

HIDROESTRATIGRAFÍA E HIDROGEOQUÍMICA DE LA FACIES WEALD DEL NOROESTE DE LA CORDILLERA IBÉRICA (REGIÓN DE PINARES, SORIA)

SANZ PÉREZ, Eugenio y MARTÍNEZ, Arantxa (*)

(*) Dpto. de Ingeniería y Morfología del Terreno. Esc. Téc. Sup. de Ingenieros de Caminos, C. y P. Ciudad Univ., s/n. 28040-Madrid. mt15@caminos.upm.es

Palabras clave: Hidroestratigrafía. Hidrogeoquímica. Facies Weald. Cordillera Ibérica. Región de Pinares. Soria.

RESUMEN

Las Facies Weald la constituyen formaciones de baja permeabilidad, algunas de las cuales pueden ser consideradas acuíferos de interés local: conglomerados y areniscas del Grupo Urbión y calizas de la Fm. Oncala, donde las transmisividades pueden oscilar entre 5-10 m²/día. El sistema de flujo está altamente condicionado por la litofacies, y el control estratigráfico de los manantiales es evidente. Sin embargo, en zonas alteradas del Grupo Urbión, el flujo se aproxima al clásico de cuencas sedimentarias, donde la descarga principal se realiza de manera difusa a los ríos y arroyos (Ayo. Navaleno, Lobos, Chico, Ebrillos, etc.).

Es de destacar el alto contenido en Fe de las aguas subterráneas de todas las facies del Weald, salvo en las calizas del Grupo Oncala, y algunos conglomerados y arenas de las formaciones Urbión y Abejar, respectivamente. El Fe aumenta en este orden: descarga difusa a arroyos, manantiales, pozos y sondeos profundos. En las orillas del Embalse de la Cuerda del Pozo se visualiza de forma generalizada esta hidrogeoquímica donde hay abundantes rezumes y manantiales ferruginosos, algunos de los cuales originan actualmente depósitos de limonita.

1. INTRODUCCIÓN

Se ofrece una síntesis de las principales características hidrogeológicas de las diferentes capas estratigráficas de la Facies Purbeck-Weald de este sector de la Cordillera Ibérica que aflora en casi toda la "Región de Pinares" de la provincia de Soria, incluyendo los términos municipales de las poblaciones siguientes: Soria, Cidones, Pedrajas, Oteruelos, Villaverde del Monte, Toledillo, Golmayo, Las Casas, Abejar, Navaleno, San Leonardo de Yagüe, Cubilla, Molinos de Duero, Vinuesa, Salduero, Covalada, El Royo, Hinojosa de la Sierra, Derroñadas, Cabrejas del Pinar, Herreros, Muriel Viejo y Casarejos (Martínez, 2004).

Constituye una región natural relativamente homogénea, con un sustrato geológico semejante, una cobertura vegetal de pinares muy extensa y una precipitación elevada, que oscila entre los 600 mm/año en Cidones y más de 1.200 mm/año en el área de cumbres de Urbión. Tiene también una característica

hidrogeológica común, que es el carácter más o menos ferruginoso de las aguas subterráneas.

Esta síntesis se ha hecho en base al análisis de la información proporcionada por un inventario de unos 350 puntos de agua que en su mayoría corresponden a manantiales, así como de la información de unos 30 ensayos de bombeo, observaciones de campo y cientos de análisis químicos, procedentes de la Consejería de Sanidad de Soria y de la Diputación Provincial.

2. CARACTERÍSTICAS ESTRATIGRÁFICAS

De más antiguo a más moderno se distinguen las siguientes formaciones geológicas (IGME):

Grupo Tera de la Facies Purbeck-Weald:

- Areniscas cuarzosas, margas arenosas, cuarzoarenitas conglomeráticas y pasadas de conglomerados, con frecuentes tonos rojizos y concreciones de óxidos e hidróxidos de hierro. Su potencia no parece superar los 15 m.
- Cuarzoarenitas alternantes con limolitas verdes y oscuras.
- Calizas en bancos con alguna intercalación de areniscas. En la parte occidental presentan una potencia aproximada de 50 m en el río Ebrillos y 20 m en Molinos de Duero. En Soria capital tienen 140-150 m de espesor.
- Facies detríticas, con conglomerados, areniscas, limolitas verdes y rojas, margas negras ricas en materia orgánica, de aspecto apizarrado con posibles yesos y margas blancas (Terra de Ajelbar, como se dice en la comarca).

Facies Weald:

- Conglomerados silíceo-cuarzosos del Grupo Urbión, de unos 60 m de potencia.
- En la zona de Molinos de Duero le siguen unas alternancias de cuarzoarenitas feldespáticas y arcillas cuarzoareniscosas rojizas de gran espesor.

En la zona de Cidones y Soria se sitúan unas areniscas y arcillas rojas arenosas que tienen unos 650 m de espesor. Hay también conglomerados y microconglomerados que dan lugar a capas que se acuñan. En el techo plano de estos estratos suelen aparecer costras ferruginosas. El conjunto da una morfología de relieve en cuestas, tan característico por ejemplo en el monte de Valonsadero (Soria), o en los alrededores de Golmayo.

Sobre las capas anteriores se depositaron areniscas, conglomerados y limos carbonosos con lignitos. Las areniscas y limos forman alternancias rítmicas milimétricas o centimétricas de 4-5 m de espesor. Las areniscas pueden tener en techo costras ferruginosas. Esta formación tiene una potencia de 172 m.

Separados por un conjunto de capas ferruginosas aparecen conglomerados y arenas blancas caoliníferas de grano grueso. No superan los 311 m de espesor. Las últimas capas de esta formación pueden ya pertenecer a la Facies Utrillas y contienen un nivel de areniscas con estructuras superplegadas cargadas de óxido de hierro.

3. HIDROESTRATIGRAFÍA

Se pueden definir los siguientes grupos de terrenos de semejante comportamiento hidrogeológico:

- Conglomerados del grupo Urbión

Se trata de formaciones medianamente permeables que pueden constituir acuíferos libres o semiconfinados, en disposición subhorizontal, situados en las parte altas de las montañas de Urbión. Drenan a través de fuentes situadas en el contacto inferior del techo de la Facies Purbeck-Weald, que suele ser impermeable. Estos manantiales tienen un caudal proporcional a su área de recarga o superficie de afloramiento y suelen emplazarse, con preferencia en los fondos de los barrancos que cortan estas litologías, como en el Arroyo Ojeda y en el Arroyo Ramunicio (zona de Vinuesa), donde hay manantiales que superan los 10 l/s. Estos acuíferos son de porosidad intergranular y de fractura si se presentan compactos. Por otra parte, la calidad de sus aguas es buena, pues proceden de materiales de naturaleza silíceo y sin cemento ferruginoso.

- Facies detríticas y margosas. Grupo Tera en la zona de Molinos de Duero.

No constituyen estas formaciones un terreno homogéneo y único que drena hacia los arroyos que lo atraviesan, sino que se trata de capas de conglomerados y areniscas más o menos permeables insertas en limolitas y margas poco permeables. Por eso aparecen manantiales a diferentes alturas, asociados a los niveles más filtrantes, aunque por lo general abundan más en las zonas bajas, en las vaguadas y en las vertientes septentrionales, donde la recarga es mayor. Hay otros manantiales que están asociados a depósitos coluviales cuaternarios. Unos y otros tienen por lo general caudales pequeños, que no llegan a 0'5 l/s, lo que da idea de la poca permeabilidad del terreno y la pequeña envergadura de los acuíferos. El caudal de los sondeos también suele ser pequeño, de pocos litros por segundo.

- El Weald de la zona de Cidones y Soria

Son los bancos de arenisca los que pueden formar acuíferos confinados, poco permeables a juzgar por la escasez de manantiales a ellos asociados y las bajas transmisividades obtenidas de los ensayos de bombeo $T = 2 \text{ m}^2/\text{día}$. Se podrían obtener en el mejor de los casos caudales de no más de 1-2 l/s, seguramente de menos de 0'5 l/s. Como los lentejones tienen poca continuidad, sus reservas y su alimentación es pequeña. Además, es frecuente que las aguas sean ferruginosas.

En la Fm. Abejar y Utrillas tienen su nacimiento diversos arroyos, que son afluentes por la derecha del río Pedrajas que presentan poco caudal en estiaje (menos de 10 l/s); su caudal de base procede de la descarga de estas formaciones geológicas, lo que les hace ganadores. Se ha considerado un drenaje subterráneo dirigido hacia los ríos, como el clásico sistema de flujo de acuíferos detríticos, aunque en este caso debe afectar a los tramos superiores más descomprimidos y

alterados. Los prados de las zonas bajas presentan, aún en estiaje, un verdor y humedad que probablemente se explica porque son zonas de descarga en forma de rezumes.

- El Weald de la zona de Navaleno

En el área de Navaleno, San Leonardo de Yagüe, Palacios de la Sierra (Burgos), etc. aparecen unas capas de conglomerados descompuestos y arenas, en superficie, que dan lugar también a un flujo difuso dirigido a los ríos Lobos, Navaleno y otros, donde se nota la influencia mayor de la escorrentía subsuperficial de invierno, que hace rebajar el contenido en Fe de los arroyos. En profundidad aparecen altos contenidos en Fe y SH₂ (Fig. 1). El sistema de flujo parece el típico de acuíferos detríticos: recarga en interfluvios y descarga en arroyos.

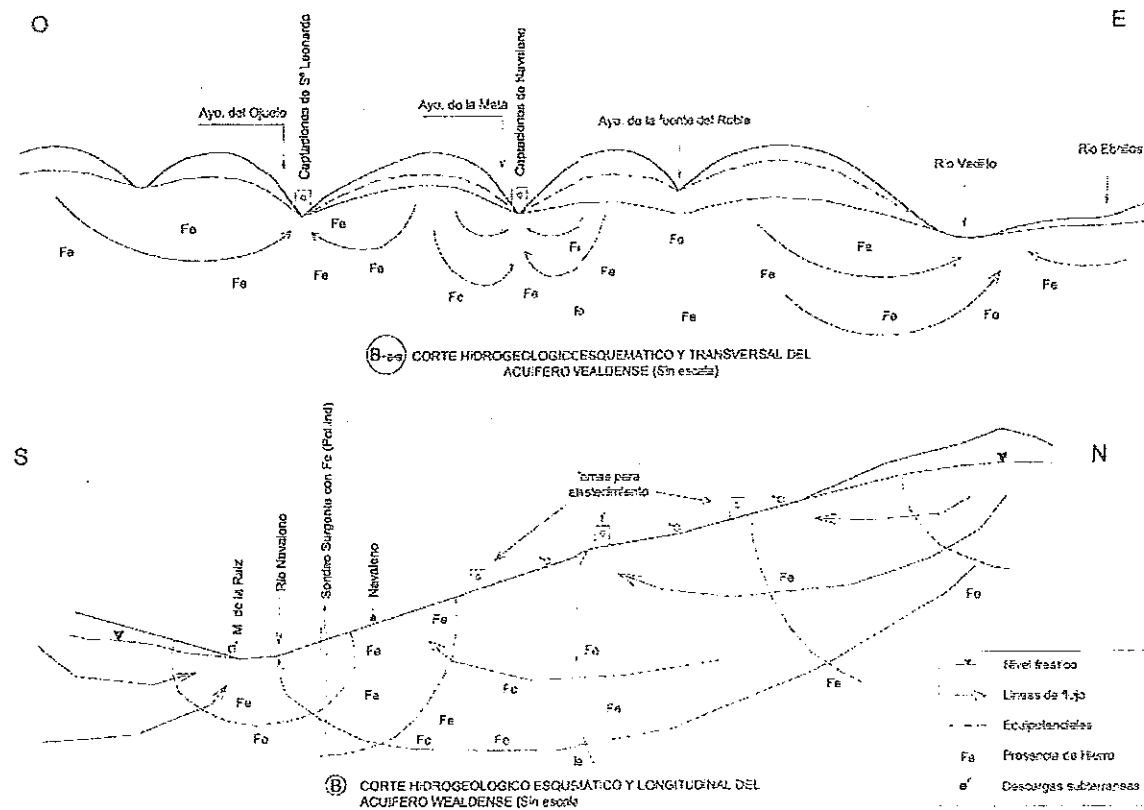


Figura 1: Sistema de flujo en las zonas alteradas y más permeables de las facies detríticas wealdenses de las cabeceras de los ríos y arroyos de la zona de Navaleno (Soria) y su relación con el contenido en Fe.

Las calizas de la Formación Oncala varían de espesor desde la zona occidental, donde se acúan (Molinos de Duero), hasta la parte oriental (Soria capital), donde adquieren hasta 250 m de espesor. Constituyen generalmente un acuífero semiconfinado drenado por manantiales de mediano caudal (3-15 l/s) que no suelen tener Fe en cantidades apreciables, aunque las aguas en profundidad pueden estar contaminadas de Fe de forma natural proveniente las facies detríticas

de muro y techo (Molinos de Duero, por ejemplo). Los valores de transmisividad se sitúan en torno a los $T = 5-10 \text{ m}^2/\text{día}$.

4. EL PROBLEMA DEL HIERRO

La presencia de hierro en las aguas subterráneas de algunas formaciones geológicas en las Facies Weald suponen una limitación en el desarrollo económico de la región y en el abastecimiento público y privado. Son muy numerosos los sondeos abandonados no por su caudal, que muchas veces es suficiente para las necesidades de abastecimiento público o doméstico, sino por su inaceptable calidad, debido a la presencia de hierro, aunque en ciertos casos se pueden aplicar diversos tratamientos de desferrificación (Mattler et al, 2001).

Casi todos los manantiales de la zona suelen tener un cierto contenido en hierro, y esta concentración es directamente proporcional a su caudal: los manantiales de mayor débito, drenados por conglomerados y areniscas, son los que menor contenido en hierro presentan; y viceversa, los pequeños y rezumes, (generalmente asociados a limolitas y areniscas ferruginosas poco permeables), pueden ser muy férricos, incluso originar arroyos de coloración roja.

Pero el agua de los sondeos es todavía más ferruginosa, ya que por una parte atraviesan niveles poco permeables, con hierro, que contaminan la columna de agua (por eso es tan importante entubar bien, sellando los tramos ferruginosos), y por otra parte porque el agua de la parte profunda del acuífero está menos oxigenada, a diferencia del agua de las proximidades de un manantial, donde se oxida y precipita el hierro, de ferroso a férrico (Appelo and Postma, 1993).

Por poner un ejemplo de entre los muchos existentes, tenemos el caso concreto de los pozos abandonados del abastecimiento a Molinos de Duero, de 60 m de profundidad, que tienen un caudal de 2-3 l/s, con 30 m de espesor saturado y una transmisividad calculada según ensayo de bombeo de $T = 5 \text{ m}^2/\text{día}$. Esta transmisividad corresponde a acuíferos pobres, pero en este caso proporcionaría un caudal de 2'4 l/s, suficiente para las necesidades del pueblo. El problema es la calidad del agua, que se ha comprobado que es ferruginosa incluso con bombeos prolongados, como el de 48 horas que se hizo en el año 1999. Sin embargo, la fuente del Cojo que drena el mismo acuífero, y que se seca cuando se bombea agua de los pozos, tiene poca cantidad de hierro, pero un caudal insuficiente para las necesidades de la población.

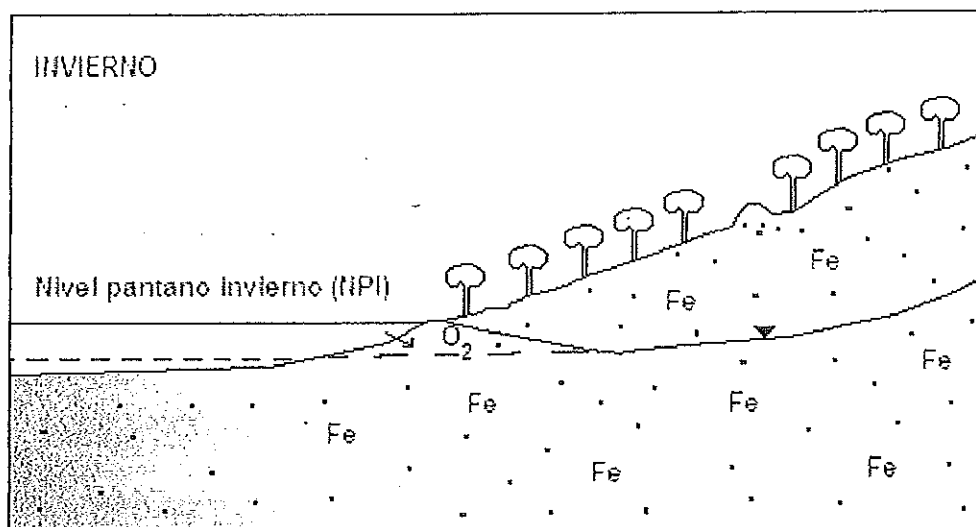
El hierro procede del cemento ferruginoso que impregna estas formaciones continentales, a veces reconcentrado en planos de estratificación, costras, etc., dando lugar a yacimientos de goetita de poca importancia. Se piensa que la presencia de una cobertera vegetal de carácter histórico y prehistórico (Alcalde et al, 2003) importante, con un suelo orgánico bien desarrollado, favorece la agresividad del agua infiltrada y la solubilidad del hierro. Se ha constatado que el contenido en hierro de las aguas subterráneas es mayor en la zona de Pinares, que en el sector oriental de la provincia de Soria, donde afloran facies geológicas semejantes, pero no existe desarrollo de bosques tan importantes. La influencia de la vegetación en la concentración de hierro en el suelo ha sido observada en otras partes (De Kimpe and Martel, 1976; Friedland et al, 1984).

Por otra parte hay sulfatos y cloruros en mayor o menor medida en los manantiales asociados a las facies de margas oscuras, de la Facies Purbeck-

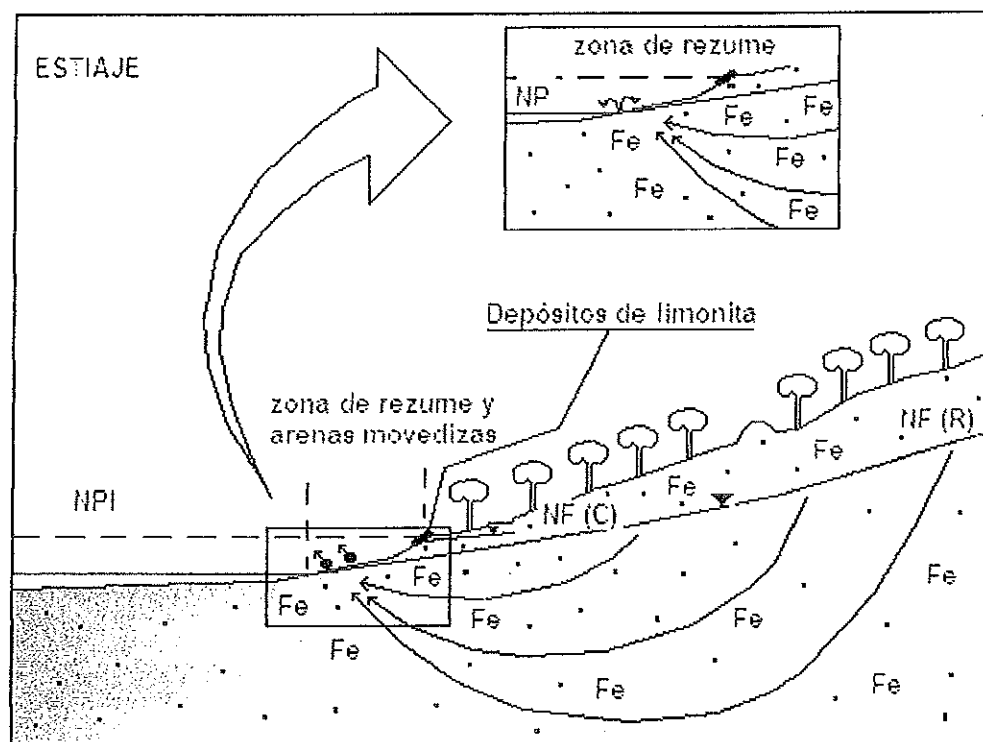
Weald, ricas en materia orgánica, situadas en Vinuesa: Fuente Salada y otras situadas al norte, así como la Fuente del Salobral, de carácter mineromedicinal, sulfurada, de olor a huevos podridos (Sanz, 1999) (Yélamos y Sanz, 1994). De iguales o parecidas características químicas es el agua del sondeo que se hizo junto al depósito de Molinos de Duero. Es muy posible que el origen de los sulfatos y los cloruros sea debido a la presencia de yesos y sales que no afloran en superficie porque deben estar lavados en zonas tan lluviosas como ésta (de hecho la gente no conoce la existencia de yesares), pero que, como puede ser frecuente en el Weald, forman capas delgadas, interestratificadas en profundidad. La combinación de yesos y margas negras con materia orgánica, originan un medio reductor que puede formar gas sulfhídrico. Los cloruros pueden obedecer a la existencia de halita, que en superficie tampoco asoma, pero que da sabor al agua: Salobral, Fuente Salada, etc. Esta facies debe restringirse a la vertiente meridional de Vallilengua y laderas del Revinuesa y Duero, cercanas a Vinuesa, pues se desconocen fuentes de estas características fuera de esta comarca. Esta circunstancia no quita que, próximas a estas fuentes "saladas" haya otras "dulces" asociadas a niveles más detríticos.

LOS REZUMES Y MANANTIALES FERRUGINOSOS EN EL EMBALSE DE LA CUERDA DEL POZO

El embalse de la Cuerda del Pozo, de 140 hm³ de capacidad, presenta grandes oscilaciones estacionales de su nivel debido a su función reguladora. Ello conlleva un almacenamiento de agua en las riberas de su vaso, emplazado en areniscas y limolitas wealdenses, donde se produce un flujo de entrada de agua superficial oxigenada en invierno, que lava y disuelve el Fe del sustrato, y un refluo de salida ralentizado en estiaje, cuando el nivel freático queda por encima de la orilla o colgado, si hay intercalaciones impermeables. Se producen en las márgenes, de forma generalizada, una zona de rezume y localmente arenas movedizas, con brotes burbujeantes a presión muy ferruginosos (por encima incluso de 10 mg/l), lo que origina la precipitación de masas de hidróxidos de hierro muy poroso (hierro de los pantanos), en zonas puntuales.



- Zona no saturada. Areniscas ferruginosas (Weald)
- Zona saturada. Areniscas ferruginosas (Weald)



- Zona no saturada. Areniscas ferruginosas (Weald)
- Zona saturada. Areniscas ferruginosas (Weald)

Figura 2: Esquema hidrogeológico que ilustra el almacenamiento de agua en las orillas del Embalse de la Cuerda del Pozo y la formación de rezumes ferruginosos y depósitos de limonita actuales.

CONCLUSIONES

1. En el Weald de esta zona de España predominan las facies de baja y media permeabilidad, donde se pueden definir acuíferos confinados y semiconfinados de areniscas ($T= 2 \text{ m}^2/\text{día}$), conglomerados y calizas ($T= 5-10 \text{ m}^2/\text{día}$).
2. Los caudales de los manantiales rara vez superan los 5-10 l/s y el caudal específico de los sondeos emplazados en los acuíferos varía de 0'02 l/s/m a 0'1 l/s/m.
3. El caudal difuso hacia ríos es más importante que el de los manantiales en algunas zonas donde el Weald está constituido de forma generalizada por materiales detríticos sueltos. Los ríos Chico, Navaleno, Lobos, Ebrillos, Mojabragas y otros de la margen derecha del río Pedrajas, pueden tener un caudal conjunto de base difuso en estiaje superior a 150 l/s.
4. El modelo de flujo en estas zonas drenadas por ríos y arroyos de caudal difuso parece que se aproxima al de acuíferos detríticos: recarga en los interfluvios y descarga en las vaguadas. En otras zonas, el control estratigráfico de los manantiales asociado a capas permeables es el que predomina.
5. Todas las facies pueden tener aguas subterráneas con un contenido en hierro apreciable, aunque es mayor en las litologías detríticas de granulometría más fina. Pueden estar exentas las calizas del Grupo Oncala, los conglomerados de la Facies Urbión y las arenas de la Formación Abejar.
6. El contenido en Fe crece en este orden: escorrentía superficial, arroyos con flujo difuso, zanjas de captación, pozos y sondeos poco profundos, sondeos profundos. El contenido en Fe aumenta en los arroyos durante el estiaje, que es cuando la influencia de la escorrentía subterránea es mayor.
7. Los dos puntos anteriores constituyen criterios hidrogeológicos para aplicarlos en un estudio para abastecimiento de agua.
8. La variación estacional del nivel en el Embalse de la Cuerda del Pozo, conlleva un almacenamiento de agua, en las riberas en invierno, que acelera el proceso de disolución del hierro de los acuíferos y su salida en verano a través de manantiales ferruginosos e hiperferruginosos, capaces de generar depósitos actuales de limonita.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalde, C.; Gómez, F.; Póstigo; Sanz, E. y Menéndez-Pidal, I. (2003). *Pinus sylvestris* L. en el Pleistoceno Superior del Duero. (Vega Cintora, Soria, España). *Prev. Cuaten. y Geomof.* 17 (1-2), 21-28.
- Appelo, C.A.J. and Postma, D. (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution.* Balkema/Rotterdam/Brookfield. 536 págs.
- De Kimpe, E.R., and Martel, Y.A. (1976). Effects of Vegetation on the Distribution of Carbon, Iron, and Aluminium in the Morizons of Nothern Appalachian Spodosols. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.*, Vol. 40, 77-80.
- Martínez, A. (2004). Hidrogeología e hidrogeoquímica del hierro en la Facies Weald del Noroeste de la Cordillera Ibérica. Trabajo de Investigació. Esc. Téc. Sup. de Ingenieros de Caminos, C. y P. Univ. Politéc. de Madrid. Inédito.
- Sanz, E. (1999). *Las aguas subterráneas en Soria.* Ed. Diput. Provincial de Soria.

