DINAMICA DEL FOSFORO EN LAGUNAS TEMPORALES DEL P. N. DE DOÑANA

J. Jáuregui y J. Toja

Depto. Biología Vegetal y Ecología Universidad de Sevilla.

Palabras clave: lagunas temporales, Doñana, fósforo, macrófitos.

ABSTRACT

Temporary aquatic ecosystems on aeolic sands of Doñana N.P. have been studied from the point of view of P cycle during 1990-91 hydrologic cycle. Dulce, a permanent groundwater fed pond is also studied in order to establish a comparison on the effects of temporarity.

Macrophytes and duration of the flooding period turned to be the most important factors determining sediment composition and trophic level of the ponds.

INTRODUCCION

Sobre los cotos o arenas estabilizadas de Doñana (Fig. 1), aparece una serie de pequeñas lagunas, que mantienen agua libre durante un número variable de meses al año, dependiente de la magnitud de la precipitación anual (García Novo et al., 1991).

En el borde de contacto las dunas móviles y los cotos hay un rosario de lagunas, alimentadas principalmente por el acuífero del sistema de dunas (García Novo et al., 1991). Entre éstas Santa Olalla y Dulce mantienen agua durante todo el año por lo que tienen vital importancia en el sustento de la fauna del Parque, especialmente en verano (López et al., 1991).

En este trabajo se estudia la dinámica del fósforo durante el año hidrológico 1990-91, en la Dulce y en 5 lagunas efímeras: Infranqueable (INF), Casa de la Algaída (CA), Acebuche de Matalascañas (AM), Acebuche de las Palomas (AP) y Navazo del Toro (NT).

El régimen hídrico de las lagunas depende directamente de la magnitud y distribución de la precipitación anual. En el ciclo estudiado Las lluvias fueron escasas (492 L/m^2 , 88 L/m^2 por debajo de la media anual) y tardías. El grueso de las precipitaciones ocurrió en primavera, siendo febrero y marzo (con el 35.5 y 24.5 % de la precipitación global, respectivamente) los meses más lluviosos. El pico de lluvia otoñal, que estadísticamente es de mayor importancia que el primaveral (Junta de Andalucía, 1989), no supuso más que un 12.1% (en octubre), siendo noviembre y diciembre, con 6 y 7 % respectivamente, meses anormalmente "secos".

MATERIAL Y METODOS

Se muestreó en el punto de máxima profundidad de cada laguna efímera, señalado con una varilla metálica de 1.5 m que se usó para medir la profundidad.

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZACION

En Dulce, mucho más extensa y con sedimento muy heterogéneo se muestreó en 5 zonas bien contrastadas (Fig. 1): orilla, acumulación, con macrófitos y zonas intermedias.

El muestreo en Dulce fue mensual, en las demás fue más frecuente e irregular, cada pocos días tras los episodios de lluvia y semanalmente en su ausencia.

El muestreo se realizó utilizando un tubo de metacrilato con perforaciones tapadas con tapón de goma a distintas alturas. Con él se tomaban 5 cm superficiales de sedimento y se extraía agua de la columna con una jeringuilla. En Dulce se discriminó entre agua superficial y agua profunda en contacto con el sedimento.

In situ se midieron conductividad, temperatura, pH y potencial redox con sonda electrónica YSI. Los pigmentos fotosintéticos se extrajeron con metanol, a 4°C durante 24 horas. Las formas de fósforo del agua analizadas fueron: P soluble (1) (Murphey & Riley, 1962) y P total (2) (APHA, 1985) en agua filtrada con Whatman GF/C (1) y P total en agua sin filtrar (3), obteniendo:

* P soluble reactivo (PSR = 1) equivalente a ortofosfato.

* P soluble no reactivo (PSNR = 2 - 1) correspondiente a P unido o formando parte de moléculas orgánicas de diferente peso molecular.

* P particulado (P part. = 3 - 2) correspondiente a P contenido en organismos planctónicos, seston, etc.

* P total (PT = 3) suma de los precedentes.

A las muestras de sedimento se les analizaron: la humedad (deseccación a 80°C), la granulometría, la materia orgánica (por ignición; 4 horas a 550 °C), el fósforo total (PT) (APHA, 1985) y el contenido en hierro extractable con ácido cítrico (Golterman, sin publicar).

Las muestras de macrófitos se tomaron manualmente, con la ayuda de un cuadrado de alambre de 30 cm de lado, para su identificación y la estima de su biomasa por m².

RESULTADOS Y DISCUSION

El llenado de las lagunas tras la precipitación es diferente en cada caso y depende de la proximidad del freático y su grado de conexión con el mismo. En la Fig. 2 se representa la evolución la precipitación, de la profundidad de cada laguna, su conductividad y su clorofila planctónica, desde el inicio de las lluvias, en octubre de 1990, hasta junio de 1991 en que se secaron totalmente las lagunas efímeras. Salvo en Casa de la Algaida (CA), existe un desfase entre el inicio de las lluvias y el llenado de la cubeta, que corresponde al periodo de ascenso del nivel freático hasta que éste alcanza la superficie del terreno. La respuesta de CA es inmediata a la precipitación porque se encuentra en la zona de descarga del acuífero en todo el borde de la marisma (García Novo et al., 1991), donde el nivel freático está muy cerca de la superficie. Se empezó a llenar en Noviembre mientras que las demás efímeras no se llenaron hasta Febrero, tras superarse los 150 L/m² de lluvia. El periodo de inundación, varió desde tres meses (Infranqueable) hasta ocho (Casa de la Algaida). Dulce tuvo agua todo el tiempo.

En todos los casos, al inicio del encharcamiento el agua presentó una conductividad muy elevada, producida por la solubilización de las sales precipitadas en la desecación del agua en el verano anterior. Al aumentar el nivel del agua, la conductividad fue disminuyendo por dilución. Pero ya, la relación profundidad/conductividad no es del todo homogénea en todas las lagunas. Al final del ciclo hubo un general incremento en conductividad debido a la concentración de sales por evaporación. Este incremento informa de la mayor o menor permeabilidad de la cubeta. En caso de ser muy permeable, el descenso del nivel del agua se produce básicamente por infiltración al descender el nivel freático, con escaso cambio en concentración de sales en el agua. A medida que disminuye la permeabilidad va aumentando la cantidad de agua perdida por

evaporación, de forma que, para una misma profundidad de la masa de agua, la mayor o menor conductividad final podría emplearse para una ordenación de las lagunas en cuanto al grado de permeabilidad de su cubeta.

Figura 2. Evolución del nivel de agua de las lagunas, la conductividad y la clorofila planctónica junto con la precipitación.

Según este criterio, se pueden ordenar las cinco lagunas así: Acebuche de las Palomas, Casa de la Algaída Infranqueable, Acebuche de Matalascañas y Navazo del Toro, según una permeabilidad decreciente.

Con respecto a la granulometría (Tabla 1) existen diferencias sustanciales en los dos tipos de sistemas. La Dulce tiene muy pocos elementos finos (limos y arcillas), mucho más importantes en las lagunas efímeras. Esta diferencia se puede atribuir a la distancia de cada sistema al frente de dunas móviles, fuente de arena casi pura (Fig. 1). La Dulce, en el borde del frente, recibiría más arena que las demás, que se asientan sobre el sistema de arenas estabilizadas donde se han ido acumulando elementos finos.

El parámetro que mejor caracteriza a los distintos sedimentos es la materia orgánica. Esta varía desde menos del 1 % en peso seco hasta casi el 50%, alcanzando los valores máximos en las zonas de acumulación de la Dulce (Tabla 1). Los valores mínimos corresponden a zonas de orilla de la Dulce o a lagunas efímeras con escasa influencia de vegetación terrestre (Navazo del Toro, Casa de la Algaída) debido a la forma y/o tamaño de su cubeta y al tipo de vegetación que crece a su alrededor.

Tabla 1. Resultados obtenidos en el análisis de los sedimentos tomados en el muestreo de abril de 1991.

LAGUNA	%ARENA	%LIMO	%ARCILLA	PT(μ g/gPS)	Fe(mg/gPS)	%M.O.
INF	68	15	17	189	1.1	5.9
CA	68	12	20	175	1.0	3.4
AP	58	15	27	531	3.6	16.5
AM	44	21	35	272	4.0	12.3
NT	82	7	11	56	0.3	1.8
D D1	99	0.5	0.5	27	0.1	0.4
U D2	98	0.8	1.2	581	8.1	15.8
L D3	93	1.0	6.0	1595	7.4	18.1
C D4	94	3.0	3.0	29	0.1	0.4
E D5	91	1.8	7.8	3887	9.3	40.4

Tanto el PT como el Fe extractable con ácido cítrico se comportan de un modo similar (Tabla 1). Los valores máximos de ambos parámetros se localizan en Dulce punto 5, la zona con mayor contenido en materia orgánica, teniendo las efímeras contenidos bastante inferiores. Los valores mínimos son del mismo orden de magnitud en ambos sistemas, aunque ligeramente inferiores en el caso de la Dulce.

La Dulce, con agua permanente, pero con amplias fluctuaciones de nivel, lo que determinan una gran heterogeneidad espacial en su sedimento, abarca todo el rango de variación obtenido en los tres parámetros en todas las lagunas.

Los tres parámetros están bien correlacionados: TP/Fe $r^2 = 0.88$, TP/MO $r^2 = 0.89$, Fe/MO $r^2 = 0.97$ (todos significativos para $p \leq 0.01$, $n=10$). Estas correlaciones dan una idea de la forma en que el P y el Fe entran a formar parte de la estructura química del sedimento. La correlación del PT con la MO indica el P debe formar parte preferentemente de la fracción P_{org} del sedimento. Un posterior análisis de las distintas fracciones del P del sedimento corrobora esta hipótesis: la fracción P_{org} es siempre superior al 70% (Golterman y Jáuregui, datos inéditos).

El Fe podría participar en este tipo de compuestos orgánicos de P a través de compuestos de tipo organometálico tanto con P unido, como con P adsorbido.

La evolución de las fracciones de P en el agua (Fig. 3) fue similar en todas las lagunas: un periodo de baja concentración de P al principio y con incremento, a partir de un cierto momento, hasta hacerse máxima hacia el final.

Tabla 2. Relación de especies de macrófitos presentes en cada laguna y biomasa total por metro cuadrado antes de la fase de senescencia (abril 1990).

MACROFITOS	LAGUNAS					
	DULCE	INF	CA	AM	AP	NT
<i>Myriophyllum spicatum</i>		+	+	+	+	+
<i>Ranunculus peltatus</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Calytriche</i> spp.			+	+	+	
<i>Potamogeton pectinatus</i>	+					
<i>Zannichelia</i> sp.	+					
<i>Illecebrum verticillatum</i>					+	+
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>					+	
<i>Hypericum helodes</i>					+	
<i>Myosotis</i> sp.		+			+	
<i>Juncus bulbosus</i>					+	+
<i>J. heterophyllus</i>		+				+
<i>Scirpus lacustris</i>	+					
<i>S. holoschoenus</i>	+	+				+
<i>Eleocharis palustris</i>						+
<i>Agrostis stolonifera</i>	+	+		+	+	+
<i>Panicum repens</i>	+	+		+	+	+
Tapiz de algas filamentosas	+					
Biomasa (gPS/m ²)						
(macrófitos crecidos durante el periodo de estudio)	-	64	18	67	34	41

La primera fase, desde octubre de 1990 hasta abril-mayo de 1991 corresponde al llenado de las lagunas y al crecimiento de macrófitos (Tabla 2), tanto sumergidos como emergentes e, incluso, algunas gramíneas que, en cualquier caso, sirvieron como sustrato para el asentamiento y desarrollo de una importante comunidad de algas epifíticas (clorofitas filamentosas de los géneros *Chladophora*, *Oedogonium*, *Spyrogyra*, etc., diatomeas de los géneros *Navicula*, *Nitzschia*, *Synedra*, *Gomphonema*, etc.). En Dulce se desarrolló un tapiz bentónico de algas filamentosas de los géneros mencionados, situación que se repite casi todos los años (López et al. 1991).

Este conjunto macrófito-epifitos es responsable de una retirada de P tanto del sedimento como del agua (Graneli y Solander 1988). Los epifitos son muy eficaz en la captación de PSR del agua, compitiendo ventajosamente con el fitoplancton (Margalef, 1983). La retirada de P del agua por la comunidad bentónica, redujo sus concentraciones hasta valores mínimos (1.4 µg/L de PSR y 37 µg/L de PT), explicando los bajos valores clorofila planctónica detectados durante este periodo.

En una segunda fase, a finales de abril o principios de mayo, se produjo la senescencia y muerte de los macrófitos sumergidos coincidiendo con el aumento de la temperatura media. Se registró un aumento de la concentración de las tres fracciones de P en el agua, claramente atribuible a su liberación por parte de las plantas (Graneli y Solander, 1988; Jewell, 1971; Margalef, 1983). La fracción que experimentó un mayor incremento fue el P particulado, coincidiendo con un aumento de la clorofila planctónica, al desarrollarse rápidamente el fitoplancton.

La magnitud de este incremento difiere según el tipo de macrófitos dominantes en cada laguna. Aunque tanto los emergentes como los sumergidos bombean P desde el sedimento al agua, la muerte de estos es la que libera mas P (Graneli y Solander, 1988; Jewell, 1971). Esta muerte ocurre al principio del

periodo de desecación, cuando aún la laguna tiene más de un mes de vida, produciendo un aumento neto de la concentración de P en el agua.

Figura 3. Evolución de las tres formas de fósforo analizadas en el agua

Sin embargo los macrófitos emergentes y gramíneas continúan vivos después de la desaparición del agua, en el sedimento húmedo, de forma que el P que se libera de sus restos va a parar directamente al sedimento (en ese momento suelo). Los macrófitos vivaces, como *Juncus*, *Scirpus*, etc. pueden incluso no liberar P al sedimento o hacerlo en pequeñas cantidades. Se deduce, por tanto, que en las lagunas en que predominan los macrófitos sumergidos: Acebuche de Matalascañas y Casa de la Algaida el aumento de P en el agua es de mayor magnitud que en las demás temporales, donde predominan los emergentes.

En Dulce, la evolución de las tres formas de P estudiadas es semejante al de las efímeras, con la diferencia de que los valores máximos que se alcanzan son bastante más altos. La masa de agua está bastante mezclada, por lo que no se ha encontrado diferencia significativa entre los cinco puntos muestreados ni entre las muestras de superficie y profundidad, por lo que únicamente se presentan los resultados del punto 2.

Tabla 3. Matriz de correlaciones del análisis de componentes principales ($n = 6$, $k = 0.93$ para $p \leq 0.05$).

	Psed.	Fe	M.O.	Macrof.	Pagua	Clor.	Ench.
<u>Psed.</u>	1.00						
<u>Fe</u>	0.87	1.00					
<u>M.O.</u>	0.96	0.97	1.00				
<u>Macrof.</u>				1.00			
<u>Pagua</u>	0.74	0.84	0.78		1.00		
<u>Clor.</u>				-0.80		1.00	
<u>Ench.</u>	0.81			-0.79	0.79	0.94	1.00

En la tabla 3 se muestran las correlaciones obtenidas entre PT del sedimento (Psed), Fe extractable con cítrico en el sedimento (Fe), materia orgánica del sedimento (M.O.), biomasa de macrófitos crecidos durante el periodo estudiado (macrof.), máxima concentración absoluta de P en el agua (Pagua) y duración del periodo de encharcamiento (Ench.).

Aparte de las correlaciones positivas entre Psed., Fe y M.O., ya comentadas anteriormente, aparece una altamente significativa entre la duración del periodo de encharcamiento y la máxima concentración de clorofila del agua. La duración del encharcamiento también aparece positivamente correlacionada con el P del sedimento y negativamente con la biomasa de macrófitos. Esto da una idea acerca del efecto de la temporalidad: las lagunas con mayor periodo de encharcamiento acumulan mayor cantidad de P en su sedimento, alcanzando un mayor grado de eutrofia (expresado como concentración de clorofila planctónica) y tienen poca cantidad de macrófitos anuales; por contra, las lagunas con mayor temporalidad (y más someras) acumulan menos P en el sedimento, no alcanzan grandes concentraciones de P en el agua, y son un lugar idóneo para el desarrollo de macrófitos emergentes y, en general, de vegetación (que crece además durante la fase "terrestre" del ciclo de la laguna).

CONCLUSIONES

La mayor proporción de fósforo de los sedimentos de las lagunas estudiadas está en forma de fósforo orgánico

La reducción del periodo de encharcamiento se traduce en una disminución de la acumulación de P, materia orgánica y Fe en el sedimento y un menor desarrollo del subsistema planctónico. La laguna Dulce, prácticamente permanente, es la que presenta los mayores valores de los parámetros citados en

el sedimento, así como los mayores niveles de clorofila planctónica y de las diferentes fracciones de fósforo analizadas en el agua.

Se pone de manifiesto la influencia que, en estos sistemas, someros, tiene la comunidad de macrófitos y sus epífitos acompañantes, captando P del agua y del sedimento, limitando la producción primaria fitoplanctónica mientras dura su desarrollo vegetativo, y liberándolo posteriormente al agua. El efecto que en este sentido tienen los macrófitos sumergidos (de carácter necesariamente anual en estos sistemas) o emergentes (generalmente vivaces) es distinto, siendo mucho mas activo en el caso de los primeros, que dominan preferentemente en las lagunas mas profundas.

BIBLIOGRAFIA

- APHA. 1985. Standard methods for examination of water and wastewater. 16th ed. Amer. Publ. Health. Assoc. Washington, D.C.
- Boyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54. 464 - 465.
- García Novo, F., D. Galindo, J.A. García Sánchez, C. Guisande, J. Jáuregui, T. López, N. Mazuelos, J.C. Muñoz, L. Serrano y J. Toja. 1991. Tipificación de los ecosistemas acuáticos sobre sustrato arenoso del Parque Nacional de Doñana. III Simposio Sobre el Agua en Andalucía. 165 - 176.
- Granéli, W. and D. Solander. 1988. Influence of aquatic macrophytes on phosphorus cycling in lakes. Hydrobiologia 170. 245 - 466.
- Jewell, W.J. 1971. Aquatic weed decay: dissolved oxygen utilization and nitrogen and phosphorus regeneration. J. Wat. Pollut. Cont. Fed. 43. 1457 - 1467.
- Junta de Andalucía. 1989. Plan Director Territorial de Coordinación de Doñana y su Entorno. 300 pp.
- López, T., J. Toja y N. Gabellone. 1991. Limnological comparison of two peridunar ponds in the Doñana National Park. Arch. Hydrobiol. 120 (3). 357 - 378.
- Margalef, R. 1983. Limnología. Omega. 1010 pp.
- Murphy, J. and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of soluble phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta. 27 - 31.