TIPOLOGIA DE LAS FORMACIONES PALUSTRES DEL ACUIFERO DE MADRID BASADA EN ALGUNAS DE SUS COMUNIDADES DE CRUSTACEOS ACUATICOS.

A.G. Besteiro¹, C. Montes¹ y M. Alonso²

¹ Dpto. Interuniversitario de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid. ² LIMNOS, S.A. c/Bruc, 168. 08037 Barcelona.

Palabras clave: crustaceos meiobentónicos, descarga de agua subterránea, acuífero de Madrid, clasificación ecológica.

ABSTRACT

The composition and structure of crustacean communities present in the wetlands of the Madrid aquifer system are closely related to the environmental variability of these epicontinental aquatic ecosystems; which is itself fundamentally determined by variations in rates of groundwater discharge into these wetlands.

INTRODUCCION

A pesar de la importancia que posee el conocimiento de los procesos hidrológicos en la caracterización, cuantificación y modelado de la organización y funcionamiento de los humedales, existe una gran escasez de trabajos de investigación realizados desde esta perspectiva (Gosselink & Turner, 1978; Mitsch & Gosselink, 1986).

De todos los elementos que inciden en el funcionamiento hídrico de un humedal, el agua subterránea y su interacción en el balance hídrico global es el que suscita mayor interés, a pesar de tratarse de un aspecto poco conocido (Winter, 1976).

El acuífero de Madrid constituye un lugar idóneo para la realización de este tipo de estudios ya que posee un buen nivel de conocimiento sobre los modelos de funcionamiento de los sistemas de flujo de aguas subterráneas (Llamas & López Vera, 1975) y sobre diferentes aspectos de su medio físico (clima, litología, e hidrología superficial entre otros).

Las formaciones palustres situadas sobre este acuífero poseen, a modo de gradiente, un distinto grado de relación con las aguas subterráneas, según su distribución en las áreas de recarga-descarga, lo que confiere en la zona una gran variabilidad ambiental a las láminas de aguas no fluyentes sobre todo en cuanto a su régimen hidrológico y características físico-químicas se refiere.

En este contexto, las comunidades de crustáceos son altamente reactivas a cambios del régimen hidrológico e hidroquímico de las láminas de agua con una elevada relación superficie de la cubeta/volumen de agua (Alonso & Comelles, 1987) por lo que constituyen una buena herramienta de trabajo para elaborar una clasificación ecológica dentro de estudios de Limnología regional.

MATERIAL Y METODOS

El acuífero de Madrid mantenía 53 lagunas y charcas de pequeña extensión (inferior a 1 ha en la mayoría de los casos) repartidas de una forma asimétrica por toda su superficie. Por diversas causas (fundamentalmente la utilización de sus cubetas como receptáculos de residuos sólidos y líquidos) en la actualidad tan sólo permanecen 17 charcas (Figura 1). Mediante un programa de muestreo extensivo se recogió la fracción de organismos acuáticos planctónicos y aquellos que se situaban entre la fauna bentónica y planctónica (meiobentos). Las muestras se tomaron en el ciclo hidrológico 1986-87 durante el periodo de máxima productividad biológica (Febrero a Mayo). Los organismos se recogieron con una red de mano de luz de malla de 50 micras y se conservaron en formol al 4% hasta su posterior separación y determinación.

Figura 1. Situación geográfica de las formaciones palustres estudiadas en el acuífero de Madrid.

En trabajos previos (Besteiro & Montes, 1991; Besteiro, 1992) las formaciones palustres del acuífero de Madrid fueron asociadas a sectores ambientales con sentido ecológico (Figura 3). En cada sector cada lámina de agua tiene características limnológicas similares debido al grado de relación con los distintos tipos de flujos subterráneos (Tabla 1). En este trabajo se pretende contrastar dicha sectorización con una tipología de formaciones palustres realizada en función de sus comunidades de crustáceos planctónicos y meiobentónicos. Para ello, la matriz de ausencia-presencia obtenida, fue sometida a un análisis DECORANA (Detrended Correspondence Analysis) (Hill, 1979) que examina la similitud de localidades en función de la presencia de las especies, reduciendo el efecto de arco que producen otras técnicas de ordenación.

RESULTADOS

Se han identificado un total de 36 especies de crustáceos en las 17 localidades examinadas (Tabla 2).

En un primer análisis DECORANA realizado con todas las muestras, los dos primeros ejes absorbieron el 29,6% de la variación total. Mientras que el eje I (16,5% de la varianza absorbida) posee un significado de salinidad de las aguas, el eje II con un 13,1% de la varianza explicada, queda definido por el grado de permanencia del agua en la cubeta.

La representación de las especies y lagunas en el espacio definido por estos ejes (Figura 2)

	SECTOR 1 DESCARGA REGIONAL. ○	SECTOR 2 RARAS △	SECTOR 3 DESCARGA INTERMEDIA □	SECTOR 4 DESCARGA LOCAL. ◇	SECTOR 5 RECARGA REGIONAL ▽
TIPO HIDROLÓGICO	Hipogénico de flujos regionales mixtos.	Epigénico de cubeta impermeable.	Hipogénico de flujos reg. alcalinos "ojos"	Hipogénico de flujos cortos "ojos"	Epigénico de recarga
RELACION CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	Flujos regionales de agua subterránea. Acuífero regional	Acuíferos colgados independientes del regional.	Flujos intermedios de agua subterránea. Acuífero regional	Flujos locales de agua subterránea. Acuífero regional	No conectadas con el acuífero regional
PERMANENCIA DEL AGUA					
MINERALIZACIÓN DEL AGUA	$\bar{X}$ 14.947	128,3	1.320	326	241,1
Conductividad ($\mu S/cm$)	rango 6.980-32.000	33-287	823-2.830	279-362	104-511
COMPOSICIÓN IÓNICA	Clorurado- sódica	Bicarbonatado- cálcica	Bicarbonatado- sódica	Bicarbonatado- cálcica	Bicarbonatado- cálcica
TURBIEDAD	Poco turbias	Poco turbias	Poco turbias	Poco turbias	Muy turbias
	$\bar{Z}= 0,17 m$ $\bar{S}= 0,18 ha$	$\bar{Z}= 0,47 m$ $\bar{S}= 0,34 ha$	$\bar{Z}= 0,7 m$ $\bar{S}= 0,05 ha$	$\bar{Z}= 1,05 m$ $\bar{S}= 0,02 ha$	$\bar{Z}= 0,4 m$ $\bar{S}= 0,3 ha$
MORFOLOGÍA DE LA CUBETA					
CÓDIGO DE LAS FORMACIONES PALUSTRES	1, 2	6, 7, 8, 9	3, 4, 5	10, 11	12, 13, 14, 15, 16, 17

Tabla 1. Características de cada tipo genético-funcional de formaciones palustres en el acuífero de Madrid y su relación con los flujos de agua subterránea.

revela la existencia de dos humedales de características extremas en los gradientes mostrados por los ejes. Se trata de la laguna de las Torres, perteneciente al sector 1 de descarga regional de flujos largos altamente mineralizados con especies características de ambientes salinos tales como *Arctodiaptomus salinus*, *Simocephalus exspinosus* y *Cleiocamptus retrogressus* (Alonso, 1990).

Por otro lado, la laguna de Fuente del Valle, de carácter permanente a causa de los aportes de agua residual que recibe desde una población cercana se encuentra altamente eutrofizada y evidencia esta circunstancia a través de algunas especies de comunidades de crustáceos presentes. Este es el caso de *Acanthocyclops sp.*, organismo característico de aguas eutrofizadas o contaminadas (Alonso, 1985).

Un segundo análisis DECORANA efectuado sobre un total de 15 localidades (después de haber omitido los dos humedales antes mencionados), permitió encontrar otras tendencias diferenciadoras que fragmentaran el grupo.

Los dos primeros ejes de este nuevo análisis resultaron tener significados ambientales algo diferentes a los obtenidos en el análisis anterior. En este caso, mientras que el eje I puede asimilarse a la permanencia del agua, el eje II representa un gradiente de mayor-menor turbiedad de las aguas.

La representación de las especies y formaciones palustres en el espacio definido por dichos ejes (Figura 2) diferencia un grupo de lagunas denominadas genericamente "ojos" más profundas, con período hídrico prolongado (Octubre a Junio) y amortiguado respecto a su régimen de fluctuaciones debido a su relación con la descarga de flujos intermedios o locales de agua subterránea (sectores 3 y 4 respectivamente). Presentan especies con gran afinidad por medios permanentes o semipermanentes

NUMERACION UTILIZADA EN LOS NOMBRES DE LOS HUMEDALES

1- Manantial de la Mata	7- Baldíos	12- Buenavista
2- Laguna de las Torres	8- Retamalón	13- Laguna Chica
3- Ojo del Bravo	9- Laguna Delgada	14- Laguna Antigua
4- Fuente del Valle	10- Navazarza	15- Cerro del Rayo
5- Sanchibuey	11- Aguajil	16- Balsa de los Llanos
6- Charca Seca		17- Laguna de José Herrero

Taxón	Código	Localidades																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
O. ANOSTRACA																		
<i>Chirocephalus</i> sp.	CHY	+				+			+	+			+	+	+		+	+
O. NOTOSTRACA																		
<i>Triops cancriformis</i> Bosc	TRICA																+	+
O. DIPLOSTRACA																		
SUBOR. CONCHOSTRACA																		
<i>Cycicus grubei</i> (Simon)	CYZGR												+	+		+	+	+
SUBOR. CLADOCERA																		
<i>Alona azorica</i> Frenzel	ALOAZ							+	+	+								
<i>A. rectangula</i> Sars	ALORE												+					
<i>Alona</i> sp.	ALO	+																
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> Müller	CERQU				+	+	+	+	+					+	+	+		
<i>Chydorus pizarri</i> Alonso	CHYPI									+								
<i>C. sphaericus</i> Müller	CHYSP	+		+							+	+					+	+
<i>Daphnia atkinsoni</i> Baird	DAPAT													+	+			
<i>D. bolivari</i> Richard	DAPBO															+		
<i>D. hispanica</i> Alonso	DAPHI									+								
<i>D. obtusa</i> Kurz	DAPOB											+		+				
<i>D. pulicaria</i> Hrbáček	DAPPU																+	+
<i>Dunhevedia crassa</i> King	DUNCR						+		+	+								
<i>Ephemeropterus phintonicus</i> Margaritora	EPHPH						+											
<i>Leydigia acanthocercoides</i> Fischer	LEYAC												+	+	+	+		
<i>Macrothrix hirsuticornis</i> Norman & Brady	MACHI									+								+
<i>Moina brachiata</i> Jurine	MOIBR					+	+	+		+			+	+				+
<i>Pleuroxus aduncus</i> Jurine	PLEAD												+	+				
<i>P. Letourneuxi</i> Richard	PLELE				+												+	
<i>Simocephalus exspinosus</i> Koch	SIMEX		+															
<i>S. vetulus</i> Müller	SIMVE			+		+					+	+						
<i>Simocephalus</i> sp.	SIM									+								
Subcl. Copepoda																		
<i>Acanthocyclops</i> sp.	ACA				+													
<i>Arctodiaptomus salinus</i> Daday	ARCSA		+															
<i>A. wierzejakii</i> Richard	ARCWI	+																
<i>Cletocamptus retrogrus</i> (Schmank)	CLERE		+															
<i>Cyclops</i> sp.	CYC										+	+		+			+	
<i>Diaicyclops bicuspidatus</i> Claus	DIABI				+	+	+											
<i>Diaptomus cyaneus</i>	DIACY									+								
<i>Hemidiaptomus roubau</i> Richard	HEMRO									+			+	+	+	+		+
<i>Megacyclops viridis</i> Jurine	MEGVI										+							
<i>Metacyclops minutus</i> Claus	MEIMI	+					+		+									
<i>Mixodiaptomus intransitus</i> Sars	MDXIN			+				+	+	+			+	+	+	+		
<i>Neolovenula alluaudi</i> (Guerne & Richard)	NEOAL												+	+	+	+		

Tabla 2. Matriz de ausencia-presencia de los grupos de crustáceos encontrados en las formaciones palustres del acuífero de Madrid.

Figura 2. Disposición espacial de las especies de crustáceos acuáticos y las formaciones palustres del acuífero de Madrid, en el plano definido por los dos primeros ejes de los análisis DECORANA efectuados: A. con todas las muestras; B. sin la laguna de las Torres (nº 2) y Fuente del Valle (nº 4)

(Alonso, 1987): *Megacyclops viridis*, *Daphnia obtusa*, *Simocephalus vetulus* y *Chydorus sphaericus*.

El resto de lagunas con un funcionamiento hídrico independiente del acuífero regional resultan de carácter más temporal y pueden agruparse en dos grandes grupos: en uno de los extremos del eje II se sitúan aquellas formaciones palustres descritas como humedales de recarga del acuífero regional del sector ambiental 4 con especies características de ambientes muy fluctuantes, dulces, temporales y de aguas con alto contenido en sólidos en suspensión tales como *Daphnia boliviari*, *Daphnia atkinsoni*, *Neolovenula alluaudi*, *Triops cancriformis* o *Cyzicus grubei* (Alonso, 1987).

Por otro lado, puede definirse un grupo más o menos heterogéneo con especies eurioicas, propias de aguas dulces o algo mineralizadas, temporales y más o menos limpias. Es el caso de *Alona azorica*, *Dunhevedia crassa* o *Moina brachiata*.

En la Figura 3 se representa de una forma sinóptica, los grupos ecológicos definidos y su expresión geográfica sobre el área estudiada.

SECTOR AMBIENTAL	ESPECIES INDICADORAS	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	TIPO LIMNOLOGICO
3 y 4	<i>Simoccephalus vatulus</i> <i>Chydorus sphaericus</i> <i>Daphnia obtusa</i> <i>Megacyclops viridis</i>	AMBIENTES SEMIPERMANENTES O PERMANENTES CON AGUAS DULCES O ALGO MINERALIZADAS	■
2	<i>Alona azorica</i> <i>Dunhevedia crassa</i> <i>Moina brachiata</i>	AGUAS DULCES O ALGO MINERALIZADAS TEMPORALES Y MAS O MENOS LIMPIAS	○
5	<i>Cizycus grubei</i> <i>Triops cancriformis</i> <i>Neotolenula alluaudi</i> <i>Daphnia bolivari</i> <i>Daphnia atkinsoni</i>	MEDIOS MUY FLUCTUANTES CON AGUAS DULCES TEMPORALES Y TURBIAS	*
1	<i>Cletocamptus retrogressus</i> <i>Arctodiaptomus salinus</i> <i>Simoccephalus exspinosus</i>	AGUAS SALINAS TEMPORALES Y ESTACIONALES	△

Figura 3. Clasificación ecológica de las formaciones palustres situadas sobre el acuífero de Madrid basada en sus comunidades de crustáceos acuáticos.

DISCUSION

La salinidad, la permanencia del agua y la turbiedad son considerados los factores ecológicos clave que condicionan la composición y estructura de las comunidades de crustáceos acuáticos de las masas de agua interiores no fluyentes de la Península Ibérica (Alonso, 1985, 1987). En las formaciones palustres del acuífero de Madrid estos parámetros están intimamente relacionados con el origen de sus cubetas y especialmente con los modos en que se abastecen de agua (Bernaldez & Montes, 1989) por lo que existe una buena correspondencia entre los tipos genético-funcionales de formaciones palustres definidos (Tabla 1) y sus comunidades de crustáceos (Figura 3). Por otro lado, los patrones obtenidos

coinciden con bastante exactitud con los encontrados por Alonso & Comelles (1987) para humedales de la cuenca del Duero.

Tan sólo dos lagunas han quedado mal clasificadas. Por una parte el Manantial de la Mata perteneciente al sector 1 donde descargan flujos regionales de agua subterránea mineralizados. En este humedal la descarga subterránea es más difusa que en la laguna de las Torres perteneciente al mismo sector; por lo que sus aguas aunque mineralizadas (4,6 g/l en el periodo de máxima inundación) no poseen valores de salinidad suficiente como para condicionar la presencia de una comunidad de crustáceos halófilos o halobiontes (salinidad mínima superior a 10-15 g/l) (Alonso, 1990; Baltanás et al., 1990), aunque se detecta una especie característica de aguas subsalinas como *Arctodiaptomus wierzejskii*. Por otro lado, la laguna de José Herrero situada en el sector de recarga regional posee comunidades de crustáceos más semejantes a las encontradas en lagunas del sector 2 de rañas. En ambos casos, se trata de aguas de baja turbiedad (con valores menores de 15 U.N.) debido a las características físicas puntuales del sustrato.

Es importante resaltar que a pesar de la homogeneidad de la zona (Bernaldez & Montes, 1989), para determinados factores discriminantes utilizados tradicionalmente en Limnología regional, como son la litología o el clima (Margalef, 1955), el área del acuífero de Madrid posee un variado patrimonio de formaciones palustres debido a su diferente grado de relación con los sistemas de flujo de agua subterráneas. De esta forma, la hidrología subterránea condiciona la intensidad, frecuencia y amplitud de las fluctuaciones anuales e interanuales de estos ecosistemas reflejada en su régimen hidrológico. Es evidente que el estudio de las relaciones entre las aguas subterráneas y las superficiales adquiere un papel muy importante en el entendimiento de los procesos ecológicos que tienen lugar en los ecosistemas acuáticos epicontinentales por lo que se hace necesario incluir la hidrología subterránea como un factor decisivo en los estudios de Limnología regional, especialmente en las regiones áridas y semiáridas (esteparias).

AGRADECIMIENTOS

A Eugenio Rico que nos ayudó en el análisis estadísticos de los datos.

BIBLIOGRAFIA

- Alonso, M. (1985). Las lagunas de la España peninsular: taxonomía, ecología y distribución de cladóceros. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
- Alonso, M. (1987). Clasificación de los complejos palustres. En: Bases científicas para la protección y gestión de los humedales españoles. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: 65-78.
- Alonso, M. (1990). Anostraca, Cladocera and Copepoda of Spanish saline lakes. *Hydrobiologia*, 197: 221-231.
- Alonso, M. & M. Comelles (1987). Catálogo limnológico de las zonas húmedas esteparias de la Cuenca del Duero. Junta de Castilla y León. Consejería de Fomento. 452 pp.
- Baltanás, A.; C. Montes & P. Martino (1990). Patterns of ostracods in iberian saline lakes. Influence of ecological factors. *Hydrobiologia*, 197: 207-220.
- Bernaldez, F.G. & C. Montes (coord.) (1989). Los humedales del acuífero de Madrid. Inventario y tipología basada en su origen y funcionamiento. Canal de Isabel II. 92 pp.
- Besteiro, A.G. (1992). Limnología de las formaciones palustres situadas sobre el acuífero de Madrid. Análisis de las relaciones entre aguas superficiales y subterráneas. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 365 pp.
- Besteiro, A.G. & C. Montes. (1991). Sectorización ecológica del acuífero de Madrid como base para la elaboración de una clasificación genética y funcional de humedales. *Estudios Geográficos*, 205:601-623.
- Gosselink, J.G. & R.E. Turner (1978). The role of hydrology in freshwater wetland ecosystems. En:

- Good, R.E.; D.F. Whigham & R.L. Simpson (eds). Freshwater wetlands. Ecological Processes and Management Potential. Academic Press, New York, 378 pp.
- Hill, M.O. (1979). A FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Cornell University. Ithaca, N.Y. 52 pp.
- Llamas, M.R. & F. López Vera (1975). Estudio sobre los recursos hidráulicos subterráneos del área Metropolitana de Madrid y su zona de influencia: avance de las características hidrogeológicas del Terciario Detrítico de la Cuenca del Tajo. Rev. Agua, 88: 36-55.
- Margalef, R. (1955). Los organismos indicadores en la Limnología. Biología de las aguas continentales. XII. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid.
- Mitsch, W.J. & J.G. Gosselink (1986). Wetlands. Van Nostrand Reinhold. 539 pp.
- Winter, T.C. (1976). Numerical simulation analysis of the interaction of lakes and groundwater. US Geol. Surv. Prof. Paper 1001: 1-45.