SEDIMENTACION DE CARBONATOS EN UN EMBALSE EUTROFICO DE CUENCA CALIZA

J.A. Gálvez^{1,2}, F.X. Niell¹ y J. Lucena¹

¹Dpto de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, 29071-Málaga; ²Dirección actual: Área de Ecología, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Cádiz, Campus Río S. Pedro, 11510- Puerto Real (Cádiz)

Palabras clave: sedimentación de carbonatos, precipitación autogénica, calcita.

ABSTRACT

The downward flux of carbonates in La Concepción Reservoir (Málaga) was determined over two years by means of sediment traps. Seasonal variability is related to chlorophyll concentration and temperature. Highest sedimentation rates were estimated in spring, when precipitation occurs in response to lowered solubility of calcium carbonate. The autogenic precipitation is caused by an increase in temperature and pH, resulting from high photosynthetic rates. Downward flux decrease with depth is attributed to dissolution of precipitates during settling in the undersaturated hypolimnion. From the available data, coprecipitation of phosphorus with calcite and phytoplankton sinking velocity increase are not considered important effects related to calcite precipitation in this reservoir. However, whittings caused by increased turbidity from calcite could regulate the density and vertical distribution of phytoplankton.

INTRODUCCION

La sedimentación constituye para cualquier masa de agua una retirada de material particulado en suspensión. La desaparición de seston a través de este proceso está a su vez relacionada con mecanismos de importancia en el metabolismo de un sistema acuático. No sólo supone una transferencia de materia desde niveles superficiales a zonas más profundas, sino que implica, durante el desplazamiento vertical de la materia orgánica particulada, una regeneración de nutrientes que contribuye de manera significativa al mantenimiento de la producción primaria (Eppley y Peterson, 1979).

En el embalse de La Concepción, sistema estudiado en el presente trabajo, los flujos verticales de seston, la regeneración de nutrientes y su importancia en el mantenimiento de los niveles de producción han sido evaluados previamente (Gálvez *et al.*, 1989, 1991). Sin embargo algunos aspectos de la sedimentación de la fracción inorgánica, que pueden tener interés dentro del ámbito citado, no se han abordado. Así, en masas de agua de cuencas calizas y con registros elevados de pH, caracteres que corresponden a este embalse (Margalef *et al.*, 1976), se suele producir la precipitación autogénica de carbonatos, generalmente en forma de calcita. La formación y posterior sedimentación de este material inorgánico puede tener un papel importante en el control de la producción primaria y en general en la dinámica del plancton. Entre las posibles consecuencias destacan el incremento en el coeficiente de extinción lumínica, provocado por la turbidez originada por los precipitados (Weidemann *et al.*, 1985), la menor disponibilidad de fósforo soluble reactivo (PSR) por coprecipitación con la calcita y posterior sedimentación (Otsuki y Wetzel, 1972), y el incremento en la velocidad de sedimentación de la fracción orgánica por agregación con los cristales formados (Koschel *et al.*, 1983).

En el presente trabajo, y dentro del marco general del estudio de la sedimentación en este medio, se plantean como objetivos la estimación cuantitativa de la tasa de sedimentación de carbonatos, el estudio de su variabilidad estacional y la discusión sobre los factores y causas que determinan la precipitación. Por último se planteará la importancia que este proceso puede tener en el funcionamiento del sistema.

AREA DE ESTUDIO Y METODOLOGIA

El embalse de La Concepción está situado en el sur de la provincia de Málaga (Istán-Marbella). Su capacidad es de 61 Hm³, ocupa un área de 2,14 Km² y la profundidad máxima es de 68 m. Es un embalse considerado eutrófico (Lucena y Rodríguez, 1984) y está incluido dentro de la denominada España caliza, presentando registros de alcalinidad que superan los 4 meq l⁻¹ (Margalef *et al.*, 1976).

Las tasas de sedimentación se estimaron a partir del material recolectado en trampas de sedimento situadas en una estación cercana a la presa. Las trampas se colocaron por duplicado en distintos niveles de la columna de agua: epilimnion (2 y 6 m) e hipolimnion (10, 15, 25 y 35-45 m). Los colectores se desplegaron durante 13 períodos entre Agosto de 1985 y Mayo de 1987. Entre Diciembre de 1985 y Abril de 1986 no se obtuvieron registros. El diseño de las trampas y procesamiento de recolección se llevó a cabo según Bloesch y Burns (1980) y Blomqvist y Håkanson (1981). El flujo de carbono en forma de carbonatos fué estimado a partir de la diferencia en la cantidad de carbono entre la muestra de seston sedimentado y ésta tras la acidificación con HCl 1M. Se asume que los carbonatos son los únicos componentes ácido-lábiles con carbono en su composición (Vanderploeg *et al.*, 1987). Los análisis se realizaron en un Analizador Elemental CNH Perkin-Elmer 240-C.

En las fechas de recogida y despliegue de nuevas trampas otras variables fueron estimadas en la columna de agua: la temperatura se midió con un monitor YSI Mod. 57 y, a partir de muestras de al menos 9 profundidades obtenidas con una botella Van Dorn, se estimó la cantidad de clorofila *a* por superficie (Talling y Driver, 1963).

RESULTADOS

Tasa de sedimentación de carbonatos.

El flujo vertical de carbono particulado en forma de carbonatos oscila, para los períodos y niveles considerados, entre registros nulos y 1,24 g m⁻² día⁻¹ (Fig. 1). La desviación típica no sobrepasa en ningún caso el 15%. De manera general la tasa de sedimentación presenta valores bajos y similares, no superando durante la mayor parte del estudio 0,2 g m⁻² día⁻¹. No obstante se observa una estacionalidad que se caracteriza por registros más elevados entre Abril y Junio de 1986, siendo especialmente altos los del período primavera Abril-Mayo.

En la casi totalidad de los muestreos se aprecia asimismo una variabilidad

Fig. 1. Flujo vertical de carbono particulado en forma de carbonatos en los distintos niveles considerados y para cada uno de los períodos de exposición. Los intervalos temporales corresponden a meses expresados numeralmente.

vertical. Se produce una disminución en la tasa de sedimentación con la profundidad que es ostensible durante el período estratificado aunque más leve en mezcla. Este descenso, registrado de manera general, puede atribuirse a la disolución de los precipitados durante la sedimentación.

Contribución al flujo vertical sestónico

En la Fig. 2 se muestran los porcentajes de carbono en forma de carbonatos en el seston sedimentado. La variabilidad estacional considerada previamente se pone también de manifiesto en este caso. Durante el inicio de la estratificación de 1986 se alcanzan los porcentajes más elevados, registrándose como contribución máxima un 9%. Ello supone una aportación de carbono inorgánico semejante a la mayor obtenida de orgánico particulado (Gálvez *et al.*, 1991). Los registros restantes son, en términos generales, sensiblemente más bajos. Los máximos en el flujo vertical de carbonatos corresponden con períodos de elevada tasa de sedimentación de seston en los que a su vez la proporción de carbonatos en el flujo total es alta.

La variación en profundidad del porcentaje aportado al flujo sestónico no sigue un patrón determinado. Durante algunos períodos la proporción decrece hacia el fondo mientras en otros aumenta. Esta variabilidad está marcada por la importancia relativa que en cada momento presente la desaparición de seston, debida fundamentalmente a procesos de mineralización (Gálvez *et al.*, 1989), frente a la tasa de disolución de carbonatos durante la sedimentación.

Relación con otras variables

Los registros más elevados de flujo vertical de carbonatos, obtenidos al inicio de la estratificación, coinciden con valores altos de clorofila *a* por superficie (Fig. 3a,c). Sin embargo la correspondencia no es biunívoca. En el último período de mezcla estudiado la cantidad de clorofila *a* es también elevada, pero no así la tasa de sedimentación. Este hecho puede ser explicado por la diferente distribución vertical pigmentaria así como por las diferencias térmicas entre ambos períodos. En mezcla los perfiles en profundidad de clorofila *a* son homogéneos y se registran concentraciones equivalentes a las superficiales en niveles relativamente profundos. Por contra durante el inicio de la estratificación, y en ésta misma, la heterogeneidad vertical es acentuada y los registros altos se concentran en franjas estrechas de la zona fótica. Cabe esperar que la tasa de fotosíntesis, considerando a la clorofila *a* como un estimador de ésta, presente valores elevados en capas relativamente estrechas de la zona fótica, lo que implica a su vez un incremento del pH que favorece la precipitación. Por otra parte en el

Fig. 2. Porcentaje de carbono particulado en forma de carbonatos en el seston sedimentado para cada uno de los períodos de exposición y en los distintos niveles considerados.

período Abril-Mayo del 86 se produce un considerable incremento de la temperatura en el epilimnion (Fig. 3b) y por tanto una disminución en la solubilidad de los carbonatos. El proceso es inverso de Noviembre del 86 a Enero del 87, con temperaturas medias más bajas que en el caso anterior.

Fig. 3. Variación temporal de a) la cantidad de Cl^- a por superficie, b) la temperatura a 5 y 30 m de profundidad, c) los flujos medios de carbono en forma de carbonatos en la totalidad de la columna de agua y en el epilimnion, d) el porcentaje de carbono en forma de carbonatos en la columna de agua y el epilimnion.

La media del flujo de carbonatos en el epilimnion es, en términos generales, mayor que la correspondiente a la totalidad de la columna de agua (Fig. 3c). Se produce por tanto un descenso del flujo con la profundidad que puede estar igualmente explicado por las diferencias entre ambos niveles de los registros de las variables citadas anteriormente: temperatura y pH. Esta tendencia no es general cuando se consideran los porcentajes de carbonatos en el flujo sestónico (Fig. 3d).

DISCUSION

Los carbonatos que se encuentran en los sedimentos pueden tener orígenes distintos: entradas por erosión y transporte de carbonatos alóctonos, esqueletos y estructuras calcáreas de organismos vivos y precipitación inorgánica primaria entre los más importantes (Kelts y Hsü,

1978). El origen detrítico, por su peculiar estacionalidad marcada por las entradas de efluentes, y el debido a organismos plantónicos, por su escasa relevancia en aguas dulces, son descartables para explicar las tasas y patrones de sedimentación observados en el embalse de La Concepción. El flujo vertical de carbonatos puede atribuirse en este sistema a la precipitación inorgánica, pero inducida biogénicamente, registrada comúnmente en masas de agua de cuencas calizas con elevada alcalinidad y pH (Strong y Eadie, 1978; Weidemann *et al.*, 1985).

Según Müller *et al.* (1972), generalizando de manera empírica, la razón Mg/Ca determina el precipitado primario de carbonato. Para valores por debajo de 2, caso de este embalse (Margalef *et al.*, 1976), los precipitados son de calcita. La precipitación de ésta se produce en condiciones de saturación y ocurre cuando el producto de la actividad iónica (IAP) = $(Ca^{2+})(CO_3^{2-})$ es mayor que la constante de equilibrio (K_c). Generalmente la precipitación real comienza cuando se ha alcanzado un nivel elevado de supersaturación (Kelts y Hsü, 1978). Dos posibles mecanismos pueden inducir a esta sobresaturación en el embalse: uno biogénico, por efecto de la fotosíntesis, y otro físico-químico, debido a la influencia de la temperatura sobre K_c . Durante el inicio de la estratificación de 1986 se registra un considerable aumento del flujo vertical, siendo en estas fechas la cantidad de clorofila *a* por superficie muy elevada. Previsiblemente se trata de un período con una alta producción primaria. La intensa fotosíntesis provoca una gran extracción de CO_2 y un incremento del pH, que en este embalse supera en ocasiones el valor de 9 (Lucena y Rodríguez, 1984). Estas condiciones determinan el desplazamiento del equilibrio carbónico-carbonatos hacia el ión carbonato (Hutchinson, 1957), incrementándose de esta manera el IAP. No obstante la temperatura juega también un papel importante en esta precipitación. Un incremento de la temperatura disminuye la solubilidad de la calcita y es considerado factor directo en el inicio de la precipitación de ésta (Brunskill, 1969). La estacionalidad observada y la tasa anual de sedimentación de calcita en el embalse de La Concepción, en consonancia con las registradas en otros sistemas de características semejantes (Brunskill, 1969; Vanderploeg *et al.*, 1987), estarían explicadas, en primer lugar, por la actividad fotosintética de los productores primarios y a su vez por los cambios de temperatura que se registran en el ciclo térmico anual. El solapamiento de ambos mecanismos en favor de la precipitación determinan flujos elevados de calcita.

En la mayoría de los períodos estudiados se produce una disminución de la tasa de sedimentación con la profundidad. Este descenso se aprecia con claridad en estratificación y menos ostensiblemente en mezcla. El menor flujo profundo puede explicarse por la subsaturación que se va registrando durante la sedimentación y que determina la disolución de los precipitados (Kelts y Hsü, 1978). El descenso en el valor de IAP se atribuye a la mayor importancia de los procesos respiratorios sobre los fotosintéticos por debajo de la zona fótica, registrándose un pH más bajo en el hipolimnion; y a la menor temperatura en niveles profundos cuando el embalse está estratificado.

La coprecipitación de PSR con calcita puede constituir un mecanismo importante en el control de la eutrofia (Otsuki y Wetzel, 1972; Berner y Morse, 1974; White y Wetzel, 1975; Murphy *et al.*, 1983). Sin embargo también se ha puesto de manifiesto que la asociación entre la calcita y el fósforo, realizada por medio de una reacción de adsorción superficial (Avnimelech, 1980), es débil y éste puede disolverse fácilmente (Green *et al.*, 1978). En el embalse de La Concepción este posible mecanismo de secuestro de fósforo no parece tener mucha importancia, o al menos así se manifiesta, ya que los porcentajes de fósforo particulado en el seston que sedimenta no sólo no se incrementan, sino por contra son más bajos en los períodos de mayor precipitación y sedimentación de carbonatos (Gálvez *et al.*, 1991).

Otra de las consecuencias que la precipitación de carbonatos puede ocasionar es la propuesta por Wodka *et al.* (1985), sugiriendo que la calcita puede depositarse sobre células fitoplanctónicas bajo determinadas condiciones. Este mecanismo incrementaría la densidad de las células y por tanto se registraría un aumento en la velocidad de sedimentación y en general en el flujo vertical sestónico. Las velocidades de caída medias del fitoplancton, estimadas en distintos niveles de la zona fótica en el período de máxima sedimentación de carbonatos, presentan valores entre 0,2 y 2 m día⁻¹, con registros medios en torno a 1 m día⁻¹ (Gálvez *et al.*,

1989). Los datos de otros autores obtenidos en relación al tamaño celular (Smayda, 1970; Reynolds, 1984) no se apartan de los estimados para este embalse. En cualquier caso si se produce realmente un incremento en la velocidad de sedimentación de las células de fitoplancton, éste no se revela de una manera ostensible.

El efecto más fácilmente constatable de la precipitación de carbonatos es la pérdida de transparencia y el color blanquecino que estacionalmente toma el agua. A este fenómeno se le denomina "whiting" (Bathurst, 1971) y ha sido observado regularmente en distintos lagos (Schäfer y Stapf, 1972; Strong y Eadie, 1978; Weidemann *et al.*, 1985). El epilimnion del embalse de La Concepción toma ocasionalmente durante la época estival el color característico que corresponde a una precipitación intensa de carbonatos. Este fenómeno generalmente coincide en el tiempo con un máximo profundo de clorofila situado cerca de la termoclina y cuya presencia es característica en este sistema (Gálvez *et al.*, 1988). La mayor extinción lumínica que se origina por este proceso podría ser un factor regulador tanto en el desarrollo de dicho máximo como en el nivel a ocupar en la columna de agua, ya que se podrían desencadenar mecanismos de migración vertical en las Dinofíceas que lo forman.

CONCLUSIONES

La sedimentación de carbonatos en el embalse de La Concepción está originada por la precipitación autogénica y determinada de manera general por la tasa de fotosíntesis y la temperatura. La estacionalidad y variabilidad vertical responden básicamente a cambios en los registros de estas variables. Los efectos que la precipitación y sedimentación de calcita tienen en el embalse están realmente por determinar. Sin embargo se puede considerar, a falta de más datos que lo confirmen, que la precipitación no supone ni un secuestro significativo de PSR ni un incremento apreciable en la velocidad de sedimentación de la fracción orgánica. Sí podría atribuirse un papel importante, por la extinción lumínica que provocan los precipitados, en el control de la densidad y distribución del fitoplancton.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por la Junta de Andalucía a través de una beca de F.P.I.

BIBLIOGRAFIA

- Avnimelech, Y. 1980. Calcium-carbonate-phosphate surface complex in calcareous systems. *Nature*, 288: 255-257.
- Bathurst, R.G. 1971. Carbonate sediments and their diagenesis. Developments in sedimentology. Vol. 12. Elsevier. Amsterdam. 620 pp.
- Berner, R.A. y J.W. Morse. 1974. Dissolution kinetics of calcium carbonate in sea water: IV. Theory of calcite dissolution. *Am. J. Sci.*, 274: 108-134.
- Bloesch, J. y N.M. Burns. 1980. A critical review of sedimentation trap technique. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 42: 15-55.
- Blomqvist, S. y L. Håkanson. 1981. A review on sediment traps in aquatic environments. *Arch. Hydrobiol.*, 91: 101-132.
- Brunskill, G.J. 1969. Fayetteville Green Lake, New York. II. Precipitation and sedimentation of calcite in a meromictic lake with laminated sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 14: 830-847.
- Eppley, R.W. y B.J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature*, 282: 677-680.

- Gálvez, J.A., F.X. Niell y J. Lucena. 1988. Description and mechanism of formation of a deep chlorophyll maximum due to *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Bergh. Arch. Hydrobiol., 112: 143-155.
- Gálvez, J.A., F.X. Niell y J. Lucena. 1989. Seston vertical flux model for a eutrophic reservoir. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol., 33: 9-18.
- Gálvez, J.A., F.X. Niell y J. Lucena. 1991. C:N:P ratio of settling seston in a eutrophic reservoir. Verh. Internat. Verein. Limnol., 24: 1390-1395.
- Green, D.B., T.J. Logan y N.E. Smeck. 1978. Phosphate adsorption-desorption characteristics of suspended sediments in the Maumee River Basin of Ohio. J. Environ. Qual., 7: 208-212.
- Hutchinson, G.E. 1957. A Treatise on Limnology. I. Geography, physics and chemistry. J. Wiley & Sons Inc. New York. 1015 pp.
- Kelts, K. y K.J. Hsu. 1978. Freshwater carbonate sedimentation. En: Lerman, A. (ed.). Lakes: Chemistry, geology, physics. Springer-Verlag. New York. 295-323.
- Koschel, R., J. Benndorf, G. Proft y F. Recknagel. 1983. Calcite precipitation as a natural control mechanism of eutrophication. Arch. Hydrobiol., 98: 380-408.
- Lucena, J. y J.M. Rodríguez. 1984. Primeros datos sobre la influencia de la producción biológica en la calidad de las aguas del embalse de La Concepción. Monografías de la Dirección General del Medio Ambiente, M.O.P.U. 193-202.
- Margalef, R., D. Planas, J. Armengol, A. Vidal, N. Prat, A. Guiset, J. Toja y M. Estrada. 1976. Limnología de los embalses españoles. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas. Madrid. 422 pp.
- Müller, G., G. Irion y U. Foerstner. 1972. Formation and diagenesis of inorganic Ca-Mg carbonates in the lacustrine environment. Naturwissenschaften, 59: 158-164.
- Murphy, T.P., K.J. Hall y I. Yesaki. 1983. Coprecipitation of phosphate with calcite in a naturally eutrophic lake. Limnol. Oceanogr., 28: 58-69.
- Otsuki, A. y R.G. Wetzel. 1972. Co-precipitation of phosphate with carbonates in a marl lake. Limnol. Oceanogr., 17: 763-767.
- Reynolds, C.S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press. 384 pp.
- Schäfer, A. y K.R. Stapf. 1972. Calcite whittings in Bodensee-Untersee. Natur. Mus., 102 (8).
- Smayda, T.J. 1970. The suspension and sinking of phytoplankton in the sea. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 8: 353-414.
- Strong, A. y B.J. Eadie. 1978. Satellite observations of calcium carbonate precipitation in the Great Lakes. Limnol. Oceanogr., 23: 877-887.
- Talling, J.F. y D. Driver. 1963. Some problems in the estimation of chlorophyll *a* in phytoplankton. Proc. Conf. Prim. Prod. Meas. Mar. Fresh. Hawaii. 1961: 142-146.
- Vanderploeg, H.A., B.J. Eadie, J.R. Liebig, S.J. Tarapchak y R.M. Glover. 1987. Contribution of calcite to the particle-size spectrum of lake Michigan seston and its interactions with the plankton. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44: 1898-1914.
- Weidemann, A.D., T.T. Banister, S.W. Effler y D.L. Johnson. 1985. Particulate and optical properties during CaCO₃ precipitation in Otisco Lake. Limnol. Oceanogr., 30: 1078-1084.
- White, W. S. y R. G. Wetzel. 1975. Nitrogen, phosphorus, particulate and colloidal carbon content of sedimenting seston of a hard-water lake. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. Verh., 19: 330-339.
- Wodka, M.C., S.W. Effler y C.T. Driscoll. 1985. Phosphorus deposition from the epilimnion of Onondaga Lake. Limnol. Oceanogr., 30: 833-843.