

# Contenido y distribución espacial de nutrientes móviles en la zona no saturada en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel

H. Aguilera, L. Moreno, S. Castaño, M. E. Jiménez y A. de la Losa

Instituto Geológico y Minero de España, c/ Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid  
h.aguilera@igme.es; l.moreno@igme.es; s.castano@igme.es; e.jimenez@igme.es; a.delalosa@igme.es

## RESUMEN

La explotación excesiva del acuífero de la Mancha occidental provocó que desde la década de 1970, las descargas de éste en la zona de Las Tablas de Daimiel disminuyeran, hasta desaparecer por completo, dando lugar al progresivo desarrollo de una zona no saturada antes inexistente y la completa inversión del sentido del flujo hídrico, al transformarse las zonas de drenaje del acuífero en zonas de recarga. La valoración que el impacto que este proceso está teniendo sobre la calidad del agua subterránea se aborda en una primera aproximación mediante la cuantificación y estudio de la distribución espacial de las concentraciones de nutrientes móviles almacenadas en la zona no saturada del vaso de las Tablas, que están disponibles para ser transportados hacia la zona saturada. Los resultados indican una acumulación de nutrientes en las capas más superficiales del suelo, preferentemente en zonas con alto contenido en materia orgánica procedente de la descomposición del carrizo, y también en los limos fluviales que rellenan los canales y zanjones de origen antrópico.

Palabras clave: antropización, materia orgánica, nutrientes, Tablas de Daimiel, zona no saturada

## ***Nutrient content and its spatial distribution in the unsaturated zone at the Las Tablas de Daimiel National Park***

### ABSTRACT

*The intensive exploitation of the "Mancha occidental" aquifer has caused that groundwater discharge in the Tablas de Daimiel area has been decreasing since the 1980's decade until they completely stopped. This fact has favoured the progressive development of an unsaturated zone which had not existed before and a full inversion in the water flux direction as drainage zones of the aquifer became recharge areas. To assess the impact of this process on groundwater quality, a first approximation to the problem has been made through the quantification of the spatial distribution and concentrations of mobile nutrients stored in the unsaturated zone, which are readily available to be exported to the saturated zone. The results point out the accumulation of these nutrients in the topsoil, mostly in areas with high organic matter content coming from reed decomposition, and in fluvial silts filling anthropic channels and ditches.*

*Key words: anthropization, Las Tablas de Daimiel, nutrients, organic matter, vadose zone*

## Introducción

El interés por la conservación de las zonas húmedas en el mundo ha experimentado un importante impulso, gracias, en parte, al reconocimiento de su alto valor ecológico y ambiental (Mitsch y Gosselink, 1993). Los humedales constituyen refugios extraordinarios para la biodiversidad, tanto animal como vegetal, y además desempeñan un papel indispensable en los ciclos hidrológico y biogeoquímico, regulando el caudal de los ríos y el destino de sedimentos y nutrientes (Phillips, 1989).

Se trata de ecosistemas cuya funcionalidad aporta, sin duda, bienes y servicios de interés tanto ambien-

tal como económico y social. De hecho, según Costanza et al. (1997) los humedales son el tipo de ecosistema más valioso desde el punto de vista de los servicios ambientales que ofrecen. Sin embargo, presentan un equilibrio muy frágil y además, muestran una elevada sensibilidad y vulnerabilidad, pues los impactos a los que son sometidos no son siempre evidentes ni reversibles.

Los humedales ligados a la dinámica hídrica subterránea muestran además una debilidad añadida al estar ligados a la evolución de los niveles piezométricos, dependientes a su vez de la correcta gestión de la explotación de los acuíferos.

El Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel

(PNTD) se encuentra entre estos humedales ligados al agua subterránea. Está situado en la parte terminal de dos cuencas hidrológicas, una superficial, la cuenca Alta del Guadiana, con una extensión de 15.000 km<sup>2</sup>, y otra subterránea, de más de 5.000 km<sup>2</sup>. El acuífero de la Mancha occidental (Figura 1), con más de 150 km<sup>2</sup> de superficie (Álvarez-Cobelas *et al.*, 2001), constituía la más extensa zona encharcada de un conjunto que forma la denominada Mancha Húmeda en la cuenca Alta del Guadiana. El régimen de encharcamiento era una mezcla de la estacionalidad de las entradas de agua por el río Cigüela, con aguas oligohalinas (Álvarez-Cobelas *et al.*, 2000), y por el Guadiana, de aguas más dulces y carbonatadas de origen subterráneo. En invierno y primavera las entradas del Cigüela eran dominantes, mientras que en verano y principios de otoño predominaban las aportaciones subterráneas desde el río Guadiana (Castaño, 2003). La red de drenaje del entorno era residual y poco definida, siendo frecuentes los fenómenos de endorreísmo (Pérez-González, 1996).

Las Tablas representaban, por tanto, un ejemplo claro de interrelación entre aguas superficiales y sub-

terráneas (López-Camacho *et al.*, 1996), con conexión hidráulica entre ríos y acuíferos en la mayor parte de los cauces de la cuenca, lo que determinaba la aparición de las zonas húmedas de la región (Cruces y Martínez Cortina, 2000). Además, la convergencia de aguas superficiales y subterráneas con diferente calidad química, confería a las Tablas un carácter especial dentro de las zonas húmedas españolas y europeas, permitiéndole albergar una enorme biodiversidad gracias, en parte, a la existencia del masegar más extenso de Europa Occidental (Álvarez-Cobelas *et al.*, 2001). Hasta los años 1970 el humedal ejemplificaba un modelo integrado y aparentemente sostenible de interrelación hombre-naturaleza, en el que más de 300 familias vivían de la pesca de peces y cangrejos (Álvarez-Cobelas *et al.*, 2000).

Sin embargo, a partir de los años 1960 la acción del hombre empezó a romper el particular equilibrio que permitía la existencia de las Tablas. Los drenajes artificiales, las canalizaciones de los cauces y, en menor medida, la regulación de las aguas superficiales en la cuenca Alta del Guadiana iniciaron un proceso de desecación.

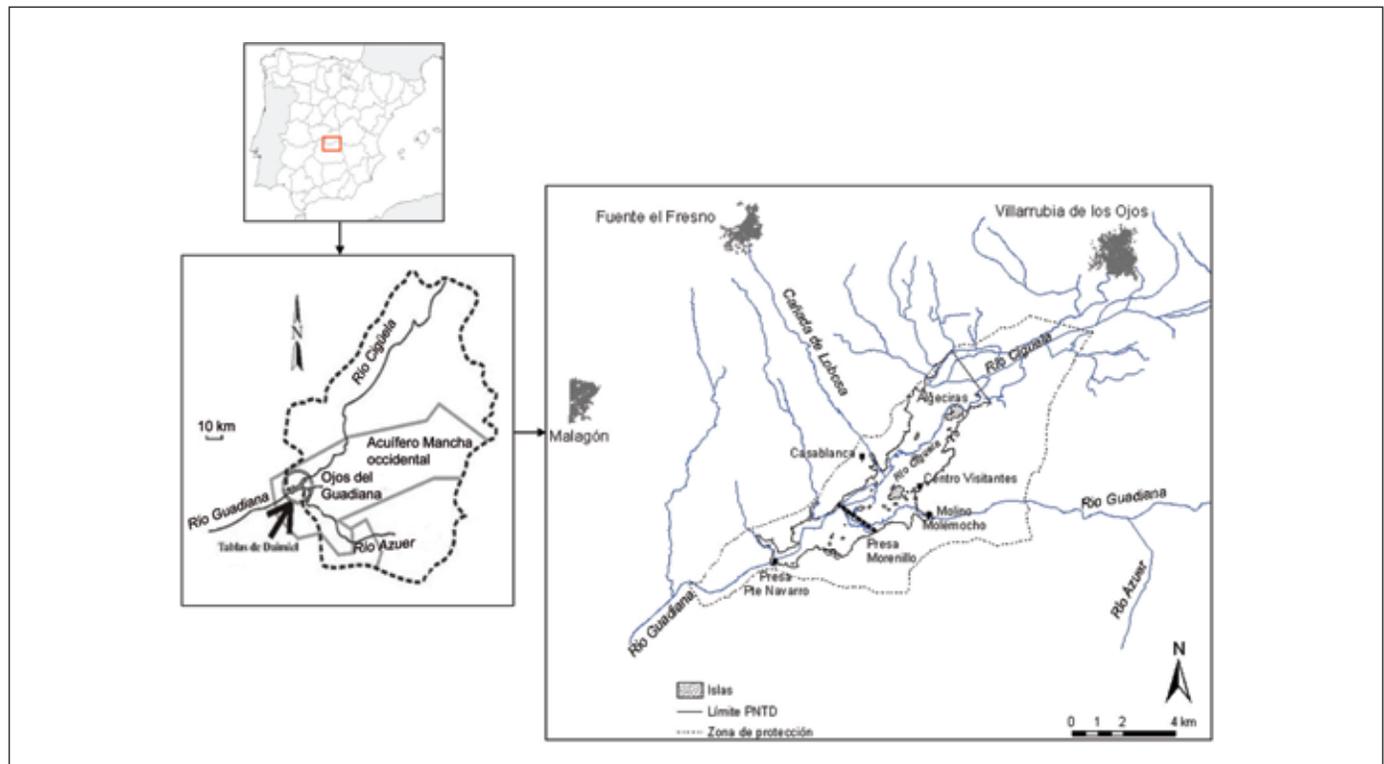


Figura 1. Localización del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel (PNTD) en relación a la cuenca Alta del Guadiana y al acuífero de la Mancha occidental. Detalle de la red hidrográfica y topónimos representativos del PNTD  
 Figure 1. Location of the Tablas de Daimiel National Park (PNTD) in relation to High Guadiana basin and Mancha occidental aquifer. Representative sites of the PNTD and hydrographic network are also shown

La contaminación de la cuenca, de tipo puntual o difusa, y sobre todo, la explotación intensiva del acuífero de la Mancha occidental modificaron las características cuantitativas y cualitativas del humedal, tanto desde un punto de vista hidrológico como ecológico, con una notable pérdida y alteración de la biodiversidad (ej. sustitución de la masiega, *Cladium mariscus*, por el carrizo, *Phragmites australis*), con la consiguiente reducción de áreas de nidificación (Álvarez-Cobelas *et al.*, 2001).

El aumento del bombeo de agua subterránea originó que en la década de 1980 las salidas de aguas subterráneas cesasen progresivamente (en 1984 los Ojos del Guadiana dejaron de manar) y el PNTD pasó de ser la zona de descarga del acuífero subyacente a ser uno de los elementos de recarga del mismo (Esnaola y Martínez Alfaro, 1992; López-Camacho *et al.*, 1996). El nivel freático se situó bajo el fondo del vaso, produciéndose también una modificación del flujo del agua en los materiales situados bajo el Parque Nacional (García Rodríguez y Llamas, 1992; Esnaola y Martínez Alfaro, 1992). Todo ello ha provocado una serie de cambios radicales en el sistema hídrico del PNTD (Moreno *et al.*, 2007):

- El flujo pasa de vertical ascendente (descarga) a vertical descendente (recarga), con lo que la tendencia es a la desaparición de las zonas de encharcamiento si no existen aportaciones adicionales de agua.
- Aparece una zona no saturada (ZNS) generalizada y permanente bajo Las Tablas, con lo que los poros contienen aire y agua, en lugar de agua únicamente y se activan procesos de lavado, oxidoreducción, descarbonatación, mineralización y aporte de solutos al nivel freático.
- Se modifica la composición química del sistema al desaparecer los aportes subterráneos del acuífero, producirse trasvases desde la cuenca del Tajo y recircular agua subterránea procedente de los bombeos que vierten en el vaso.

Estos cambios han determinado una modificación sustancial del balance hídrico de las Tablas, siendo los períodos de encharcamiento cada vez más cortos e intermitentes. Las entradas de agua al sistema provienen de la escasa precipitación y, de forma más puntual a través del cauce del Cigüela, de trasvases desde el Acueducto Tajo-Segura, de escorrentía superficial tras episodios de fuertes lluvias en la Cuenca Alta del Guadiana y en las cuencas de los arroyos de la margen derecha del Parque Nacional, y también de bombeo de agua subterránea (Figura 1) Las salidas se producen exclusivamente por evaporación y, fundamentalmente, a través de la infiltración desde el vaso de las Tablas; las salidas por el cauce

del Guadiana sólo se producen cuando se llena la presa de Puente Navarro, en el extremo sur del PNTD, algo que no ocurre desde 2004. La zona inundable máxima se ha visto reducida a unos 17 km<sup>2</sup> (Sánchez-Carrillo y Álvarez-Cobelas, 2001).

A pesar de los esfuerzos por recuperar las Tablas (Plan de Regeneración Hídrica de 1987, Programa de Compensación de Rentas Agrícolas de 1992), la situación del PNTD es a día de hoy crítica, agravada por una progresiva desecación durante el periodo 2005-2008 pues a las escasas precipitaciones y exceso de explotación del acuífero se ha sumado el escaso rendimiento del trasvase cuando éste se ha producido.

La actual desconexión hídrica entre el humedal y la zona saturada ha convertido a Las Tablas de Daimiel en una extensa zona de recarga del acuífero de la Mancha occidental donde las aguas que llegan tienden a infiltrarse rápidamente. Por tanto, aumenta el riesgo de desecación (agravado por el cambio climático) y aumenta el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

En este contexto parece inmediato preguntarse qué papel representa la ZNS como almacén y modulador del flujo de agua, nutrientes y contaminantes hacia la zona saturada. Dicho de otro modo, ¿Cómo interviene la zona no saturada en el balance de nutrientes?

## **Materiales y métodos**

### **Área de estudio**

Geográficamente el PNTD está situado en la confluencia de los ríos Cigüela y Guadiana, en la parte terminal de la cuenca Alta del Guadiana, provincia de Ciudad Real (39°08'N, 3°43'O; Figura 1), a unos 11 km al norte del núcleo urbano de Daimiel.

Administrativamente se encuentra en terrenos pertenecientes a los términos municipales de Daimiel y Villarrubia de los Ojos. Se sitúa al pie de los relieves paleozoicos de los Montes de Toledo, en el extremo occidental de la llanura manchega, y su orientación es NE-SO.

El entorno geológico de la zona en estudio, está formado por un basamento de cuarcitas y pizarras paleozoicas, sobre las que se apoyan, discordantes, arenas, fangos, arcillas, calizas, dolomías y margas pliocenas (Portero y Ramírez, 1988 en Sánchez Carrillo *et al.*, 2000). Los materiales más recientes están formados por costras calcáreas correlativas con una superficie de erosión que conforma el relieve *cuaternario de la zona* (Pérez-González, 1982 en Sánchez-Carrillo *et al.*, 2000).

El clima es mediterráneo seco continental, con precipitaciones y temperaturas media anuales para el siglo XX de 412.6 mm y 14.3 °C, respectivamente, con veranos secos y calurosos e inviernos fríos (Martínez-Santos *et al.*, 2004; Domínguez-Castro *et al.*, 2006). Las precipitaciones se concentran normalmente en los meses de otoño y primavera (Valiño *et al.*, 2002). La evapotranspiración potencial (ETP) según el método Thornthwaite se estima en torno a 850 mm al año, siendo el déficit hídrico anual de más de 400 mm (Sánchez-Carrillo *et al.*, 2004).

El PNTD se extiende sobre una superficie aproximada de 20 km<sup>2</sup>, de los cuales 16,75 son inundables (Álvarez-Cobelas y Cirujano, 2007), con una profundidad media de lámina de agua de 0,90 m, muy variable inter e intraanualmente dada la marcada estacionalidad climática. El escaso gradiente altitudinal, con pendientes inferiores al 1‰ (Cirujano *et al.*, 1996), conforma una paisaje plano en el que sólo destacan pequeños islotes emergentes (Figura 1) constituidos por facies calco-margosas del plioceno superior y/o costras calcáreas, como son las islas del Pan o de

Algeciras (García Rodríguez, 1996; Rodríguez García, 1998).

La vegetación emergente está dominada por el carrizo (*Phragmites australis*) y, en menor medida, por la masiega (*Cladium mariscus*) y la enea (*Thypha domingensis*), distribuidos alrededor de las zonas encharcadas y en manchas de distinto tamaño a lo largo de todo el Parque. El área perimetral y los bordes de caminos están dominados por el taray (*Tamarix canariensis*) y otras especies de halófitos. Rodeando el PNTD se encuentran un encinar adeshado en el lado occidental, y en el resto cultivos de vid, olivo y cereales, fundamentalmente. La vegetación sumergida está formada, principalmente, por densas praderas de ovas o carófitos del género *Chara*.

La vegetación emergente es ahora un elemento clave en el funcionamiento del humedal, ya que interviene decisivamente en la distribución y el balance de agua, en la sedimentación y en el ciclo de nutrientes (Álvarez-Cobelas *et al.*, 2000); de hecho, en las condiciones actuales, el aporte interno de nutrientes es mucho más importante que el externo según algunos autores (Sánchez-Carrillo y Álvarez-Cobelas, 2001). Pero además el carrizo se ha convertido, tanto por su propia ecología como por el manejo antrópico del mismo (ej. siega), en un factor determinante que condiciona la estructura y propiedades físico-químicas de los suelos del Parque.

### **Tipos funcionales de suelo**

Las clasificaciones edafológicas habituales como la de la USDA (Natural Resources Conservation Service, 2003) o la de la FAO (IUSS Working Group WRB, 2007), no resultan adecuadas para elaborar una cartografía de suelos que diferencie tipos según su comportamiento como transmisores y almacén de agua y solutos. Esta cartografía debe ser un paso previo a la cuantificación de la distribución de nutrientes almacenados en el sistema de Las Tablas. Por ello se ha establecido una clasificación de tipos funcionales de suelos agrupándolos según criterios de comportamiento hidráulico. De forma muy resumida, se han descrito cuatro tipos dominantes con propiedades físico-químicas diferenciadas: ovas (sedimentos carbonatados de origen biogénico), arcillas (de origen heredado y fluvial), limos (lechos fluviales) y turba (acumulación de materia orgánica en condiciones reductoras). Las propiedades que caracterizan cada tipo están determinadas, en primer lugar por el material original que ha formado el suelo, pero a este dominio litológico se superponen otros factores, principalmente la antropización (deseccación, compacta-

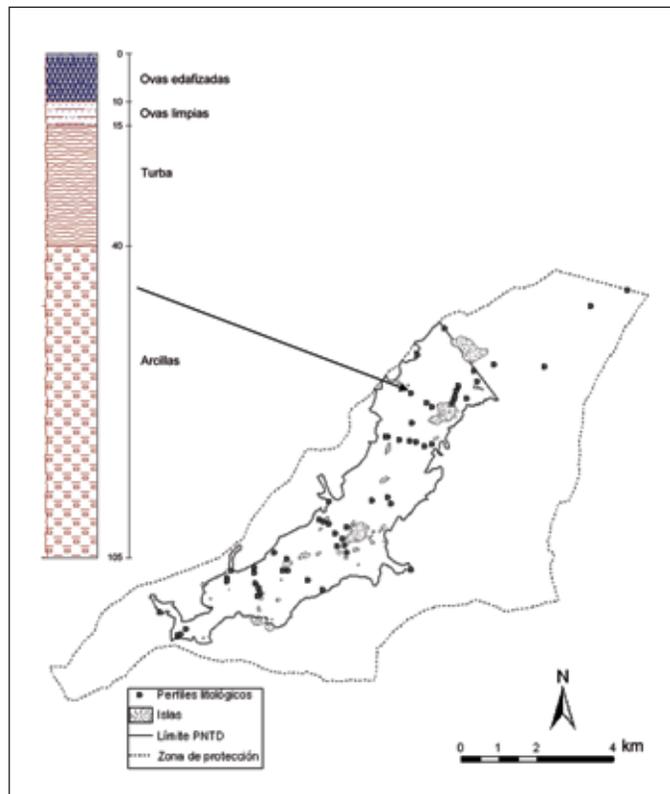


Figura 2. Perfiles litológicos realizados en enero de 2008 y ejemplo de columna descrita  
 Figure 2. Lithologic profiles from the field works in January 2008 and example of described column

ción, edafización), que pueden llegar a dominar sobre el control litológico. Por ello, a la hora de establecer las unidades funcionales de tipos de suelo en el PNTD también se han tenido en cuenta la presencia conjunta de materiales, así como los distintos grados de evolución y/o alteración de los mismos. Por otra parte, la respuesta de cada uno de los tipos funcionales a la antropización es muy diferente, representando la turba un caso extremo cuando se deseca.

Como base para la elaboración del mapa se ha empleado el plano de litologías sedimentarias recogido en Domínguez-Castro *et al.* (2006) y la descripción de 5 columnas litológicas de García-Hidalgo *et al.* (1995). Esta información ha sido actualizada y modificada en base a la información aportada por 62 perfiles descriptivos de hasta 120 cm de profundidad realizados en enero de 2008 por toda la superficie del Parque (Figura 2).

**Toma de muestras y análisis de laboratorio**

La toma de material para la extracción de nutrientes se realizó entre los días 25 y 27 de julio de 2006. En total se tomaron 121 muestras de suelo entre 0 y 120

cm de profundidad cada 20 cm, en 25 puntos situados a lo largo de tres transectos transversales y uno longitudinal, sobre la superficie del Parque (Figura 3). El diseño del muestreo fue condicionado por la limitada accesibilidad al interior del Parque. Por eso los perfiles se levantaron siguiendo catenas que permitían obtener muestras representativas de los materiales de los tipos funcionales, pero también de la variabilidad microtopográfica. Así, el perfil P4 está tomado en una sucesión de zonas más elevadas y más bajas. Los puntos elegidos permiten también observar la posible influencia de la red fluvial de drenaje sobre la composición química del suelo (Figura 3), a pesar del déficit de aportes hídricos que sufren las Tablas desde hace años. Además se ha prestado especial atención a tener adecuadamente representada la variabilidad en las dos direcciones principales; NE-SO y E-O, que definen el esquema de flujo de agua y sedimentos.

Para la toma de muestras se empleó una barrena manual Eijkelkamp modelo P1.01, teniendo especial cuidado en evitar la contaminación cruzada y el arrastre de material de los niveles superiores a los inferiores. Las muestras se almacenaron en bolsas de polietileno y fueron desecadas al aire hasta su procesamiento.

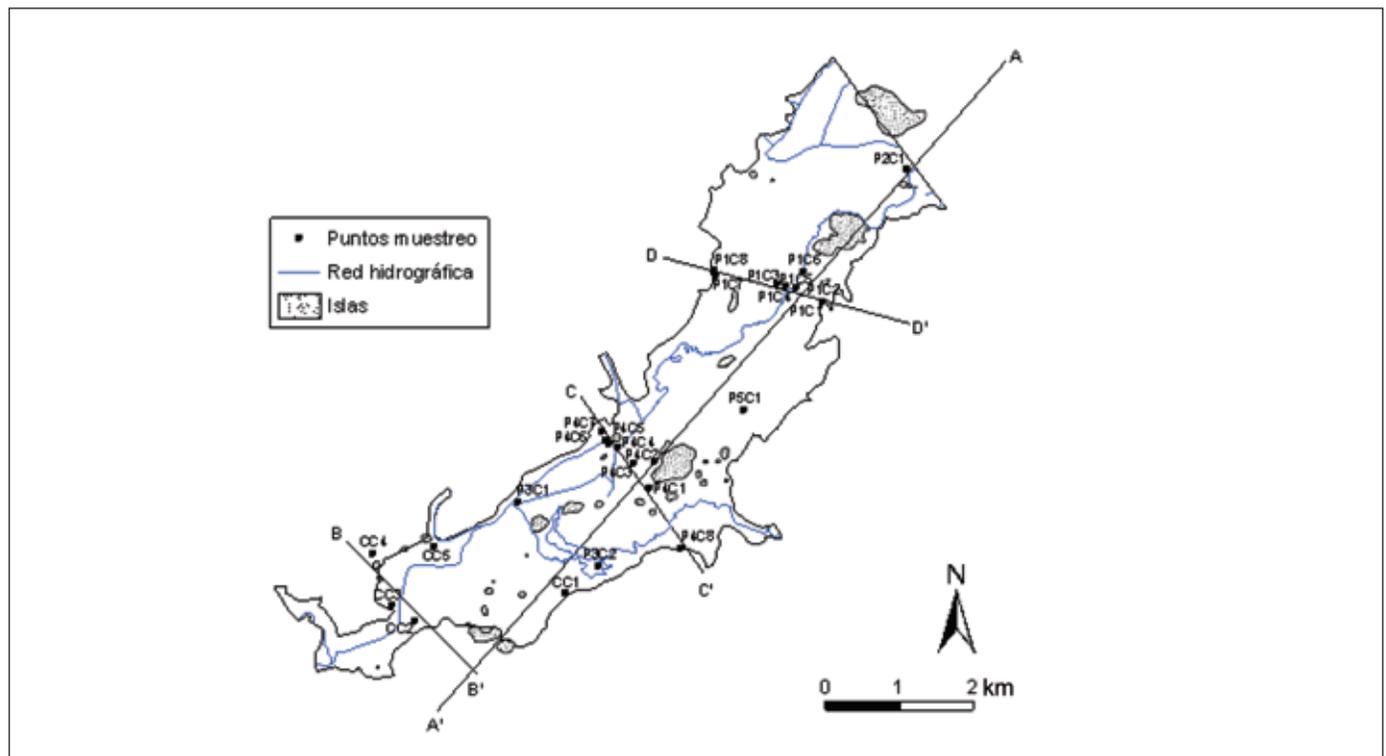


Figura 3. Puntos de muestreo para caracterización química y situación de los perfiles establecidos  
 Figure 3. Location of sampling points for chemical characterization and of the transversal profiles established

En laboratorio se realizaron las siguientes determinaciones sobre la matriz sólida: pH en suspensiones de suelo con agua y en disolución de cloruro potásico 1 M en proporciones peso/volumen de 1:2,5; carbono orgánico (método de oxidación en húmedo), nitrógeno orgánico y amoniacal total (método Kjeldahl), fósforo extraíble con bicarbonato (método de Olsen) y carbonatos (valoración rápida Piper, ISRIC, 2002). El porcentaje de carbono orgánico obtenido es posteriormente expresado en porcentaje de materia orgánica multiplicando por el factor de conversión 1,72, valor que se corresponde con un contenido promedio de carbono en la materia orgánica del 58% (ISRIC, 2002).

Por otra parte, se obtuvo el extracto acuoso (1:5) en el que se determinaron pH y conductividad eléctrica (electrometría), además de diversas especies solubles: sodio y potasio (espectrofotometría de emisión atómica), calcio, magnesio, amonio, sulfato, cloruro, bicarbonato, nitrato, nitrito y fosfato (espectrofotometría de absorción con autoanizador de flujo continuo), boro (ICP/AES) y carbonatos (volumetría)

### Resultados y discusión

En el mapa de la Figura 4 están representados los tipos funcionales de suelo definidos. Se observa que las mayores extensiones corresponden a las ovas y las arcillas. Se han distinguido las ovas limpias, situadas en zonas de tablazo abierto sin cobertura vegetal debido a las labores de siega anual de carrizo realizadas por los gestores del Parque, de las ovas edafizadas o "sucias", que presentan un menor grado de compactación y un mayor contenido en materia orgánica (MO) en superficie, procedente principalmente, de la descomposición del carrizo. Se debe destacar la concentración de las zonas turbosas en el centro-sur oriental del PNTD, indicando la presencia de ambientes anóxicos con importante acumulación de biomasa vegetal en el entorno del cauce del Guadiana y alrededor de la Presa del Morenillo. Estas condiciones se encontrarían favorecidas por la existencia de una lámina de agua somera y fluctuante (por influencia tanto natural como antrópica) y una disminución de la velocidad de la misma en los alrededores de la

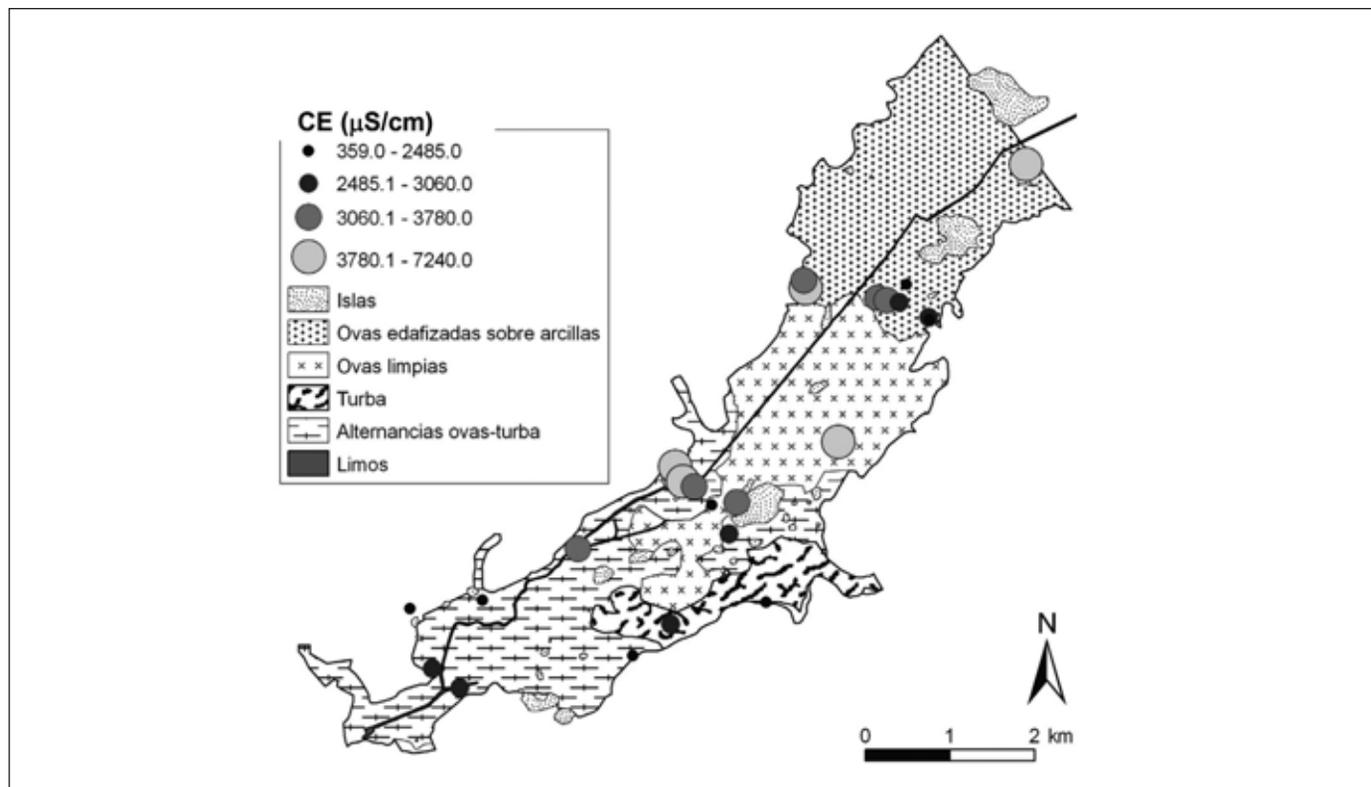


Figura 4. Distribución espacial de la agrupación por cuartiles de la mediana de las distribuciones de conductividad eléctrica (CE) en profundidad en los extractos de cada punto de muestreo  
 Figure 4. Spatial distribution of the median of electrical conductivity values in depth at each sampling point

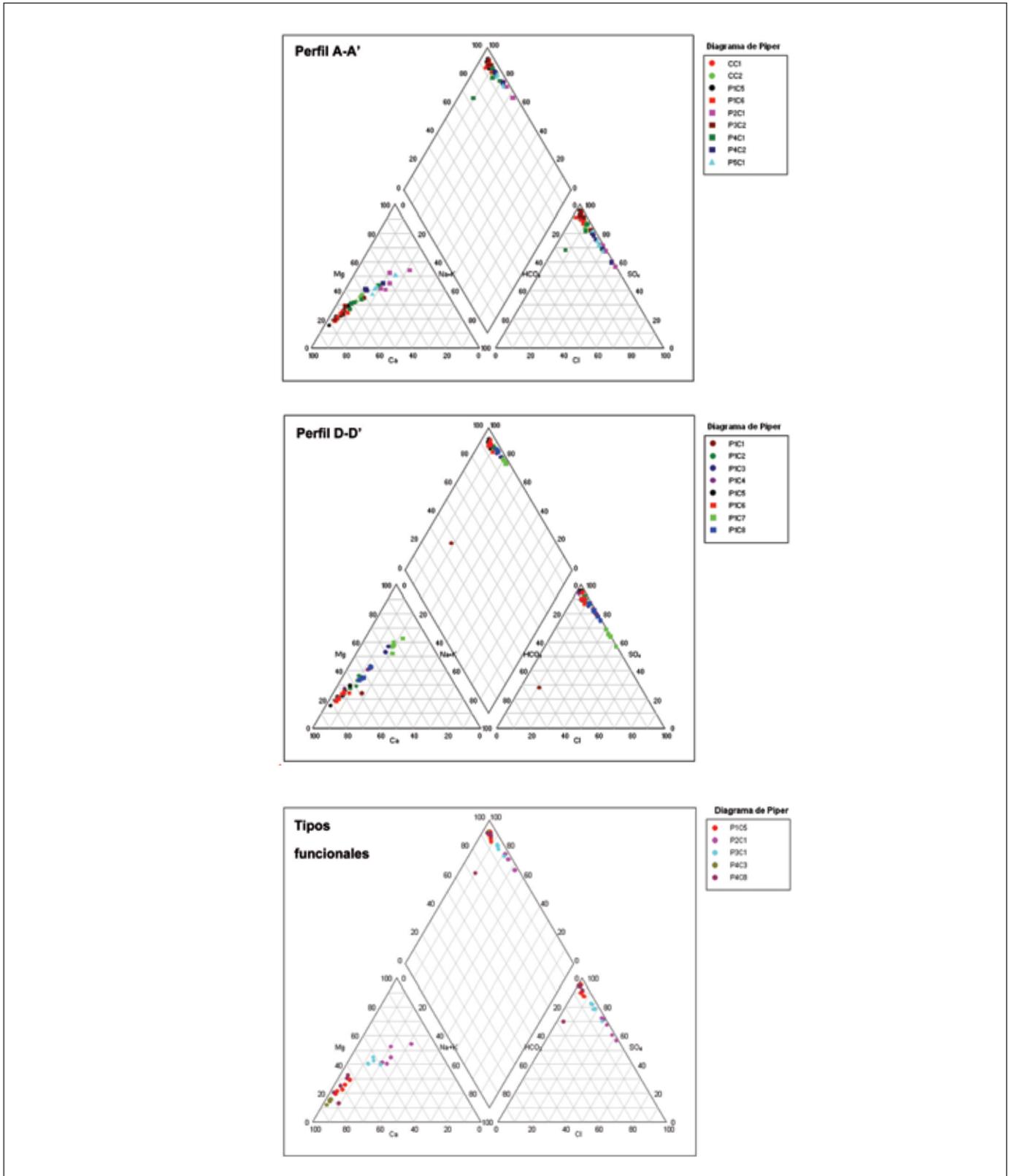


Figura 5. Diagramas de Piper representando las facies químicas de los distintos perfiles transversales muestreados y de puntos representativos de los tipos funcionales de suelo (P2C1: arcillas; P1C5: ovas edafizadas; P4C3: ovas limpias; P4C8: turba; P3C1: limos)  
 Figure 5. Piper diagrams for chemical composition representation of the different transversal profiles sampled and of the functional types defined (P2C1: clays; P1C5: edaphized charophyte layers; P4C3: clean charophyte layers; P4C8: peat; P3C1: silt)

represa (ambiente palustre). Los limos, de carácter fluvial muy reciente, han ido rellenando los zanjones y drenajes realizados a partir de los años 1960 para evitar el desbordamiento de los ríos Cigüela y Guadiana, especialmente el primero, formado por numerosos canales fluviales someros y mal definidos (García-Hidalgo *et al.*, 1995). Como se verá más adelante, a pesar de su limitada extensión, estos limos parecen desempeñar un papel muy importante en la acumulación de nutrientes.

### **Hidroquímica de los extractos**

En general, dados el carácter endorreico de las depresiones y la dinámica hidrológica e hidrogeológica actuales, se puede hablar de una tendencia hacia la salinización de los suelos de las Tablas, más acusada en la zona norte del Parque, donde afloran sedimentos evaporíticos procedentes de materiales yesíferos del Terciario. Incluso aparecen, puntualmente, costas y eflorescencias salinas normalmente ligadas a cambios bruscos estacionales de los niveles de agua (Cirujano *et al.*, 1996).

En la Figura 4 se presenta la agrupación por cuartiles de los valores que toma la mediana de las distribuciones de conductividad eléctrica (CE) de los extractos en cada punto de muestreo. Se observa, efectivamente, un aumento de la salinidad del suelo (> 6000 mS/cm) hacia el N y el O en zonas donde dominan las arcillas. La mayoría de los perfiles presentan valores de CE entre 2000 y 4000 mS/cm, similares a los medidos en las aguas subterráneas del sector oriental del Parque (González Monterrubio, 1992; García Rodríguez, 1996). Para presentar los resultados de este estudio se ha decidido utilizar la mediana en lugar de la media aritmética por considerarse una medida de centralización menos sesgada a la hora de describir conjuntos de datos que presentan alta variabilidad.

Las facies químicas observadas en los transectos transversales son relativamente homogéneas, con un dominio del tipo sulfatada cálcico magnésica en todos los perfiles estudiados (Figuras 3 y 5). No obstante, se puede apreciar, tanto en la dirección NE-SO (perfil A-A') como en la E-O (perfil D-D'), una transición generalizada hacia facies más enriquecidas en  $Mg^{2+}$ , que sustituye al  $Ca^{2+}$ , hacia el NE y el O. La proporción de Cl también se va incrementando en estas direcciones, aunque el  $SO_4^{2-}$  se mantiene como anión principal. Todo ello viene a corroborar el proceso de salinización antes mencionado. Para traducir esta información al contexto de los tipos de suelo definidos, en función de la mayor dominancia en el perfil,

se han seleccionado cinco puntos como representativos de cada tipo de material (Figura 5). El  $Mg^{2+}$  es el catión mayoritario en las zonas arcillosas del NO, mientras que el  $Ca^{2+}$  domina en las zonas carbonatas de las ovas, particularmente en el caso de las ovas limpias, y también en las turbas, posiblemente debido a la mayor influencia de las ovas en las áreas próximas (Figura 4). El punto P3C1, situado en el zanjón del Cigüela y formado por una capa superficial de unos 30 cm de espesor formada por limos con abundante MO situada sobre ovas con sales y zonas de oxidación, constituye una zona de acumulación de sedimentos y nutrientes, representando su composición química una situación intermedia de mezcla entre las de las ovas y las arcillas.

### **Cuantificación y distribución de nutrientes**

#### *Extracto*

En la Figura 6 se ha representado la distribución en profundidad de los nutrientes, CE y pH del extracto para el conjunto de las 121 muestras. La distribución observada en el caso del pH y la CE es relativamente homogénea, especialmente en el caso del pH, con un ligero aumento en profundidad y valores próximos a la neutralidad. Se aprecia una menor dispersión de los valores de CE en el tramo medio del perfil (40-80 cm), probablemente ligado a que es la zona en la que se produce la mayor extracción radicular de agua y nutrientes.

El  $K^+$ , el  $NO_3^-$  y el  $PO_4^{3-}$  se concentran en los primeros 40 cm del perfil, en la capa donde se produce la oxidación de la materia orgánica por microorganismos aerobios, con la consecuente liberación de nutrientes e incremento de la alteración mineral. Los valores de  $NO_3^-$  y  $K^+$  en esta capa se pueden considerar como muy altos (Cobertera, 1993), no así los de  $PO_4^{3-}$ , que se mantienen a niveles muy bajos. Por el contrario, el  $NH_4^+$  aumenta en profundidad al perder el medio capacidad oxidante. Las concentraciones de  $NO_2^-$  son, en general, muy bajas y no se han representado. El nitrógeno total, que representa la suma de todas las formas inorgánicas del extracto ( $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$  y  $NH_4^+$ ) expresada en mg/l de N, es decir, integra la información relativa a la presencia de formas nitrogenadas tanto oxidadas como reducidas a lo largo de todo el perfil en profundidad. En este caso refleja la dominancia del  $NO_3^-$ , concentrando los valores más elevados en los primeros 20 cm del perfil.

La Tabla 1 resume las concentraciones de nutrientes del extracto en función del tipo de suelo en puntos de muestreo considerados representativos de

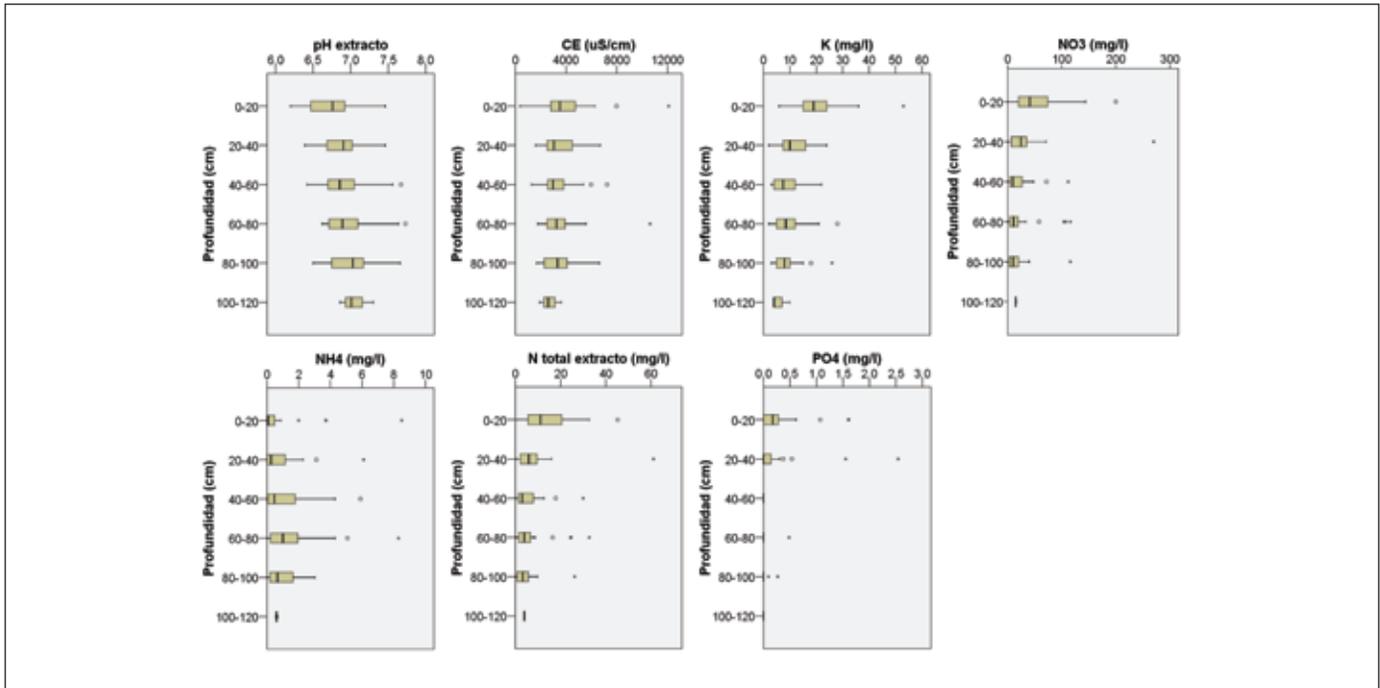


Figura 6. Distribución en profundidad de pH, conductividad eléctrica y nutrientes móviles del extracto acuoso de las muestras  
 Figure 6. Box-plots showing the distribution in depth of pH, electrical conductivity and labile nutrients from the aqueous extracts of the samples

cada tipo material. Se observa una gran dispersión de valores en cada perfil independientemente del tipo de material. Esta dispersión está asociada a la alta variabilidad y heterogeneidad del medio. El  $K^+$  se encuentra asociado a los suelos salinos arcillosos y a los limos fluviales. En las ovas sucias o edafizadas se acumulan cantidades de formas móviles nitrogenadas muy superiores al resto de materiales, particularmente  $NO_3^-$ . Por último, destacar las elevadas concentraciones de boro en los limos de zanjón, elemento cuya presencia se encuentra ligada a la de la MO, y tiene origen urbano.

En lo que se refiere a su distribución espacial en el PNTD, los nutrientes móviles tienden a acumularse en la zona central y nororiental del Parque, como se puede apreciar claramente en el mapa que representa la agrupación por cuartiles de los valores de la mediana de las distribuciones de la suma de concentraciones de formas nitrogenadas, fósforo y potasio del extracto (Figura 7), coincidiendo en algunos casos, como el del punto P1C5, con áreas próximas a la red de drenaje superficial (Figura 3). Tal y como sugerían los datos presentados en la Tabla 1, se trata de perfiles donde en general dominan las ovas edafi-

| Punto | Material     | $K^+$ (mg/l) |       |      | $NH_4^+$ (mg/l) |       |     | $NO_3^-$ (mg/l) |       |      | Ntot (mg/l) |       |      | $PO_4^{3-}$ (mg/l) |       |     | B ( $\mu$ g/l) |       |       |
|-------|--------------|--------------|-------|------|-----------------|-------|-----|-----------------|-------|------|-------------|-------|------|--------------------|-------|-----|----------------|-------|-------|
|       |              | Me           | $\mu$ | SD   | Me              | $\mu$ | SD  | Me              | $\mu$ | SD   | Me          | $\mu$ | SD   | Me                 | $\mu$ | SD  | Me             | $\mu$ | SD    |
| P2C1  | Arcillas     | 21,0         | 26,2  | 15,1 | 0,3             | 0,6   | 0,8 | 18,0            | 31,4  | 32,3 | 4,4         | 7,6   | 8,0  | 0                  | 0,1   | 0,1 | 0              | 0,0   | 0,0   |
| P1C5  | Ovas sucias  | 4,5          | 4,8   | 2,8  | 3,3             | 3,6   | 3,6 | 71,0            | 74,0  | 56,1 | 20,8        | 19,6  | 13,6 | 0                  | 0,5   | 0,8 | 0              | 84,2  | 133,8 |
| P4C3  | Ovas limpias | 7,0          | 8,2   | 3,8  | 1,7             | 1,3   | 0,8 | 17,0            | 25,4  | 21,7 | 5,2         | 6,8   | 4,4  | 0                  | 0,0   | 0,1 | 0              | 49,2  | 110,0 |
| P4C8  | Turba        | 3,0          | 9,0   | 9,5  | 0,1             | 0,1   | 0,2 | 8,0             | 14,4  | 11,8 | 1,8         | 3,4   | 2,6  | 0                  | 0,3   | 0,5 | 0              | 119,2 | 169,8 |
| P3C1  | Limos        | 17,0         | 20,4  | 8,9  | 1,8             | 1,8   | 1,8 | 7,0             | 13,6  | 11,1 | 4,5         | 4,5   | 1,4  | 0                  | 0,0   | 0,1 | 332            | 334,0 | 74,9  |

Tabla 1. Valores centrales y de dispersión de nutrientes del extracto en 5 puntos de muestreo representativos de cada material del suelo (Me: mediana;  $\mu$ : media; SD: desviación estándar)

Table 1. Central and dispersion values for nutrients in the aqueous extracts of 5 sampling points representative of each soil material (Me: median;  $\mu$ : mean; SD: standard deviation)

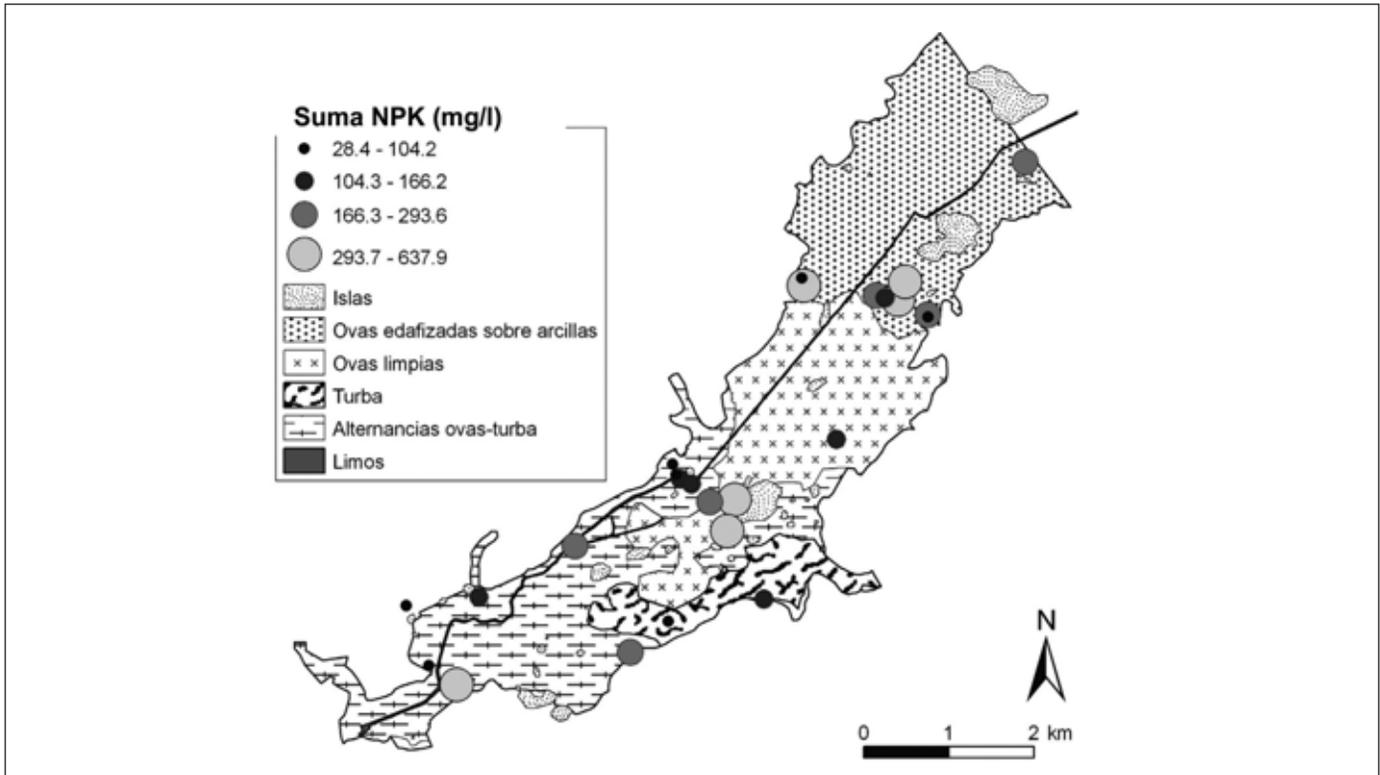


Figura 7. Distribución espacial de la agrupación por cuartiles de la mediana de las distribuciones de la suma de nutrientes ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{K}^+$ ) en los extractos de los perfiles muestreados

Figure 7. Spatial distribution of the sum of nutrients ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{K}^+$ ) in the extracts of the sampled profiles

zadas con altos contenidos en materia orgánica en superficie, lo que parece conferir a este material una gran capacidad de retención.

### Matriz sólida

El pH en la suspensión acuosa también es bastante homogéneo en profundidad, pero con un carácter algo más básico que en el extracto (Figura 8). El pH en KCl se determinó como indicador de la acidez potencial del suelo ( $\text{H}^+$  retenidos en el complejo de cambio) pero la distribución y valores son muy similares. La acidez del suelo esperable en base a las grandes cantidades de materia orgánica presentes, queda taponada por el abundante carbonato procedente de la roca madre (caliza y ovas) con un valor de la mediana para el conjunto de las 121 muestras del 46,5%. El contenido en MO es particularmente elevado, entre 0,99% y 24,05% en la capa superficial (primeros 20 cm), donde también se acumulan cantidades significativas de fósforo extraíble o asimilable (hasta 110 mg/kg) y nitrógeno total Kjeldahl (entre 0,06% y 1,21%), con valores considerados como "muy altos"

en Cobertera (1993). Mientras el fósforo desaparece en profundidad, la materia orgánica y el nitrógeno total orgánico y amoniacal asociado se mantienen, presentando además una gran dispersión hacia valores elevados. En la relación entre el carbono orgánico y el nitrógeno Kjeldahl (C/N) también se observa un aumento de la dispersión en profundidad pero, en general, se mantiene en valores entre 6 y 12, indicando un equilibrio entre mineralización y humificación.

Los resultados muestran que las cantidades de P extraíble con bicarbonato son muy superiores a las del P en el extracto acuoso (Tablas 1 y 2). Este hecho ya fue constatado por Koerselman *et al.* (1993) en su estudio sobre las tasas de liberación de N, P y K inorgánicos en suelos turbosos. Según estos autores, el balance desigual a favor del P asimilable se debe a que éste es indicativo del P potencialmente disponible para la vegetación, mientras que el P del extracto determina el  $\text{PO}_4^{3-}$  del suelo inmediatamente disponible a través de lavado. La cantidad de P extraíble se encontraría fuertemente regulada por procesos de sorción química (ej. formación de complejos de Al y Fe, fosfato cálcico). En el caso del PNTD, el pH ligeramente básico y las grandes cantidades de carbonato

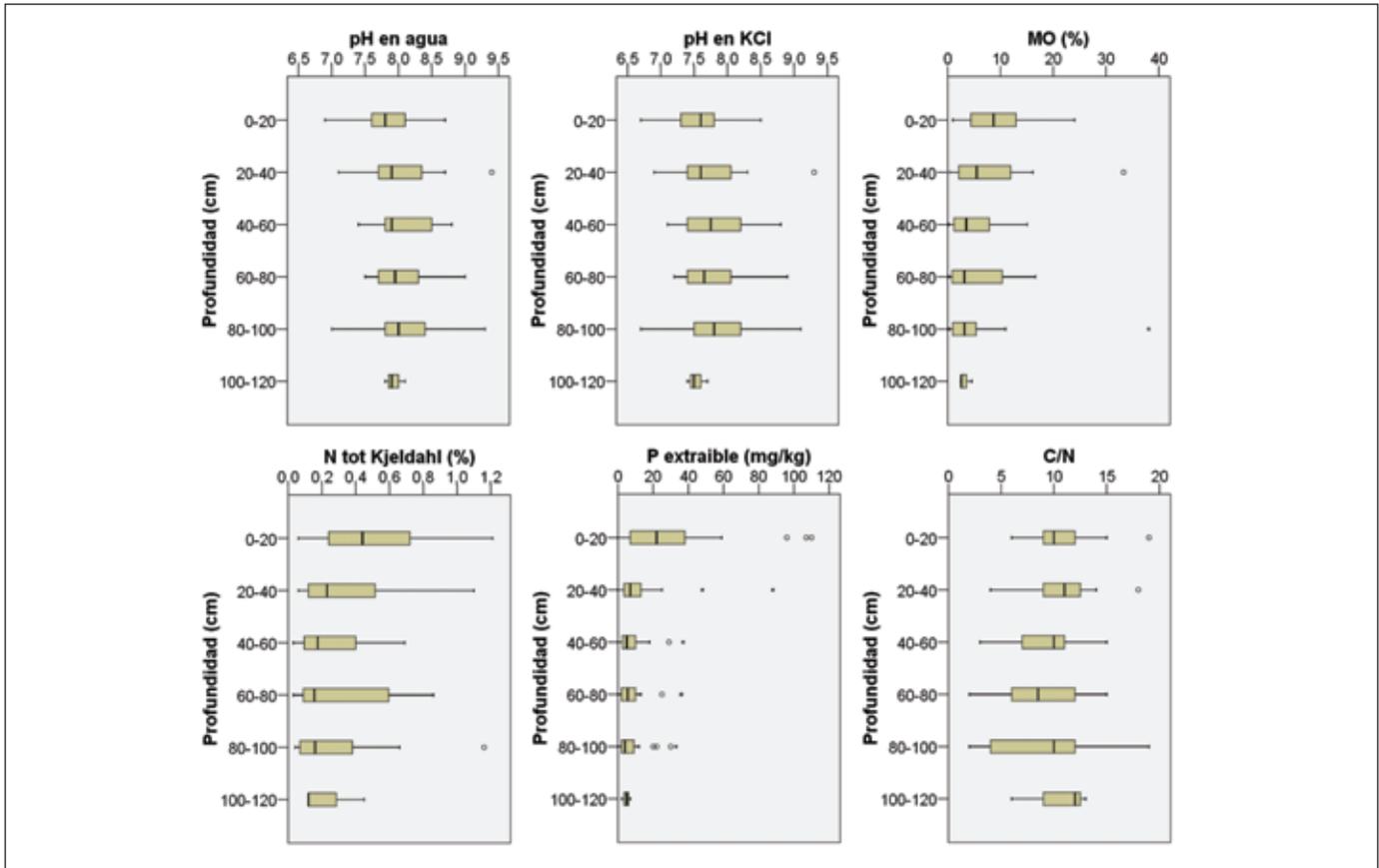


Figura 8. Distribución en profundidad de pH en agua y KCl, materia orgánica y nutrientes del suelo  
 Figure 8. Box-plots showing the distribution in depth of pH in both water and KCl solutions, organic matter and soil nutrients

y calcio presentes, apuntan hacia el fosfato de calcio como principal forma de retención del P del suelo. El fosfato de esta molécula es además fácilmente extraíble con bicarbonato (se libera el  $\text{PO}_4^{3-}$  y el calcio precipita como  $\text{CaCO}_3$ ).

La Tabla 2 muestra los contenidos en MO, N y P del suelo en los cinco perfiles representativos de cada

tipo de material. De nuevo la dispersión es muy elevada en todos los casos. La turba, las ovas edafizadas y los limos presentan las mayores cantidades de MO y lógicamente también de N orgánico. Las arcillas y las ovas limpias presentan valores inferiores, especialmente las primeras. Llama la atención la importante acumulación de P extraíble en los limos, casi

| Punto | Material     | % MO |       |     | % Norg |       |     | P (mg/kg) |       |      |
|-------|--------------|------|-------|-----|--------|-------|-----|-----------|-------|------|
|       |              | Me   | $\mu$ | SD  | Me     | $\mu$ | SD  | Me        | $\mu$ | SD   |
| P2C1  | Arcillas     | 1,0  | 1,7   | 1,7 | 0,1    | 0,1   | 0,1 | 2,0       | 2,8   | 2,7  |
| P1C5  | Ovas sucias  | 7,1  | 9,7   | 7,6 | 0,4    | 0,4   | 0,3 | 7,2       | 7,2   | 3,1  |
| P4C3  | Ovas limpias | 3,3  | 4,2   | 2,2 | 0,2    | 0,2   | 0,1 | 6,5       | 8,2   | 3,3  |
| P4C8  | Turba        | 5,8  | 8,8   | 5,9 | 0,4    | 0,5   | 0,3 | 8,8       | 13,2  | 9,1  |
| P3C1  | Limos        | 9,7  | 10,3  | 1,3 | 0,5    | 0,4   | 0,1 | 37,1      | 60,4  | 34,8 |

Tabla 2. Valores centrales y de dispersión de MO y nutrientes del suelo en 5 puntos de muestreo representativos de cada tipo de material (Me: mediana;  $\mu$ : media; SD: desviación estándar)  
 Table 2. Central and dispersion values for organic matter (MO) and soil nutrients at 5 sampling points representative of each soil material (Me: median;  $\mu$ : mean; SD: standard deviation)

cinco veces superior al contenido medio en el perfil turboso. Este hecho, unido a las antes mencionadas altas concentraciones de B en zonas de zanjón, apunta hacia los limos fluviales como un tipo funcional acumulador de MO y nutrientes.

La distribución espacial de la MO, y por tanto también del N orgánico, está en consonancia con los datos de la Tabla 2, ya que los valores más altos se presentan en la parte central y final del PNTD (Figura 9a), es decir, en zonas de ovas y turba, y en los limos de los canales. También aparece en cantidades significativas en las zonas de ovas edafizadas del norte del Parque. Todas ellas son áreas con abundante desarrollo vegetal, principalmente carrizales. De esta forma parece corroborarse que esta planta perenne rizomatosa, con una biomasa subterránea del mismo orden e incluso superior a la superficial, con valores por encima de los 4 kg/m<sup>2</sup> (Cirujano *et al.* 2006), y con una tasa de renovación anual, constituye actualmente una de las principales fuentes de MO y nutrientes al medio a través de la descomposición y mineralización de los restos vegetales (Sánchez-Carrillo y Álvarez-Cobelas, 2001; Sánchez-Carrillo *et al.*, 2001). De hecho, Sánchez-Carrillo *et al.* (2001), en su estudio sobre la sedimentación en el PNTD, encuentran una asociación lineal entre cobertura de carrizo y tasa de sedimentación de MO con un R<sup>2</sup> de 0.78 (p<0.004).

El mapa de distribución de los cuartiles de la mediana de MO (Figura 9a) presenta ciertas similitu-

des con el de nutrientes extractables (Figura 7) en el sentido de que siempre que las concentraciones de nutrientes móviles son elevadas, también lo es, en muchos casos, el contenido en MO. En este sentido Sánchez-Carrillo *et al.* (2001) sugieren, a partir de lo observado por Koelmans (1998), una rápida mineralización superficial de la MO, más que la precipitación de sólidos en suspensión (según estos autores el flujo y el nivel de agua sólo explican el 13% de la varianza en los procesos de sedimentación en el PNTD), como principal mecanismo de acumulación de C, N y P inorgánicos. Todo ello parece indicar la ocurrencia de un proceso cíclico de retroalimentación positiva, en el que la acumulación de nutrientes asociada a las altas tasas de mineralización favorece de nuevo el desarrollo de la propia fuente principal, el carrizo. El efecto neto de la relación entre producción y descomposición vegetal es la acumulación de detrito (Sánchez-Carrillo *et al.*, 2001). Dadas las condiciones actuales, la tendencia hacia el aumento progresivo de la cobertura de carrizo, constatado por Álvarez-Cobelas *et al.* (2001), generarán un incremento en las cantidades de nutrientes acumuladas y, por tanto, en el grado de eutrofia del ecosistema. Además, Sánchez-Carrillo *et al.* (2001) describen unas tasas de sedimentación en el PNTD más elevadas que en la mayoría de los humedales (1,61-3,87 cm año<sup>-1</sup>). Sin embargo estos datos fueron obtenidos a partir de observaciones realizadas durante un periodo relativa-

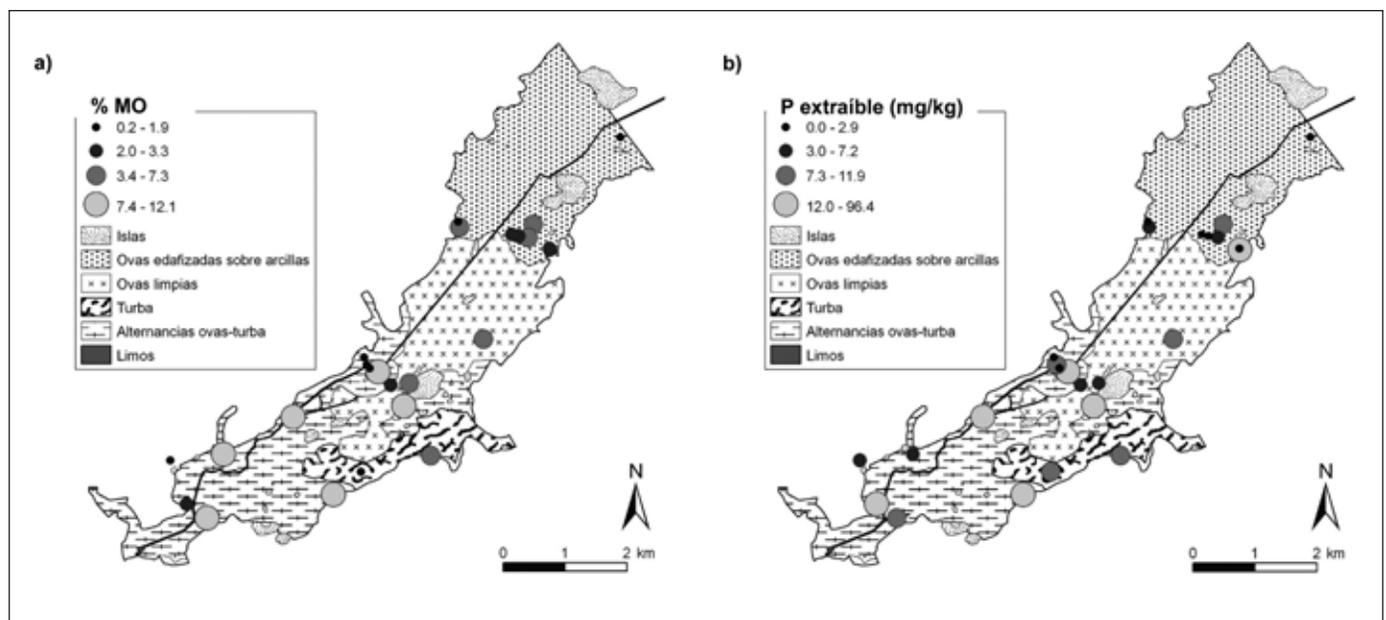


Figura 9. Distribución espacial de la agrupación por cuartiles de la mediana de las distribuciones de los porcentajes de materia orgánica (a) y fósforo extraíble (b) en los perfiles muestreados  
 Figure 9. Spatial distribution of the median of organic matter percentage (a) and extractable phosphorous (b) in the sampled profiles

mente húmedo (1997-1998), y otros autores, como Domínguez-Castro *et al.* (2006), estiman, a través de un modelo de registro sedimentario, una tasa de acreción media para todo el siglo XX bastante menor (0,184 cm año<sup>-1</sup>).

Por otra parte, la enorme acumulación superficial de P extraíble (Figura 8) queda enmascarada en el mapa de la Figura 9b por la centralización de valores de todo el perfil, excepto en el punto P1C1 (96 mg/kg de suelo), situado en una zona cultivada sobre materiales terciarios, que sólo cuenta con una única observación. Otros perfiles con altas cantidades de P extraíble en superficie son el limoso P3C1 (107 mg/kg), y los situados en zonas de alternancias de ovas y turba P4C1 (47 mg/kg), P4C4 (59 mg/kg) y CC3 (110 mg/kg). Aunque todos ellos están ubicados en zonas de carrizal, algunos no presentan grandes cantidades de MO y son a su vez puntos relacionados con zonas de inundación o cauces superficiales. Sánchez-Carrillo *et al.* (2001) estimaron que el P de origen autóctono constituía más de un 90% del P total sedimentado. Sin embargo, en el mismo trabajo también se argumentaba el predominio del material mineral sobre el orgánico en la sedimentación alóctona por vía superficial. En los datos aquí presentados, tanto de nutrientes extractables como de P extraíble, se observa una cierta asociación espacial con la red de drenaje superficial, lo que parece indicar que la inundación ocasional, generalmente a través del trasvase Tajo-Segura o de avenidas puntuales, puede constituir también una fuente de nutrientes al suelo. No hay que olvidar que el PNTD se encuentra situado al final de toda la cuenca Alta del Guadiana, donde existe una actividad agrícola considerable y, por tanto, aunque la red fluvial sea inactiva, puntualmente no lo es, recibiendo el Parque parte de lo que se lave en el sistema y de lo que se vierta en los cauces. Esto explicaría, en parte, los altos niveles observados en los limos fluviales. A pesar de ello, la decreciente frecuencia en los episodios de inundación de las Tablas augura poco peso a esta fuente de nutrientes en el futuro. Por último, parece conveniente destacar en este punto lo observado por Koerselman *et al.* (1993): las aguas superficiales de mala calidad, como lo suelen ser las que fluyen esporádicamente por el PNTD, favorecen la liberación y movilización de nutrientes (N y P) retenidos en suelos turbosos, especialmente de P, con el consiguiente riesgo de lavado hacia el nivel freático, a través de la zona no saturada.

## Conclusiones

La composición química y las elevadas conductividades eléctricas observadas en los extractos acuosos de

las muestras analizadas reflejan las características litológicas predominantes y el proceso de salinización actual, más acusado en las áreas arcillosas noroccidentales del Parque. En todos los casos las facies químicas observadas son del tipo sulfatadas cálcico-magnésicas. El magnesio domina en las zonas arcillosas del norte y el oeste, mientras que el calcio predomina en las zonas carbonatadas de ovas, y en las de turba, situadas en el centro y sur del PNTD.

Las elevadas concentraciones de nutrientes móviles medidas en los primeros 40 cm de los perfiles muestreados, sugieren la existencia de un proceso activo de liberación y acumulación de nutrientes. Los análisis indican que estos nutrientes se encuentran retenidos en zonas superficiales donde dominan las ovas edafizadas y proceden, principalmente, de la descomposición del carrizo. También se constata su acumulación en los zanjones y canales de origen antrópico, rellenados por limos fluviales con abundante materia orgánica y en otros puntos relacionados con la red de drenaje superficial.

El porcentaje de materia orgánica es muy elevado tanto en superficie como en profundidad, especialmente en la zona central y meridional del Parque. Existe, por tanto, un elevado riesgo de movilización de nutrientes hacia la zona saturada, ya que en muchas zonas el nivel freático es bastante somero, situándose a tan sólo 80 o 100 cm de profundidad. Este proceso se vería favorecido además por la infiltración de aguas de mala calidad como los son, por ejemplo, el efluente de la depuradora de aguas residuales de Villarrubia de los Ojos que se vierte al zanjón del Cigüela a escasos 6 km del límite norte del PNTD, o las procedentes de la recirculación de aguas subterráneas, de carácter salino, que se vierten directamente sobre el vaso de Las Tablas para mantener una superficie mínima encharcada.

## Agradecimientos

El presente trabajo se encuentra enmarcado dentro del proyecto CICYT CGL2005-06458-C02-01, que tiene como título: Influencia del clima y la actividad humana en la degradación de zonas húmedas protegidas (Parque Nacional de las Tablas de Daimiel). Queremos agradecer su colaboración y apoyo a los gestores y guardas del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. Fundamental ha sido también la ayuda material y logística aportada por el personal del Departamento de Edafología de la Universidad Complutense. En sus instalaciones se realizaron las determinaciones sobre la matriz sólida. Por último, al personal del laboratorio de Aguas del IGME en Tres

Cantos que llevaron a cabo los análisis sobre los extractos acuosos.

## Referencias

- Álvarez-Cobelas, M. y Cirujano, S. 2007. Multilevel responses of emergent vegetation to environmental factors in a semiarid floodplain. *Aquatic Botany*, 87, 49-60.
- Álvarez-Cobelas, M., Cirujano, S. y Sánchez-Carrillo, S. 2001. Hydrological and botanical man-made changes in the Spanish wetland of Las Tablas de Daimiel. *Biological Conservation*, 97, 89-98.
- Álvarez-Cobelas, M., Moreno, M., Ortega Bernaldo de Quirós, E., Cirujano, S., Rodrigo, M.A., Medina, L., Sánchez, S., Rojo, C., Riobos, P. y Angeler, D.G. 2000. Las Tablas de Daimiel: avatares de un humedal europeo. *Quercus*, 178, 16-25.
- Castaño, S. 2003. *Estudio metodológico para el cálculo de la infiltración en el vaso de las Tablas de Daimiel: validación de resultados*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 112 pp. (<http://www.ucm.es/eprints/5263/>).
- Cirujano, S., Casado, C., Bernues, M. y Camargo, J.A. 1996. Ecological study of Las Tablas de Daimiel National Park (Ciudad Real, Central Spain): Differences in water physico-chemistry and vegetation between 1974 and 1989. *Biological Conservation*, 75, 211-215.
- Cirujano, S., Álvarez-Cobelas, M., Soriano, O., Alonso, J.M., Moreno, M., López, E. y Ortiz, M.J. 2006. *Informe de seguimiento y monitoreo ambiental en el P. N. Las Tablas de Daimiel (2003-2005)*. EINTAM, Estudios Europeos de Medio Ambiente S.L. y Organismo Autónomo Parques Nacionales, 273 pp.
- Cobertera, E. 1993. *Edafología aplicada*. Cátedra, Madrid, 328 pp.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. y Van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Cruces, J. y Martínez Cortina, L. 2000. *La Mancha Húmeda. Explotación intensiva de las aguas subterráneas en la cuenca alta del río Guadiana*. Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas, Serie A, nº3. Fundación Marcelino Botín. Santander, 66 pp.
- Domínguez-Castro, F., Santisteban, J.I., Mediavilla, R., Dean, W.E., López-Pamo, E., Gil-García, M.J. y Ruiz-Zapata, M.B. 2006. Environmental and geochemical record of human-induced changes in C storage during the last millennium in a temperate wetland (Las Tablas de Daimiel National Park, central Spain). *Tellus*, 58, 573-585.
- Eснаоla, J.M. y Martínez Alfaro, P.E. 1992. Análisis de las aportaciones superficiales al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel y su influencia en la evolución hidrogeológica del ecosistema. *Hidrogeología y recursos hidráulicos, V Simposio de Hidrogeología*, Alicante, 16, 411-423.
- García Rodríguez, M. 1996. *Hidrogeología de las Tablas de Daimiel y de los ojos del Guadiana. Bases hidrogeológicas para una clasificación funcional de humedales ribereños*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 437 pp.
- García Rodríguez, M. y Llamas, M.R. 1992. Aspectos hidrogeológicos en relación con la génesis y combustión espontánea de las turbas en los "Ojos" del Guadiana. *Actas del III Congreso Geológico de España*, Salamanca, 2, 285-289.
- García-Hidalgo, J.F., Temiño, J., de Bustamante, I. y Segura, M. 1995. Evolución sedimentaria reciente de las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). *Geogaceta*, 18, 87-89.
- González Monterrubio, J.M. 1992. *Análisis hidrogeológico de la sobreexplotación y protección de humedales en la Ley de Aguas de 1985*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 394 pp.
- ISRIC (*Internacional Soil Reference and Information Centre*). 2002. *Procedures for soil analysis*. 6ª Edición, Informe técnico 9, ISRIC, Wageningen, 120 pp.
- IUSS Working Group WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources 2007. *World Soil Resources Reports* nº 103. FAO, Roma, 116 pp.
- Koerselman, W., Van Kerkhoven, M. y Verhoeven, J. 1993. Release of inorganic N, P and K in peat soils; effect of temperature, water chemistry and water level. *Biogeochemistry*, 20, 63-81.
- López-Camacho, B., Bustamante, I., Dorado, M. y Arauzo, M. 1996. El entorno de Las Tablas: Hidrología. En: *Las Tablas de Daimiel. Ecología acuática y sociedad* (Álvarez-Cobelas, M. y Cirujano, S., Eds.). Publicaciones del Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid, 57-63.
- Martínez-Santos, P., Castaño, S., Santisteban, J.I., Martínez-Alfaro, P.E., Mediavilla, R. y López-Pamo, E. 2004. Tendencias climáticas durante el último siglo (1904-2002) en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). *Geotemas*, 6, 129-132.
- Mitsch, W.J. y Gosselink, J.G. 1993. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold, New York, 722 pp.
- Moreno, L., Castaño, S., Jiménez, E., Aguilera, H. y De la Losa, A. 2007. Control del efecto de la inversión del flujo vertical (descarga a recarga) sobre la composición química del agua subterránea en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel. *Resúmenes del I Congreso Nacional sobre Cambio Global*, Getafe, pág. 30.
- Natural Resources Conservation Service. 2003. *Keys to Soil Taxonomy*. Ninth edition, USDA, Washington DC, 332 pp.
- Pérez-González, A. 1996. El entorno de Las Tablas: Marco Geológico y Geomorfológico. En: *Las Tablas de Daimiel. Ecología acuática y sociedad* (Álvarez-Cobelas, M. y Cirujano, S., Eds.). Publicaciones del Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid, 31-35.
- Phillips, J.D. 1989. Fluvial sediment storage in wetlands. *Water Resources Bulletin*, 25, 867-873.
- Rodríguez García, J.A. 1998. *Geomorfología de las Tablas de Daimiel y del endorreísmo manchego centro-occidental*. Tesina de licenciatura, Universidad Complutense de Madrid.
- Sánchez-Carrillo, S., Álvarez-Cobelas, M., Angeler, D.G. y

- Vizcayno Muñoz, C. 2000. Tasas de acreción y características de los sedimentos actuales en el Parque Nacional Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real). *Estudios Geológicos*, 56, 239-250.
- Sánchez-Carrillo, S. y Álvarez-Cobelas, M. 2001. Nutrient dynamics and eutrophication patterns in a semi-arid wetland: the effects of fluctuating hydrology. *Water Air and Soil Pollution*, 131, 97-118.
- Sánchez-Carrillo, S., Álvarez-Cobelas, M. y Angeler, D.G. 2001. Sedimentation in the semi-arid freshwater wetland Las Tablas de Daimiel (Spain). *Wetlands*, 21, 112-124.
- Sánchez-Carrillo, S., Angeler, D.G., Sánchez-Andrés, R., Álvarez-Cobelas, M. y Garatuzza-Payán, J. 2004. Evapotranspiration in semi-arid wetlands: relationships between inundation and the macrophyte cover:open-water ratio. *Advances in Water Resources*, 27, 643-655.
- Valiño, M.D., Rodríguez, A.V., Zapata, M.B.R., García, M.J.G. y Gutiérrez, I.D. 2002. Climatic changes since the Late-glacial/Holocene transition in La Mancha Plain (South-central Iberian Peninsula, Spain) and their incidence on Las Tablas de Daimiel marshlands. *Quaternary International*, 93 (4), 73-84.

Recibido: enero 2009  
Revisado: abril 2009  
Aceptado: julio 2009  
Publicado: octubre 2009

