocimientos y un ejemplo de respeto al medio ambiente.

Rosa de Vidania Muñoz
Directora del Instituto Geológico y Minero de España

La presente “**Guía didáctica de los acuíferos del parque natural Sierra Norte de Sevilla. Las aguas subterráneas**” ha sido realizada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Diputación de Sevilla, en el marco del convenio de colaboración suscrito entre ambas entidades.

Dirección técnica:

Juan Antonio López-Geta (IGME)
Miguel Martín Machuca (IGME)
Carlos Mediavilla Laso (IGME)
Agustín Cosano Prieto (Diputación de Sevilla)
José Luis Girón Méndez (Diputación de Sevilla)
Roberto Macías Guerrero (Diputación de Sevilla)

Autores:

Juan Antonio López-Geta (IGME)
Sergio Martos Rosillo (IGME)
Joaquín del Val Melús (ADOR Consultoría)

Realización del glosario de términos:

Juan José Durán Valero (IGME)

Colaboradora:

María José Vázquez González
Ramón Mantecón Gómez (NIPSA)
Antonio Carmona Ruiz (NIPSA)

Asistencia técnica: ADOR CONSULTORÍA

Joaquín del Val (Coordinación editorial y revisión técnica)
Manuel Alcalá (Diseño, infografía y maquetación)
Gerardo Llorente (Cartografía e infografía)

Fotografía: Luis Medina, Francisco J. Hoyos, Joaquín del Val

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DE LA GUÍA

El objetivo de esta guía es proporcionar al profesorado el material didáctico necesario para tratar una serie de contenidos de apoyo para la realización de visitas de campo por los acuíferos calcáreos del Parque Natural Sierra Norte de Sevilla, itinerarios que sirven de hilo conductor para entender conceptos fundamentales de la Hidrogeología.

La Guía didáctica que se desarrolla en dos volúmenes; este segundo volumen, contiene dos partes diferenciadas: el Cuaderno del Profesor y una colección de Fichas de trabajo para los alumnos.

El **Cuaderno del Profesor** incluye una descripción de las características generales del Parque Natural con especial incidencia en sus rasgos geológicos e hidrogeológicos, y se explica el comportamiento de sus principales acuíferos.

Se completa con un glosario de términos y la bibliografía.

En la colección de **Fichas de trabajo para los alumnos** se presentan una serie de actividades para reforzar en el alumno los fundamentos conceptuales de la Hidrogeología de una manera práctica. Se presentan cuatro fichas didácticas que se pueden trabajar inicialmente en el aula y después en el campo. El orden de trabajo de las unidades presentadas es:

- * El agua subterránea.
- * El Parque Natural Sierra Norte de Sevilla.
- * El Cerro del Hierro.
- * Nacimiento y cascadas del Huéznar.

Estas dos últimas fichas están diseñadas específicamente para trabajar con los alumnos en el campo, aunque siempre es conveniente hacerlo también antes y después de la salida. En estas visitas se proponen tres actividades muy sencillas para realizar en un río como el Huéznar: variación de la temperatura con la profundidad del agua, profundidad a la que llega la luz en el agua y medida del pH del agua. Las fichas pueden ser reproducidas, al haberse diseñado en un formato de fácil acceso.

INDICE

■ CUADERNO DEL PROFESOR	11
Capítulo 1: El Parque Natural Sierra Norte de Sevilla	13
Características generales del Parque Natural	14
Rasgos geológicos	21
Comportamiento hidrogeológico de los materiales	26
Capítulo 2: Acuífero de Guadalcanal-San Nicolás	33
Características generales del acuífero	36
Funcionamiento hidrogeológico	38
Usos y composición química del agua subterránea	42
Lugares de especial interés hidrogeológico	43
Capítulo 3: Acuífero de Constantina-Cazalla	53
Características generales del acuífero	56
Funcionamiento hidrogeológico	57
Usos y composición química del agua subterránea	59
Capítulo 4: Acuífero de Almadén de la Plata	61
Características generales del acuífero	64
Funcionamiento hidrogeológico	65
Usos y composición química del agua subterránea	67
■ Glosario de términos	71
■ Bibliografía	87
■ FICHAS DE TRABAJO PARA LOS ALUMNOS	93

CUADERNO DEL PROFESOR

El Parque Natural Sierra Norte de Sevilla

- Características generales del Parque Natural
- Rasgos geológicos
- Comportamiento hidrogeológico de los materiales



0 5 10 km



CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PARQUE NATURAL

El Parque Natural Sierra Norte de Sevilla, enclavado en la franja occidental de Sierra Morena, se localiza al norte de la provincia de Sevilla y tiene una superficie de 187.323 hectáreas. Se extiende por el territorio de diez términos municipales, cuatro de ellos incluidos totalmente en el Parque Natural: Cazalla de la Sierra, Las Navas de la Concepción, San Nicolás del Puerto y El Real de la Jara, y seis de forma parcial: Alanís, Almadén de la Plata, Constantina, Guadalcanal, El Pedroso y La Puebla de los Infantes.

El Parque Natural, que forma parte de la comarca denominada Sierra Norte, constituye una **región de media montaña**, con altitudes que van desde aproximadamente los 50 metros en su parte más meridional hasta alcanzar casi los 1.000 metros sobre el nivel del mar en su zona norte. La configuración del relieve permite distinguir varias zonas fisiográficas dentro de este conjunto. En primer lugar, limitando al sur con la Depresión del Guadalquivir, aparece el frente y piedemonte de la Sierra, con altitudes inferiores a los 400 m y pendientes generalmente suaves. Al norte de esa zona, aparece el primer escalón de la Sierra, con altitudes medias de 500 m, formando un sector montañoso de relieves suaves sin orientación predominante. En el sector más septentrional se encuentran las cotas más elevadas, con el punto culminante del cerro de La Capitana (955 m), al noroeste de Guadalcanal, en la Sierra del Agua; esta unidad, conocida como segundo escalón de la Sierra, presenta un relieve con orientación dominante NO-SE. Otras dos grandes unidades fisiográficas interrumpen esta disposición: por un lado, el valle del río Viar, un valle estructural encajado en forma de uve; y, por otro, los extensos relieves graníticos que se localizan en la zona meridional del Parque, a ambos lados del valle del Viar, con una suave morfología de relieves alomados.

La **red hidrográfica** está formada por numerosos cursos de agua, que dan lugar a valles generalmente muy encajados. Esta red de drenaje se agrupa en tres subcuencas hidrográficas: Viar, Rivera de Huéznar y Retortillo. Al primero de estos ríos, el Viar, drenan el Rivera de Benalija y los arroyos del Valle, Tamujar y Gargantafría. En el sector central, drenado por el Rivera de Huéznar, destacan como sus principales afluentes el arroyo de San Pedro y el arroyo de la Villa. Al río Retortillo, que discurre formando el límite oriental del Parque Natural, fluyen los arroyos de Ciudadaja, Masacán y de Galleguillos. Finalmente, el río Rivera del Cala constituye el límite occidental del Parque.



Paisaje característico del Parque Natural Sierra Norte de Sevilla en su mitad meridional

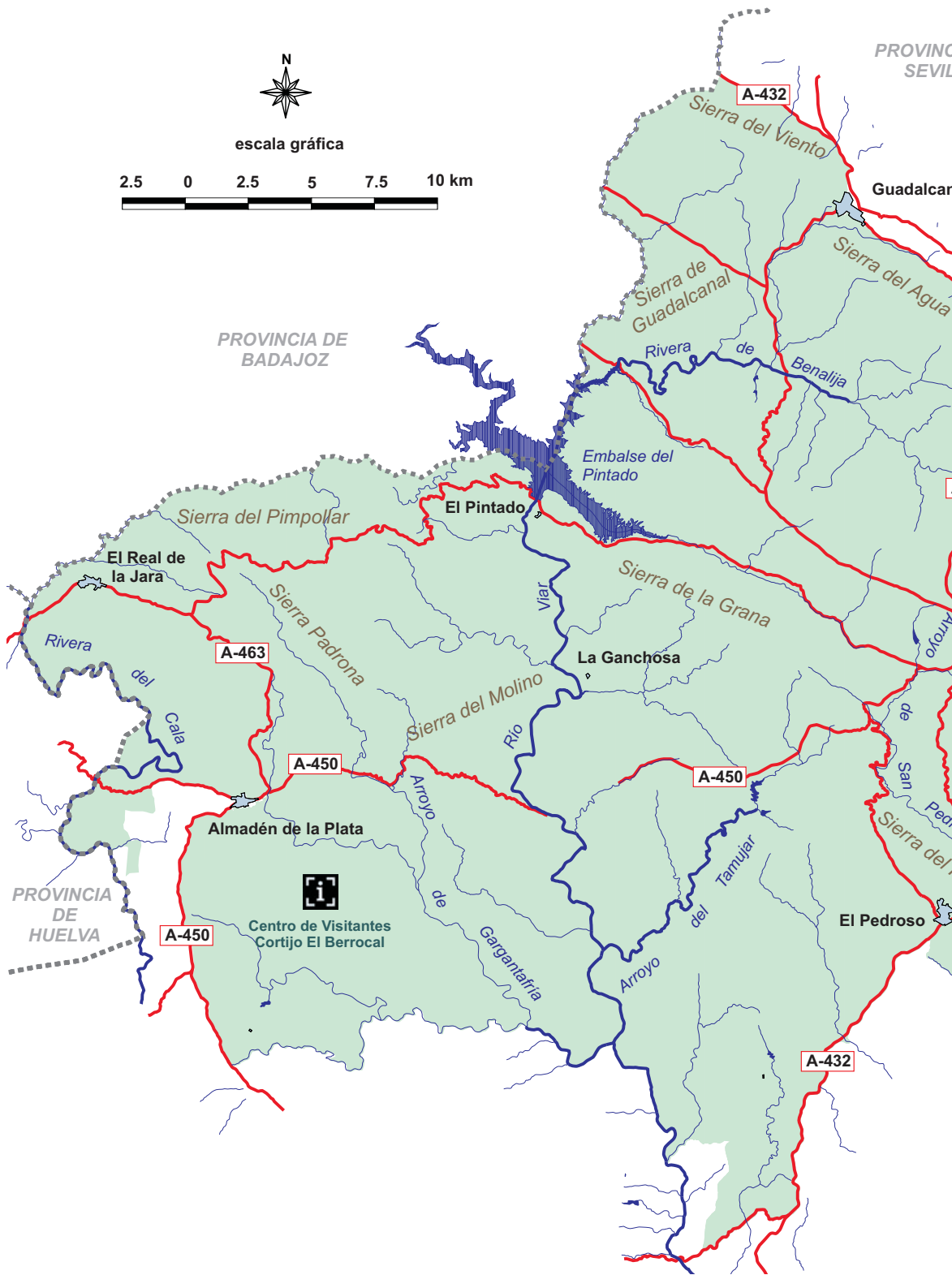


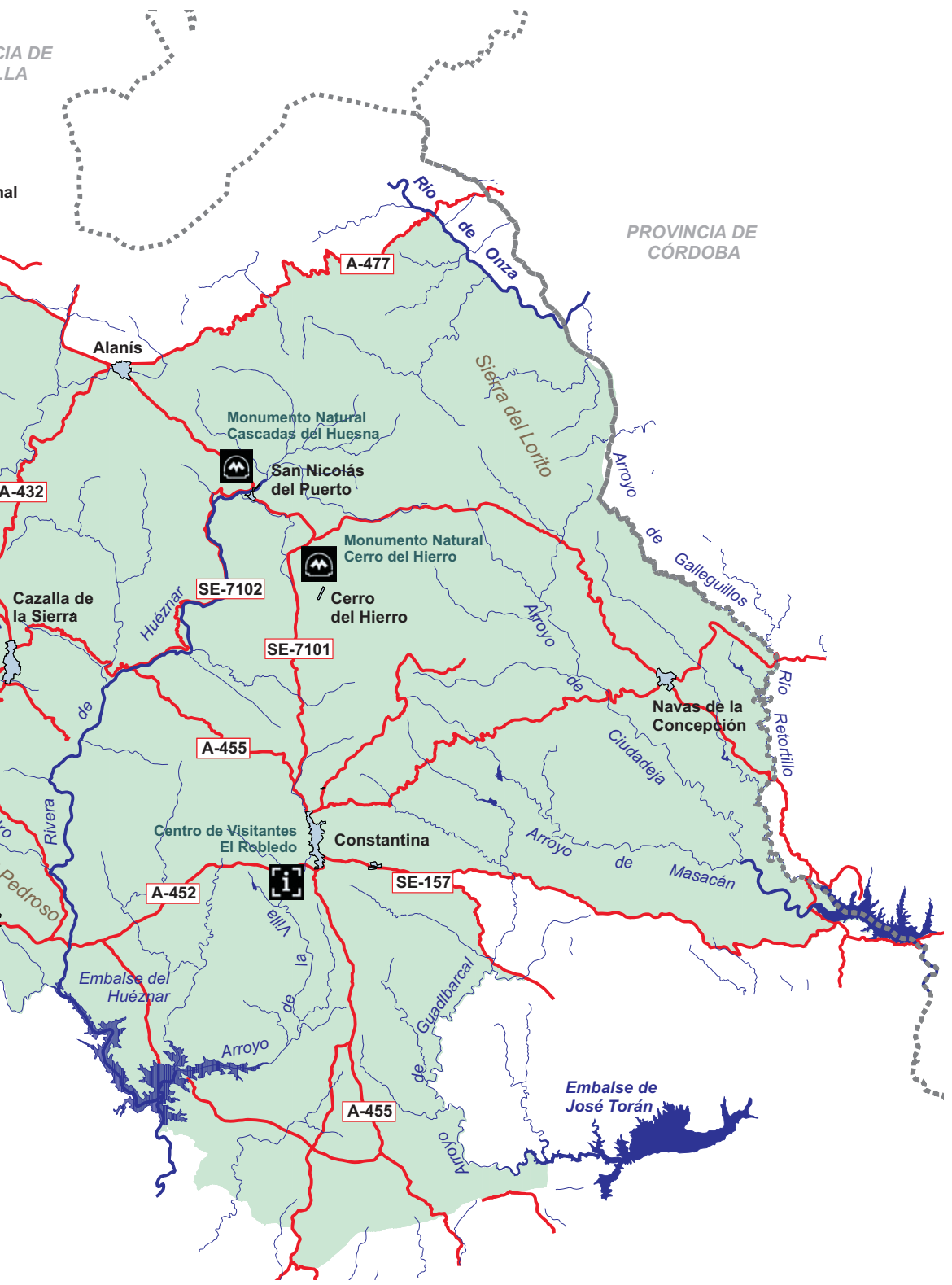
Río Viar, en el borde meridional del Parque

MAPA DEL PARQUE NATURAL SIERRA NORTE DE SEVILLA



escala gráfica





CIA DE
LA

al

PROVINCIA DE
CÓRDOBA

Alanís

Monumento Natural
Cascadas del Huesna

San Nicolás
del Puerto

Monumento Natural
Cerro del Hierro

Cerro
del Hierro

Navas de la
Concepción

Cazalla de
la Sierra

Centro de Visitantes
El Robledo

Constantina

Embalse de
José Torán

A-455

A-452

SE-157

A-455

SE-7102

SE-7101

A-477

A-432

ro

pedroso

ro

1:500

1:500

1:500

1:500

1:500

1:500

1:500

1:500

1:500

Rio de Onza

Sierra del Loro

Arroyo de Galleguillos

Arroyo de Ciudadreja

Arroyo de Masacán

Rio Retortillo

Huézmar

Rivera

Arroyo de Huézmar

Arroyo de Villavieja

Arroyo de Guadibarcal

Arroyo de Guadibarcal

Arroyo de Guadibarcal

Esta red fluvial aparece regulada por varios embalses dedicados a abastecimiento, riego y aprovechamiento hidroeléctrico. Los tres más importantes son el del Pintado, sobre el río Viar, y los del Huéznar y Retortillo, en los ríos del mismo nombre. Recientemente finalizado, y también en el río Viar, se localiza el embalse de Melonares, que complementará el abastecimiento a la ciudad de Sevilla y su área metropolitana.

En el **paisaje vegetal** del Parque predominan las dehesas de encinas y alcornoques, que ocupan más de un tercio de su superficie. Además de su importancia ecológica, las dehesas juegan un destacado papel socioeconómico, ya que constituyen el escenario de variados aprovechamientos agropecuarios y forestales. El matorral, formado por jaras, romeros y aulagas, junto con distintas formaciones arbustivas (madroñales, acebuchales, lentiscares o coscojares), sólo o mezclado con arbolado de frondosas, es la otra gran unidad vegetal presente en este territorio.

La abundancia de cursos fluviales ha originado un interesante ecosistema, el ripario, de gran riqueza ecológica y que da lugar a excelentes bosques de galería, como el asociado a la cabecera del Huéznar, el del arroyo de Ciudadaja, cerca de Las Navas de la Concepción, o el del arroyo del Valle, entre Cazalla de la Sierra y el embalse del Pintado. Alamedas, olmedas, alisedas, fresnedas y choperas son las formaciones arbóreas que dominan en estos bosques riparios, que destacan entre una densa vegetación de adelfas, zarzas, hiedras, madresevas, juncos y zarzaparrillas. El bosque de quercíneas, a pesar de su reducida extensión, presenta un buen grado de conservación y riqueza; está formado por masas de alta densidad, puras o mixtas, de encina, alcornoque y rebollo, único roble presente en Andalucía.



Dehesa, la formación vegetal más característica del Parque, en El Pedroso

La **fauna** del Parque Natural presenta una gran variedad de especies, como resultado del sistema tradicional de aprovechamiento del suelo, la dehesa, que permite una explotación de recursos compatible con su conservación, y la abundancia de cauces fluviales, embalses, roquedos y relieves de media montaña. Se contabilizan más de 200 especies de fauna vertebrada, entre las que sobresalen, como el grupo más numeroso, las aves. Entre ellas, destacan la cigüeña negra, especie en peligro de extinción, y otras de especial interés como el milano real, águila perdicera, águila real, halcón peregrino, martín pescador, colirrojo real, buitre negro y alzacola. En el Cerro del Hierro son relativamente fáciles de avistar la collalba negra y el roquero solitario, así como el ratonero común, la abubilla o el abejaruco.

En cuanto a los mamíferos, son especies amenazadas el lince ibérico y la nutria, presente esta última en la cabecera del Rivera de Huéznar. La existencia de abundantes cursos de agua permite la presencia de numerosas especies de anfibios, como el tritón ibérico, el sapo partero ibérico y el corredor, y reptiles, como la culebra de escalera y la víbora hocicuda. Las especies piscícolas más destacadas son la trucha común y arco-iris, presentes en los tres tramos trucheros del Huéznar.

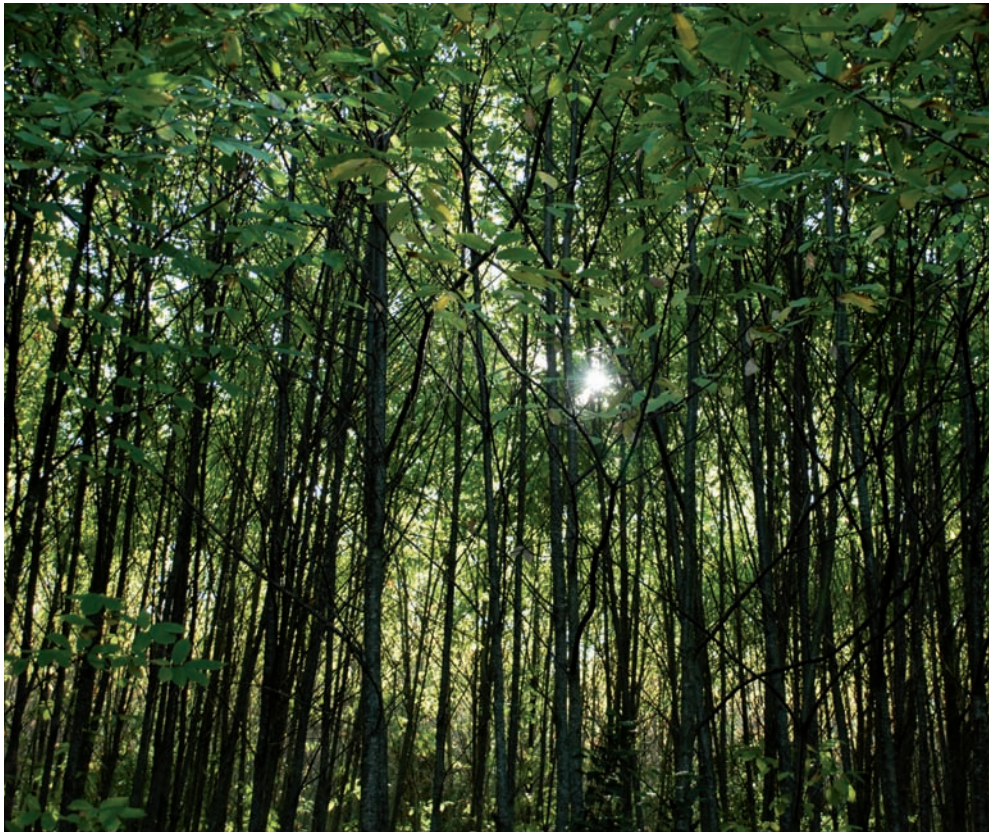
También son de interés las especies cinegéticas, como el ciervo y el jabalí, y los quirópteros, como los murciélagos de herradura, de cueva y de oreja partida. Los invertebrados son también muy numerosos.



Martín pescador, una de las aves de especial interés del Parque Natural
(foto F.J. Hoyos)

El **clima** es de tipo mediterráneo continental templado. La precipitación es marcadamente estacional, con máximos de lluvia en invierno y una práctica ausencia de lluvias en verano. La lluvia media anual se sitúa entre los 600 y 950 mm. En cuanto a las temperaturas, las medias estivales oscilan entre 20 °C y más de 30 °C, mientras que en invierno las medias máximas se sitúan en torno a los 15 °C y mínimas que pocas veces descienden de los 0 °C, situándose en 10 el número de días con riesgo de helada al año.

No obstante, existen algunas diferencias en el conjunto del territorio entre estos parámetros climáticos. La franja central presenta temperaturas más suaves y mayores precipitaciones. Las temperaturas más cálidas corresponden a la mitad sur, que van disminuyendo progresivamente hacia el norte del Parque Natural.



Castañar en Constantina

RASGOS GEOLÓGICOS

El Parque Natural Sierra Norte de Sevilla se encuentra, desde el punto de vista geológico, enclavado en el Macizo Ibérico o Hespérico de la Península Ibérica. Este gran dominio geológico está formado por un conjunto de rocas metamórficas (pizarras, esquistos, cuarcitas, calizas marmóreas, mármoles, gneises, etc.) y plutónicas (granitos y otras rocas afines), de edades comprendidas entre más de 540 millones de años (Precámbrico) y 290 millones de años (finales del Paleozoico).

Este gran dominio geológico fue el resultado de la formación de una gran cadena montañosa, originada en la orogenia Varisca o Hercínica, entre el Devónico superior y el Carbonífero inferior. Esta cadena montañosa se encuentra, en la actualidad, muy erosionada, dando lugar a relieves suaves, derivados de la distinta resistencia de las rocas a la meteorización. Estas rocas están plegadas y estructuradas en bandas de dirección noroeste-sureste, limitadas por importantes fracturas de alcance regional que han dado lugar a diferenciar varias zonas: Cantábrica, Asturoccidental-leonesa, Centroibérica, Galicia-Tras-os-Montes, Ossa-Morena y Sudportuguesa.

El Parque queda comprendido mayoritariamente en la Zona de Ossa-Morena (**Figura 1**), formada por rocas del Precámbrico al Carbonífero, con grados de metamorfismo variables y abundantes fenómenos de magmatismo, que han originado una amplia presencia de rocas plutónicas. Una pequeña parte, al suroeste, pertenece a la Zona Sudportuguesa, formada casi exclusivamente por rocas de edades comprendidas entre el Devónico medio-superior y el inicio del Pérmico (es decir, entre hace unos 385 y 280 millones de años); en esta zona existe un complejo vulcanosedimentario, de edad Carbonífero inferior (de hace entre 360 y 345 millones de años) con importantes yacimientos asociados de sulfuros masivos, que han dado lugar a explotaciones mineras desde época prerromana.

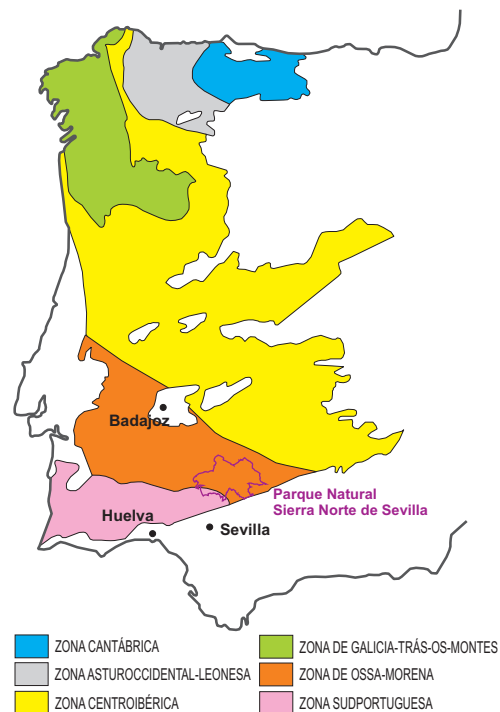


Figura 1. Zonas del Macizo Hespérico
(simplificado de Pérez-Estaún *et al.*, 2004)
y situación del Parque Natural

Sobre este conjunto de rocas intensamente deformadas, tras la orogenia Varisca se formaron pequeñas cuencas continentales que se rellenaron con sedimentos y materiales volcánicos durante el Carbonífero superior, Pérmico y Triásico. En el Parque se encuentran la antigua cuenca pérmica de San Nicolás del Puerto, que se considera incluida en la Zona de Ossa-Morena, y una parte de la cuenca pérmica del Viar, que se incluye en la Zona Sudportuguesa; la primera, está rellena por sedimentos fluviales, mientras que en la segunda aparecen sedimentos fluviales (conglomerados, areniscas y lutitas, intensamente teñidos de color rojo) y rocas volcánicas ácidas y, sobre todo, básicas de composición basáltica.

Aunque con extensión muy reducida, aparecen también algunos materiales más modernos, correspondientes a la Depresión del Guadalquivir y a pequeños y estrechos depósitos aluviales ligados al depósito reciente de la red fluvial.

La extensa historia geológica de la región donde se localiza el Parque Natural ha dado como resultado una gran variedad de litologías, tanto ígneas (plutónicas y volcánicas), como metamórficas y sedimentarias (**Figura 2**). Las que presentan mayor extensión son las rocas sedimentarias, con metamorfismo ausente o de muy bajo grado, tales como pizarras, areniscas, cuarcitas, conglomerados y calizas marmóreas.

Las rocas plutónicas, como los granitos -y en menor medida gabros y dioritas-, presentan asimismo una amplia extensión en la mitad suroccidental del Parque. Buenos ejemplos de estas rocas aparecen en los alrededores de El Pedroso, al sureste de Almadén de la Plata –el granito de El Berrocal-, al oeste de El Real de la Jara, o en los alrededores del embalse de El Pintado, donde aparecen gabros. Es también muy característica la banda de dioritas situada en las inmediaciones de Cazalla de la Sierra.

Las rocas metamórficas en sentido estricto (es decir, las que han sufrido transformaciones mineralógicas por efecto de la presión y temperatura) se encuentran generalmente dispersas en el ámbito del Parque, aunque existen algunas zonas claramente diferenciadas: la banda nororiental de edad Precámbrico, formada por gneises, esquistos, mármoles, pizarras metamórficas y otras rocas de origen sedimentario y volcánico; los esquistos situados al oeste del embalse del Pintado; o las rocas originadas por metamorfismo de contacto de rocas plutónicas, como las corneanas que aparecen en los bordes del granito de El Pedroso.

Las rocas volcánicas de mayor extensión son los basaltos situados al sureste de Almadén de la Plata, en la cuenca pérmica del Viar. También destaca la banda de espilitas (basaltos alterados en contacto con el agua del mar) situada al norte de Almadén de la Plata, del Silúrico (de entre hace 440 y 415 millones de años), así como el afloramiento de rocas vulcano-sedimentarias situado en el extremo suroccidental del Parque Natural.

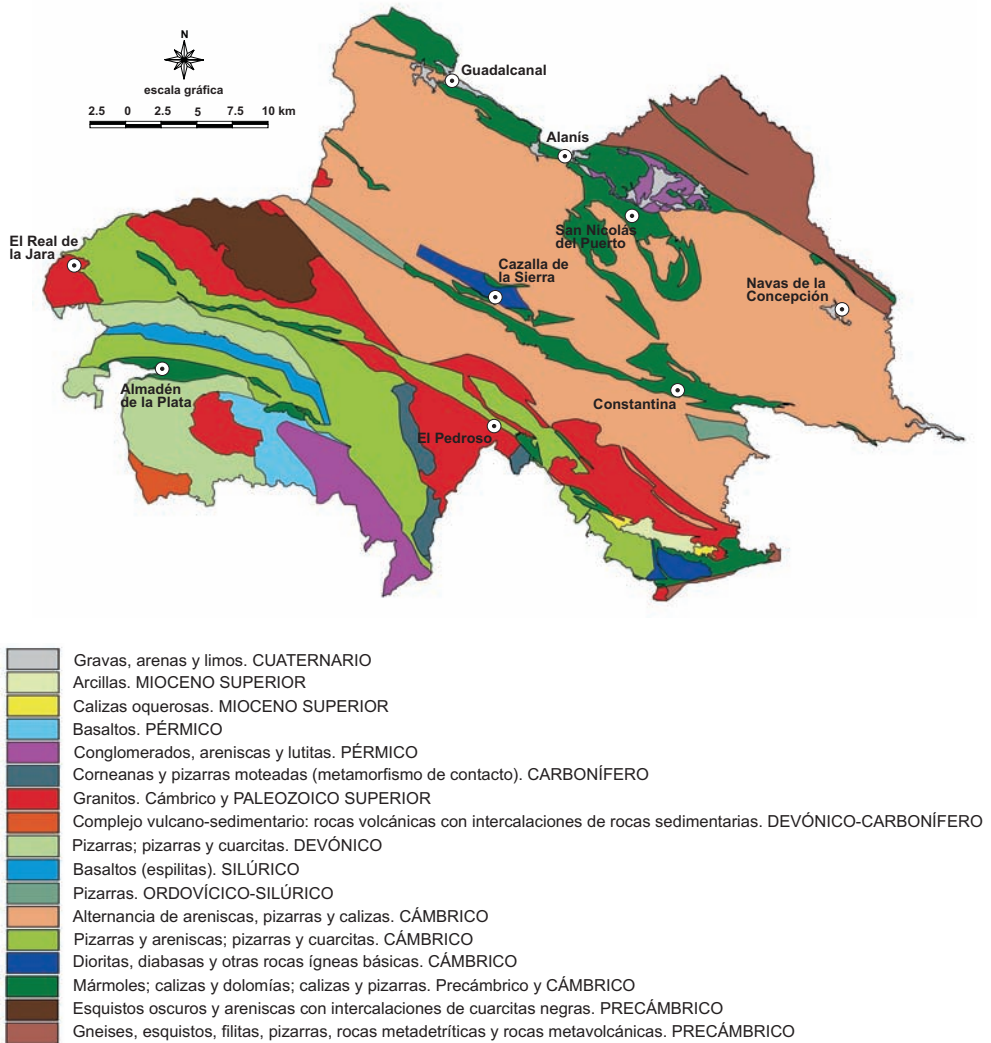


Figura 2. Esquema geológico del Parque Natural Sierra Norte de Sevilla



Conglomerados, areniscas y lutitas, intensamente teñidos de rojo, de la cuenca pérmica del Viar



Conglomerados de la cuenca pérmica de San Nicolás del Puerto



Alternancia de pizarras y areniscas de grano fino, del Cámbrico inferior (Capas de Campoallá). Vía Verde de la Sierra Norte



Cuarcitas del Devónico, al sur de Almadén de la Plata



Rocas plutónicas ácidas: piedra caballera en el granito de la Dehesa del Berrocal



Rocas plutónicas básicas: dioritas junto a la fuente del Judío, en Cazalla de la Sierra



Rocas metamórficas: esquistos negros del Precámbrico, al oeste del embalse del Pintado



Rocas volcánicas: espillitas del Silúrico, al norte de Almadén de la Plata

COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LOS MATERIALES

El tipo de rocas existentes en el Parque son, en su gran mayoría, rocas muy antiguas que perdieron su porosidad primaria en los procesos de diagénesis y metamorfismo, o que ya en su propia formación presentaban una porosidad sumamente baja, como ocurre en las rocas plutónicas. Sin embargo, la posterior fracturación, la meteorización –especialmente en rocas plutónicas- y la karstificación en calizas y mármoles propicia un incremento de su permeabilidad, y que el agua pueda almacenarse y circular en su interior. Por ello, existen notables diferencias hidrogeológicas no sólo entre los distintos tipos de rocas presentes, sino también en función de la intensidad de la fracturación, del grado y profundidad que llega a alcanzar la alteración en ciertas rocas, y del espesor y disposición de los propios materiales permeables.

Algunas formaciones rocosas, aunque no llegan a adquirir la categoría de acuíferos susceptibles de importantes aprovechamientos, pueden dar lugar a manantiales de bajo caudal y a satisfacer pequeñas demandas de agua, explotada mediante pozos. La alteración de granitos, dioritas y otras rocas plutónicas, aunque generalmente de pocos metros de profundidad y más desarrollada en zonas de pendiente escasa –en las que el agua queda retenida y se favorece la meteorización-, da lugar a suelos arenosos de elevada permeabilidad, que permiten la existencia de acuíferos muy superficiales. Los pozos existentes en el entorno granítico de El Pedroso, así como algunos manantiales en este tipo de materiales – la fuente de El Judío, en Cazalla, que surge en el contacto entre la capa de alteración y las dioritas sin alterar- son buenos ejemplos de ello.



Pozo en el granito de El Pedroso

Las rocas metamórficas (pizarras, esquistos, anfibolitas) también pueden llegar a alcanzar cierto desarrollo en su permeabilidad por fisuración, a través de su red de diaclasas, grietas y otros planos de anisotropía existentes. La mayor o menor permeabilidad que puede llegar a adquirir el conjunto rocoso, y por tanto su capacidad para almacenar y transmitir agua, está condicionada por la densidad de las fisuras, por su anchura y profundidad, por la interconexión y continuidad entre ellas, y por la presencia o ausencia de rellenos en las fisuras, ya sean diques o intrusiones, ya sean sedimentos provenientes de la meteorización. En algunos puntos del Parque, el agua subterránea albergada en estos materiales metamórficos se ha captado tradicionalmente a través de galerías horizontales y, en la actualidad, a través de sondeos.



Obra para recoger y distribuir el agua (alcuba) a partir de galerías subhorizontales, excavadas en materiales metamórficos. Antigamente abastecía a una fuente de Almadén de la Plata

Otros materiales que presentan cierta potencialidad como acuíferos son los sedimentos detríticos que rellenan las cuencas pérmicas del Viar y de San Nicolás del Puerto; no obstante, los paquetes arcillosos que contienen, intercalados entre otros más porosos (conglomerados y areniscas) limitan sensiblemente su capacidad de almacenamiento y transmisión del agua en su interior. Los depósitos aluviales y terrazas de algunos ríos, como el Huéznar, son también formaciones favorables para el aprovechamiento del agua subterránea, aunque las reducidas dimensiones que presentan en el Parque las hacen, igualmente, sólo aptas para pequeños aprovechamientos.

Los **materiales carbonáticos** (calizas, dolomías y sus equivalentes metamórficos, los mármoles) son las formaciones que dan lugar a importantes acuíferos en el Parque. Estas rocas presentan una permeabilidad de media a alta debida a la intensa fracturación que presentan y, localmente, por la karstificación que en ellos se ha desarrollado. La karstificación es, en definitiva, el proceso de disolución de estas rocas solubles gracias a la existencia de diaclasas, fracturas, planos de estratificación y otras discontinuidades de la roca, que permiten que el agua circule en su seno y vaya ampliando dichas discontinuidades. El resultado, además de las formas kársticas superficiales y subterráneas características de este medio, es su transformación en un acuífero kárstico, con una red de conductos en el interior que jerarquizan el drenaje desde la superficie del acuífero hasta su punto o puntos de descarga.



Cueva de Santiago, desarrollada en las calizas marmóreas del extremo noroccidental del acuífero de Constantina-Cazalla (foto F.J. Hoyos)

En el Parque Natural las principales formaciones carbonáticas son los mármoles precámbricos de la Loma del Viento -el relieve más elevado del Parque, en Guadalcanal- y los de edad Cámbrico en las proximidades de Almadén de la Plata, así como las calizas cristalinas del Cámbrico. Estas calizas, más o menos marmóreas, forman parte de la unidad estratigráfica denominada “Capas de Campoallá”, formada por sedimentos detríticos y carbonáticos -pizarras, areniscas y calizas-, cuya proporción varía enormemente de unos puntos a otros: algunas veces, sólo aparece una de estas litologías, otras dos de ellas, o las tres en proporciones variables. Cuando aparecen exclusivamente los paquetes de caliza con suficiente espesor y extensión, dan lugar a acuíferos fracturados o kársticos. En otras ocasiones, sin embargo, la intercalación de niveles pizarrosos resta permeabilidad al conjunto y le proporciona una gran heterogeneidad: se presentan así, prácticamente en continuidad, tramos muy permeables con otros mucho menos permeables, lo que hace que presenten un comportamiento hidrogeológico sumamente complejo.



Calizas marmóreas del Cámbrico inferior. Cerro del Castillo, en Constantina


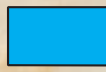
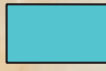
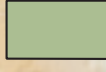
Estas formaciones carbonáticas se encuentran limitadas, tanto lateralmente como en profundidad, por otras de baja o muy baja permeabilidad, generalmente materiales metamórficos de origen sedimentario (pizarras, gneises, etc.) o rocas ígneas (gabros, dioritas, diabasas).

Los tres grandes acuíferos que se presentan en el Parque, de naturaleza predominantemente carbonática, son:

- Acuífero de Guadalcanal-San Nicolás
- Acuífero de Constantina-Cazalla
- Acuífero de Almadén de la Plata

PRINCIPALES ACUÍFEROS DEL PARQUE NATURAL SIERRA NORTE DE SEVILLA

LEYENDA

-  Conglomerados, areniscas y lutitas Pérmico. PERMEABILIDAD MEDIA-BAJA
-  Calizas cristalinas Cámbrico inferior. PERMEABILIDAD ALTA
-  Calizas y dolomías marmóreas Cámbrico inferior. PERMEABILIDAD ALTA
-  Calizas y dolomías con intercalaciones de pizarras. Mármoles. Precámbrico y Cámbrico inferior. PERMEABILIDAD MEDIA - ALTA



Falla



Cabalgamiento



Dirección estimada del flujo subterráneo



Sondeo



Manantial



Pozo

El Real de la Jara

Embalse del Pintado

Rivera

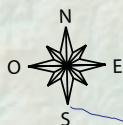
Rivera de Cala

Río Viar

Arroyo del Valle

**ACUÍFERO
ALMADÉN DE LA PLATA**

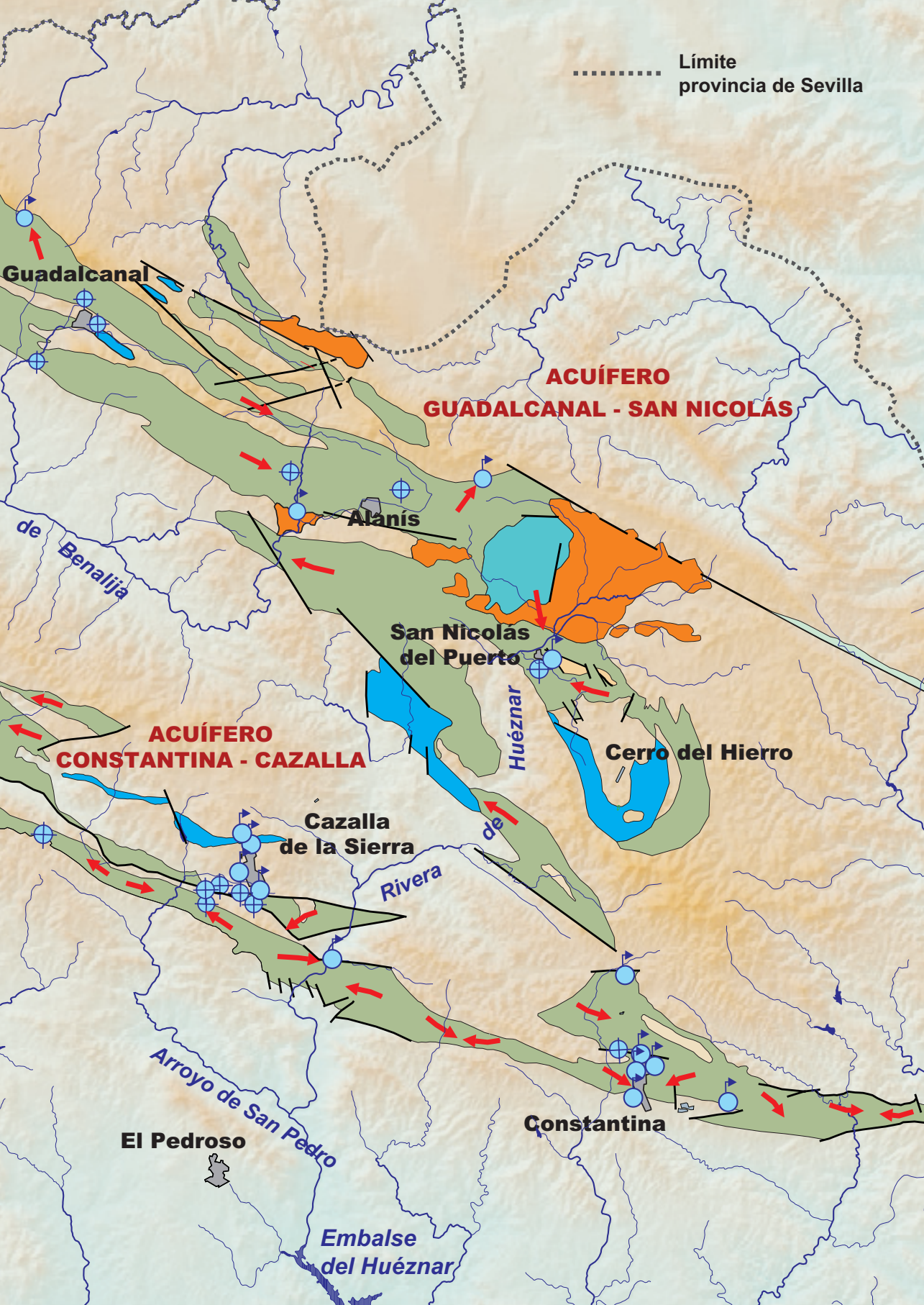
Almadén de la Plata



escala gráfica

0 2.500 5.000 10.000 m

Arroyo de la Gargantafría



Acuífero de Guadalcanal - San Nicolás

- Características generales del acuífero
- Funcionamiento hidrogeológico
- Usos y composición química del agua subterránea
- Lugares de especial interés hidrogeológico

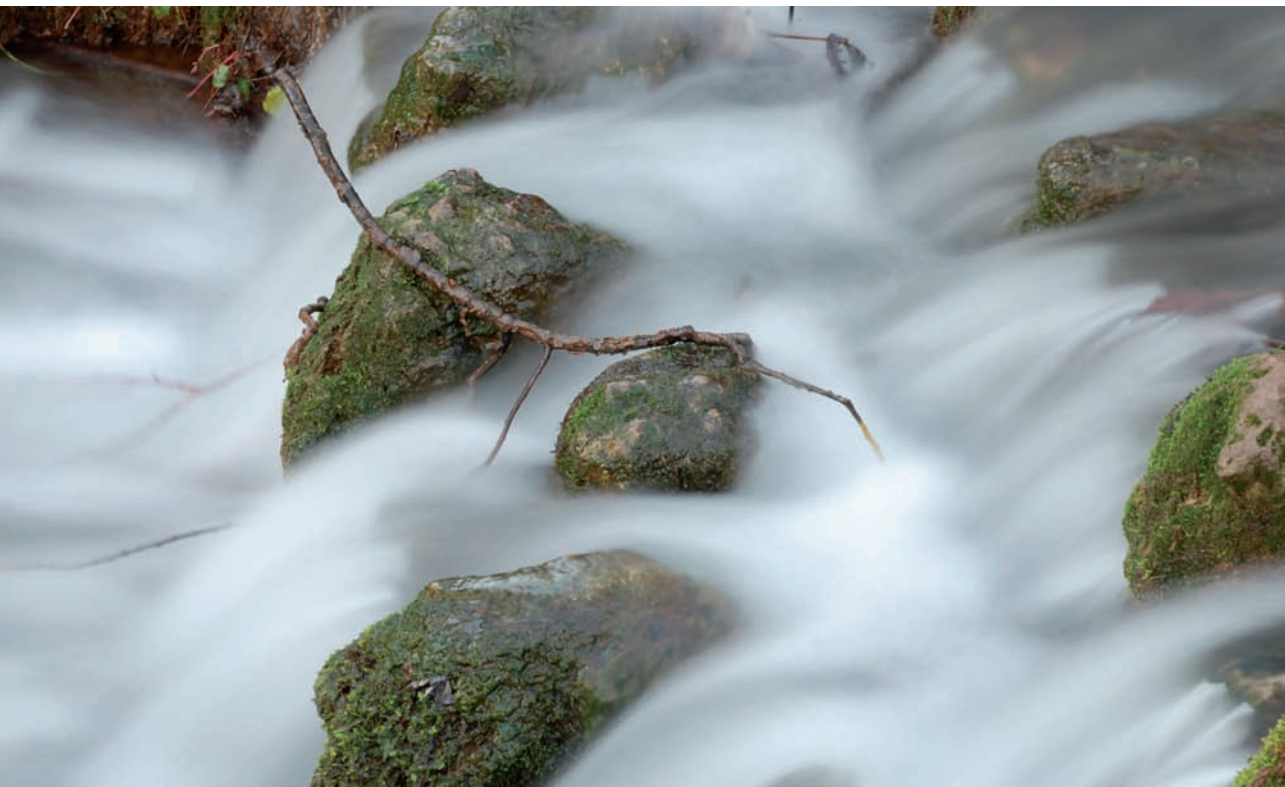
Cerro del Hierro

Nacimiento del Huéznar

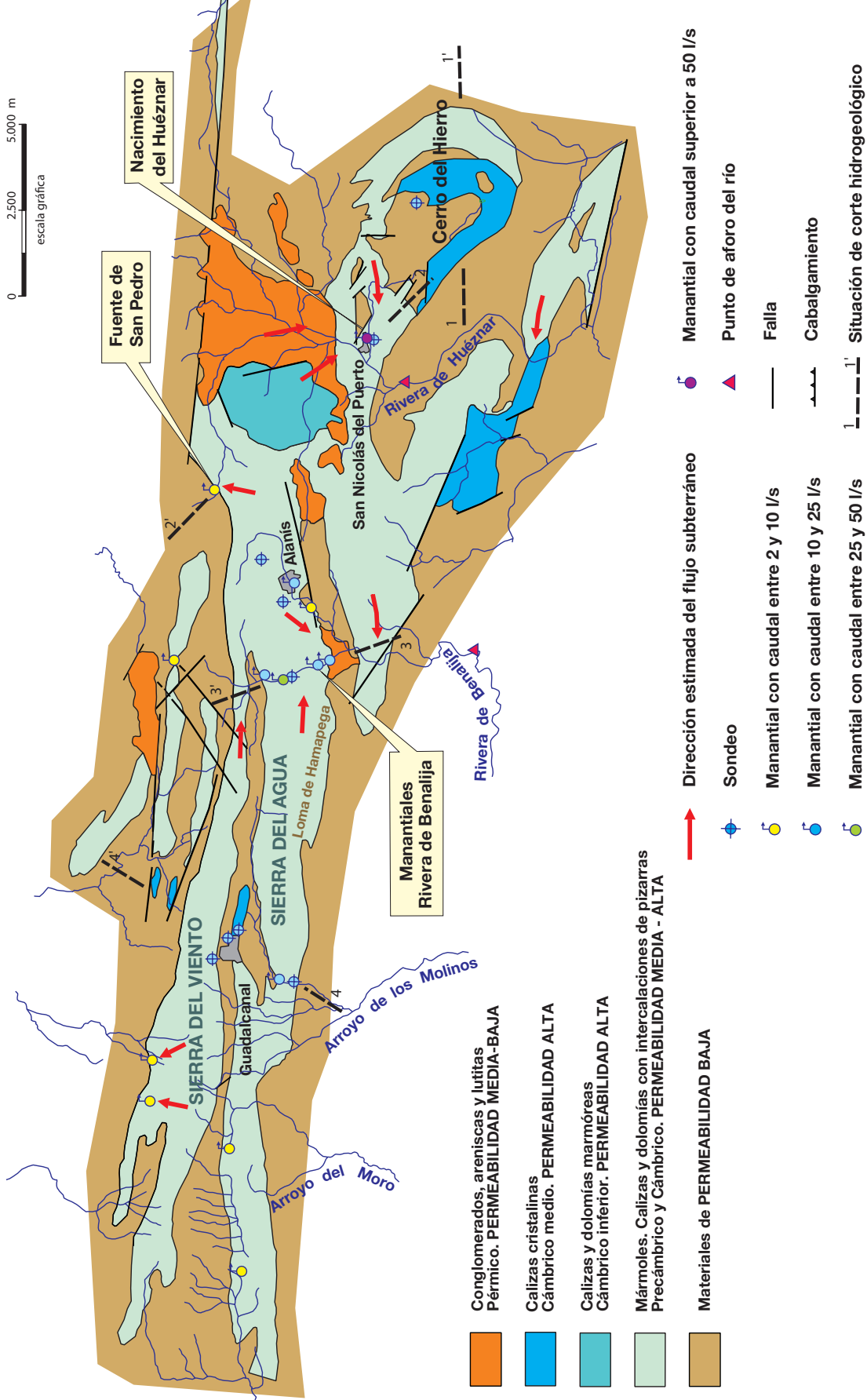
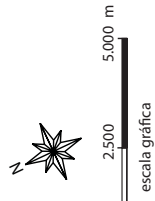
Cascadas del Huesna



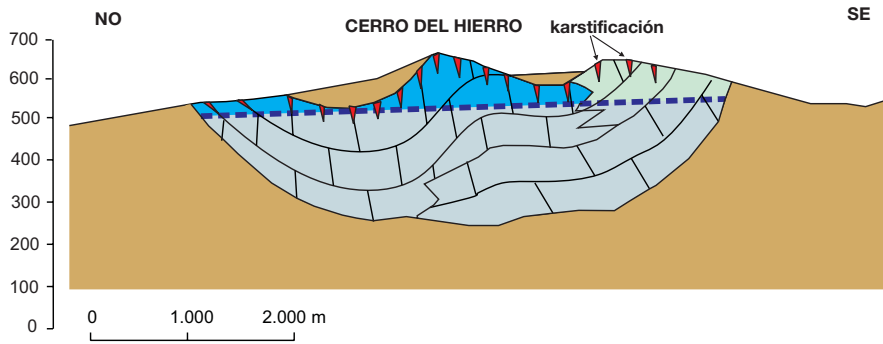
Vista parcial
de la localidad de Guadalcanal



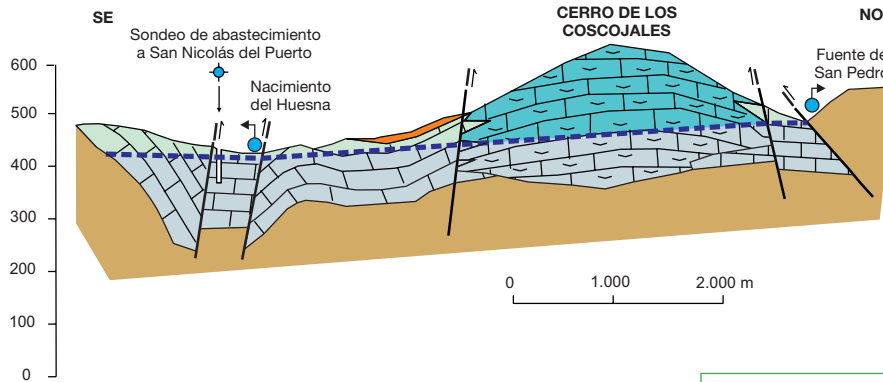
ACUÍFERO GUADALCANAL - SAN NICOLÁS



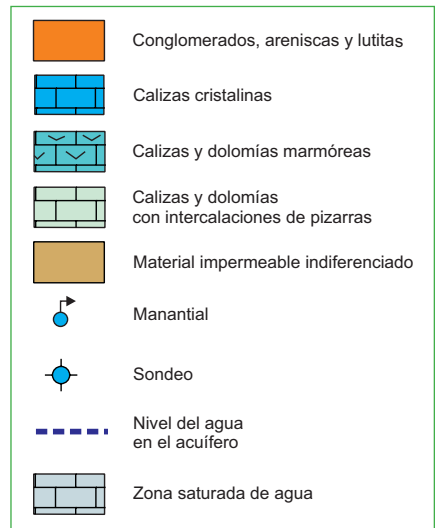
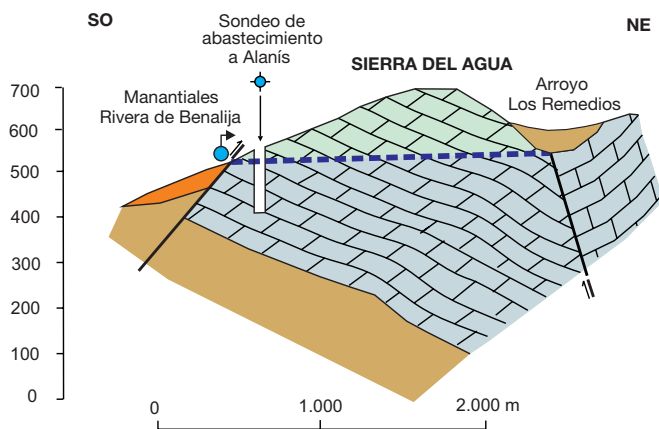
CORTE HIDROGEOLÓGICO 1-1'



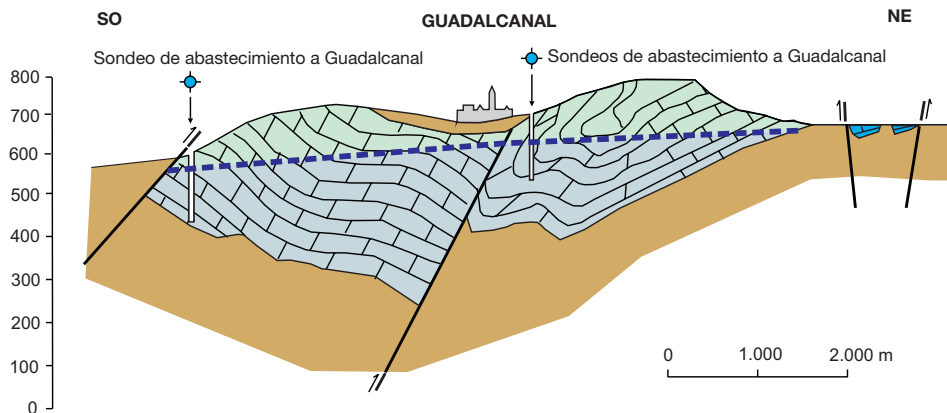
CORTE HIDROGEOLÓGICO 2-2'



CORTE HIDROGEOLÓGICO 3-3'



CORTE HIDROGEOLÓGICO 4-4'



CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ACUÍFERO

El acuífero de Guadalcanal-San Nicolás se localiza en el extremo norte de la provincia de Sevilla y está incluido íntegramente en los términos municipales de Guadalcanal, Alanís y San Nicolás del Puerto.

El acuífero, con una superficie de afloramientos permeables de 160 km², presenta una forma alargada en dirección NO-SE, con una longitud de 35 km y una anchura media de unos 4 km. Sus límites, de carácter tectónico, corresponden a pizarras arcillosas, filitas (rocas pizarrosas de grano fino procedentes del metamorfismo suave de las arcillas, con esquistosidad bien definida) y metavulcanitas (rocas resultantes del metamorfismo de antiguas rocas volcánicas) del Precámbrico y, al sur, a pizarras del Cámbrico inferior. El sustrato impermeable del acuífero lo constituye una potente formación de pizarras arcillosas del Cámbrico inferior.

La zona presenta una pluviometría anual de unos 820 mm de media, con temperaturas anuales medias comprendidas entre 14 y 16 °C. Los principales cursos de agua de la zona son el Rivera de Huéznar, que nace en las inmediaciones de San Nicolás del Puerto, y el Rivera de Benalija, cuyo nacimiento se localiza al noroeste de la localidad de Alanís.



Rivera de Huéznar, en San Nicolás del Puerto

Los cauces de los ríos Rivera de Huéznar y Rivera de Benalija atraviesan afloramientos de calizas cámbricas, produciéndose una conexión hidráulica río-acuífero, que varía en función de la posición relativa del nivel piezométrico y de la lámina de agua superficial (**Figura 3**). En épocas de elevadas precipitaciones, el nivel piezométrico se sitúa a mayor cota absoluta que la lámina de agua del cauce superficial, por lo que el acuífero aporta agua al río, que resulta ganador.

Por el contrario, en períodos de sequía el nivel piezométrico se localiza a menor cota que la lámina de agua del cauce, por lo que el acuífero recibe por infiltración agua del río, que resulta así perdedor.

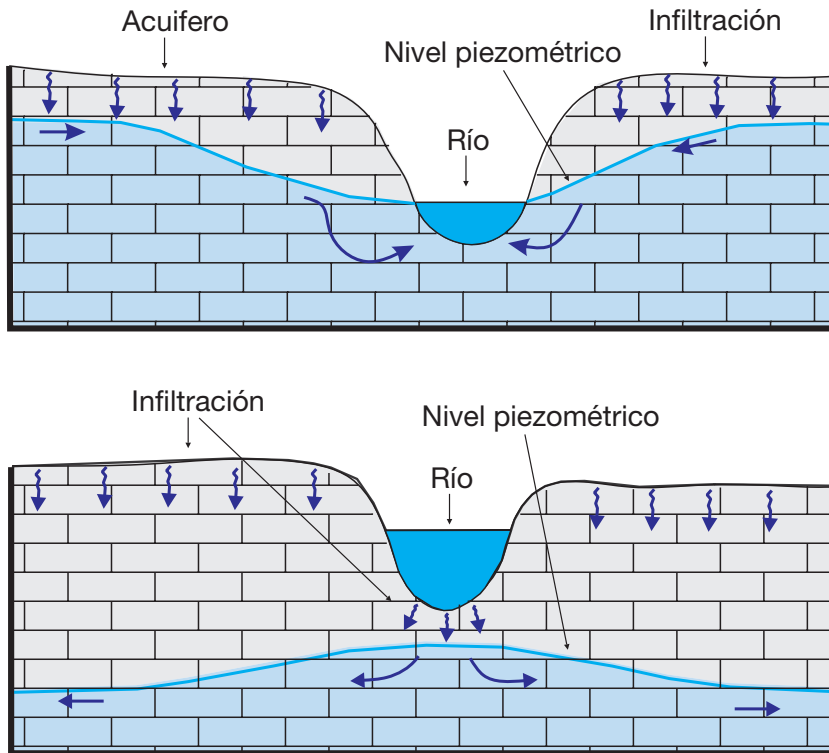


Figura 3. En épocas de elevadas precipitaciones (arriba), el acuífero aporta agua al río, funcionando así como ganador. Por el contrario, en períodos de sequía (abajo) el río aporta agua al acuífero, comportándose como un río perdedor

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Los materiales permeables que forman este acuífero son, mayoritariamente, calizas y dolomías con intercalaciones de pizarras, y en menor proporción mármoles. Su edad es Cámbrico inferior, aunque una parte de las rocas carbonáticas, las situadas en la Sierra del Viento, son mármoles de edad Precámbrico. Estas formaciones presentan potencias comprendidas entre 100 y 200 m, aunque localmente pueden llegar a superar los 800 m.

Las calizas y mármoles se encuentran afectados, en algunos sectores, por una intensa karstificación, lo que les confiere una elevada permeabilidad. El cerro de los Coscojales, situado al noroeste de San Nicolás del Puerto y, sobre todo, el Cerro del Hierro, son magníficos ejemplos del efecto de la karstificación.

La geometría interna del acuífero responde a una sucesión de anticlinales y sinclinales de dirección NO-SE, afectados por una densa red de fracturas transversales. Estos accidentes tectónicos condicionan una compartimentación del acuífero en una serie de subunidades con funcionamiento hidrodinámico diferenciado.

La recarga del acuífero se produce a partir de la infiltración del agua de lluvia y, en menor medida, por recarga directa de los cauces cuando éstos se encuentran a mayor cota que el nivel piezométrico. Este proceso se produce, sobre todo, en el tramo del Rivera de Benalija que discurre al este de la Sierra del Agua, donde se localizan las captaciones de abastecimiento a la población de Alanís.

La descarga del acuífero presenta diferencias entre los sectores occidental y oriental, separados por el río Rivera de Benalija. En la mitad occidental, la gran mayoría de la descarga se produce por bombeo en las captaciones de abastecimiento a Guadalcanal y a Alanís; en mucha menor medida contribuyen a la salida del agua pequeños manantiales, de carácter generalmente estacional, que se localizan en el contacto entre las calizas y mármoles con las formaciones de baja permeabilidad.

En la mitad oriental del acuífero, gran parte de la descarga se realiza a través del Nacimiento del Huéznar, en San Nicolás del Puerto. Algunos pequeños manantiales situados en la margen izquierda del Rivera de Benalija y en el borde septentrional del acuífero contribuyen asimismo a la descarga natural. La captación para abastecimiento a San Nicolás del Puerto, situado junto al Nacimiento del Huéznar, es otro punto significativo de salida de agua.



Riviera de Benalija, al sur de Guadalcanal



Sondeo de abastecimiento a Alanís, en la margen derecha del Rivera de Benalija



Fuente de Panfalto, uno de los manantiales situados junto al Rivera de Benalija

El balance hídrico del acuífero de Guadalcanal-San Nicolás se resume en el cuadro que aparece a continuación (**Cuadro 1**).

ENTRADAS	hm ³ /año
Infiltración de agua de lluvia	15
SALIDAS	hm ³ /año
Bombeos	3
Descarga a través de manantiales y ríos	12

Cuadro 1. Balance hídrico del acuífero Guadalcanal-San Nicolás



Rivera de Huéznar, aguas abajo de San Nicolás del Puerto. El agua del Nacimiento del Huéznar contribuye de forma destacada al mantenimiento de su caudal

USOS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Por su buena calidad, la mayor parte del agua bombeada en las obras de captación se destina a cubrir la demanda urbana de las poblaciones de la zona. Otra pequeña parte se destina a regadío del olivar y a la ganadería, que se capta sobre todo a través de pozos de pequeña profundidad realizados en los depósitos aluviales de arroyos y ríos.



Caseta que alberga un sondeo de abastecimiento a Guadalcanal, en la margen izquierda del arroyo de Los Molinos. En primer plano, calizas marmóreas karstificadas en las que se emplaza el sondeo

Las aguas subterráneas del acuífero presentan facies predominantemente bicarbonatadas cálcicas, de pH ligeramente básico, mineralización de media a débil y muy bajas concentraciones de nitratos. Se trata, por tanto, de aguas de calidad química aptas para cualquier tipo de uso.

El acuífero es potencialmente vulnerable a la contaminación por actividades antrópicas, especialmente en las zonas con alto desarrollo de la karstificación, como son el Cerro del Hierro y el Cerro Coscojales.

LUGARES DE ESPECIAL INTERÉS HIDROGEOLÓGICO

Un lugar de interés hidrogeológico es un punto o área en que el agua subterránea ha generado paisajes sobresalientes, destacados elementos arquitectónicos relacionados con su uso o porque representan, actualmente o en el pasado, un apreciable volumen dentro del total de recursos hídricos aprovechables por una determinada comunidad. Son, en definitiva, lugares que sobresalen desde el punto de vista hídrico, cultural, histórico, didáctico, científico o recreativo.

Estos lugares de interés hidrogeológico están, por tanto, relacionados con el patrimonio natural, histórico o cultural. Su protección debe ser un objetivo prioritario para llevar a cabo una adecuada gestión y conservación de los mismos, para lo que es necesario identificarlos y valorarlos, implementar las adecuadas medidas de conservación y divulgar su conocimiento.

En el Parque Natural Sierra Norte de Sevilla existen numerosos lugares que reúnen las condiciones de lugar de interés hidrogeológico. Tres de estos sitios, sin embargo, merecen una especial atención, todos ellos situados en el acuífero de Guadalcanal-San Nicolás: el Cerro del Hierro, el Nacimiento del Huéznar y las Cascadas del Huesna.



Cerro del Hierro

Situado al sureste de la localidad de San Nicolás del Puerto, es un lugar de excepcional interés tanto hidrogeológico como geológico y geomorfológico. Es, además, un testigo del importante pasado minero de la región, actividad que además propició que quedara al descubierto –tras la explotación de las arcillas ricas en hierro que lo recubrían- la espectacular morfología kárstica que actualmente se puede contemplar en él. Desde el año 2003 está protegido con la categoría de Monumento Natural de Andalucía.

El Cerro del Hierro está formado por un paquete de calizas cristalinas y mármoles cámbricos de más de 100 m de espesor, que constituyen los niveles superiores de la unidad estratigráfica denominada “Capas de Campoallá”, ampliamente representada en el Parque Natural. Las calizas y mármoles se encuentran intercaladas entre materiales pizarrosos igualmente cámbricos. La estructura del Cerro del Hierro corresponde a un sinclinal asimétrico, con suave buzamiento de los flancos (**Figura 4**).

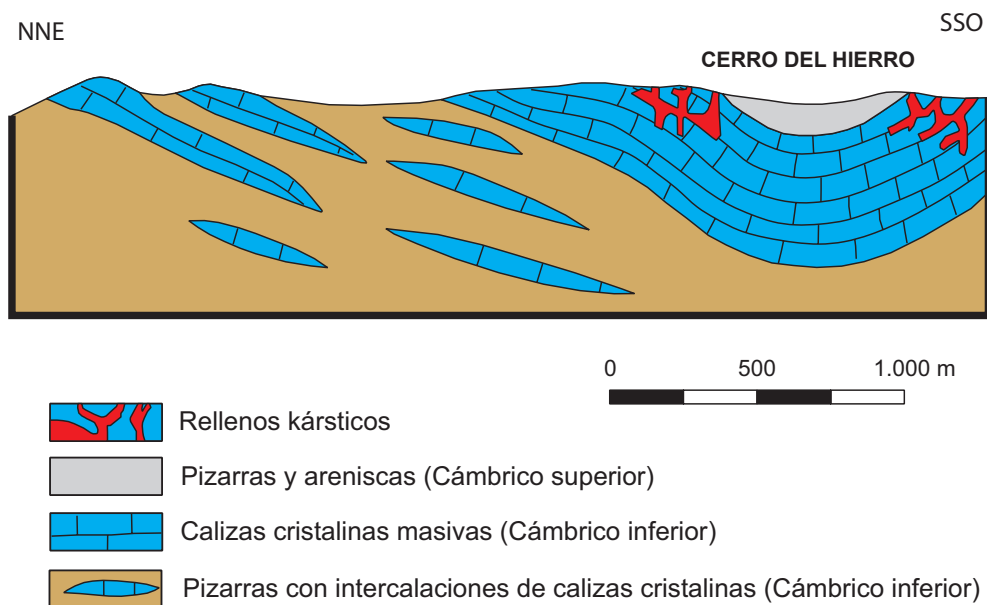


Figura 4. Corte geológico que muestra la estructura sinclinal del Cerro del Hierro (Moreno et al., 2008)

En este paraje se presenta el conjunto kárstico más espectacular y mejor desarrollado de la provincia de Sevilla y uno de los más sobresalientes de España. Los mogotes y agujas de gran tamaño en los carbonatos cámbricos, que dan lugar a un “macrolapiaz”, junto con callejones y lapiaces de menor tamaño, son las morfologías exteriores más llamativas. La morfología endokárstica está representada por un considerable número de cavidades, entre las que destacan la Cueva del Árbol y, sobre todo, la Sima del Hierro, con cerca de 60 m de profundidad.



Morfología exokárstica de grandes pináculos en el Cerro del Hierro

Los residuos de la disolución de los carbonatos, las arcillas rojas que se explotaron por su alto contenido en minerales de hierro, aún siguen presentes en algunos puntos, proporcionando un llamativo contraste cromático con los colores blancos y grisáceos de las calizas y mármoles.



Arcillas rojas enriquecidas en hierro que rellenan los huecos del lapiaz. Estas arcillas son el residuo de la disolución de las calizas marmóreas, que a su vez están impregnadas de bolsadas irregulares de hematites

El gran desarrollo de la karstificación confiere a la zona una permeabilidad muy elevada. Ello, unido a su morfología deprimida –propiciada por las labores mineras desarrolladas durante siglos- y a la ausencia de vías de evacuación superficial del agua, hacen de este paraje una excepcional zona de recarga del acuífero de Guadalcanal-San Nicolás.



La intensa karstificación y su morfología deprimida hacen del Cerro del Hierro una zona preferencial de infiltración del agua de lluvia en el acuífero de Guadalcanal-San Nicolás

Nacimiento del Huéznar

Situado a la entrada de la población de San Nicolás del Puerto, viniendo desde Constantina, es no sólo el manantial más caudaloso del acuífero de Guadalcanal-San Nicolás, sino de toda la provincia de Sevilla.

El manantial surge en el contacto por falla entre calizas en bancos gruesos con intercalaciones de pizarras y otros materiales mucho menos permeables por la presencia mayoritaria de pizarras (**Figura 5**). Los primeros forman parte de la serie detrítica-carbonatada de “Campoallá”, mientras que los segundos forman parte de una serie detrítica superior, conocida como “Capas de Alanís”. Ambas unidades son de edad Cámbrico inferior.

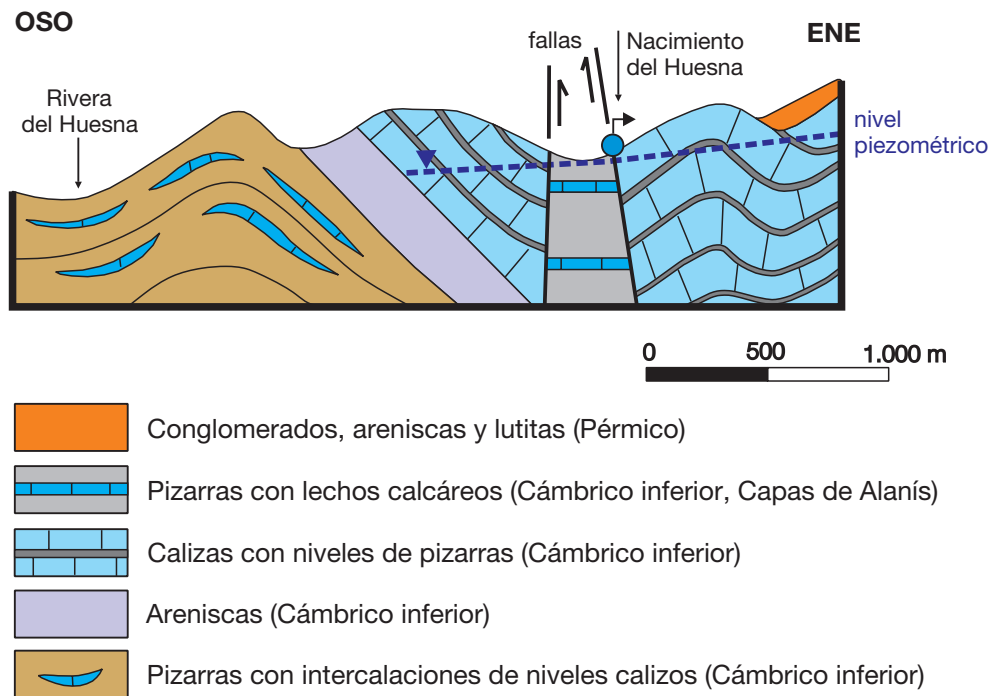


Figura 5. Corte hidrogeológico explicativo del Nacimiento del Huéznar

El agua del manantial, situado en una zona habilitada como recreativa, surge por varios puntos, aunque gran parte de la misma se concentra en la poza situada junto a un panel explicativo. El caudal que drena el manantial representa la mayor parte del volumen de agua que se descarga en la mitad oriental del acuífero de Guadalcanal-San Nicolás. Su caudal medio es de 150 litros por segundo, con caudales máximos que han llegado a superar los 500 litros por segundo. El manantial no llega a secarse nunca, salvo en periodos de muy prolongada sequía. La proximidad del sondeo de abastecimiento a San Nicolás del Puerto le resta cierto caudal a la surgencia.



Nacimiento del Huéznar, en San Nicolás del Puerto

El agua, de muy buena calidad, es de tipo bicarbonatada cálcica. Los excedentes de agua de la surgencia, es decir, los que no se usan para abastecimiento a San Nicolás, contribuyen a la alimentación y mantenimiento del agua en el cauce del Rivera de Huéznar y acaban en el embalse del Huéznar, al sureste de la localidad de El Pedroso.

Cascadas del Huesna

Este lugar es, junto con el Cerro del Hierro, el otro espacio del Parque declarado Monumento Natural. Las cascadas se localizan a poco más de un kilómetro al oeste de San Nicolás del Puerto, junto al punto kilométrico 12 de la carretera que va de esa población a Cazalla de la Sierra (SE-7101).

Las cascadas del Huesna son una serie de saltos de agua de gran espectacularidad, en los que se han formado –y se siguen formando- depósitos travertínicos, que son rocas muy porosas de composición caliza y con abundantes impresiones de restos vegetales, formada por la precipitación de aguas con alta concentración en carbonatos e iones de calcio. La formación de los travertinos se produce gracias a los desniveles topográficos existentes y a la vegetación del propio cauce y su ribera, que propician la pérdida de CO_2 que lleva el agua y, consecuentemente, el depósito o precipitación de los carbonatos.



Vista de una de las cascadas del Huéznar (foto F.J. Hoyos)

Los escalones topográficos que originan las cascadas –y que, por tanto, favorecen la formación del travertino- se deben a la existencia de dos fallas. Las fallas, por desplazamiento de un bloque sobre otro, han triturado la roca, dando lugar a lo que se conoce como “brecha de falla”, una roca en la que aparecen fragmentos angulosos, estrías y mezclas de diferentes tamaños de esos fragmentos rocosos triturados. Otro factor es igualmente decisivo en la génesis de los travertinos: la disolución de la roca caliza del sustrato por el agua, en este caso unas calizas en bancos gruesos con niveles de pizarras. Esta disolución es la que permite, a su vez, que el agua presente altos contenidos en carbonatos e iones de calcio, que finalmente precipitan formando los travertinos (**Figura 6**).

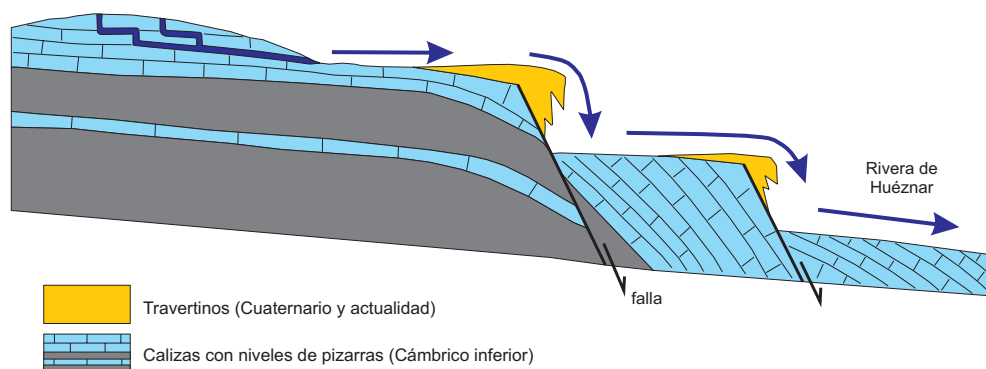


Figura 6. Esquema explicativo de la génesis y funcionamiento de las cascadas del Huesna

El agua de las cascadas procede, en su mayoría, de la descarga del sector oriental del acuífero de Guadalcanal-San Nicolás y revela la importante circulación subterránea, así como la consecuente disolución, que se produce en esta zona del acuífero carbonatado. Por otra parte, mientras que los travertinos en formación indican la funcionalidad del sistema hidrogeológico, los travertinos fósiles -algunos de espesor superior a los 10 metros y situados a distintas alturas- son indicativos de que la karstificación del acuífero y la descarga de aguas carbonatadas en esta zona han actuado desde épocas pasadas y, en determinados momentos, con gran intensidad.



Travertino en formación, al pie de una de las cascadas (foto F.J. Hoyos)



Detalle de travertino fósil (foto F.J. Hoyos)

Acuífero de Constantina - Cazalla

- Características generales del acuífero
- Funcionamiento hidrogeológico
- Usos y composición química del agua subterránea

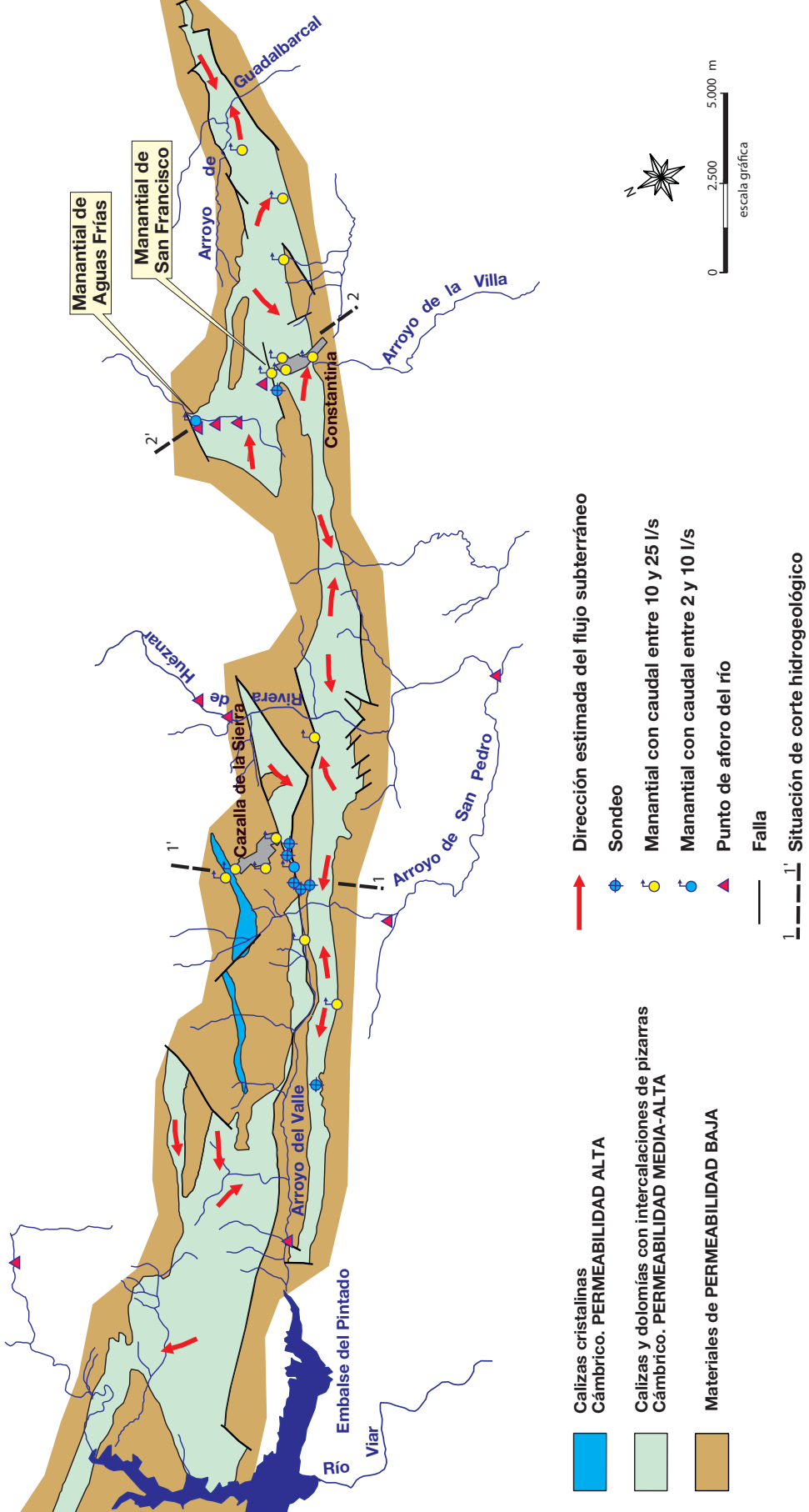


Vista parcial de la localidad de Constantina

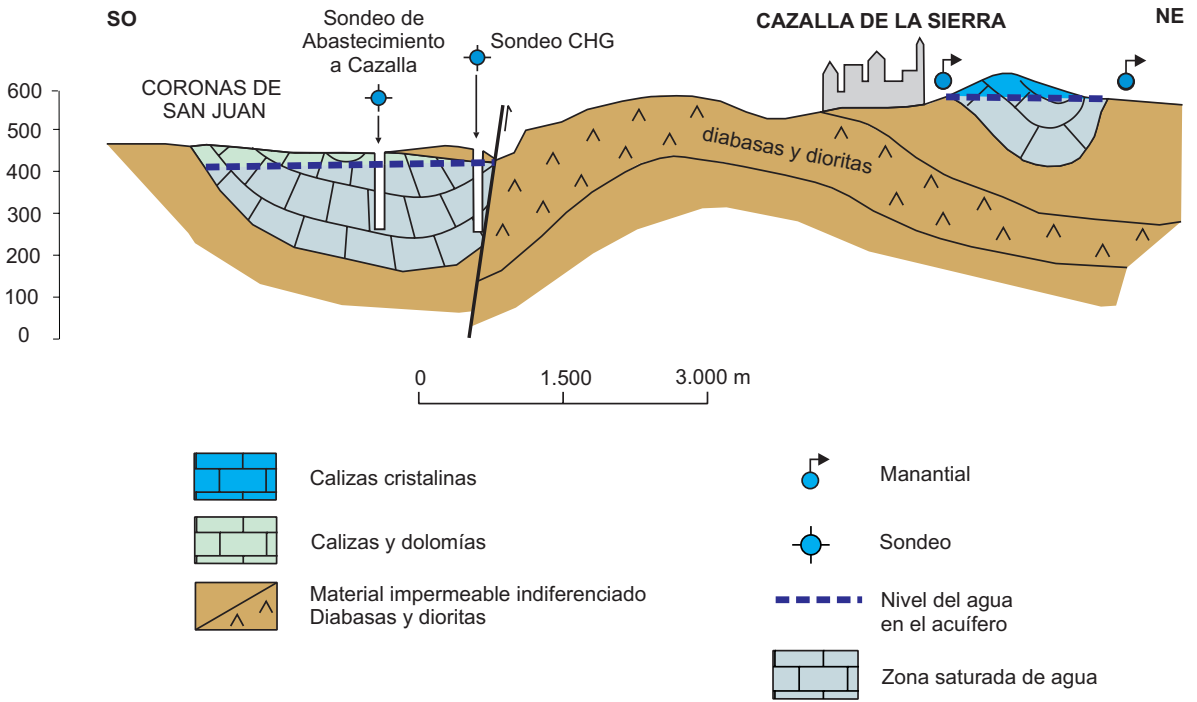


Fuente del Judío, en Cazalla de la Sierra

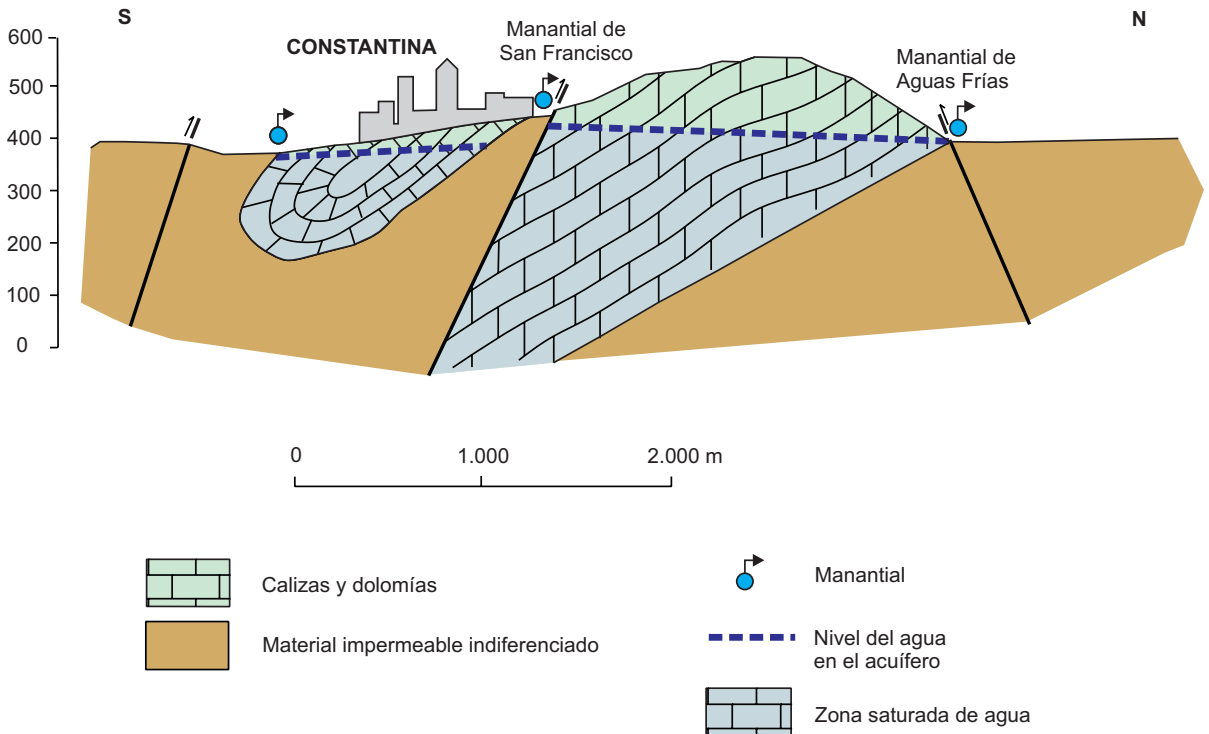
ACUÍFERO CONSTANTINA - CAZALLA



CORTE HIDROGEOLÓGICO 1-1'



CORTE HIDROGEOLÓGICO 2-2'



CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ACUÍFERO

El acuífero de Constantina-Cazalla queda incluido íntegramente en los términos municipales de Constantina y Cazalla de la Sierra. La superficie de afloramientos permeables, 74 km², se desarrolla formando una banda alargada en dirección NO-SE, situada en el centro del Parque Natural. Esta banda presenta una longitud de 43 km y una anchura variable entre 0,5 y 4 km.

Los límites del acuífero, de carácter tectónico, son materiales de diversa naturaleza del Cámbrico inferior: pizarras, gneises, gabros y rocas volcánicas. El sustrato impermeable del acuífero lo constituye una potente formación de pizarras arcillosas del Cámbrico inferior.

La zona presenta una pluviometría media anual de unos 910 mm, con temperaturas anuales medias de 15 a 16 °C.

El acuífero se encuentra atravesado en sentido transversal por el río Rivera de Huéznar y el arroyo de San Pedro, que discurren al este y oeste de Cazalla, respectivamente. Además, en el sector meridional del acuífero, como consecuencia de las numerosas surgencias y drenajes difusos, tienen su nacimiento una serie de pequeños arroyos estacionales, como el Guadalbarcal, Vallehondo, de la Villa o el arroyo del Valle.



Arroyo de la Villa, en las inmediaciones de Constantina

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Los materiales permeables que forman este acuífero son, mayoritariamente, calizas y dolomías con intercalaciones de pizarras y, en menor proporción, mármoles, pertenecientes al conjunto detrítico-carbonatado conocido como “Capas de Campoallá”. Su edad es Cámbrico inferior y las formaciones permeables presentan potencias comprendidas entre 50 y 200 m. La estructura del acuífero es la de un sinclinal de eje NO-SE, afectado especialmente en su flanco norte por numerosas fracturas paralelas al plegamiento.

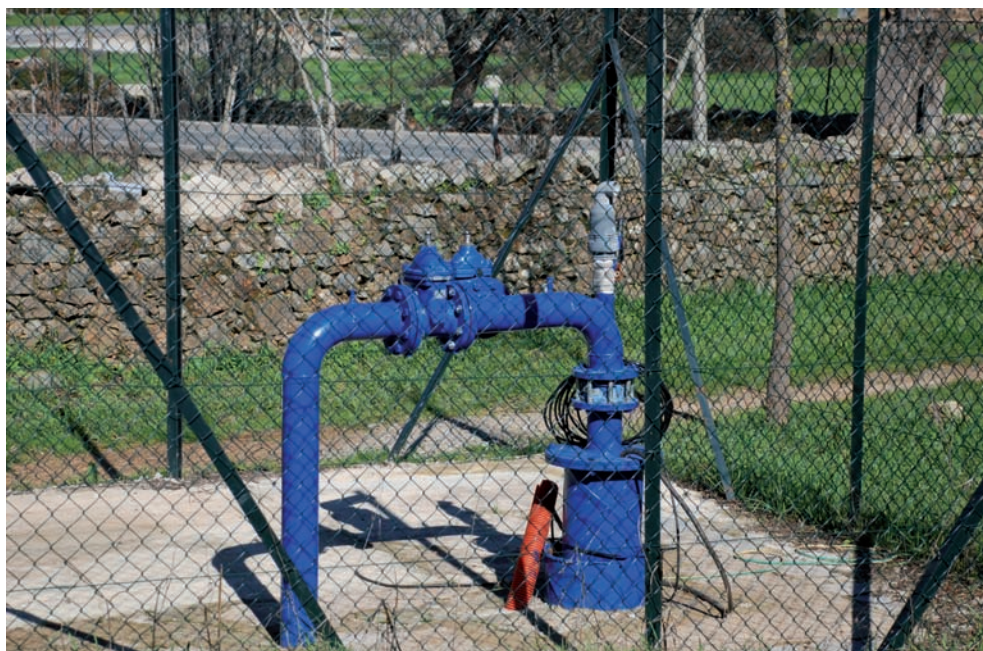
La recarga del acuífero se produce, casi exclusivamente, a partir de la infiltración del agua de lluvia caída directamente sobre los afloramientos permeables. En épocas de sequía, el río Rivera de Huéznar –que habitualmente actúa como río ganador– puede llegar a aportar agua al acuífero en la zona en que lo atraviesa.

La descarga del acuífero se produce, sobre todo, de forma natural a través de numerosos manantiales de poco caudal y funcionamiento estacional, así como a través de zonas de drenaje difuso, igualmente estacionales, localizadas en el límite sur del acuífero. Una surgencia de cierto caudal y carácter prácticamente permanente es el manantial de San Francisco, en Constantina, cuya agua se utiliza para abastecimiento a esa población.



Kiosco que alberga al manantial de San Francisco, en Constantina. En la época de realización de la fotografía (abril de 2010), se estaba restaurando para su visita

Otras descargas se producen por bombeo en distintas captaciones, que se concentran en los entornos urbanos de Cazalla de la Sierra y Constantina y se destinan en su práctica totalidad al abastecimiento de esas poblaciones.



Vista de uno de los sondeos de abastecimiento a la localidad de Cazalla de la Sierra

El balance hídrico del acuífero de Constantina-Cazalla se resume en el cuadro que aparece a continuación (**Cuadro 2**).

ENTRADAS	hm ³ /año
Infiltración de agua de lluvia	4
SALIDAS	hm ³ /año
Bombeos	1,2
Descarga a través de manantiales y ríos	2,8

Cuadro 2. Balance hídrico del acuífero Constantina - Cazalla

USOS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La mayor parte de los recursos hídricos aprovechados en las surgencias o bombeados en las obras de captación se destina a cubrir la demanda urbana de las poblaciones de Cazalla de la Sierra y Constantina. El embalse de Huéznar, situado al sur del acuífero, recibe las aportaciones del agua drenada a través de pequeños manantiales estacionales y zonas de descarga difusa, localizadas sobre todo en el límite meridional del acuífero.



Fuente del Moro, o de Nuestra Señora del Monte, en Cazalla de la Sierra

Las aguas subterráneas del acuífero presentan características químicas similares a las del acuífero de Guadalcanal-San Nicolás: facies predominantemente bicarbonatadas cálcicas, pH ligeramente básico y mineralización de media a débil.

Acuífero de Almadén de la Plata

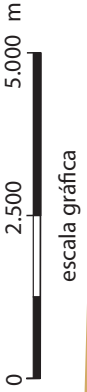
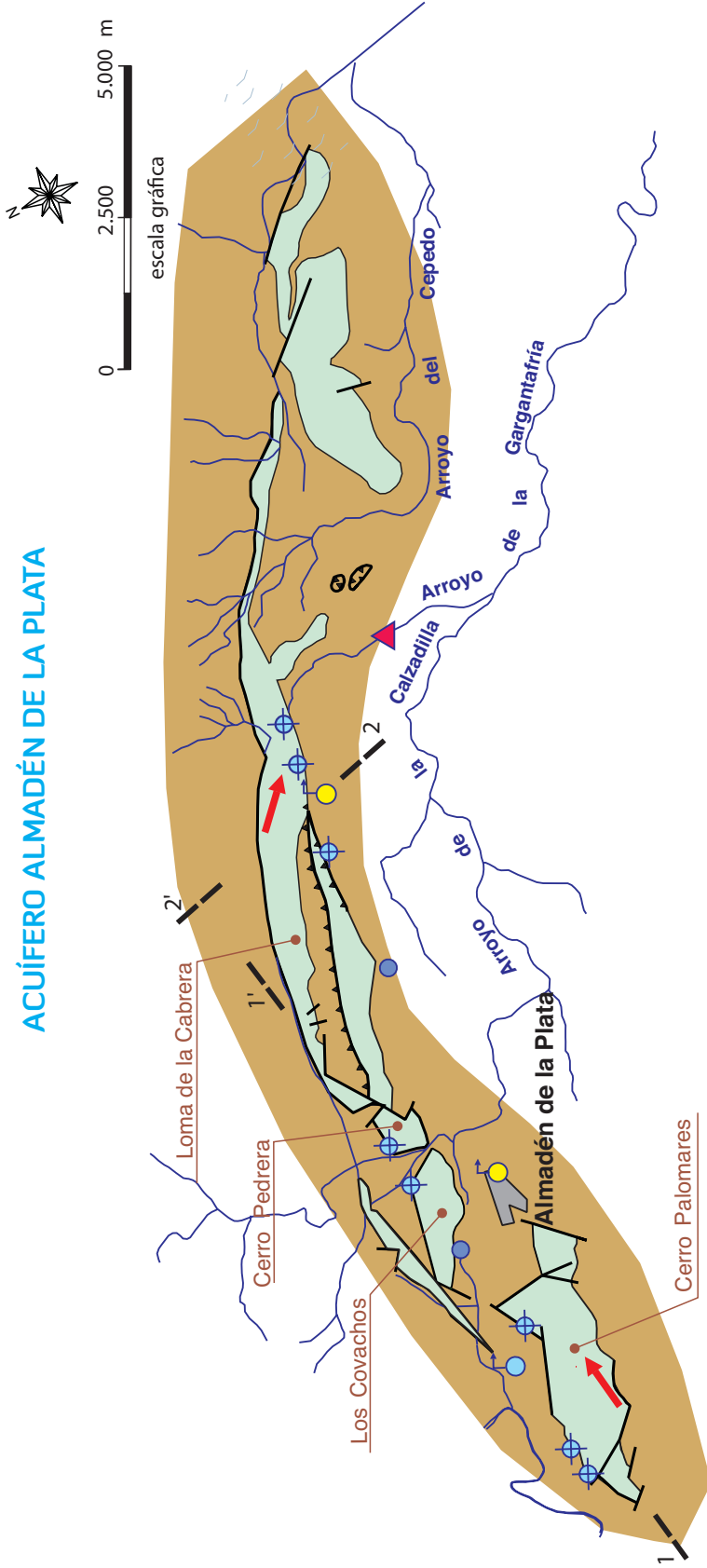
- Características generales del acuífero
- Funcionamiento hidrogeológico
- Usos y composición química del agua subterránea



Vista parcial de la localidad de Almadén de la Plata



ACUÍFERO ALMADÉN DE LA PLATA

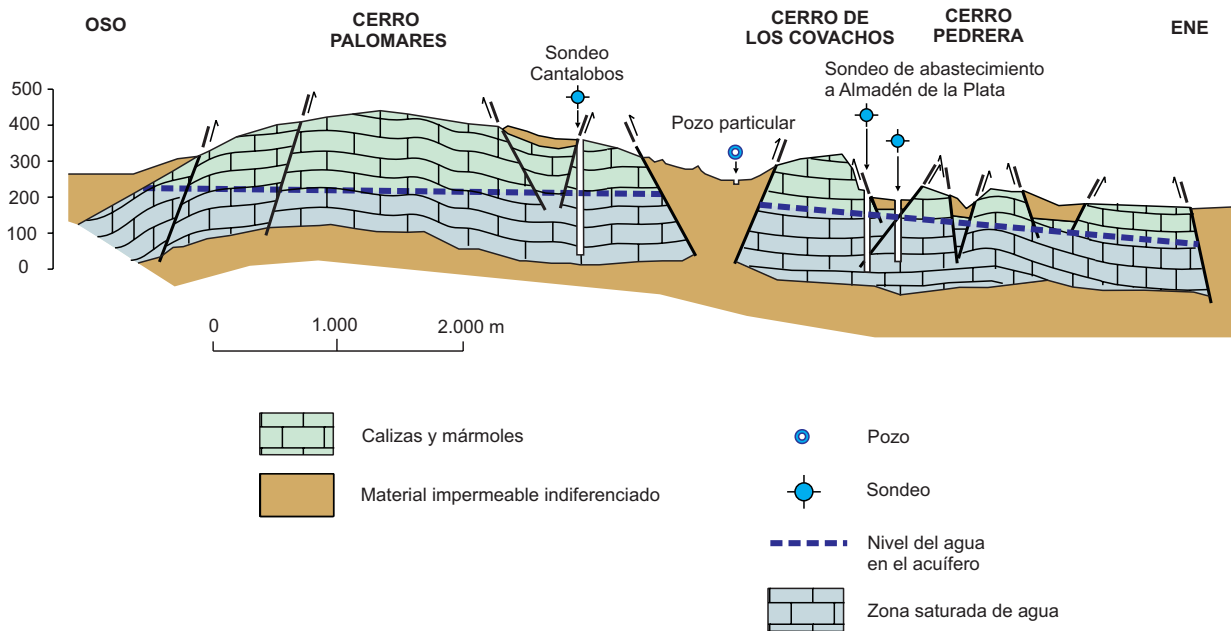


- ➔ Dirección estimada del flujo subterráneo
- ⊕ Sondeo
- ⊕ Manantial con caudal entre 2 y 10 l/s
- ⊕ Manantial con caudal entre 10 y 25 l/s
- Pozo
- ▲ Punto de aforo del río

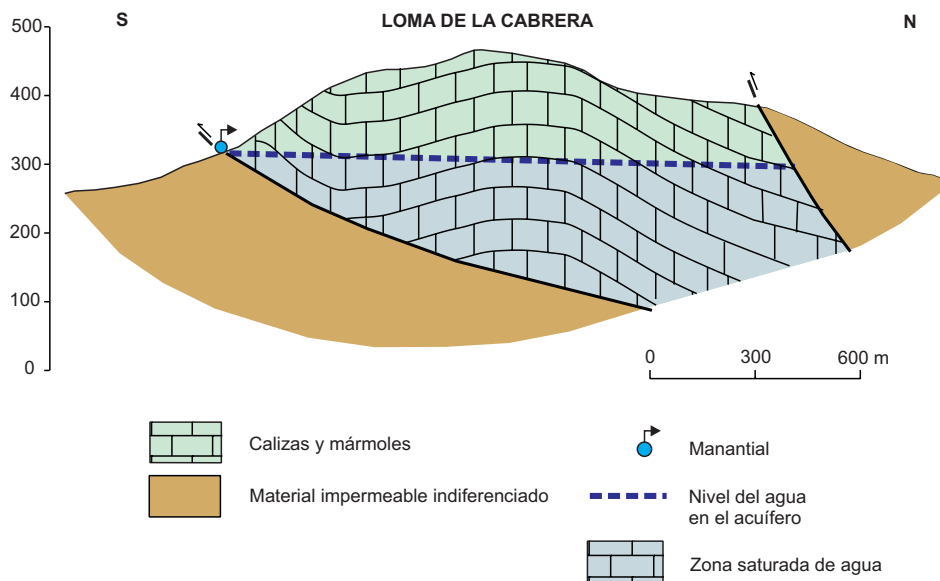
- Calizas y mármoles
Cámbrico. PERMEABILIDAD ALTA
- Materiales de PERMEABILIDAD BAJA
- Contacto por falla
- Contacto por cabalgamiento

1 1' Situación de corte hidrogeológico

CORTE HIDROGEOLÓGICO 1-1'



CORTE HIDROGEOLÓGICO 2-2'



CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ACUÍFERO

El acuífero de Almadén de la Plata se localiza en el extremo occidental del Parque Natural. Se encuentra ubicado en el término municipal de Almadén de la Plata, salvo una pequeña parte que traspasa el límite provincial y se sitúa en el municipio onubense de Santa Olalla del Cala. Presenta una superficie de afloramientos permeables de 25 km², con una forma alargada en dirección este-oeste, una longitud de unos 18 km, y una anchura variable de entre 2 km en el sector occidental y 0,5 km en el sector oriental.

Los límites del acuífero, de carácter tectónico, corresponden a materiales de baja permeabilidad (pizarras, esquistos, cuarcitas, anfibolitas y basaltos, con edades que oscilan entre el Cámbrico y el Silúrico).

La zona presenta una pluviometría anual media de 760 mm, con temperaturas medias anuales entre 15 y 16 °C.

Varios arroyos, todos de carácter estacional, atraviesan en sentido transversal, norte-sur, el acuífero: Calzadilla, Gargantafría y Cepero.



Arroyo de Gargantafría

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Las formaciones permeables del acuífero son calizas y mármoles, del Cámbrico. Es el único de los tres acuíferos importantes del Parque que pertenece a la Zona Sudportuguesa, ya que los otros dos (Guadalcanal-San Nicolás y Constantina-Cazalla) quedan incluidos en la Zona de Ossa-Morena del Macizo Hespérico. El espesor de las formaciones permeables llega a superar los 300 m, al menos en algunos puntos del sector occidental, tal como se ha comprobado durante la realización de sondeos para captación de agua.

La estructura del acuífero es muy compleja. Se trata, en realidad, de una serie de pequeños acuíferos, próximos pero desconectados hidrogeológicamente entre sí, y afectados por una intensa tectónica. Dentro de este conjunto, los que mayor interés hidrogeológico presentan son los del Cerro Palomares y de los Covachos-Pedrera, en el sector occidental, mientras que en el oriental destaca el correspondiente a la Loma de la Cabrera.



Afloramiento de mármoles en una antigua cantera, en la ladera septentrional del Cerro de los Covachos. La karstificación a que han estado sometidos estos materiales se manifiesta por las arcillas de descalcificación de color rojo, que rellenan huecos y oquedades

La recarga de estos pequeños acuíferos se produce, exclusivamente, a partir de la infiltración del agua de lluvia caída sobre los afloramientos permeables. Su descarga se efectúa de manera natural a través de numerosos y pequeños manantiales de carácter estacional, excepto en el acuífero de los cerros Covachos-Pedreira, donde la mayor parte de la salida se debe al bombeo para abastecimiento a Almadén de la Plata.



Fuente de la plaza del Pilar, en Almadén de la Plata, alimentada por un manantial

El balance hídrico del conjunto de estos pequeños acuíferos, que forman los materiales permeables de Almadén de la Plata, se resume en el **Cuadro 3**.

ENTRADAS	hm ³ /año
Infiltración de agua de lluvia	4
SALIDAS	hm ³ /año
Bombeos	3,8
Descarga a través de manantiales y ríos	0,3

Cuadro 3. Balance hídrico del acuífero Constantina - Cazalla

USOS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La mayoría de los recursos hídricos subterráneos se usa para el abastecimiento urbano de Almadén de la Plata. También, aunque con menor volumen, el agua subterránea se destina a abastecer a las numerosas explotaciones ganaderas existentes, mediante pozos de escasa profundidad o pequeños manantiales estacionales.



Caseta que alberga el sondeo de abastecimiento a Almadén de la Plata. Está emplazado en la zona oriental del Cerro de los Covachos, tiene 350 m de profundidad y está perforado totalmente en calizas marmóreas y mármoles, como los que se ven en el primer plano de la foto

Las aguas subterráneas del acuífero presentan características químicas similares a las de los acuíferos de Guadalcanal-San Nicolás y Constantina-Cazalla: facies bicarbonatadas cálcicas, pH ligeramente básico y mineralización media. Las concentraciones de nitratos en ningún caso alcanzan los 20 mg/l, por lo que sus aguas son aptas para cualquier tipo de uso.

Este acuífero, al igual que los dos descritos en los capítulos anteriores, presenta una alta vulnerabilidad a la contaminación, debido al intenso grado de fracturación, a la karstificación que localmente se desarrolla en estos materiales, y al escaso, o nulo, recubrimiento de suelo en la gran mayoría de los afloramientos permeables.

Anexos

GLOSARIO DE TÉRMINOS

BIBLIOGRAFÍA





ACUICLUÍDO: Formación geológica que puede contener agua, pero en la que la captación de un caudal apreciable no es posible en condiciones económicas aceptables, ya que, debido a la baja permeabilidad, el agua subterránea no circula significativamente en condiciones normales (bajo la acción de la gravedad), sino que es retenida en los poros.

ACUÍFERO: Formación geológica cuyos poros pueden ser ocupados por el agua y en los que ésta puede circular libremente, en cantidades apreciables, bajo la acción de la gravedad hacia los manantiales o captaciones artificiales (pozos, sondeos o galerías).

ACUÍFERO COLGADO: En la zona no saturada de un acuífero regional pueden existir capas discontinuas o lentejones de baja permeabilidad, en las que se retiene parte de la recarga durante un periodo más o menos largo de tiempo. El agua subterránea almacenada en estos acuíferos situados por encima del nivel freático regional, es descargada hacia la zona saturada inferior o bien hacia el exterior a través de pequeños manantiales.

ACUÍFERO CONFINADO: Acuífero limitado en su parte superior por una capa de permeabilidad muy baja, a través de la cual el flujo es prácticamente inapreciable. El material acuífero está enteramente saturado, de modo que en las perforaciones que alcanzan el límite superior impermeable, el agua asciende por encima del mismo, eventualmente hasta la superficie (captaciones surgentes o artesianas).

ACUÍFERO LIBRE: Acuífero en el que no existe capa confinante de baja permeabilidad; en el caso más simple, el material permeable se extiende hasta la superficie, de modo que sólo en una parte del mismo todos los poros están ocupados por agua. Por encima del límite superior de esta zona saturada (superficie o nivel freático) los poros, al menos en parte, están ocupados por aire, de modo que constituyen una zona no saturada.

ACUÍFERO MULTICAPA: Acuífero que presenta diferentes niveles saturados en la vertical, separados por otros tantos tramos impermeables.

ACUÍFERO SOBREEXPLOTADO: Acuífero en el que los recursos renovables medios son inferiores a las extracciones por bombeo, por lo que hay consumo continuado de reservas.

ACUÍFUGO: Formación geológica que no dispone de poros susceptibles de ser ocupados por el agua y, consecuentemente, tampoco puede transmitirla. Es equivalente en la práctica a una formación impermeable o de muy baja permeabilidad.

ACUITARDO: Roca o sedimento cuyos poros pueden contener agua, pero ésta sólo puede ser transmitida muy lentamente. En consecuencia, aunque estos materiales no son aptos para la ubicación de captaciones, pueden jugar un importante papel, en determinadas condiciones, en la recarga vertical o lateral de otros acuíferos.

AEROSOL: Suspensión de partículas de muy pequeño tamaño, sólidas o líquidas, en un gas (habitualmente, el aire).

AFORO: Medida del caudal de agua circulante por un río, que drena un manantial o que es capaz de suministrar una captación artificial (pozo o sondeo).

AGOTAMIENTO: Periodo del tiempo en el que se produce la disminución paulatina del caudal de un manantial en régimen no influenciado, es decir, ligado al descenso progresivo del nivel freático del acuífero que se produce en los momentos del año en que el acuífero no recibe alimentación.

ALIMENTACIÓN O RECARGA (de un acuífero): Aportes de agua de cualquier origen, que recibe un acuífero. Componente del balance hídrico de un acuífero que representa la suma de todas las cantidades de agua que el acuífero recibe, ya sea de forma natural o introducidas artificialmente, durante un período de referencia.

ALUVIALES: Sedimentos detríticos, habitualmente no consolidados, de génesis fluvial. Por lo general, por su alta permeabilidad, presentan gran interés hidrogeológico.

AMBIENTES PALEOGEOGRÁFICOS: Medios sedimentarios en los que se han originado en el pasado diferentes tipos de sedimento.

ANTICLINAL: Se dice del plegamiento de las capas del terreno en el que los materiales geológicos del núcleo son más antiguos que los de los flancos.

AZUD: Construcción hidráulica cuya función es la de represar agua de un río o arroyo para facilitar la derivación del agua hacia acequias para regadío u otros usos.

BALANCE HÍDRICO (de un acuífero): Cuantificación de las cantidades de agua recibidas y emitidas en un período determinado por un acuífero, expresada en forma de ecuación, de tal modo que la diferencia entre las entradas y las salidas deben ser igual a la variación de las reservas (del agua almacenada) en el período considerado. Se denominan componentes del balance a cada una de las variables que intervienen en el mismo; entre las entradas, merecen ser citadas las que proceden de la infiltración de una parte de la precipitación o de la escorrentía superficial, el retorno de riego, es decir la llegada al acuífero del excedente de agua de riego, las aportaciones laterales de otros acuíferos, etc; entre las salidas las más importantes son las concentradas en forma de manantiales, las difusas a los cursos de agua, la descarga hacia otros acuíferos, las salidas directas al mar, y las extracciones por bombeo, entre otras.

BASAMENTO: Complejo indiferenciado de rocas de cierta antigüedad, infrayacentes a aquellas que afloran en una región.

CABALGAMIENTO: Desplazamiento de orden kilométrico de un bloque o escama por encima de otro subyacente a lo largo de un plano de falla poco inclinado.

CANCHALES: Depósito de fragmentos rocosos angulosos acumulados a los pies de las laderas o paredes rocosas superficiales.

CARBONÁTICOS (materiales, acuíferos, etc.): Rocas de naturaleza calcárea o dolomítica o acuíferos ligados a las mismas. Las rocas sedimentarias más importantes de este grupo son las calizas y dolomías, en las que el mineral predominante es respectivamente la calcita, o carbonato de calcio y la dolomita o carbonato cálcico-magnésico.

CAREOS: Aplicación del agua mediante zanjas escavadas en la superficie del terreno, con la finalidad principal de lavar el suelo o recargar acuíferos.

CARGA HIDROSTÁTICA: Presión existente en cualquier punto de la zona saturada de un acuífero equivalente a la altura piezométrica.

CAUDAL DE BASE: Caudal correspondiente a las aportaciones (de un manantial o río) al final del período anual de agotamiento, es decir, cuando la descarga de los acuíferos se realiza en régimen no influenciado, por haber cesado la recarga del sistema.

CAUDAL ESPECÍFICO: Caudal extraído en un pozo o sondeo por unidad de descenso producido. Habitualmente se expresa en litros/segundo por metro.

CAVERNAS O CUEVAS: Formas endokársticas de conducción con desarrollo horizontal en el interior de los macizos rocosos carbonáticos o evaporíticos originados por la disolución de la roca a favor de los cursos de agua subterránea. Se consideran activas cuando circula agua por ellas, e inactivas cuando se sitúan muy por encima del nivel del acuífero.

COBERTERA: Conjunto de formaciones geológicas, de origen sedimentario, por encima del basamento.

COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO: Constante hidrodinámica propia de un manantial. Su valor caracteriza la ley de decrecimiento exponencial, en régimen no influenciado, del caudal del manantial.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO: Relación entre el volumen de agua liberado por una columna de acuífero de superficie unidad, cuando el nivel piezométrico desciende una unidad, y un volumen unitario de acuífero. En los acuíferos confinados este valor depende muy directamente de la compresibilidad y la expansibilidad del agua y del medio acuífero y del espesor de éste. En los acuíferos libres, el coeficiente de almacenamiento equivale en la práctica a la porosidad eficaz.

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA: Es el cociente, expresado en tanto por ciento, de las aportaciones totales de agua de una cuenca hidrográfica respecto a la precipitación.

COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN: Es el cociente, expresado en tanto por ciento, de la infiltración de agua en el subsuelo respecto a la cantidad de agua precipitada, expresadas ambas por lo general por sus valores medios anuales.

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (o conductividad hidráulica): Parámetro que expresa cuantitativamente la permeabilidad de un material frente a la circulación de un fluido de densidad y viscosidad determinadas. Puede definirse como el volumen de dicho fluido que atraviesa, por unidad de tiempo y bajo el efecto de un gradiente hidráulico unitario, una unidad de superficie perpendicular a la dirección del flujo, en condiciones tales que sea aplicable la ley de Darcy.

COMPOSICIÓN QUÍMICA E ISOTÓPICA: Conjunto de sustancias químicas, y los respectivos valores isotópicos de algunas de estas sustancias (oxígeno e hidrógeno fundamentalmente) que incorpora el agua en su circulación por el terreno.

COMUNIDADES DE RIBERA: Grupo de especies vivas que caracterizan los ambientes que bordean a ríos y arroyos.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (de las aguas): Facultad de transmitir la corriente eléctrica debido a la presencia de las sales disueltas en el agua. Es una magnitud indicativa, por tanto, del contenido salino total de un agua, con el que mantiene una relación directa. Se mide en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens por centímetro) y se suele referir a una temperatura estándar de 25°C . El agua subterránea natural presenta valores de algunos centenares de $\mu\text{S}/\text{cm}$.

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA: Ver coeficiente de permeabilidad.

CONO DE DEPRESIÓN: También llamado cono de bombeo. El término alude a la forma que adopta el nivel piezométrico alrededor de una captación sometida a extracción, de modo que los descensos provocados por el bombeo son mayores cuanto menor es la distancia al pozo.

CORDILLERA BÉTICA: Alineación montañosa que conforma la unidad geológica y orográfica del S y SE de la Península Ibérica. Se formó durante la orogenia alpina, a finales del Mioceno, hace unos 15 a 10 millones de años.

CUENCA HIDROGRÁFICA: Territorio vertiente a un mismo cauce o conjunto de cauces.

DARCY (Ley de): Ley que expresa la proporcionalidad entre el caudal (q) de un líquido que circula a través de un medio poroso y el gradiente hidráulico (i) de la siguiente forma: $q=ki$, donde k es una constante característica del medio. Esta ley sólo es válida cuando el flujo es laminar. El coeficiente k se llama permeabilidad o conductividad hidráulica y responde a la expresión $V=kh/l$, donde V es la velocidad, h la carga hidrostática y l la longitud del flujo.

D.B.O. (Demanda bioquímica de oxígeno): Medida de la cantidad de oxígeno necesaria para eliminar la materia orgánica contenida en el agua mediante procesos biológicos aerobios, de modo que constituye un índice de contaminación. Usualmente se refiere a cinco días, lo que se representa con las siglas DBO_5 y se expresa en mg/l de oxígeno.

DEMANDA DE AGUA: Volumen de agua que es requerido en un entorno determinado para los diferentes usos (urbano, agrícola, industrial o ambiental) en las condiciones económicas en que esta agua es ofrecida.

DESCARGA (de un acuífero): Conjunto de las salidas de agua, de cualquier tipo, de un acuífero; las más usuales se producen por bombeos, surgencias y de forma oculta hacia otros acuíferos limítrofes o el mar. Se suele expresar en hm^3/a o su equivalente en millones de $\text{m}^3/\text{año}$. Se habla de descarga difusa cuando ésta se produce a través de numerosas pequeñas surgencias próximas entre sí.

DETRÍTICOS (materiales, acuíferos,...): Calificativo relacionado con el origen de un tipo de rocas, constituidas por la acumulación de fragmentos de diversa naturaleza y tamaño; las partículas constituyentes reciben distintos nombres según su tamaño que, de menor a mayor son: arcilla, limo, arena y grava. El comportamiento frente

a la circulación hídrica puede variar en las rocas constituidas por los mayores tamaños de grano, que son las que por su permeabilidad presentan mayor interés hidrogeológico, según que los granos estén o no trabados entre sí con la presencia de una matriz (constituida por granos de menor tamaño) o de cemento (de precipitación química).

DETRITUS: Resto de la disgregación en partículas de una masa sólida obtenida por el útil de corte de máquina perforadora de sondeos. También se conoce como ripio.

DIACLASA: Fractura en una roca sin desplazamiento relativo de los bloques.

DOLINAS: Depresiones cerradas de origen kárstico. Constituyen una de las formas superficiales más habituales del modelado kárstico. Existen diversos tipos, siendo los más frecuentes los de disolución, las de colapso y las aluviales. El desarrollo de un gran número de dolinas sobre una superficie da lugar a la formación de un campo de dolinas, mediante un proceso denominado dolinización. La coalescencia de varias dolinas da origen a las uvalas, las cuales pueden evolucionar en casos extremos hasta la formación de un polje, o depresión kársticas de tamaño kilométrico.

DOMINIO PALEOGEOGRÁFICO: Regiones de la superficie terrestre de dimensiones considerables, individualizadas geodinámicamente, y con características estratigráficas y tectónicas comunes.

DUREZA: Alude, normalmente, al contenido total de iones de calcio y magnesio disueltos presentes en un agua. Es indicativa del poder incrustante. Hay varios tipos de dureza; la más usada, la dureza total, se expresa en grados franceses ($1^\circ F = 10 \text{ mg/l de } \text{Co}_3\text{Ca equivalente}$).

EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales.

EMBALSE SUBTERRÁNEO: Término equivalente al de acuífero, pero que hace especial referencia a la existencia de un volumen de agua subterránea almacenado (reservas) y de unos recursos hídricos renovables, cuya regulación (e incluso su cuantía) puede ser además incrementada mediante determinadas actuaciones, como la recarga artificial, o la regulación de manantiales.

ENDOKARST: Karst subterráneo, o conjunto de formas de disolución desarrolladas en el interior de los macizos kársticas, como consecuencia de la circulación de agua a través de las discontinuidades.

ENDORRÉICO: Las aguas de un territorio que fluyen hacia el interior de éste, sin desagüe a un río o al mar.

ENSAYO DE BOMBEO: Prueba que consiste en bombear agua subterránea de una captación durante un cierto período de tiempo y observar la variación que se produce en los niveles piezométricos del acuífero. Puede usarse tanto para conocer la capacidad o el rendimiento de una captación, como para determinar las características hidráulicas del acuífero.

ESCAMAS: Masa de rocas de grandes dimensiones que se apila o se desplaza sobre otras, mediante un cabalgamiento.

ESCORRENTÍA (superficial): Parte de la precipitación que discurre de forma superficial sobre el terreno. También se habla de escorrentía subterránea cuando el agua fluye por debajo del suelo, y de escorrentía subsuperficial o hipodérmica cuando el agua discurre por debajo del suelo pero muy próxima a la superficie. La suma de todas ellas es la escorrentía total.

ESPELEOTEMAS: Depósitos de origen químico (fundamentalmente calcita y aragonito) generados en el interior de las cuevas. Los más habituales son las estalactitas, que son concreciones que enraízan en el techo; estalagmitas, que se disponen sobre el suelo; y columnas, que son estalactitas y estalagmitas unidas, y cortinas, aunque existe una gran variedad de tipos, con morfología y orígenes diferentes.

ESTACIÓN DE AFOROS: Dispositivo hidráulico construido o instalado en el cauce un río o en la salida de un manantial donde se mide el caudal de agua que lleva una corriente expresado en volumen por unidad de tiempo.

ETAP: Estación de Tratamiento de Aguas Potables.

EVAPOTRANSPIRACIÓN: Se incluyen bajo esta denominación el conjunto de procesos por los que una parte del agua de precipitación es devuelta en forma de vapor desde la superficie continental a la atmósfera, sin que pase a infiltrarse hacia el subsuelo. Las dos componentes significativas, englobadas en esta variable, son la evaporación desde la superficie del suelo o desde las superficies de agua libre y la transpiración vegetal. Es necesario distinguir entre evapotranspiración potencial y evapotranspiración real. Evapotranspiración potencial es la evapotranspiración que tendría lugar, en unas condiciones climáticas dadas, si no hubiese limitación en la cantidad de humedad disponible en el suelo, de modo que ésta pudiera satisfacer completamente la demanda atmosférica. La evapotranspiración real es la que realmente se produce bajo unas condiciones dadas por el clima y de contenido de humedad del suelo, de modo que la demanda atmosférica no puede ser satisfecha si el suelo no dispone del agua suficiente.

EXOKARST: Karst superficial o externo. Comprende el conjunto de formas de disolución desarrolladas en la superficie de los macizos kársticos; los más habituales son las dolinas y los lapiazes.

FACIES HIDROQUÍMICAS: Clasificación de las aguas subterráneas en función del compuesto químico más abundante en disolución. Existen facies aniónicas (carbonatada, sulfatada y clorurada) y catiónicas (cálcica, magnésica y sódica).

FALLA DE DESGARRE: Variedad de falla en la que el movimiento relativo entre los bloques es predominantemente horizontal, en la orientación de la dirección del plano de falla.

FORONÓMICO: Relativo a los aforos, es decir a las medidas de los caudales.

FREATOFITAS (o VEGETACIÓN FREATÓFILA): Plantas cuya toma principal de agua proviene directamente de la capa freática, con la que sus raíces están siempre en contacto a través de la franja capilar. Suelen ubicarse en la ribera de los ríos o

en cursos de agua secos, pero donde el nivel freático no es muy profundo. Un ejemplo típico lo constituye el tradicional bosque en galería, formado por olmos, alisos, chopos y sauces. Una freatofita típica introducida artificialmente en España es el eucalipto, que tiene facilidad para profundizar las raíces y asegurarse el suministro de agua, lo que puede hacer en detrimento de otras especies.

GALERÍA: Túnel artificial excavado en un acuífero, con la finalidad de captar aguas subterráneas por gravedad. También se denomina galería los conductos endokársticos de trazado subhorizontal.

GEOTERMÓMETRO: Es un término aplicado a diferentes técnicas o indicadores que sirven para determinar las temperaturas a que se han producido ciertos procesos geológicos. En concreto, se aplican en hidrogeología para determinar la “temperatura de base” en relación con manifestaciones hidrotermales de aguas subterráneas calientes.

GLACIS: Superficie y depósito correlativo con pendiente muy suave, que enlaza una zona de mayor relieve con otra prácticamente llana.

GOURS: Concreciones en forma de pequeñas presas semicirculares, desarrolladas sobre una pendiente por la que circula un flujo de agua temporal o permanente, ubicadas en el interior de las cavidades kársticas.

GRADIENTE HIDRÁULICO: Es la variación, con la distancia, de la altura del nivel piezométrico de un acuífero en una dirección dada. Esta dirección suele ser la de máxima pendiente de la superficie piezométrica, que coincidiría con las de las líneas de corriente.

HIDROGEOLOGÍA: Ciencia, que estudia las aguas subterráneas.

HIDROGRAMA: Gráfico que representa la variación en el tiempo de alguna variable relacionada con el agua; muy en particular, se utiliza este término para referirse a las gráficas que representan la variación en el tiempo del caudal de un manantial (o de un río) o del nivel piezométrico en un pozo o sondeo.

HUMEDAL: Zona húmeda. Depresión suave del terreno que está temporal o permanentemente inundada, regulada normalmente por aportes de aguas superficiales y/o subterráneas, y en constante interrelación con la flora y fauna asociada.

INFILTRACIÓN (INFILTRACIÓN EFICAZ): Es el flujo de agua descendente desde la superficie del terreno hacia los niveles más profundos del suelo o hasta la zona saturada. Se denomina “infiltración eficaz” a la fracción, expresada como porcentaje de la precipitación media anual, que alcanza la zona saturada y contribuye, por tanto, a la recarga de los acuíferos (equivalente a coeficiente de infiltración).

INTRUSIÓN MARINA: Efecto natural o artificial, en los acuíferos costeros, debido a la penetración tierra adentro de la interfase agua dulce-agua salada. Bien de forma natural por disminuir la recarga o alimentación o por efecto antrópico, puede reducirse significativamente el flujo subterráneo de agua dulce que descarga al mar.

ISOHIDROHIPSA (LÍNEA): Línea que une los puntos de la superficie piezométrica situados a una misma cota. El conjunto de líneas isohidrohipsas correspondientes a una serie de cotas regularmente espaciadas, proyectadas sobre un plano, constituye el mapa piezométrico del acuífero, es decir el mapa de “curvas de nivel” de la superficie piezométrica correspondiente.

ISOPIEZA O LÍNEA ISOPIEZOMÉTRICA: Este término se utiliza a menudo como equivalente a curva de nivel de la superficie piezométrica. Sin embargo, tal utilización es incorrecta, pues el término isopieza significa literalmente “igual presión”, carácter que realmente es propio de cualquier línea situada sobre la superficie piezométrica, dado que todos los puntos de ésta se encuentran a presión atmosférica. Por esta razón, las curvas de nivel de la superficie piezométrica deben ser denominadas más propiamente isohidrohipsas.

ISÓTOPO: Se dice que dos átomos son isótopos o presentan una relación de isotopía cuando teniendo el mismo número atómico, es decir, el mismo número de protones en su núcleo, poseen distinto número másico, es decir, distinto número de neutrones en su núcleo. Los isótopos más utilizados en hidrogeología son los de los elementos constituyentes de la molécula del agua, oxígeno e hidrógeno.

ISOYETA (O ISOHIETA): Línea que une, en un mapa, puntos de la superficie que reciben igual cantidad de precipitación.

KÁRSTICO: Se denomina kárstico a un paisaje que muestra aspectos morfológicos peculiares en relación con la disolución de rocas, similares a los que existen en la región denominada Karst clásico, entre Eslovenia e Italia. Desde el punto de vista hidrogeológico, los terrenos kársticos se caracterizan por un marcado predominio de la circulación subterránea sobre la superficial. Dicha circulación suele realizarse a favor de huecos o conductos que, en algunos casos, adquieren grandes dimensiones, por lo que el flujo subterráneo se realiza a velocidad alta. Por otra parte, el fuerte condicionamiento estructural en la orientación de tales huecos o conductos motiva una gran anisotropía en los valores de la permeabilidad.

LAPIACES: Morfología exokárstica, caracterizada por la presencia de pequeñas depresiones, canales y surcos separados por crestas agudas, formados por el efecto disolvente del agua, actúa sobre la superficie de la roca carbonática expuesta al aire libre o enterrada a poca profundidad. Los hay de muy diferentes tamaños, desde microlapiaces, de algunos milímetros, hasta lapiaces de grandes crestas que pueden superar la decena de metros.

LEY DE DARCY: Ver Darcy.

LIMNÍGRAFO: Aparato que permite obtener un registro gráfico (limnigrama) de la evolución en el tiempo de la altura de una lámina de agua subterránea. Utilizado especialmente para controlar la variación del nivel piezométrico en una captación o el caudal de un manantial o río en una estación de aforos.

LÍNEA DE CORRIENTE: Representa la trayectoria teórica, desde el punto de vista macroscópico, de una partícula de agua en movimiento.

LÍNEA EQUIPOTENCIAL: La que une puntos con igual potencial o carga hidráulica, en un medio acuífero con flujo bidimensional (considerado en un plano vertical u horizontal). En tres dimensiones se puede definir, de igual manera, una superficie equipotencial.

LISÍMETRO: Dispositivo utilizado para medir la infiltración del agua en el terreno. Están concebidos también para la medida directa de la evapotranspiración.

LITOESTRATIGRAFÍA: Distribución y características litológicas de las formaciones rocosas de una unidad determinada, ordenadas en el tiempo geológico según su orden de sedimentación.

LIXIVIADO: Líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable, enriqueciéndose en sólidos disueltos y materia en suspensión. Por lo general, se utiliza en relación con vertederos de residuos sólidos urbanos.

LLUVIA ÚTIL: Fracción de la precipitación no evapotranspirada y que, por tanto, representa los recursos hídricos totales de una cuenca; de este modo, la lluvia útil se convierte en escorrentía superficial y escorrentía subterránea.

MACIZO IBÉRICO: Aflora al norte de la Depresión del Guadalquivir, y, dentro de Andalucía, forma las alineaciones montañosas de Sierra Morena (norte de Jaén, Córdoba, Sevilla y Huelva). Está constituido por un conjunto de rocas metamórficas (pizarras, cuarcitas, calizas marmóreas) y plutónicas (granitos y rocas afines), de edades comprendidas entre el Precámbrico y el Paleozoico, plegadas y estructuradas en bandas de dirección noroeste-sureste, limitadas por importantes fracturas de alcance regional que la compartimentan en tres zonas: Centro – Ibérica (ocupa la parte más oriental, Jaén y Córdoba), Ossa – Morena (en la zona central, Córdoba y Sevilla) y Sudportuguesa (en la parte más occidental, Huelva).

MANANTIAL: Cualquier tipo de manifestación hacia el exterior del agua subterránea. Equivale al término surgencia. Posee infinidad de sinónimos locales, como nacimiento, naciente, surgencia, manadero, rezume, rezumadero, fuente, alfaguara, vertiente, venero, mina, cimbra, madre, ojo, nucle, trampal, borreguil y otros muchos.

MANTO DE CORRIMIENTO: Cabalgamiento de gran escala de unas formaciones geológicas sobre otras, con un salto o desplazamiento en la horizontal de varios kilómetros.

MAPA PIEZOMÉTRICO: Representación cartográfica de la superficie piezométrica de un acuífero (ver isopieza e isohidrohipsa), construida por interpolación de medidas puntuales de la profundidad del nivel piezométrico en diferentes puntos.

MINERALIZACIÓN: Concentración de diferentes iones y sustancias disueltas en el agua.

MODELO (de un acuífero): Representación conceptual y teórica simplificada de un acuífero. La elaboración de un modelo exige definir la estructura del sistema (límites, características geométricas, etc.) y formular las leyes que relacionan las entradas del sistema y sus respuestas (salidas), de acuerdo con los parámetros que intervienen en dichas relaciones. Los modelos pueden ser de varios tipos: reducidos, analógicos, matemáticos, de flujo o de transporte, entre otros.

MODELO MATEMÁTICO: El término se refiere generalmente a la formulación matemática de las relaciones entre los impulsos o entradas y las respuestas o salidas del sistema, teniendo en cuenta los parámetros físicos del acuífero. Un modelo de este tipo consigue simular, con auxilio del tratamiento de datos de ordenador, el comportamiento del acuífero frente a diferentes actuaciones sobre el mismo.

MURO: Es la superficie original inferior de una formación geológica, un estrato o capa, o un filón.

NECESIDAD DEL AGUA: Cantidad y calidad de agua que resulta imprescindible para alcanzar los objetivos de los diversos usos. En la práctica, sinónimo de demanda de agua.

NIVEL FREÁTICO: Superficie que abarca el límite superior de la zona saturada en un acuífero libre. Es el lugar geométrico de los puntos de un acuífero libre que se encuentran a la presión atmosférica. Su altura en un acuífero libre viene determinada por la cota que alcanza el agua en un pozo poco penetrante en reposo.

NIVEL PIEZOMÉTRICO: Altura de la columna de agua que equilibra la presión del agua del acuífero en un punto determinado. Está referida a una altitud determinada. Representa la energía por unidad de peso de agua. En acuíferos libres, coincide con el nivel freático. En acuíferos confinados, el nivel piezométrico está situado por encima del nivel freático.

OROGENIA ALPINA: La orogenia es el conjunto de procesos geológicos que se producen en el borde de las placas tectónicas y que dan lugar a la formación de una cadena montañosa y el rejuvenecimiento de otras. La orogenia alpina es una de las más recientes, ha tenido lugar en los últimos 65 millones de años, aunque su fase más acusada tuvo lugar hace unos 15 a 10 millones de años.

ÓSMOSIS: Difusión de un líquido a través de una membrana semipermeable que separa dos disoluciones de dicho líquido a concentraciones distintas.

PALEOCAUCE: Antiguo cauce fluvial actualmente inactivo, relleno por sedimentos y enterrado en la secuencia sedimentaria.

PALUSTRE: Material depositado en los ambientes de marismas, actuales o pasadas.

PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS: Características de los acuíferos que rigen su comportamiento frente a la circulación hídrica y a influencias externas (alimentación, extracciones, etc.). Parámetros fundamentales son la porosidad, el coeficiente de almacenamiento y la permeabilidad o conductividad hidráulica. Otros derivan de los anteriores; así, la transmisividad es el producto de la permeabilidad por el espesor saturado.

PELÁGICO: Alejado de la costa. Se aplica a algunos tipos de sedimentos que se originaron en medios marinos tranquilos y profundos, lejos de la acción del oleaje y la dinámica litoral.

PERCOLACIÓN: Proceso de infiltración en el terreno, por debajo de la zona de influencia radicular, de aguas utilizadas para el regadío. Es frecuente que dichas aguas arrastren en disolución componentes químicos utilizados en agricultura (abonos, pesticidas, etc.).

PERMEABILIDAD: Cualidad de un material que consiste en permitir que el agua (u otro fluido) circule a través de sus poros. Se expresa cuantitativamente por medio del coeficiente de permeabilidad.

pH: Notación empleada para designar el logaritmo decimal de la inversa de la concentración del ión hidrógeno. Se emplea como indicador de la acidez o de la alcalinidad de una disolución, según su valor sea menor o mayor de 7, que supone el pH neutro. El pH debe medirse en el campo, con el peachimetro; si se mide en el laboratorio puede haber variado debido a la pérdida de dióxido de carbono del agua de la muestra, o bien a la formación de precipitados de carbonato.

PIEZÓMETRO: Dispositivo artificial utilizado para medir la altura que alcanzaría el agua subterránea en un punto dado de un acuífero.

PLACA DE ALBORÁN: Microplaca tectónica situada entre la Península Ibérica y Africa, que comenzó a derivarse hacia el noroeste hasta colisionar con el borde del Macizo Ibérico, hace unos 30 millones de años. Esta colisión provocó la formación de la Cordillera Bética.

PLACA IBÉRICA EMERGIDA: Placa tectónica continental emergida contra la que colisionó la Placa de Alborán. Está formada por materiales geológicos muy antiguos, además de estar muy deformada y metamorfozada.

POLJE: Depresión cerrada de tamaño kilométrico, situada en una región kárstica, con vertientes generalmente escarpadas y fondo llano formado por sedimentos detríticos finos.

PONOR: Sumidero que drena las aguas superficiales de un polje o depresión kárstica de gran tamaño.

POROSIDAD: Relación entre el volumen de huecos, interconectados o no, contenidos en una roca o sedimento y el volumen total de la roca o del sedimento. La porosidad así definida se denomina “total”, aunque en hidrogeología es de empleo más común la porosidad “eficaz”, es decir la interconectada que permite el movimiento de los fluidos.

POROSIDAD EFICAZ: Relación entre el volumen de agua gravífica (agua que una roca o sedimento puede liberar por efecto exclusivamente de la gravedad) y el volumen total de la roca o sedimento.

POROSIDAD (PRIMARIA Y SECUNDARIA): Estos términos hacen alusión al origen de los huecos que determinan la porosidad de una roca o sedimento. Cuando los huecos corresponden a los espacios que existen entre los granos originales que integran una roca o sedimento, la porosidad se denomina “primaria” o intergranular, mientras que si son efecto de procesos de fracturación, de disolución o ambas, de la roca, la porosidad se denomina “secundaria”. No se trata de términos excluyentes y, de hecho, en una misma roca pueden coexistir ambos tipos de porosidad.

PREBÉTICO: Dominio geológico de la Cordillera Bética que ocupa la zona más cercana al Macizo Ibérico, el cual era el paleocontinente. Está formado por sucesiones de rocas sedimentarias que comprenden desde el Trías al Mioceno.

PRESIÓN HIDROSTÁTICA: Presión ejercida por una columna de agua en reposo, tanto sobre el fondo del recipiente que lo contiene como sobre las paredes o la superficie de cualquier objeto sumergido en él.

PUNTOS DE AGUA: Relación del conjunto de manantiales, surgencias naturales, pozos y sondeos entre otros, ubicados en un determinado ámbito geográfico, tanto si sus aguas se utilizan como si no, y cuyos datos son recogidos en un estadillo que refleja su condición administrativa, técnica e hidrogeológica.

RECARGA ARTIFICIAL: Procedimiento por el que se inyecta o añade en un acuífero agua desde la superficie. Puede realizarse por distintos métodos, ya sea favoreciendo la infiltración en superficie (método sólo aplicable en acuíferos libres) o procediendo a inyectar en una perforación (en acuíferos confinados es la única solución viable). Esta técnica contribuye a una mejor regulación de los recursos mediante el almacenamiento subterráneo de excedentes superficiales estacionales; de hecho, constituye un buen ejemplo de uso conjunto de recursos superficiales y subterráneos.

RECARGA NATURAL O ALIMENTACIÓN: Ver Alimentación.

RECURSOS HÍDRICOS: Volumen de agua renovable anualmente en un acuífero o en una cuenca hidrográfica. Sus unidades son las de un caudal, y se expresa habitualmente en hm³/año. A veces se distingue entre recursos “propios”, como es el caso, por ejemplo, de la infiltración por precipitación sobre los afloramientos del acuífero, y recursos “externos”, cuando la recarga procede de alimentación lateral de otro acuífero, de percolación de aguas superficiales o de recarga artificial.

RÉGIMEN DE DESCARGA: Modo regular o habitual de salida de agua.

REGULACIÓN DE MANANTIALES: Explotación o bombeo de uno o más manantiales (o la descarga a un río), con objeto de adecuar su funcionamiento a las exigencias y distribución en el tiempo de la demanda, de modo que se consigue un mejor aprovechamiento de los recursos para el uso considerado.

RESERVAS HÍDRICAS: Alude al volumen de agua almacenada en un embalse subterráneo por debajo de las cotas de emergencia de los manantiales. El agua subterránea de un acuífero puede dividirse en recursos (renovables anualmente) y reservas (no renovables). El término reservas puede matizarse con diferentes calificativos que hacen referencia a otras tantas circunstancias hidrogeológicas.

RESIDUO SECO: Peso de las sales precipitadas al evaporar un volumen conocido de agua, en laboratorio, a una temperatura de referencia (105-100 °C o 180 °C). El residuo seco constituye una medida de la salinidad del agua.

RETORNO DE RIEGOS: Agua que llega a la zona saturada procedente de la infiltración del agua de riegos. Se expresa, usualmente, como porcentaje de la cantidad de agua aplicada; el retorno de riegos depende de muchos factores (tipo de riego, cultivos, dotación, permeabilidad, etc.). Puede ser responsable de

un enriquecimiento progresivo en sustancias disueltas de las aguas subterráneas, sobre todo en climas áridos.

R.T.S.: Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público (B.O.E. nº 226, 20 de septiembre de 1990).

ROCAS METAMÓRFICAS: Las que han experimentado profundas transformaciones físicas y químicas debido a fuertes incrementos de la presión y de la temperatura, por lo general ligados a fenómenos orogénicos regionales. Las más abundantes son las pizarras, los esquistos y los gneises. Las posibilidades de formar acuíferos en estas rocas quedan reducidas a la zona alterada superficial o a las fracturas por fallas y diaclasas, que permiten a veces una apreciable circulación de agua. Tienen notable importancia para abastecimiento a pequeños núcleos y ámbito rural.

ROCAS SEDIMENTARIAS: Son las que provienen de sedimentos que se han consolidado debido a procesos de diagénesis. Se pueden clasificar según su origen en rocas detríticas evaporíticas (conglomerados, areniscas, arcillas), rocas químicas (calizas, dolomías), y rocas organógenas (carbones e hidrocarburos naturales). Muchas rocas sedimentarias constituyen importantes acuíferos, como las calizas y dolomías o los conglomerados y areniscas.

ROCAS EVAPORÍTICAS: Un tipo de rocas sedimentarias formadas por la evaporación de masas de agua superficiales. Las principales rocas evaporíticas son el yeso y la anhidrita (sulfato cálcico hidratado y anhidro) y la halita (sal común).

SALINIDAD: Término indicativo del contenido total en sales disueltas en un agua determinada. Suele expresarse también por el residuo seco (contenido en sales precipitadas al evaporar un litro de agua) o, indirectamente, por la conductividad eléctrica.

SALINIZACIÓN: Proceso de enriquecimiento progresivo, en el espacio y/o en el tiempo, de la concentración de sales disueltas en el agua. Este proceso puede ser de origen natural (disolución de minerales y rocas) o antrópico (intrusión marina, sobreexplotación de acuíferos).

SIMA: Cavidad kárstica de trazado fundamentalmente vertical.

SINCLINAL: Tipo de pliegue de las capas geológicas cuyo núcleo es más moderno que los flancos.

SINCLINORIO: Conjunto de pliegues complejos que forman parte de una amplia estructura geológica, cuyas formaciones del núcleo son más modernas que las de los flancos.

SISTEMAS MORFODINÁMICOS: Conjunto de procesos, estados y formas que se desarrollan en una zona determinada en función del agente externo predominante, como el agua, el viento o el hielo.

SOBREEXPLOTACIÓN (de un acuífero): Se dice cuando de forma generalizada, en el espacio y/o en el tiempo, se explota un volumen de agua superior a los recursos medios del acuífero, lo que provoca la utilización de las reservas, y un descenso continuado de los niveles de las aguas subterráneas.

SONDEO SURGENTE: Perforación en el que el agua mana libremente por la boca, debido a que esta se halla a mayor presión que la atmosférica, al haberse captado un nivel acuífero confinado.

SUTRATO O MURO: (de un acuífero): Formación geológica infrayacente de carácter impermeable.

SUMIDERO: Lugar en el que se infiltra de manera localizada un caudal de aguas superficiales. Puede ser penetrable por el hombre o no.

SUPERFICIE FREÁTICA: Superficie superior de la zona saturada en un acuífero libre.

SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA: Superficie definida por todos los puntos en los que la presión del agua, de un acuífero libre o confinado, es igual a la presión atmosférica. Su geometría puede establecerse a partir de las observaciones del nivel piezométrico en un número suficiente de pozos que penetren sólo ligeramente en la zona saturada. El límite superior de la zona saturada de un acuífero libre constituye un caso particular de superficie piezométrica (superficie freática).

TECHO: Es la superficie original superior de una formación geológica, un estrato o capa, o un filón.

TECTONIZADAS: Muy afectadas por la actividad tectónica, es decir los fenómenos de plegamiento, metamorfismo y/o de fracturación.

TEMPERATURA: Potencial calorífico referido a cierto origen. Se expresa en grados Celsius o centígrados (°C); el 0°C de esta escala de temperatura corresponde al punto de congelación del agua, y el 100°C a la transformación en vapor de agua.

TERRA ROSSA O ARCILLA DE DESCALCIFICACIÓN: El residuo insoluble de color rojizo, producto del proceso de disolución de la caliza, compuesto por minerales de la arcilla y óxidos de hierro, suele ocupar el fondo de las depresiones kársticas.

TRANSMISIVIDAD: Parámetro hidrogeológico que representa el producto del coeficiente de permeabilidad por el espesor saturado de acuífero (en un medio isótropo). Puede ser interpretado como el caudal del agua que atraviesa una franja de acuífero, orientada perpendicularmente al flujo, de anchura unidad y bajo un gradiente hidráulico unitario.

TRÉPANO: Herramienta de corte utilizada en un sistema de perforación a percusión para la realización de un sondeo. Consiste en una pieza de gran peso acabada en aristas cortantes, que realiza el trabajo de rotura, disgregación y trituración de la roca.

TURBIDITA: El depósito de sedimentos correspondientes a corrientes de turbidez en medio submarino, caracterizado por la presencia de sucesivas secuencias sedimentarias, con una parte inferior constituida por un lecho grano clasificado de sedimentos clásticos y otras capas suprayacentes de arenas, arcillas limosas y arcilla.

USO CONJUNTO: Gestión de los recursos hídricos que contempla el aprovechamiento racional de las aguas superficiales y las subterráneas, así como las desaladas y regeneradas, de acuerdo con las características globales de la cuenca hidrográfica y la distribución de la demanda.

USO DEL AGUA: Aplicación concreta del agua para un fin determinado. Los usos principales del agua son: abastecimiento urbano, agrícola e industrial.

UVALA: ver Dolina.

VENTANA TECTÓNICA: Recinto de la superficie terrestre cartografiable en el que por erosión, queda al descubierto una unidad tectónica inferior, completamente rodeada por unidades tectónicas superiores.

VERGENTE: Inclinado. En una estructura tectónica se refiere a la inclinación del plano axial (en el caso de pliegues) o del movimiento de un bloque a favor del plano de falla.

ZONA NO SATURADA: Es la zona comprendida entre la superficie del terreno y el nivel freático, en la que los poros que existen en la roca o en el suelo están vacíos, o contienen agua a presión inferior a la atmosférica, además de aire y otros gases.

ZONA SATURADA: La que los poros están ocupados en su totalidad por agua. Es la zona más alejada de la superficie del acuífero.

ZONAS DE REZUME: Áreas en las que el agua sale al exterior en gotas o con un caudal muy pequeño a través de los poros o discontinuidades de la roca.

ZONA EXTERNA: En el caso de la Cordillera Bética, representa una de las dos grandes zonas en las que se divide. Está limitada al Norte, por el Macizo Ibérico o la Cuenca del Guadalquivir, y al Sur, por la Zona Interna, al Oeste con las Unidades del Campo de Gibraltar, y al Este con el Mar Mediterráneo. Se caracteriza por estar formada por una cobertera sedimentaria de edad Triásico-Mioceno, muy deformada con pliegues, fracturas y cabalgamientos.

ZONA INTERNA: En el caso de la Cordillera Bética, una de las dos zonas en la que se divide esta alineación montañosa. Se compone de formaciones antiguas, de edad Paleozoico-Terciario, con una intensa deformación tectónica. La mayoría de las rocas que las constituyen son metamórficas y se apilan en sucesivas unidades tectónicas superpuestas. Son tres los complejos tectónicos diferenciados, ordenados de más bajo a más alto en el dispositivo estructural: Nevado-Filábride, Alpujarride y Maláguide.



- Alfaro, P. Andreu, J.M., González J. et al. 1999. Itinerario Geológico de la Cordillera Bética. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Colegio Oficial de Biólogos y CAM, Alicante.
- Anguita Virella, F. y Moreno Serrano, F. 1993. Procesos geológicos externos y Geología Ambiental. Editorial Rueda, Madrid.
- Antigüedad, I.; Morales, T y Uriarte J.A. 2007. Los acuíferos kársticos. Casos del País Vasco. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 15: pp 325-332.
- Antoranz Onrubia, M. A., y Martínez Gil, F. J. 2003. El agua y el sistema educativo español. en La Directiva Marco del agua: realidades y futuros.pp 385-424.
- Ávila Álvarez; Fernández Salinas y Silva Pérez 2002. La Sierra Morena de Sevilla: una encrucijada de naturaleza y cultura. Revista Ería, 60: pp 55-79 .
- Bach, J. 2007. Las aguas subterráneas. Enseñanza de las ciencias de la tierra 15:pp 226-227.
- Bar, V. 1989. Children's views about the water cycle. Science Education 73:pp 481-500.
- Brassington, R. 1995. Field Hydrogeology. John Wley and Sons Ltd, Chichester. 175 pp.
- Calvo D. , Molina, M.T. 2006. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente 2º Bachillerato. Editorial Mc-Graw-Hill, Madrid.
- CIHS. 1997. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. CIHS, Barcelona.pp
- Clarke, R., Lawrence, A., y Foster, S. 1996. Groundwater: a threatened resource. United Nations Environment Programme, Nairobi. 37 pp.
- Clarke, R., Lawrence, A., y Foster, S. 1996. Groundwater: a threatened resource. United Nations Environment Programme, Nairobi. 37 pp
- Conxita Marquez, J. B. 2007. Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. Enseñanza de las ciencias de la tierra 15:pp 280-286.
- Cortés, A. L., y San Román, J. 2006. Varias visiones en torno al agua subterránea. en Actas de los XXII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Zaragoza, 13-16 de septiembre de 2006.
- Díaz del Olmo, F. 2004. Patrimonio Geológico de Andalucía. ENRESA, Madrid
- Dickerson, D., y Dawkins, K. 2004. Eighth grade students' understandings of groundwater. Journal of Geoscience Education 52:pp 178-181.
- García Díaz, J. E. 1998. Hacia una teoría alternativa de los conocimientos escolares. Diada, Sevilla.
- González Ramón, A.; Rubio Campos y López Geta, eds. 2006. El agua subterránea en el Parque Natural de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas (Jaén).Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Colección Hidrogeología Espacios Naturales; nº 1, Madrid. 204 pp.

IGME, 1984. Protección de las aguas subterráneas en los abastecimientos. Ministerio de Industria y Energía. Secretaria General de la Energía y Recursos Minerales. 14 .pp.

IGME, 1985. Investigación y evolución de los recursos hidráulicos subterráneos de los sectores norte de las provincias de Huelva, Sevilla y Córdoba. Tomo I: Memoria y Mapas. 96 pp.

Junta de Andalucía, 2009. Acuerdo Andaluz por el agua. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla.

Junta de Andalucía, 2008. Conociendo la Naturaleza. Sendero del Cerro del Hierro. Parque Natural de la Sierra Norte de Sevilla. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla .

Junta de Andalucía, 1996. Plan de Ordenación de los Recursos Naturales y Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de la Sierra Norte de Sevilla . Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla.

Junta de Andalucía, 2004. Plan Andaluz de Humedales. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla. 263 pp.

López Geta, J.A; J.M. Fornés; G. Ramos, y Villaroya, M. 2001. Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo”. Fundación Marcelino Botín. IGME, Madrid. 94 pp.

López-Geta, J.A. 2009. Importancia de la geología e hidrogeología en la investigación y gestión de los humedales. En: López-Geta, J.A., Fornes, J (Eds.). La a geología e hidrogeología en la investigación y gestión de los humedales. Serio: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 28. Madrid. 9-30.

Manzano, M., y Custodio Gimena, E. 2007. Las aguas subterráneas en Doñana y su valor ecológico. Enseñanza de las ciencias de la tierra 15:pp. 305-316.

Márquez, C.; Bach, J. 2007Una propuesta de análisis sobre las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 15: pp 280-286.

Meléndez Fuster, 1994. Geología. Editorial Paraninfo, Madrid.

Miller Tyler, G. Jr. 2002. Introducción a la Ciencia Ambiental, desarrollo sostenible de la Tierra. Un enfoque integrador. Editorial Thomson, Madrid. 333-366.

Ministerio de Medio Ambiente. 2006. Informe sobre “Evaluación de la calidad de las aguas subterráneas en la cuenca del Guadalquivir (años 2005-06). Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Ministerio de Medio Ambiente, Sevilla.

Moreno, C.; Sáez, R. y González, F. 2008. Guía geológica e itinerarios. Parque Natural de la Sierra Norte de Sevilla. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Sevilla. 210 pp.

Moore, J. E., Zaporozec, A., y Mercer, J. W. 2005. Una introducción al agua subterránea. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Mexico. 83 pp.

Nebot Castelló, R. 2007. El ciclo del agua en una garrafa. Enseñanza de las ciencias de la tierra 15:pp 333-340.

OFEG, 2003. Delimitations des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré. Guide pratique. Office Fédérale de l'Environnement, des Forêts et du Paysage, Berene.

Pulido-Bosch, A., y Rodríguez Estrella, T. 2007. Los acuíferos costeros y el suministro de agua de mar a las plantas desaladoras. Enseñanza de las ciencias de la tierra 15:pp 274-279.

Rebollo Ferreiro, L. F., y Martín-Loeches Garrido, M. 2007. Diez preguntas elementales sobre aguas subterráneas. Enseñanza de las ciencias de la tierra 15:pp 240-249.

Reyero Cortiña, C., Calvo, M., Vidal, M. P., García García, E., y Morcillo Ortega, J. G. 2007. Las ilustraciones del ciclo del agua en los textos de Educación Primaria. Enseñanza de las ciencias de la tierra 15:pp 287-294.

Rodríguez de la Rosa, M. 1991. Acercamiento de la Ribera del Huéznar; batería de actividades medioambientales". Editorial Guadalmena. Colección Didáctica del Sur. CEP Lora del Río, Sevilla.

Shiklomanow, I. A. 1997. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world: assessment of water resources and water availability in the world. World Meteorological Organization and Stockholm Environment Institute, Stockholm.

Tar buck E. y Lutengs F. 2004. Ciencias de la Tierra. Una introducción de la Geología Física. Editorial Pearson, Madrid, 213-265.

Tóth, J. 1980. Cross-formational gravity-flow of groundwater: a mechanism of the transport and accumulation of petroleum (the generalized hydraulic theory of petroleum migration). en A. S. i. Geology, editor. Problems of petroleum migration. pp 121-167 pp.

Bibliografía en Internet:

The Glove Program. Teacher Guide. Globe, 2005:

<http://www.globe.gov>

http://www.ucm.es/info/diviex/proyectos/agua/experimentos_aula_modelosde-acuiferosubterraneos.html

<http://www.unesco.org/histagua>

<http://elcerrodelhierro.blogspot.com>

<http://ga.water.usgs.gov/edu>

http://www.ec.gc.ca/Water/en/nature/grdwtr/e_gdwtr.htm

<http://earthsci.org>

ISBN 978-84-7840-862-7



9 " 788478 " 408627 "