

COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL DE LA IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS VÍAS SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA DE INUNDACIÓN EN LA LIBERACIÓN DE SALES DE SEDIMENTOS DESECADOS

F.A. Comín & E. Forés

Departamento de Ecología. Universidad de Barcelona. Diagonal, 645. 08028 Barcelona.

RESUM

L'efecte de les inundacions subterrànies i superficials de sediments dessecats en la lliberació de sals a la columna d'aigua durant les primeres fases de la inundació s'ha estudiat en el laboratori amb sediment de la llacuna de Gallocanta. Els ions majoritaris s'alliberen més ràpidament i en major quantitat en la inundació subterrània. El patró de variació de les concentracions és irregular en la inundació subterrània i més uniforme en la superficial. Els micronutrients s'observen en major quantitat en la inundació subterrània, exceptuant el cas del fòsfor particulat. El nitrat inorgànic dissolt és la fracció més abundant i el fòsfor reactiu soluble és la menys abundant (10% del fòsfor total).

RESUMEN

El efecto de las inundaciones subterránea y superficial de sedimentos desecados en la liberación de sales a la columna de agua durante las primeras fases de inundación se ha estudiado en laboratorio con sedimento de la laguna de Gallocanta. Los iones mayoritarios se liberan más rápidamente y en mayor cantidad en la inundación subterránea. El patrón de variación de las concentraciones es irregular en la inundación subterránea y más uniforme en la superficial. Los micronutrientes se observan en mayor cantidad en la inundación subterránea, excepto en el caso del fósforo particulado. El nitrato inorgánico disuelto es la fracción más abundante y el fósforo reactivo soluble es la menos abundante (10% del fósforo total).

ABSTRACT

The relative importance of underground and surficial flooding of sediments on the release of mineral salts to the water column was tested in a laboratory experiment with sediment from Lake Gallocanta, a salt lake at 1,000 m.a.s.l. in NE. Spain (Zaragoza-Teruel). Homogenized portions of sediment from the NW. shore of the lake were flooded independently surficially (up to down) and as groundwater (down to up). Eight samples from the water column were collected during the 48 hours experiment from different test tubes without disrupting the system. Major ions release from the sediment during the underground flooding faster and in a higher amount than in the surficial flooding. The pattern of the concentrations changes is very irregular in the first case, while it is very uniform during the second one. The relative amounts of major cations and anions keep the same order than in the lake waters (Cl⁻>SO₄²⁻, Na⁺>Mg²⁺>Ca²⁺>K⁺). Micronutrient concentrations are also higher in the underground than in the surficial flooding, but particulate phosphorus. Dissolved inorganic nitrogen as nitrate has the highest concentrations between the different

forms. Total phosphorus release from the sediment in a lower amount (only 10% as compared to total nitrogen). Soluble reactive phosphorus is only 10% of the total phosphorus released. Under the experimental conditions mineral salts release from the sediment seems to be dominated by chemical and physical processes and not by biological ones.

Key words: release, salt, sediment.

INTRODUCCIÓN

Los ambientes acuáticos temporales pasan períodos desecados e inundados. Durante la inundación, el agua en contacto con el sedimento redisuelve los materiales precipitados determinando sus características químicas, al menos durante los primeros momentos después de la inundación.

En los lagos salados de tipo playa la inundación puede ser, desde el punto de vista físico, un proceso muy complejo (Lyons & Arakel, en prensa). Como los sedimentos engloban una gran cantidad de sales precipitadas, los primeros estadios del proceso de inundación son de gran importancia, ya que durante ellos las sales se redisuelven hasta el punto de máxima concentración *versus* grado de dilución (Comín et al., en prensa). Las poblaciones biológicas se ven, consecuentemente, afectadas por los cambios de salinidad que pueden ocurrir en muy breve plazo de tiempo (Comín et al., 1983).

Las dos vías posibles de inundación son afloramiento de agua subterránea y entrada por la superficie del sedimento. Estas dos formas de inundación comportan procesos físicos y, probablemente, químicos diferentes, que deben manifestarse en la composición del agua superficial. De una forma experimental, en laboratorio, se ha testado esta hipótesis con sedimento de Gallocanta, laguna salada de tipo playa situada a 1000 m de altitud en la Cordillera Ibérica, en la parte oeste del límite entre las provincias de Zaragoza y Teruel.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizó sedimento seco de la parte superficial, primeros quince cm de la orilla noroeste de la laguna de Gallocanta, que no se había inundado desde hacía tres años. En un ambiente de oscuridad y a 22 °C, se dispusieron 50 g del sedimento homogeneizado en el fondo de cilindros de plástico de 16 cm² de base. Se establecieron dos series de cilindros que permitiesen la extracción de muestras de agua al cabo de 5, 10, 15, 30, 60, 120 minutos y 24 y 48 horas de realizada la inundación, de manera que una vez utilizado un cilindro para una extracción ya no volvía a ser utilizado (Fig. 1). La inundación consistió en el llenado de cada serie de cilindros de una manera diferente. En una de ellas, los cilindros se llenaron por vía superficial, dejando caer el agua sobre el sedimento desde el interior de los cilindros y suavemente, en las proximidades de la parte superficial del sedimento, de

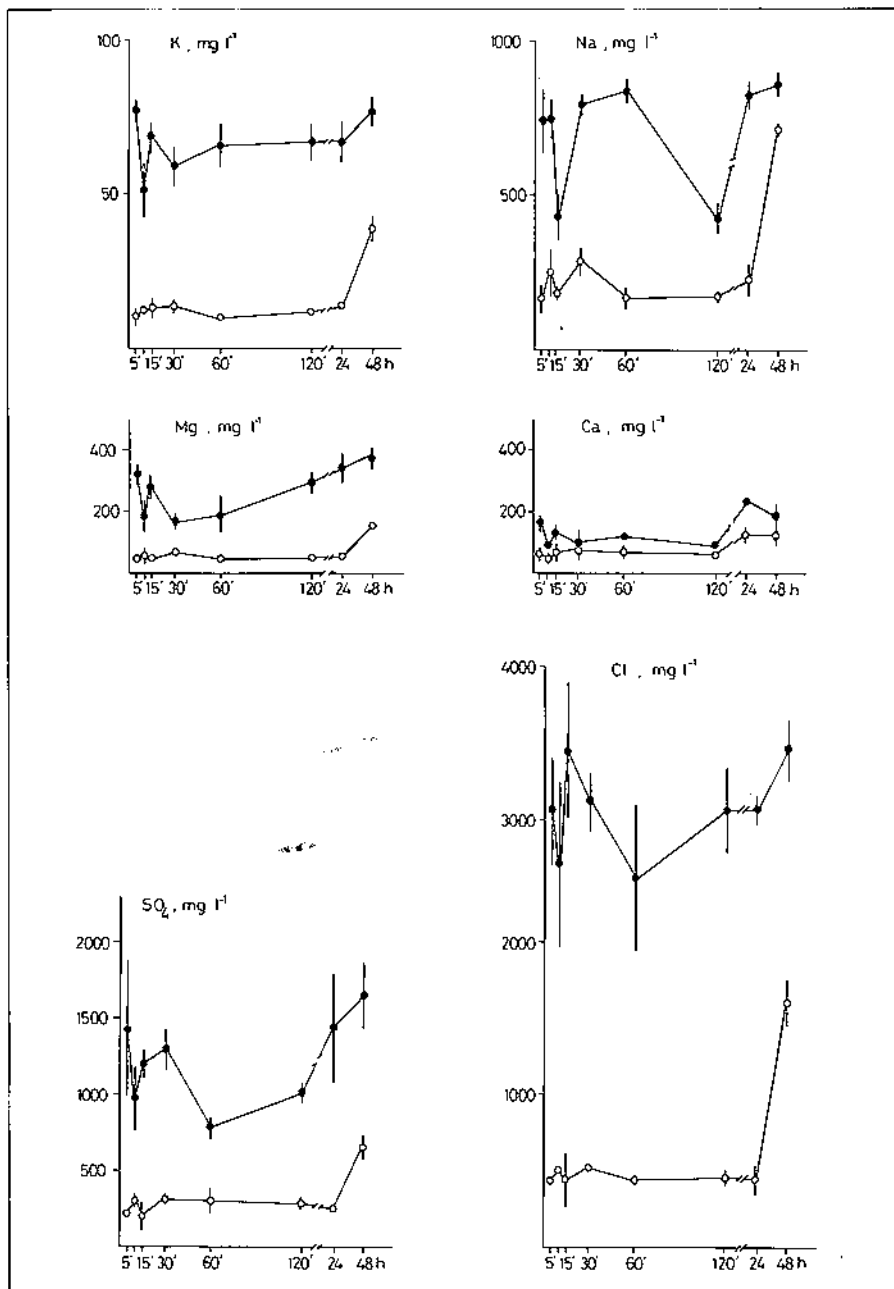


Figura 1. Variación de las concentraciones de los iones mayoritarios en la columna de agua después de la inundación subterránea (círculos negros) y la superficial (círculos blancos). Se indica la concentración media y la desviación estándar.

Tabla 1. Relación de métodos usados en los análisis de los elementos y compuestos estudiados.

Parámetro	Conservación	Método de análisis	Referencia
Sulfato	Cloroformo	Cromatología iónica	
Cloruro	Cloroformo	Cromatología iónica	
Calcio	Ac. nítrico	Espec. absorción ¹	APHA 1980
Magnesio	Ac. nítrico	Espec. absorción ¹	
Sodio	Ac. nítrico	Espec. emisión ²	APHA 1980
Potasio	Ac. nítrico	Espec. emisión ²	
Nitrato	Congelación	Colorimetría	APHA 1980
Nitrito	Congelación	Colorimetría	Strickland & Parsons 1965
Amonio	Ac. sulfúrico	Colorimetría	Grasshoff et al. 1983
Nitrógeno total	—	Ox. a nitratos ³	Grasshoff et al. 1983
Ortofosfatos	Congelación	Colorimetría	Murphy & Riley 1963
Fósforo total	—	Ox. a ortofosfatos ⁴	Grasshoff et al. 1983

1. Espectroscopia de absorción atómica; 2. Espectroscopia de emisión atómica; 3. Oxidación a total nitratos; 4. Oxidación a ortofosfatos.

modo que resbalase y lo penetrase de arriba hacia abajo. En la otra serie de cilindros, el agua se introdujo por vía «subterránea» por el fondo del cilindro, de modo que el agua atravesase el sedimento de abajo hacia arriba. En ambos casos la columna de agua alcanzó una altura de 15 cm por encima de la superficie del sedimento en un tiempo aproximado de 60 segundos, permaneciendo a esta altura durante toda la experiencia.

Las muestras de agua para análisis se obtuvieron con una jeringa de plástico de 100 ml de la parte superficial de la columna de agua, de modo que en cada extracción se recolectaba toda la columna de agua excepto el cm más próximo al sedimento. En cada ocasión se extrajo agua de tres cilindros de manera que podía considerarse que se disponía de muestras por triplicado en cada situación experimental. Todas las muestras se filtraron con filtros Whatman GF/F, excepto las submuestras correspondientes a los análisis de amonio y nitrógeno y fósforo totales. Las fracciones particuladas de nitrógeno y fósforo se estimaron por diferencia de las respectivas concentraciones de nitrógeno y fósforo total en las muestras no filtradas y filtradas. Las diferencias entre las concentraciones de nitrógeno y fósforo total e inorgánico de las muestras filtradas se aceptó como una estimación de las fracciones orgánicas disueltas de ambos elementos. En la Tabla 1 se relacionan las determinaciones efectuadas y los métodos empleados.

RESULTADOS

El experimento realizado muestra claramente (Figs. 1 y 2) que la redisolución de los compuestos precipitados tiene lugar más rápidamente en el caso de la inundación por vía subterránea que por vía superficial. Respecto a los iones mayorita-

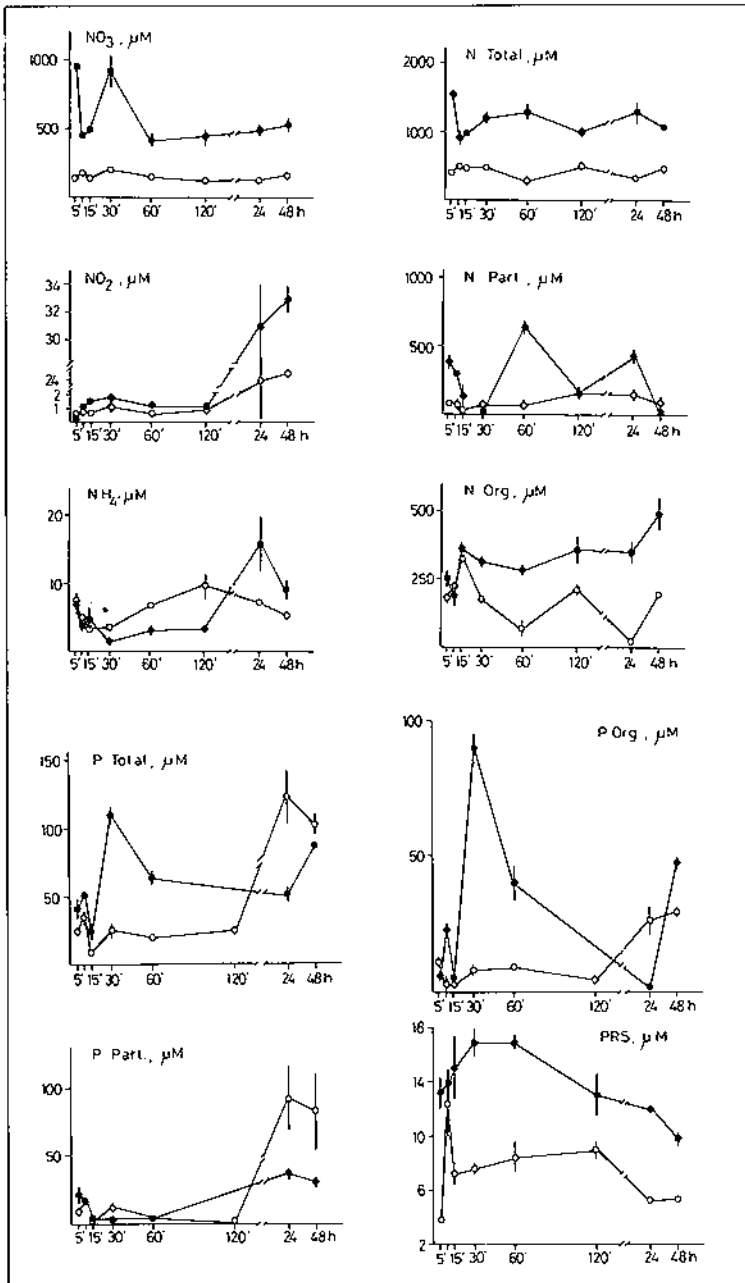


Figura 2. Variación de las concentraciones de micronutrientes en la columna de agua después de la inundación subterránea (círculos negros) y la superficial (círculos blancos). Se indica la concentración media y la desviación estándar.

rios, en general, menos del 50% de las concentraciones alcanzadas en la inundación por vía subterránea se alcanzan en la que tiene lugar por vía superficial, al cabo de 48 horas.

En el caso de la inundación subterránea las concentraciones de cationes y aniones al principio y final de la inundación no muestran diferencias significativas y son, en general, las máximas observadas. Ya en la primera extracción, a los cinco minutos de inundación, las concentraciones de cationes y aniones son similares a las observadas en la última extracción, a las 48 horas. Entre ambas extracciones ocurren fluctuaciones de las concentraciones, y es común que los mínimos ocurran dentro de los primeros sesenta minutos. Estas fluctuaciones son del orden del 50% de las respectivas máximas concentraciones observadas, excepto en el caso de los cloruros que quedan en un rango de 2 a 4 g l⁻¹.

En la inundación por vía superficial el patrón de variación de las concentraciones de todos los iones es muy uniforme. Apenas varían las concentraciones en los momentos iniciales, hasta los 60 minutos; se estabilizan hasta los 120 minutos o 24 horas y aumentan en todos los casos hasta más del doble respecto a la concentración inicial en la última o dos últimas extracciones. Estos valores máximos son, en mg l⁻¹: Cl 1594±166, SO₄ 666±78, Na 716±14, Mg 156±4, Ca 132±37, K 39±4. Estas concentraciones (medias de tres determinaciones ± desviación estándar) contrastan con los valores máximos en el caso de la inundación por vía subterránea: Cl 3463 ± 214, SO₄ 1660 ± 225, Na 865 ± 32, Mg 377 ± 32, Ca 188 ± 41, K 77 ± 5.

La liberación de micronutrientes del sedimento no sigue patrones tan claros como la de sales mayoritarias. Para el nitrógeno parece claro que la inundación subterránea produce una mayor liberación de todas las formas que la inundación superficial.

En la inundación subterránea el nitrógeno inorgánico disuelto en forma de nitratos es la fracción más abundante, aunque muy variable (400-1000 µg-at l⁻¹ en los primeros minutos. A partir de la media hora se estabiliza (500 µg-at l⁻¹ hasta el final de la experiencia. Nitrógeno orgánico y particulado son fracciones también abundantes, aunque el primero apenas varía y sigue una tendencia en aumento, acabando con una concentración elevada (500 µg-at l⁻¹), mientras el segundo varía extraordinariamente y acaba con una concentración relativamente baja (5 µg-at l⁻¹). El nitrógeno inorgánico disuelto en forma de nitrito y amonio representa un porcentaje muy pequeño respecto al total de inorgánico disuelto. Las concentraciones de nitrógeno total muestran una amortiguación de sus variaciones respecto a las de las respectivas fracciones, con concentraciones entre dos y tres veces mayores en la inundación subterránea (800-1600 µg-at l⁻¹) que en la superficial (300-500 µg-at l⁻¹).

Tan sólo la fracción de fósforo reactivo soluble (ortofosfatos) muestra claramente una liberación mayor en la inundación subterránea (10-17 µg-at l⁻¹) que en la superficial (4-12 µg-at l⁻¹). En ambos casos el agua tiene concentraciones relativamente elevadas entre los valores mínimos observados en la primera y última extracciones. Respecto a las otras fracciones de fósforo, su variación es mucho

más irregular. El fósforo particulado aumenta en las dos extracciones finales, a 24 y 48 horas, siendo alrededor del doble en la inundación superficial respecto a la subterránea. El fósforo orgánico en la inundación subterránea es muy superior a la superficial al inicio de la inundación, pero al cabo de 24 horas muestran variaciones irregulares y acaban siendo bastante similares. Ambas fracciones, fósforo orgánico y particulado, contribuyen sustancialmente al fósforo total. No ocurre así con el fósforo reactivo soluble.

DISCUSIÓN

Los resultados presentados demuestran claramente que la inundación de sedimentos por vía subterránea libera sales más rápidamente que la inundación por vía superficial, porque las concentraciones máximas se presentan antes, y en mayor cantidad, porque son superiores. Estos contrastes son consecuencia lógica de las diferencias entre ambas vías en los procesos de redisolución de sales. Al producirse la inundación subterránea, el agua atraviesa el sedimento y pasa a la columna de agua libre superior.

En una secuencia imaginaria, el sedimento se disgrega en un primer momento de la inundación, el sedimento en porciones más pequeñas y se satura de agua. Las porciones más pequeñas de sedimento son arrastradas por el agua continuando la disgregación y redisolución de sales en la columna de agua. Las partículas de sedimento resuspendidas vuelven a sedimentar y pueden, a su vez, ser soporte físico y químico para la adsorción de iones disueltos. Las variaciones de las concentraciones iónicas observadas después de la inundación subterránea deben tener su causa en esta combinación de procesos de resuspensión-resedimentación y adsorción-desorción.

En el caso de la inundación superficial se ha de suponer que el agua inicialmente satura el sedimento y que nueva agua se dispone sobre el mismo con mucha menor turbulencia y mucho menor contacto de las moléculas de agua con el sedimento, y mucha menor resuspensión de porciones del sedimento en la columna de agua. Consecuentemente, la mayor parte de la redisolución de sales ha de ser por procesos químicos de difusión, lo cual es más lento que si interviene la difusión turbulenta y resuspensión de partículas, y se acelera al cabo de 24 horas en la mayoría de los iones analizados.

Respecto a los iones mayoritarios en la inundación superficial todavía cabe pensar en un proceso de redisolución inacabado al cabo de 48 horas. Parece lógico aceptar que, una vez superadas las primeras etapas de redisolución, facilitadas por el mayor contacto físico del agua con el sedimento en la inundación subterránea, las concentraciones posteriores dependan de procesos de difusión hacia la columna de agua y por ello que tiendan a igualarse. Pero una idea reduccionista de los procesos que controlan la precipitación-redisolución de sales no puede aplicarse en condiciones naturales, porque en los procesos de redisolución también intervienen factores como los cambios de nivel freático creando gradientes. Probable-

mente tampoco puede aplicarse en las condiciones simplificadas de esta experiencia, porque la turbulencia del agua al atravesar el sedimento facilita las reacciones de intercambio de iones (Mann & Deutscher, 1978). Algunos contrastes, en características tales como la porosidad y permeabilidad del sedimento en las inundaciones subterránea y superficial, corroborarían esta idea y estarían a favor de mantener diferencias entre las concentraciones de iones en las columnas de agua según cuál sea la vía de inundación del sedimento.

Las proporciones relativas de los iones mayoritarios y la cantidad absoluta de los mismos guardan relación con el origen del sedimento utilizado. Éste procedía de la orilla del lago, y las sales precipitadas en él corresponden a los primeros estadios de desecación. Si se utilizase sedimento de la zona central del lago, en las que precipitan cantidades mayores de sales y más ricas en cloruros y sodio (Comín et al., en prensa), las concentraciones observadas serían mayores que en las pruebas aquí presentadas.

En la liberación de nitrógeno y fósforo del sedimento intervienen procesos biológicos (mineralización de la materia orgánica) y no biológicos (desorción). Como consecuencia de la actividad biológica se obtiene nitrógeno inorgánico disuelto en forma de amonio, como primer producto de la mineralización de la materia orgánica (Brezonik, 1972; Focht, 1979; Mikkelsen & DeDatta 1979; Valiela, 1984). Como resultado de la nitrificación se acumulan nitratos en los sedimentos en seco (Standford & Epstein, 1974; Smith, 1979), siendo la fracción más abundante en el agua una vez inundados los sedimentos que han permanecido secos (Forés & Sabater, 1987). Se puede considerar, pues, que la concentración de nitratos es un buen indicador de la mineralización de la materia orgánica presente en el sedimento (Standford & Epstein, 1974). La rápida liberación de compuestos de nitrógeno y fósforo al agua de inundación hace pensar en una mayor importancia de los procesos de solubilización mediados por factores físicos y químicos que por biológicos.

Las variaciones de las concentraciones de micronutrientes pueden ser, además, debidas a la interconversión de las diferentes formas entre sí. Podría aceptarse en el caso del nitrógeno, ya que el nitrógeno total se mantiene relativamente estable durante las 48 horas. Puede ocurrir para el fósforo a partir de 1 hora, mientras el fósforo total permanece relativamente sin variaciones. Pero las variaciones de las distintas fracciones no muestran cambios concomitantes que lo justifiquen.

Agradecimientos

Agradecemos a M. P. Comín su ayuda en la recolección del sedimento. Este trabajo fue subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia-CICYT (PAC 84-16-02-02) y por la Diputación General de Aragón. Servicio de Conservación del Medio Natural.

Bibliografía

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (1975). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. APHA. New York.

- BREZONIK, P.L. (1972). Nitrogen sources and transformations in natural waters. En: *Nutrients in natural waters*. Ed. Allen & Kramer. New York, 475 pp.
- COMÍN, F.A.; ALONSO, M.; LÓPEZ, P. & COMELLES, M. (1983). Limnology of Gallocanta lake, Aragón, northeastern Spain. *Hydrobiologia* 105-207-221.
- COMÍN, F.A.; JULI, R.; COMÍN, M.P. & PLANA, F. (en prensa). Hydrogeochemistry of Lake Gallocanta. *Hydrobiologia*.
- FOCHT, D.D. (1979). Microbial kinetics of nitrogen losses in flooded soils. En: N.C. Brady (ed.) *Nitrogen and rice*. IRRI. Los Baños, Filipinas, 467 pp.
- FORÉS, E. & SABATER, F. (1987). Movilización de nitrógeno en los arrozales: Interacción sedimento-agua durante la inundación. Actas IV Congreso Español de Limnología 127-134. Asociación Española de Limnología. Sevilla.
- GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M. & KREMLING, K. (1983). *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie GMBH. Weinheim.
- LYONS, W.B. & ARAKEL, A.V. (en prensa). The geochemical evolution of salt lake waters in inland Australia: A synthesis. *Aust. J. Earth Science*.
- MANN, A. W. & DEUTSCHER, R.L. (1978). Hydrogeochemistry of a calcrete-conatining aquifer near lake Way, Western Australia. *Jour. Geol. Soc. Aust.* 26: 293-303.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. (1963). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chemical Acta* 27: 31-36.
- MIKKELSEN, A. S. & DEDATTA, S.K. (1979). Ammonia volatilization from wetlands rice soils. En: N.C. Brady (ed.) *Nitrogen and rice*. IRRI. Los Baños, Filipinas, 467 pp
- SMITH, O.L. (1979). Application of a model of decomposition of soil organic matter. *Soil. Biol. Bioch.*, 11: 607-618.
- STANDFORD, G. & EPSTEIN, E. (1974). Nitrogen mineralization-water relations in soils. *Soil Sci. Soc. An. Proceed.*, 38: 103-107.
- STRICKLLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R. (1965). *A manual of sea water analysis*. Fish. Res. Board Canada, 202 pp.
- VALIELA, I. (1984). *Marine Ecological Processes*. Springer-Verlag. Nueva York.