

INFECCION POR HONGOS *CHYTRIDIALES* EN UNA POBLACION DE *OOCYSTIS BORGEI* (*OOCYSTACEAE*, *CHLOROPHYCEAE*)

M. ARAUZO, M. ALVAREZ COBELAS & A. RUBIO

RESUMEN: Se ha estudiado el impacto de una infección por hongos *Chytridiales* (Phycomycetes) sobre una población del alga *Oocystis borgei* (Chlorophyceae, Oocystaceae) localizada en un embalse eutrófico (El Vellón, Madrid) durante el período de estratificación.

El proceso de infección se desarrolla en condiciones ligeramente elevadas de pH y temperatura. La comunidad de hongos parásitos presenta su máximo cuando la población del alga hospedante deja de crecer y comienza su descenso, momento en el que con frecuencia se observa la aparición de esporas de resistencia de los hongos. Al final de la infección, la población de *Oocystis* desaparece.

La distribución espacial del alga en la columna vertical no se ve afectada por el efecto del parasitismo.

SUMMARY: A study of chytrid infection on a phytoplankton population of the chlorococcal species *Oocystis borgei* (Chlorophyceae, Oocystaceae) living in an eutrophic reservoir (El Vellón, Madrid) during the stagnation period has been undertaken.

The infection process was expanded in swiftly high pH and temperature conditions. Parasity fungal community peaked as host population stopped growing, fungal resting stages beginning to develop at the same time. At the end of the infection, *Oocystis* population was disappeared.

Oocystis's water column distribution was not affected by parasitic process.

INTRODUCCION

El parasitismo que desarrollan algunos hongos acuáticos inferiores, especialmente *Chytridiales*, sobre algas fitoplancónicas en lagos y embalses, ha empezado a ser considerado como un factor importante en el control de la dinámica de las poblaciones de algas de agua dulce, desde que Canter & Lund (1948, 1951, 1969) y Canter (1950, 1951, 1979) comenzaron a estudiar este tipo de interacciones en las comunidades acuáticas de diversos lagos ingleses. Sus trabajos sobre la relación hongo-alga se han desarrollado fundamentalmente en diatomeas, dinoflagelados y desmidiáceas. Sin embargo, el impacto de las infecciones por hongos en las poblaciones naturales de otros grupos de algas, como las clorocales, que aparecen con abundante frecuencia en los embalses eutróficos, ha sido escasamente estudiado hasta ahora (Masters, 1971.

Araúzo, datos inéditos).

Durante cuatro días del mes de junio de 1983 se ha estudiado el efecto de una infección por hongos *Chytridiales* (*Phycomycetes*) sobre una población natural de *Oocystis borgei* Snow, (*Chlorophyceae*, *Oocystaceae*), localizada en el embalse de El Vellón (Madrid), de características eutróficas. Se pretendía conocer el alcance temporal y espacial (en la columna vertical) de la infección y su impacto sobre el crecimiento de la población del alga.

Las características físico-químicas y biológicas del embalse de El Vellón pueden ser consultadas en Margalef et al. (1977), Alvarez (1982) y Alvarez et al. (1983 y en prensa).

MATERIAL Y METODOS

Los muestreos se realizaron en el embalse de El Vellón, a lo largo del año 1983, a diferentes profundidades, en una estación representativa de las características promedio de éste (estación B) (Alvarez et al., en prensa).

Durante los días 18, 21, 25 y 26 de junio de 1983, que corresponden al último período de crecimiento de la población de *Oocystis*, se tomaron muestras mediante una bomba de succión con intervalos temporales de cuatro horas, desde las 7 hasta las 19 horas (hora solar). Inmediatamente después de recogido, el material fué fijado para su conservación con formol al 4%. Se midieron "in situ" los siguientes parámetros físico-químicos: temperatura (mediante un termistor modelo YSY-57), oxígeno disuelto (mediante una sonda modelo YSY-57) y pH (mediante un potenciómetro Orión). Los recuentos de fitoplancton se realizaron con un microscopio invertido siguiendo las recomendaciones de Rott (1981). Se han efectuado observaciones microscópicas sobre los parásitos y su hospedante durante los cuatro días y a las horas de muestreo citadas anteriormente. También se han hecho recuentos de cien células de *Oocystis borgei* con la misma frecuencia, obteniéndose los porcentajes de individuos parasitados a uno y cuatro metros de profundidad. Las profundidades elegidas corresponden a las zonas superior e inferior del epilimnion (la termoclina se situaba a cuatro metros de la superficie), con diferentes condiciones de iluminación.

Las tasas de crecimiento de la población de *Oocystis* y las tasas de crecimiento de la infección por hongos se han calculado a partir del modelo exponencial de crecimiento:

$$r = \frac{\ln N_2 - \ln N_1}{t_2 - t_1}$$

siendo r la tasa de crecimiento, N_1 y N_2 la densidad de células en los tiempos t_1 y t_2 (para la tasa de crecimiento del alga), o bien N_1 y N_2 los porcentajes de células infectadas en los tiempos t_1 y t_2 (para la tasa de crecimiento de la infección de hongos).

RESULTADOS

El desarrollo de *Oocystis borgei* en el embalse de El Vellón

durante el año 1983 tuvo lugar en los meses de mayo y junio (período de estratificación) con dos periodos diferenciados de crecimiento (figura 1, tabla I).

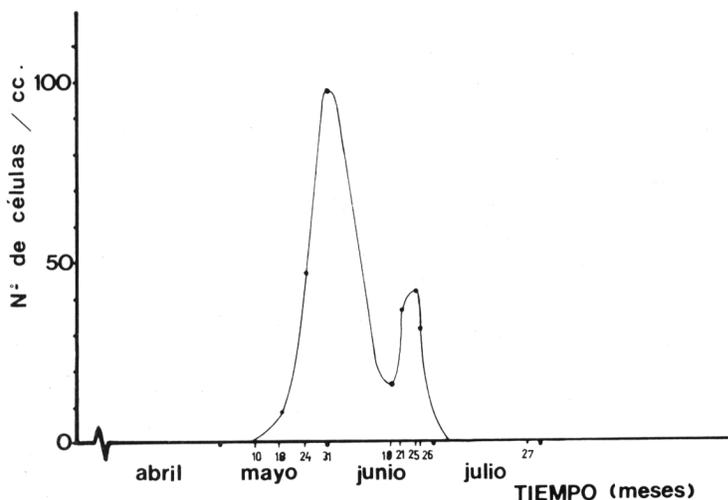


Figura 1. Presencia promedio para el epilimnion de *Oocystis borgei* en el embalse de El Vellón durante el año 1983.

	r (d^{-1})	r_i (d^{-1})
18-Mayo a 31-Mayo	0,19	
31-Mayo a 18-Junio	-0,10	
18-Junio a 21-Junio	0,23	0,20
21-Junio a 25-Junio	0,02	0,03
25-Junio a 26-Junio	-0,31	0,24

Tabla I. Tasas de crecimiento (r) para las diferentes fases de desarrollo de *Oocystis borgei* en El Vellón durante el año 1983 (valores promedio para el epilimnion. Representación gráfica del desarrollo del alga en la figura 1). Tasas de crecimiento de la infección (r_i) en *Oocystis* durante el período de muestreos (en fechas anteriores al día 18 de junio no se detectaron células de *Oocystis* infectadas por hongos).

Los parásitos de este alga unicelular son hongos pertenecientes al orden Chytridiales o simples biflagelados, que no han podido ser identificados con exactitud puesto que no se ha trabajado con material vivo. Existe la posibilidad de que se trate de *Aphelidium* sp., hongo endoparásito que con frecuencia ocupa pequeñas algas verdes y deja un residuo de color pardo-rojizo en las células vacías después de la infección, y de otro chytridial ectoparásito no identificado (Canter, comunicación personal) (Figura 2). Ambas son formas sencillas, de protoplasto desnudo y vida parásita, cuya fase diploide se limita al cigoto.

En el primer período de crecimiento de *Oocystis* (Figura 1), cuyo máximo se dió el 31 de mayo, no se detectó la presencia de células dañadas por parasitismo de hongos. En el segundo período de crecimiento, la población del alga se vió afectada

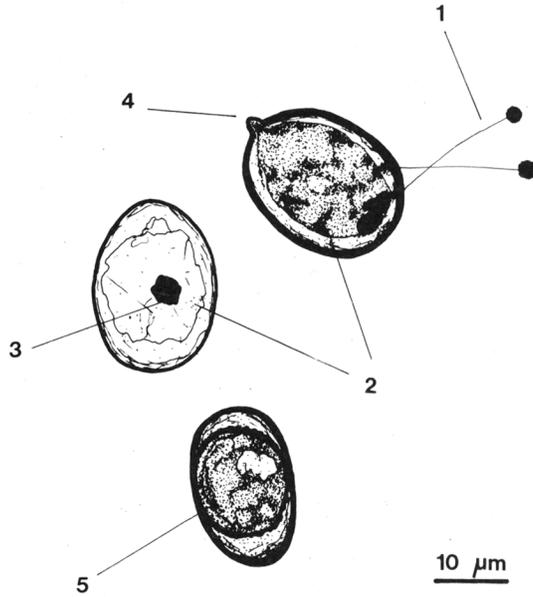


Figura 2. *Oocystis borgei* parasitada por hongos. 1: zoospora enquistada de hongo ectoparásito. 2: esporangio de hongo endoparásito. 3: residuo pardo-rojizo en célula vacía. 4: tubo en formación de salida de zoosporas. 5: espora endobiótica de resistencia.

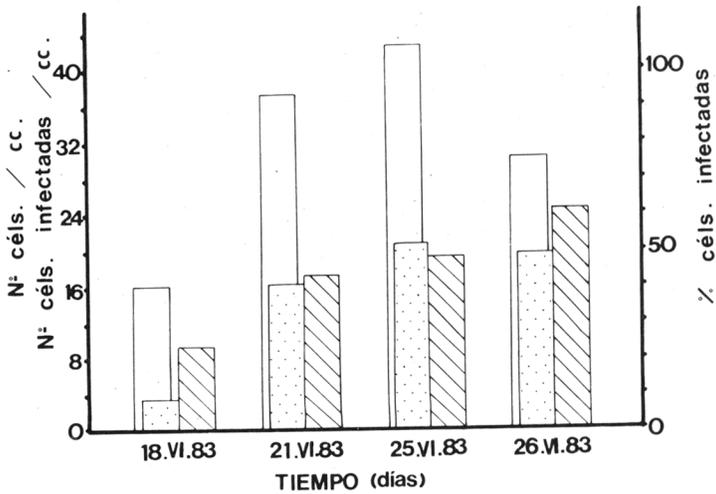


Figura 3. Efecto de la infección por hongos en la población de *Oocystis borgei*. Trama blanca: número total de células de *Oocystis*/cc. Trama punteada: número de células infectadas de *Oocystis*/cc. Trama rayada: porcentaje de células infectadas de *Oocystis*.

progresivamente por el proceso de infección (Figura 3), hasta terminar desapareciendo por completo. Las tasas de crecimiento de la infección se presentan también en la Tabla I.

La comparación estadística de porcentajes que contrasta el estado de infección en horas correlativas de muestreo (Tabla II), muestra mayores variaciones cuando el proceso se encuentra más avanzado temporalmente: los días 18 y 21 no presentan diferencias significativas, pero sí se dan en las horas de la mañana de los días 25 y 26 (Tabla II, figura 4).

Profundidad metros	Horas comparadas	18-VI-83	21-VI-83	25-VI-83	26-VI-83
1	7 - 11	1,15 ^{ns}	1,16 ^{ns}	2,72 ^{**}	5,57 ^{***}
	11 - 15	1,51 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,71 ^{ns}
	15 - 19	0,21 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,71 ^{ns}
2	1 - 11	0,52 ^{ns}	0,43 ^{ns}	3,28 ^{**}	4,75 ^{***}
	11 - 15	0,50 ^{ns}	0,29 ^{ns}	2,87 ^{**}	1,05 ^{ns}
	15 - 19	0,85 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,95 ^{ns}

Tabla II. Comparación estadística entre los porcentajes de células infectadas por hongos en horas correlativas de muestreo, durante los días 18, 21, 25 y 26 de junio de 1983, a uno y cuatro metros de profundidad. Embalse de El Vellón (Madrid). ***: significativo para $p < 0,001$. **: significativo para $p < 0,01$. *: significativo para $p < 0,05$. ζ : significativo para $p < 0,10$. ns: no significativo estadísticamente.

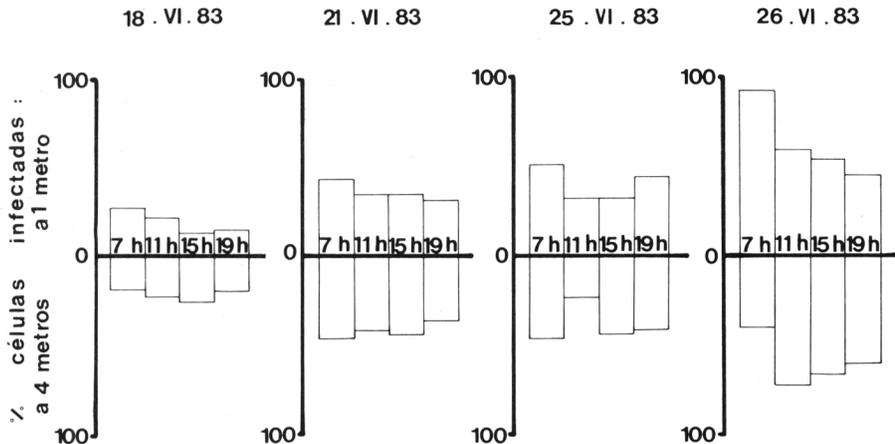


Figura 4. Porcentaje de células de *Oocystis borgei* infectadas a uno y cuatro metros de profundidad durante los días 18, 21, 25 y 26 de junio de 1983, a las 7, 11, 15 y 19 horas (hora solar).

La comunidad de hongos parásitos alcanza su máximo el día 25, cuando la población del hospedante deja de crecer y comienza su descenso (Figura 3). Al comparar los días 18 y 21, se observa una clara diferencia en el estado de infección de la población de *Oocystis* (Tabla III), siendo sensiblemente superior durante el día 21 (Figuras 3 y 4). Entre los días 21 y 25 no se aprecian aumentos en el porcentaje de células parasitadas (Tabla III; figuras 3 y 4), pero sí entre los días

25 y 26 (Tabla III), donde se puede observar el aumento en la proporción de células infectadas durante el día 26, cuando la población del alga está decreciendo con rapidez tras haber alcanzado su máximo el día anterior (Figura 3; tabla I). En este período final, aparecen gran cantidad de células de *Oocystis* vacías, en su mayoría con un residuo de color pardo-rojizo en el interior. Con frecuencia también se han observado esporas de resistencia del hongo endoparásito durante el día 26 (Figura 2).

Días comparados	Horas de muestreo	Profundidad	
		1 metro	4 metros
18-21	7	2,22 *	3,81 ***
	11	2,20 *	2,89 **
	15	3,64 ***	2,69 **
	19	2,88 ***	2,52 *
21-25	7	1,27 ^{ns}	0,14 ^{ns}
	11	0,30 ^{ns}	2,73 **
	15	0,30 ^{ns}	0,14 ^{ns}
	19	1,90 ^{ns}	0,73 ^{ns}
25-26	7	6,55 ***	0,71 ^{ns}
	11	3,83 ***	7,12 ***
	15	3,13 **	3,48 ***
	19	0,38 ^{ns}	2,69 **

Tabla III. Comparación estadística entre los porcentajes de células infectadas durante los días 18 y 21, 21 y 25, y 25 y 26 de junio de 1983, a uno y cuatro metros de profundidad. Símbolos en la tabla II.

La comparación estadística entre el estado de infección a uno y cuatro metros de profundidad parece indicar que en general no hay diferencias significativas en la vertical del epilimnion (Tabla IV), y, si en algunos casos se dan, no se observa ninguna tendencia clara de distribución espacial (Figura 4).

Horas de muestreo	18-UI-83	21-UI-83	25-UI-83	26-UI-83
7	1,50 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,99 ^{ns}	7,99 **
11	0,17 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,57 ^{ns}	1,99 *
15	2,16 *	1,16 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,66 ^{ns}
19	1,12 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,88 †

Tabla IV. Comparación estadística entre los porcentajes de células infectadas a uno y cuatro metros de profundidad, durante los días 18, 21, 25 y 26 de junio de 1983. Símbolos en la tabla II.

DISCUSION

La vulnerabilidad de las algas al ataque de hongos parece relacionarse con la temperatura (al superar el óptimo del alga), el estado de senescencia de las células, la liberación al medio de sustancias orgánicas por parte del alga que favorecen el enquistamiento de las zoósporas en su pared (Masters, 1971), el pH y el oxígeno disuelto (Sparrow, 1973).

En el caso de *Oocystis borgei*, en el embalse de El Vellón durante 1983, la población desciende abruptamente entre los días 30 de mayo y 18 de junio (Figura 1). Este suceso, inmediatamente anterior a la detección de la infección, podría estar relacionado con el desarrollo de un proceso de senescencia en el alga. No se cuenta con datos referentes a la posible liberación de sustancias al medio por parte de *Oocystis*. Masters (1971) señala que en las infecciones del hongo quitridial *Chytridium deltanum* sobre *Oocystis crassa* y *Oocystis lacustris* en el lago Manitoba, durante los meses de julio y agosto de 1966 y 1967, el hongo no apareció hasta que la temperatura del agua había alcanzado los 25° C. El rango de temperatura en el que se desarrolló la infección sobre *Oocystis crassa* fué de 20° a 26° C y el de *Oocystis lacustris* de 22° a 26° C, superando en ambos casos los óptimos de temperatura de las poblaciones hospedantes. En El Vellón, la temperatura del epilimnion durante el período de infección osciló entre los 20° y los 23° C. Los valores más altos de pH se dieron durante el mes de junio, alcanzando el máximo el día 20, con un valor promedio para el epilimnion de 8,89 y desviación típica 0,26. Sparrow (1973) había comprobado con anterioridad que las infecciones por hongos sobre el dinoflagelado *Ceratium* se desarrollaban mejor en aguas alcalinas.

A escala de horas se observa una mayor uniformidad en la infección durante los primeros días, pero a medida que el fenómeno progresa comienzan a darse diferencias significativas entre horas de muestreo consecutivas (Tabla II). Probablemente este hecho pueda ser debido a los efectos del transporte horizontal de modo que, según transcurre el tiempo y se repiten los procesos de dispersión de los hongos, se complican más sus patrones de distribución en el epilimnion y aumenta la heterogeneidad espacial respecto al proceso de infección. Este fenómeno también ha sido observado por Araúzo (datos inéditos) en el alga *Fotterella tetrachlorelloides* (*Chlorophyceae*, *Oocystaceae*), parasitada por hongos.

Coincidiendo con las observaciones sobre infecciones de hongos quitridiales en *Asterionella formosa* (Canter & Lund, 1948), *Oocystis crassa* y *Oocystis lacustris* (Masters, 1971) y *Fotterella tetrachlorelloides* (Araúzo, datos inéditos), los hongos parásitos de *Oocystis borgei* presentan su máximo cuando la población del alga hospedante deja de crecer y comienza su descenso (Figura 1).

La comparación de los porcentajes máximos de infección en *Oocystis borgei* con los observados por Masters (1971) en *Oocystis crassa* y *Oocystis lacustris* muestra una notable superioridad en los niveles alcanzados en el alga de El Vellón. Una vez iniciada la infección, se produjo una cierta recuperación en la población de *Oocystis* entre los días 18 y 25 de junio (Figura 1) -quizá motivada únicamente por el efecto de la advección-, para después caer rápidamente (Tabla I) hasta su desaparición. Sin embargo, en las especies citadas por Masters (1971), aunque en algunos casos los números descendieron, el parasitismo por hongos nunca llegó a terminar con las poblaciones de algas, recuperándose en períodos variables una vez concluida la fase de infección.

A diferencia de la clorococal *Fotterella tetrachlorelloides* (Araúzo, datos inéditos), especie que coexistió con *Oocystis borgei* en El Vellón, y que también se vió afectada por la infección de hongos, no se ha observado ninguna tendencia de estratificación espacial en las células parasitadas de *Oocystis*

en el epilimnion del embalse (Tabla IV).

Hasta ahora, en la escasa bibliografía referente a la influencia de las infecciones en la dinámica de las poblaciones fitoplanctónicas naturales, se tiende a entender este tipo de interacciones como una respuesta a cambios ambientales de tipo físico o químico que sobrepasan los niveles óptimos de las algas. Sin embargo, sería interesante enfocar el fenómeno del parasitismo en próximos trabajos desde una óptica diferente, atendiendo quizá a la comunidad fitoplanctónica completa y a la posible influencia de los factores que derivan de su dinámica interna (elevada densidad de células o de biomasa, excreción al medio de sustancias por parte de algunas especies que pueden hacer vulnerables a otras, etc.).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Hilda Canter (Freshwater Biological Association, Windermere Laboratory, Inglaterra) su colaboración en las observaciones microscópicas de los hongos encontrados en *Oocystis borgei*, así como su orientación respecto al ciclo de vida de estos parásitos.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, M. -1982- Una limnología de la cuenca del embalse de El Vellón (Madrid). Tesis doctoral. Univ. Complutense, Madrid.
- ALVAREZ, M., VELASCO, J.L., RUBIO, A., COLMENAREJO, J.M. -1983- Las tendencias a la eutrofización en el embalse de El Vellón (Madrid). *Actas V Cong. Nal. Química*, 3: 565-547.
- ALVAREZ, M., VELASCO, J.L., RUBIO, A., ACOSTA, F.J. -en prensa- A limnology of the El Vellón reservoir in 1980 and 1981. I. Some physico-chemical factors with special reference to horizontal patterns. *Stud. Oecol.*
- CANTER, H.M. -1950- Fungal parasites of the phytoplankton. I. *Ann. Bot. (London)*, 54: 263-289.
- CANTER, H.M. -1951- Fungal parasites of the phytoplankton. II. *Ann. Bot. (London)*, 58: 129-157.
- CANTER, H.M. -1979- Fungal and protozoan parasites and the importance in the ecology of the phytoplankton. *Ann. Rev. F.B.A.* 47: 43-50.
- CANTER, H.M. & LUND, J.W.G. -1948- Studies on plankton parasites. I. Fluctuations in the numbers of *Asterionella formosa* Hass. in relation to fungal epidemics. *New phytol.*, 47: 238-261.
- CANTER, H.M. & LUND, J.W.G. -1951- Studies on plankton parasites. III. *Ann. Bot. (London)*, 59: 359-371.
- CANTER, H.M. & LUND, J.W.G. -1969- The parasitism of planktonic desmids by fungi. *Oesterr. Bot. Z.*, 166: 351-377.
- MARGALEF, R., PLANAS, M.D., ARMENGOL, J., VIDAL, A., PRATT, N., GUISSSET, A. TOJA, J. & ESTRADA, M. -1977- *Limnología de los Embalses Españoles*. Madrid.
- MASTERS, M.J. -1971- The ecology of *Chytridium deltanum* and other fungus parasites on *Oocystis* sp. *Canad. J. Bot.*, 49: 75-87.
- ROTT, E. -1981- Some results from phytoplankton counting intercalibrations. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 43: 34-62.

SPARROW, F.K. -1973- Chytridiomycetes. Hyphochytridiomycetes. In: G.C. Ainsworth & al. (Eds.), *The fungi. An advance treatise*, 4b: 85-110. New York.