EL SISTEMA ACUATICO DE LA LAGUNA DE FUENTE DE PIEDRA DESPUES DE UNA PLUVIOSIDAD ANORMALMENTE ALTA (1989-90).

R. García Ruiz, C. M. García¹ y F.X. Niell.

Dpto. de Geología y Ecología.

Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga.

Campus Universitario de Teatinos. 29071-Málaga.

¹Dirección actual: Area de Ecología, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Cádiz, Campus Río San Pedro, 11510-Puerto Real (Cádiz).

Palabras clave: Estacionalidad, Salinidad, Lagunas atalasohalinas, Zonas húmedas, Fuente de Piedra.

ABSTRACT

During 1989-90, Fuente de Piedra salt Lake did not show its characteristic dessication stage and became permanent due to the exceptionally rainy months of november and december. Salinity was much lower than usual (9-90 g l⁻¹) and mean temperature (17,6 °C) was higher than the last 28 years average (15,9 °C). These conditions propitiate high values of chlorophyll concentration (600 µg l⁻¹) as well as high winter phytoplankton population densities. Salinity and nutrient concentration fluctuations were lower also. During this year appeared phytoplankton species less adapted to the saline environment and other that had not been observed during 1986-89. *Tetraselmis apiculata* and *Cyclotella* sp reached very high population densities in winter (266 148 ml⁻¹ and 301 808 ml⁻¹ maxima respectively), *Chaetoceros* sp and several species of little flagellates being also important. These last flagellates seem to be related to the high DQO-values. Among zooplankton some species that appeared this year were not registered during the drier years 1986-89. Thus, a *Cyclops* species was abundant in the less saline time, *Arctodiaptomus salinus*, a typical inhabitant of the Spanish endorheic waters, *Daphnia mediterranea*, *Branchinecta media*, *Macrothrix* sp and the insects *Sigara* sp and *Hydroporus* spp. Other species already registered during the preceding drier years were also observed (*Cletocamptus retrogressus*, *Branchinella spinosa*, *Moina salina*).

INTRODUCCION

La laguna atalasohalina de Fuente de Piedra es somera y usualmente sigue un comportamiento estacional, con una fase de desecación en verano. Un estudio detallado de la limnología y las características de su comunidad planctónica aparece en García (1991), trabajo en el que se pasa revista a un año de pluviosidad moderada (1987-88). Otros trabajos (Herberg, 1986; Lucena *et al.*, 1987; Sáez, (inédito) muestran aspectos de su limnología en años más secos. De todos estos datos se puede extraer la conclusión de que la laguna de Fuente de Piedra no sigue patrones estacionales predictibles o repetibles, siendo el balance hidrológico anual fundamental para explicar la evolución de las variables limnológicas y las comunidades características, que se muestran extremadamente cambiante.

Las grandes precipitaciones registradas durante el ciclo hidrológico 1989-1990, con una precipitación media anual de 713,5 mm frente a la media anual de los últimos 28 años (470 mm), determinaron que la laguna no sufriera desecación al final del ciclo. Como consecuencia del mayor volumen de agua, las condiciones en el agua fueron por un lado menos severas (menor salinidad general) y por otro lado más estables, ya que la amplitud de los cambios y su frecuencia en general, fue menor. La ocasión era, por tanto, excepcional al alejarse del patrón habitual de comportamiento del sistema y dada la existencia de resultados previos que detallaban los cambios estacionales característicos. Los datos presentados pueden ser de interés como contraste y como principio de estudios que ayuden a comprender el comportamiento a mayores escalas de tiempo de la laguna de Fuente de Piedra.

AREA DE ESTUDIO

La laguna de Fuente de Piedra está situada en una cuenca cerrada en el norte de la provincia de Málaga, ($37^{\circ} 6' N$ $4^{\circ} 44' W$). Tiene una extensión de $13,5 \text{ Km}^2$ y está situada a 400 m sobre el nivel del mar. La gran abundancia de materiales del Triásico superior en la zona (IGME, 1986) determina que sus aguas tengan un alto contenido en sales.

La relativa gran extensión y el carácter somero de la laguna propicia que la relación superficie:volumen sea muy grande. Este hecho determina que el viento juegue un papel importante como generador de fluctuaciones y amplificador de los cambios, además de eliminar la heterogeneidad vertical, de manera que incluso se hace difícil la separación entre el bentos y el plancton.

Figura 1.
Situación geográfica de la laguna de Fuente de Piedra, mostrando la estación de muestreo.

MATERIAL Y METODOS

Los muestreos se realizaron desde el 27 de diciembre de 1989 (justamente después de detectarse las intensas precipitaciones de noviembre y diciembre) hasta el 29 de septiembre de 1990, con una periodicidad de dos muestreos semanales. La temperatura del agua (medida con un termómetro de mercurio) y la profundidad fueron medidas *in situ* en el punto de muestreo, situado en la orilla Este de la laguna (figura 1).

Los datos hidrológicos de la cuenca han sido tomados de los informes del I.G.M.E. (1991).

El contenido en sales fué expresada como cantidad de sólidos disueltos totales (T.S.D.) en g l^{-1} . Para determinarlos se filtraban 100 cm^3 de muestra a través de un filtro Whatman GF/C sobre un matraz de peso conocido, que volvía a pesarse tras secarse en la estufa a 105°C .

La concentración de oxígeno disuelto en el agua se determinó usando el método de Winkler (Fresenius *et al.*, 1988).

Para la determinación de los pigmentos fotosintéticos se filtraba un volumen determinado de agua a través de filtros Whatman GF/C que eran depositados en tubos herméticos en los que se maceraban con acetona neutralizada con CO_3Na_2 en el frigorífico. Tras un análisis espectrofotométrico realizado con un espectrofotómetro Beckman DU-7, se estimaron la concentraciones de clorofila "a" total usando la fórmula de Talling y Driver (1963).

Las concentraciones de nutrientes solubles fueron medidas sobre la fracción de agua filtrada a través de filtros Whatman GF/C. Las concentraciones de nitrato y nitrito fueron determinadas siguiendo el método automatizado de Technicon "Industrial Method n° 158-71 W/A" basado en Shinn (1941) y en Wood *et al.* (1967). La

Figura 2.

(a) Balance precipitación-evaporación durante el ciclo hidrológico 1989-90. Se señala el momento de inicio del estudio. (b) Temperatura del agua a lo largo del periodo estudiado. (c) Profundidad del agua en la estación de muestreo. (d) Evolución del T.S.D. en el ciclo estudiado. (e) Amplitud de los cambios de salinidad. Se señalan tres fases claramente diferenciadas. (f) Concentración de clorofila "a" total durante el ciclo hidrológico, mostrándose tres fases que coinciden con las señaladas en (e).

concentración de amonio fué determinada de acuerdo con el "Industrial Method n° 329-74 W/A" de Technicon, basado en Slawyk y McIsaac (1972). La concentración de ortofosfato fué determinada siguiendo el método de Murphy & Riley (1962). La determinación de la demanda química de oxígeno (D.Q.O.) se realizó sobre una fracción de agua filtrada (Whatman GF/F) siguiendo la metodología descrita en Fresenius *et al.* (1988).

Las muestras para el análisis de fitoplancton fueron fijadas *in situ* con lugol-acético (Parson *et al.*, 1984) y conservadas en un frasco de vidrio oscuro de 150 ml. Estas muestras se analizaron posteriormente en el microscopio invertido siguiendo la metodología de Utermöhl (1958).

La toma de muestras de zooplancton se realizó con ayuda de una bomba de achique, tomando agua de un cilindro de muestreo de dimensiones conocidas y recogiendo las partículas retenidas sobre mallas de 500 y 100 µm. Este material se fijaba con formol hasta una concentración final del 5 %. Previo a su análisis se realizaba un tratamiento suave en baño ultrasónico (Ultramet II Sonic cleaner)

durante 15 minutos para eliminar sedimento adherido mediante una refiltración. El análisis se efectuaba sobre alícuotas representativas en una cubeta Bogorov y con la ayuda de una lupa estereoscópica.

RESULTADOS

La precipitación media anual durante este ciclo hidrológico, 713,5 mm, fué mayor, y con mayor torrencialidad, que la correspondiente a los 28 últimos años (470 mm). La temperatura osciló entre 10 °C al comienzo del estudio y los 30 °C del mes de junio y principios de julio, siendo la media anual de 17,6 °C, cerca de dos grados superior a la media anual de los últimos 28 años (15,9 °C). En general, la temperatura del agua fue elevada, circunstancia propicia para el desarrollo de los productores primarios, esto es especialmente acusado desde mediado mayo, momento a partir del que la temperatura

Figura 3.

(a), (b) y (c) Evolución de la concentración de nitrato, nitrito y amonio, respectivamente. Véase el comportamiento opuesto del nitrato y el amonio. (d) Fósforo reactivo soluble a lo largo de ciclo. (e) D.Q.O., alcanzando los máximos valores en verano. (f) Medias mensuales de oxígeno durante el ciclo. Subsaturación en los momentos de "caída" del bloom y de mayor D.Q.O.

se mantuvo por encima de 20 °C (figura 2-(b)).

Desde el inicio del estudio hasta el mes de abril se da un predominio de la precipitación sobre la evaporación (figura 2-(a)). A partir de abril se da un claro predominio de la evaporación con un paulatino descenso de los niveles de agua, aunque la laguna no llegó a desecarse. La profundidad en el punto de muestreo,

	29 Diciembre	23 Enero	27 Marzo	22 Mayo	29 Mayo	27 Julio	10 Agosto	27 Septiembre
<i>Tetraselmis epiculata</i>	8697,65	266148,00	14090,20	-	-	-	-	-
<i>Cyclotella</i> sp	301808,00	224399,00	4435,80	-	6958,11	260,83	-	-
<i>Chaetoceros</i> sp	4348,82	-	-	-	23918,51	-	-	-
<i>Nitzschia closterium</i>	-	-	-	-	652,32	1043,72	9132,54	1461,21
<i>Entomoneis</i> sp	-	-	-	-	-	-	-	1669,85
Otras diatomeas	2043,50	-	-	365,30	-	2609,30	22831,34	313,12
<i>Oocystis</i> sp	-	-	260,83	26,10	-	-	-	-
<i>Gymnodinium</i> sp	204,35	-	-	-	-	-	-	-
Crisofíceas	6958,12	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spermatozopsis</i> sp	2609,30	3913,84	-	-	-	-	-	-
<i>Chlamydomonas</i> sp	-	-	2087,44	-	-	1956,97	5218,59	626,23
<i>Ocellularia</i> sp	-	-	-	-	-	-	652,32	-
<i>Spirulina</i> sp	-	-	-	-	-	-	5218,59	-
Otras cianobacterias	-	-	-	260,83	1956,97	782,79	-	-
<i>Dunaliella viridis</i>	-	-	-	-	-	-	-	521,86
<i>Dunaliella salina</i>	-	-	-	-	-	-	-	104,37
<i>Peranema</i> sp	-	-	-	-	-	-	-	208,74
<i>Cryptomonas</i> sp	-	-	-	-	2391,85	-	-	-
Otras criptofíceas	-	-	-	-	1304,65	-	-	-
<i>Ecdy</i> sp	-	-	-	78,28	-	-	-	-
Otros pequeños flagelados	-	-	-	1800,42	-	2087,44	-	1883,07
Amebas	-	-	-	0,08	-	-	-	-
<i>Fabrea salina</i>	-	-	-	-	-	4	4,4	3,2
Otros ciliados	204,35	-	1,20	0,48	-	-	-	-
<i>Brachionus</i> sp	-	-	-	-	-	0,003	-	-
Pequeños rotíferos	-	-	-	0,40	-	0,1	0,002	-
Turbelarios	-	-	-	-	-	-	0,002	0,017
Otros	45227,70	11741,83	2348,37	78,28	652,32	-	16308,10	-

Tabla I. Densidades de población (ml^{-1}) de organismos sedimentados (fitoplancton y pequeños organismos)

	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
<i>Cletocampus retrogressus</i>	158,30	86,70	295,70	239,73	371,60	84,82	222,50	52,06	4,77	415,70
<i>Cyclops</i> sp	370,10	295,00	27,23	77,80	4,30	-	-	-	-	-
Larvas de copépodos	10,10	9,17	13,04	133,00	5,70	4,20	32,40	-	0,21	14,00
<i>Arctodiaptomus salinus</i>	0,09	0,33	0,51	2,00	0,80	5,10	105,20	30,80	3,42	-
<i>Moina salina</i>	0,365	0,521	0,343	6,500	-	2,920	28,400	12,99	9,16	80,20
<i>Daphnia mediterranea</i>	0,155	0,034	1,566	13,520	34,5	14,1	-	-	-	-
Ostrácodos	2,40	3,15	2,35	43,95	5,25	5,60	34,03	4,86	12,46	2,30
Larvas de quironómidos	0,05	1,03	-	0,01	1,47	1,60	0,99	1,43	0,56	-
<i>Sigara</i> sp	0,007	-	0,009	-	0,020	0,100	0,880	2,100	0,899	0,060
<i>Branchinella spinosa</i>	0,274	0,020	0,180	0,078	-	-	-	-	-	-
<i>Branchinella media</i>	0,042	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hydroporus</i> spp	-	-	-	-	-	-	0,024	0,009	-	0,010
<i>Macrothrix</i> sp	-	-	-	0,010	-	-	-	-	-	-
Larvas de dípteros indet.	-	-	-	0,04	-	-	0,09	-	-	-
Larvas de dípteros	-	-	-	-	0,160	0,009	0,056	0,009	-	-

Tabla II. Densidades de población (l^{-1}) de zooplancton obtenidos por bombeo y filtración.

(figura 2-(c)) se mantuvo alrededor de los 80 cm, para decrecer rápidamente a partir del mismo mes de abril, probablemente debido a la fuerte evaporación. Esta fase de desecación rápida se aprecia también en los gráficos relativos a salinidad. En éstos, pueden distinguirse tres fases (figuras 2-(d) y (e)), en la fase más estable invernal los valores de salinidad se mantienen relativamente constantes y oscilando entre 9 y 13 g l⁻¹. A partir de abril la salinidad aumenta alcanzando 35-38 g l⁻¹ en julio, en esta fase la amplitud de los cambios de concentración de sales son algo mayores que en invierno (figura 2-(e)). Por último, a partir de julio la salinidad aumentó drásticamente hasta el valor máximo observado de 90 g l⁻¹. En este último período los cambios de salinidad alcanzan la mayor amplitud.

A lo largo del periodo estudiado se distinguen también tres fases en la concentración de clorofila "a" total que coinciden, en terminos generales, con las fases ya mencionadas para salinidad (figura 2-(f)). Durante la época invernal se dieron las mayores concentraciones de clorofila, detectándose un máximo de 600 µg l⁻¹ el 23 de enero. En esta fase se alcanzaron las mayores densidades fitoplanctónicas, siendo los organismos más representativos una diatomea del género *Cyclotella*, más abundante al principio, así como *Tetraselmis apiculata* (*Platymonas apiculata*) Butcher, esta última especialmente importante para explicar el máximo de clorofila invernal. A partir de abril las concentraciones de clorofila se mantuvieron relativamente bajas al igual que la densidad de poblaciones fitoplanctónicas, siendo abundantes diatomeas del género *Chaetoceros*, la misma *Cyclotella* y algunos flagelados incoloros (tabla I). A partir de julio se observó un nuevo aumento de las concentraciones de clorofila, siendo abundantes diversas especies de diatomeas pennadas, especialmente de los géneros *Navicula*, *Nitzschia* y *Entomoneis*. Destacan también pequeños flagelados incoloros y filamentos de *Spirulina* sp. que se agregan y forman parte de un neuston incipiente. *Dunaliella salina* y *D. viridis*, microalgas halotolerantes que alcanzaron grandes densidades durante las épocas de mayor salinidad en 1987/88 (García, 1991), aparecieron sólo en septiembre y con baja densidad.

Las concentraciones máximas de nitrato (figura 3-(a)) se alcanzaron en invierno (máximo 170,9 µg-at N l⁻¹), siendo la concentración muy baja durante la mayor parte del año e incluso indetectable al principio y fin de julio. La concentración media anual de nitrato fue de 11,2 µg-at N l⁻¹, y su distribución aparece con tendencias opuestas a la de amonio (figura 3-(c)).

La media de concentraciones de nitrito fue de 1,1 µg-at N l⁻¹. Durante el invierno se mantuvo un nivel elevado de nitritos (figura 3-(b)) que descendió en marzo y aumentó hasta un máximo a finales de abril. Durante el mes de mayo la concentración descendió mucho y se mantuvo baja el resto del ciclo.

Las concentraciones de amonio en el agua fueron bajas durante el invierno (figura 3-(c)), incrementándose a partir de marzo y alcanzándose el máximo el 10 de abril (70 µg-at N l⁻¹).

La concentración media de fosfato fue de 0,54 µg-at P l⁻¹, la distribución no parece tener tendencias estacionales claras (figura 3-(d)). Presenta dos máximos, uno el 9 de enero (2,28 µg-at P l⁻¹) y otro el 15 de mayo (2,79 µg-at P l⁻¹), observándose los mínimos, con concentraciones no detectables el 29 de diciembre, el 23 de enero, coincidiendo con el máximo de clorofila, y el 9 de marzo.

La demanda química de oxígeno en el agua fue muy alta en todo momento (figura 3-(e)), aumentando aún más a fines de julio, hecho que coincide con el descenso de los valores de concentración de oxígeno disuelto en el agua (figura 3-(f)). La evolución de las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, en sobresaturación durante el *bloom* fitoplanctónico invernal, llegaron a momentos de subsaturación a fines de invierno, cuando presumiblemente se dio una importante entrada de materia orgánica al decaer dicho *bloom*. Hubo otro momento de subsaturación al final del periodo estudiado, coincidiendo con altos valores de la demanda química de oxígeno.

Los menores valores de salinidad favorecieron la aparición de especies de zooplancton no observadas en años más secos, así como el retraso o inhibición de la presencia de especies más halotolerantes. Destaca en el inicio del periodo estudiado la alta densidad de un copépodo perteneciente al género *Cyclops* no observado en años de mayor salinidad general (García, 1991). La desaparición de este copépodo, en marzo, coincidió con un aumento de la densidad de población de *Daphnia*

(*Ctenodaphnia*) *mediterranea* que alcanzó la mayor abundancia en abril y desapareció a finales de mayo. El calanóide *Arctodiaptomus salinus*, que tampoco apareció en años anteriores, alcanzó su mayor densidad durante el mes de junio. El cladócero *Moina salina* (*Moina mongolica*) Daday apareció con menor densidad que en el ciclo hidrológico 1987/88 (García, 1991). Los anostráceos *Branchinella spinosa* Milne-Edwards y *Branchinecta media*, este último no observado anteriormente, fueron encontrados durante la época invernal. También es destacable la gran abundancia, relativa a su tamaño, del corixido *Sigara* sp. y de dos especies de ditiscidos del género *Hydroporus*. El ciliado *Fabrea salina* Henneguy retrasó su aparición hasta los momentos de mayor salinidad.

Por otra parte, se observó un mayor desarrollo de los macrófitos acuáticos *Ruppia drepanensis* Tin. ex Guss. y *Lamprothamnium papulosum* (Wallr.) J. Gr. especialmente a partir de la época primaveral.

DISCUSION

Las intensas precipitaciones en los meses de noviembre y diciembre propiciaron, como ya se ha mencionado, en general una menor salinidad, mayor profundidad de la columna de agua y permanencia de agua en la laguna durante el periodo estival.

Este estudio junto con el de García (1991), que analiza el ciclo hidrológico 1987/88 y el de Sáez (inédito) que estudia un periodo del ciclo 1988/89 ponen de manifiesto la baja reproducibilidad de las comunidades de un año a otro, que es característico de ambientes controlados físicamente. Estos fenómenos, como ya puso de manifiesto García (1991) están directamente ligados a la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y en general al tipo de ciclo hidrológico.

Las características del balance hidrológico en este ciclo determinaron, durante la etapa invernal, mínimos valores de salinidad siendo también mínimos los cambios de ésta y máxima profundidad, hechos que junto con valores relativamente elevados de temperatura propiciaron altas concentraciones de clorofila "a" total así como altas densidades fitoplanctónicas.

Los menores valores de salinidad se relacionan con la aparición de nuevas especies menos halotolerantes como: *Cyclops* sp., *Arctodiaptomus salinus*, *Daphnia mediterranea*, *Branchinecta media*, *Macrothrix* sp. y retrasó la aparición de especies más adaptadas a altos valores de salinidad como: *Dunaliella viridis*, *Dunaliella salina*, el ciliado *Fabrea salina* y *Moina salina*.

A lo largo del ciclo se aprecia una mayor organización espacial, pasando de una etapa invernal, poco estructurada, con un claro predominio de la comunidad planctónica, con poca riqueza específica (*Cyclops* sp. como especie zooplanctónica dominante y *Tetraselmis apiculata* y *Cyclotella* sp. las especies fitoplanctónicas dominantes), altas concentraciones de nutrientes (fosfato y nitratos), poca transparencia del agua, hacia etapas donde se distinguen verticalmente tres comunidades: la comunidad bentónica está bien desarrollada distinguiéndose *Ruppia drepanensis* y *Lamprothamnium papulosum* como los macrófitos más característicos. Estos adquirieron mayor desarrollo que en años anteriores, posiblemente, debido a la mayor estabilidad, observación que podría integrarse en la serie de estudios de Niell *et al* (1989). Relacionados con esta comunidad se han encontrado relativa gran cantidad de insectos acuáticos como *Sigara* sp. e *Hydroporus* sp., larvas de quironómidos y pequeños flagelados incoloros relacionados con la gran abundancia de materia orgánica disuelta, Margalef (1983). También está presente la comunidad planctónica aunque con una mayor riqueza específica y donde los organismos fitoplanctónicos más abundantes son diversas diatomeas pennadas y *Chlamydomonas* sp. *Cletocamptus retrogressus* y *Moina salina* son los representantes zooplanctónicos más abundantes.

Se detectó también una comunidad neustónica constituida por agregados de *Spirulina* y gran cantidad de cianobacterias asociadas a ellas.

En este trabajo se ha estudiado un espectacular caso de adición de estabilidad a un sistema, fenómeno raramente posible de observar en sistemas severos y alejados

del equilibrio. La estabilidad del sistema se produce a causa de la canalización de una anormal cantidad de energía, o sea que en realidad se aleja de un estado frecuente para alcanzar una persistencia mayor cuando pasa el tiempo. La aparición de especies no detectadas en el medio incrementa el valor de riqueza que en sistemas severos equivale a diversidad, y la sucesión se ordena en diversas fases que presumiblemente significan cambios de flujo a través del sistema.

BIBLIOGRAFIA

- Fresenius, W; K. E. Quentin y W. Schneider (eds.), 1988. *Water Analysis*. Springer Verlag, Berlín, 804 pp.
- García, C. M., 1991. Estudio de un medio acuático fluctuante: la laguna atalasohalina de Fuente de Piedra (Málaga). Tesis doctoral. Universidad de Málaga. 300 pp.
- Herberg, O., 1986. Valoración del impacto provocado por el arroyo Santillán en la Laguna de Fuente de Piedra (Málaga). Tesis de licenciatura. Universidad de Málaga, 122pp.
- I.G.M.E., 1986. Mapa geológico de España E. 1:50.000. Hoja 1023. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- I.G.M.E., 1991. Observaciones climatológicas e hidrogeológicas en la cuenca de Fuente de Piedra durante el año 1989-90. Nota técnica Málaga nº 380. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- Lucena, J., F. X. Niell y O. Herberg, (1987). Transformación del "input" orgánico en la laguna atalasohalina de Fuente de Piedra. Limnética, 3:9-15.
- Margalef, R., 1983. *Limnología*. Omega, Barcelona, 1010 pp.
- Murphy, J. y J. P. Riley, 1962. A modified single-solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica chim. Acta, 27:31.
- Niell, F.X., M. Espejo, J.A. Fernández y P. Algarra, 1989. Performances and use of energy in intertidal systems related to random disturbances and thermal stress. Scient. Mar., 53(2-3): 293-299.
- Parsons, T. R.; Y. Maita y C. M. Lali, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon, Oxford. 173 pp.
- Shinn, J. A., 1941. Ind. Eng. Chem. (Annual edition), 13: 33. In: J. D. H. Strickland & T.R. Parson. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Can. Bull. 167.
- Slawyk, G. y J. J. McIsaac, 1972. Comparison of two automated ammonium methods in a region of coastal upwelling. Deep-Sea Res., 19: 521-524.
- 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.
- Utermöhl, H., 1958. Zur wemilkomung der quantitative phytoplankton methodik. Mitt. Internat. Verein. Limnol., 9: 1-38.