

An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín	101-119	19-20	Santa Marta Colombia, 1989-1990	ISSN 0120-3959
---------------------------------------	---------	-------	------------------------------------	-------------------

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA, COLOMBIA

Carlos A. Hernández J. y Klaus Gocke

RESUMEN

Entre enero 1987 y enero 1988 se estudiaron la productividad primaria y una serie de factores relacionados con ella en la Ciénaga Grande de Santa Marta. La Ciénaga es una laguna costera de 423 km² de área y de 1.6 m de profundidad media, situada en la costa caribeña de Colombia y sometida a una fluctuación fuerte de salinidad. Se trata de un sistema acuático con una alta concentración de seston y una gran productividad primaria. La concentración de clorofila "a" fluctuó entre 5.6 y 181 ug l⁻¹, el promedio anual fue de 59 ug l⁻¹. La concentración de proteínas osciló entre 0.9 y 9.5 mg l⁻¹, el promedio anual fue de 4.2 mg l⁻¹. La productividad primaria bruta anual en la parte central de la Ciénaga fue de 1690 g C m⁻². Los valores extremos en todo el sistema fueron 1.40 y 16.3 g C m⁻² por día. La variación temporal y espacial de la productividad primaria en la Ciénaga está causada sobre todo por la entrada de aguas continentales, la productividad es más alta cuando la salinidad es baja. La productividad está también controlada por turbidez del agua y la disponibilidad de nutrientes. La capa fotosintética está restringida a menos de 1.5 m por la alta concentración de partículas. La proporción N:P, inorgánico, es en promedio 4:1 indicando que los compuestos nitrogenados son factores limitantes en el sistema lagunar. La alta productividad primaria de la Ciénaga Grande sostiene una importante pesquería artesanal. Los excedentes de la productividad son exportados al mar adyacente donde subsidian una extensa zona costera.

ABSTRACT

Between January 1987 and January 1988 the primary productivity and related parameters were studied in the Ciénaga Grande de Santa Marta. The Ciénaga is a coastal lagoon with an area of 423 km² and mean depth of 1.6 m, which is located at the caribbean coast of Colombia. The salinity fluctuates seasonally within a wide range. The system is characterized by a high concentration of seston and a great primary productivity. The concentration of chlorophyll "a" ranged from 5.6 to 181 ug l⁻¹, the mean value was 59 ug l⁻¹. The concentration of proteins was within the extremes of 0.9 and 9.5 mg l⁻¹, the mean value was 4.2 mg l⁻¹. The gross primary productivity in the central part of the Ciénaga amounted to 1690 g C m⁻² per year. Considering the temporal fluctuation in the whole system the lowest and highest values were 1.40 and 16.3 g C m⁻² per day. Highest productivity values were encountered when the salinity was low. The primary productivity is controlled by water turbidity and availability of nutrients, thus, seasonal

continental waters. The photosynthetic layer is restricted to less than 1.5 m due to the high particle concentration. The mean N: P relation was 4:1 which indicates that the nitrogen compounds are the limiting nutrients. The high primary productivity sustains an important local fishery. The coastal area in the vicinity of the Ciénaga Grande is benefitted by the export of particulated and dissolved organic matter produced in excess within the coastal lagoon.

INTRODUCCION

La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) es la laguna costera más grande del Caribe colombiano. Está asociada al plano inundable del Río Magdalena y a la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). Las aguas son productivas por la gran cantidad de energía fijada por el fitoplancton y por los subsidios de energía y materia que recibe de otros ecosistemas. La alta productividad del sistema lagunar sostiene una importante pesquería artesanal (Pedraza *et al.*, 1979) y los excedentes son exportados al mar adyacente donde se subsidia una extensa zona costera.

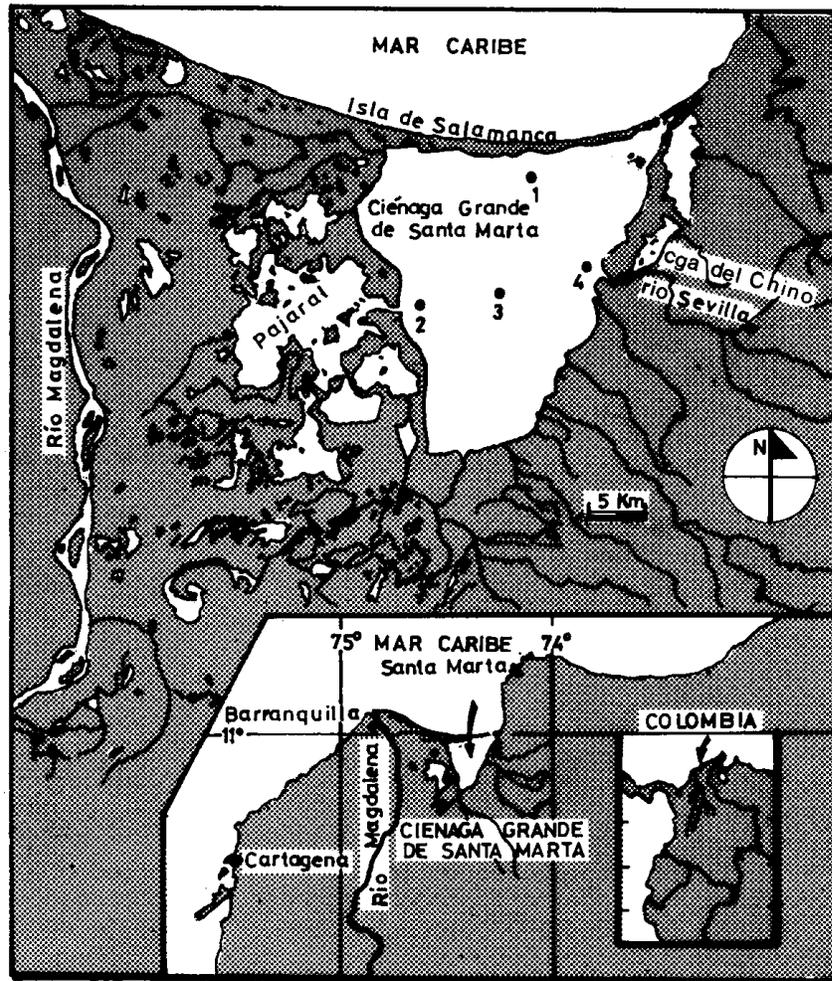


Figura 1. Localización de la Ciénaga Grande de Santa Marta y la red de estaciones, donde se cuantificó la productividad primaria.

Existen varios estudios que describen aspectos físicos, químicos y biológicos de la laguna (por ejemplo, Cosel, 1978; Hernández, 1983 y 1986; Hoppe *et al.*, 1983; Palacio, 1983; Wiedemann, 1973 y Zamorano, 1983), pero todavía no existe una descripción comprensiva de la productividad del ecosistema. Este trabajo es un resumen de los estudios sobre la productividad primaria y describe el patrón de la productividad en relación con la variación climática, hidrológica y biológica de la CGSM.

DESCRIPCION DEL AREA

La CGSM forma parte del delta exterior del Río Magdalena, (IGAC, 1974). Se localiza en la región noroccidental del departamento del Magdalena ($10^{\circ} 44'$ a $11^{\circ} 00'$ N y $74^{\circ} 19'$ a $74^{\circ} 31'$ W, Fig. 1). Por el norte se comunica con el Mar Caribe por un canal (Boca de la Barra) que se abre a través de la Isla de Salamanca, con una anchura aproximada de 280 m y una profundidad máxima de 12 m; por el este se encuentra la SNSM, sistema montañoso escarpado (5775 m de altura). Entre la SNSM y la Ciénaga hay una llanura fértil (zona bananera) recorrida por numerosos ríos y quebradas que drenan la vertiente oeste de la SNSM y suministran agua para una importante agroindustria. En la región sur y oeste se encuentra una extensa planicie de inundación y acumulación (complejo sistema anfibio de Pajalar), con numerosos pantanos y ciénagas someras interconectadas por una red de canales más o menos activos por donde fluye el agua proveniente del Río Magdalena cuando se desborda (Kaufman y Hevert, 1973)

La CGSM se caracteriza por su gran superficie (423 km^2) y poca profundidad (1.6 m en promedio). El cambio de nivel de la Ciénaga causado por la acción del viento y de la lluvia oscila entre 30 y 50 cm, pero puede llegar a más de un metro (Wiedemann, 1973). En comparación con esto la influencia de la marea del Caribe, que raras veces supera los 50 cm, es pequeña y limitada a la cercanía de la Barra.

El clima es seco con pocas precipitaciones pero una elevada evapotranspiración, por lo que hay un déficit hídrico (IGAC, 1975). La salinidad fluctúa entre 0 y $40 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ (Hernández, 1986) y tiene un comportamiento bimodal. Los sedimentos lagunares consisten de arenas, lodos blandos, lodos mezclados con conchas y arrecifes de ostra; no existen praderas de fanerógamas ni macroalgas en el lecho de la laguna, salvo algunas macrófitas que crecen en los arrecifes de ostra cuando la salinidad es alta. La Ciénaga está rodeada por una formación de manglar.

MATERIALES Y METODOS

Se trabajó con una red de cuatro estaciones (Fig. 1) en las cuales se colectaron las muestras siempre entre las 7 y 9 a.m., con una frecuencia quincenal a

partir de enero 1987 a enero 1988 (27 salidas de campo), utilizándose una lancha tipo taxi con motor fuera de borda. La salinidad se midió con un conductímetro (WTW-LF 91). Para la determinación de los nutrientes (amonio, nitrito, nitrato, ortofosfato y silicato) se usó una modificación semimicro de los métodos espectrofotométricos descritos por Grasshoff *et al.* (1983). Para estimar la concentración de clorofila "a" y feopigmento se usó el método de Lorenzen (1967). La cantidad de proteínas del seston se midió por la técnica colorimétrica de Lowry *et al.* (1951) modificada. En el campo se midieron la temperatura del agua, la profundidad de visibilidad del disco Secchi y la profundidad total.

La productividad primaria se estimó utilizando la técnica de "botellas claras y oscuras" (Gaarder y Gran, 1927); la incubación de las botellas claras se realizó a 100, 60, 25 y 6 por ciento de la intensidad de luz incidente. Siempre se realizaron las incubaciones entre las 11:00 a.m. y 4:00 p.m. (cinco horas). El oxígeno se midió por el método de Winkler, para lo que se utilizó una bureta automática (Metrohm-645 Multi-Dosimat) de 0.01 ml de precisión. Para la conversión de oxígeno liberado en carbono fijado se aplicó un cociente fotosintético (Margalef, 1986 y Parsons *et al.*, 1977) de 0.85 o sea 1 mg de oxígeno equivale a 0.313 mg de carbono.

RESULTADOS Y DISCUSION

Temperatura del agua

El promedio de temperatura del agua a lo largo del año fue de 30.6°C, los valores superficiales oscilaron entre 26.8 y 34.9°C y en el fondo de 26.8 a 33.6°C. Las temperaturas más altas en ambos niveles se presentaron entre abril y septiembre, las bajas entre diciembre y marzo (cuando predominan los vientos alisios del noreste).

Salinidad

El comportamiento de la salinidad fue similar al de años anteriores (Avila, 1972, junio/71 a mayo/72; Pérez, 1977, junio/76 a junio/77; Cosel, 1978, enero/70 a diciembre/73; Carmona, 1979, enero/78 a diciembre/78; Hernández, 1986, octubre/85 a abril/86) y casi sincronizado en las cuatro estaciones (Fig. 2). Los valores altos se presentaron entre febrero y mayo, los bajos entre octubre y diciembre (época húmeda mayor y principios de la época seca mayor). La salinidad está determinada por el balance entre las entradas de agua dulce continental, lluvias locales, flujo de agua marina y aguas salobres de pantanos y la salida por evapotranspiración y flujo de agua de la Ciénaga hacia el mar. La salinidad fluctuó, para las cuatro estaciones en el año de estudio, entre 0.0 y 35.4°/oo.

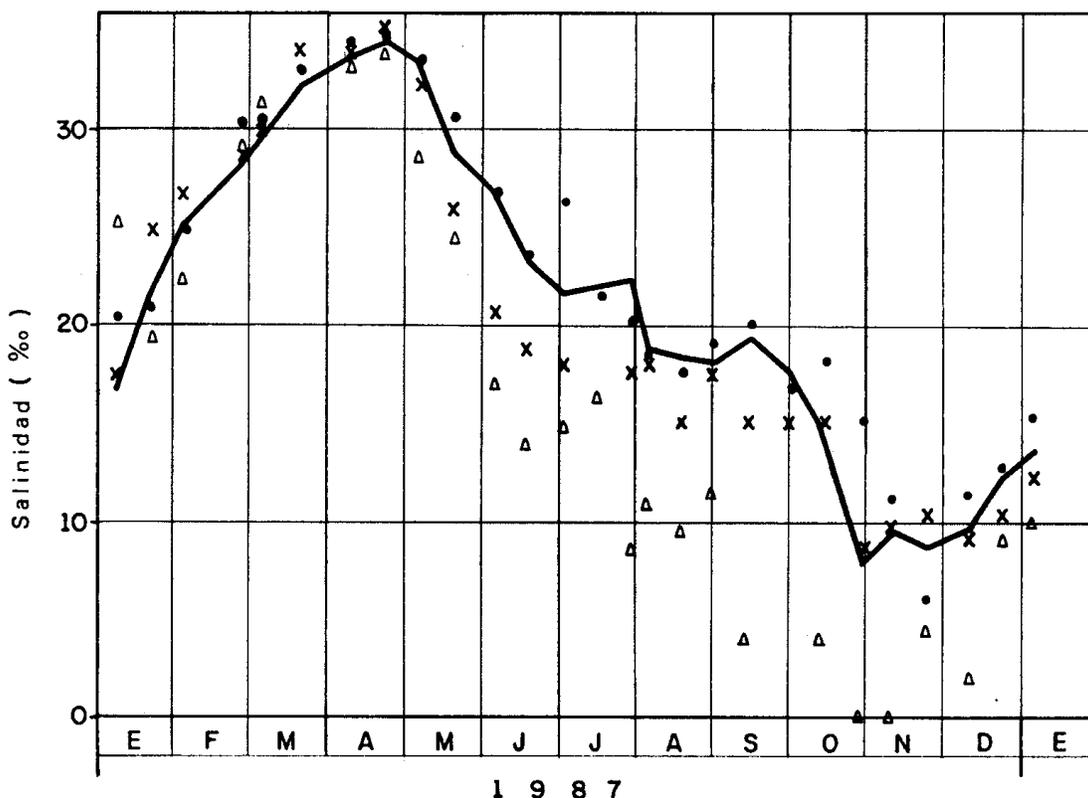


Figura 2. Variación estacional de la salinidad en la Ciénaga Grande. E1: equis; E2: puntos; E3 (centro de la CGSM): Línea continua; E4: triángulos.

La estación 4 (Boca del Río Sevilla) muestra las mayores variaciones por el doble efecto de entrada de agua continental y la cuña salina procedente de la Ciénaga del Chino (ver Fig. 1) y del mar. La estación 1 es más afectada por el agua marina, mientras que el efecto de las aguas continentales es menor. La estación 3 (centro de la laguna) es la más representativa para el sistema, aquí la salinidad varía con menor intensidad. En la estación 2 ocurre algo similar a lo de la estación 3 pero se observa un mayor efecto de las aguas del sistema de Pajara y del Río Magdalena. En esta estación se han detectado entradas de agua con mayor salinidad (registros en Caño Grande, Hernández, 1988) al comienzo de la época lluviosa, pero aguas de menor salinidad al final de la temporada húmeda; además se observaron corrientes de agua por el Caño Clarin y Caño Grande que entraron al sistema (CGSM).

Turbidez

Las profundidades de visibilidad del disco Secchi variaron entre 24 y 123 cm durante el año, en toda la Ciénaga. En la estación 1 se obtuvo la mayor variabilidad (28 cm en febrero a 123 cm en abril) ya que es la más afectada por las aguas claras provenientes de Mar Caribe y en menor grado por las turbias de la Ciénaga, pantanos y canales del manglar (Fig. 3). La estación 3 (centro)

fue la que presentó aguas más turbias durante el año. El rango de la profundidad del disco Secchi fue de 24 cm (marzo) a 65 cm (julio).

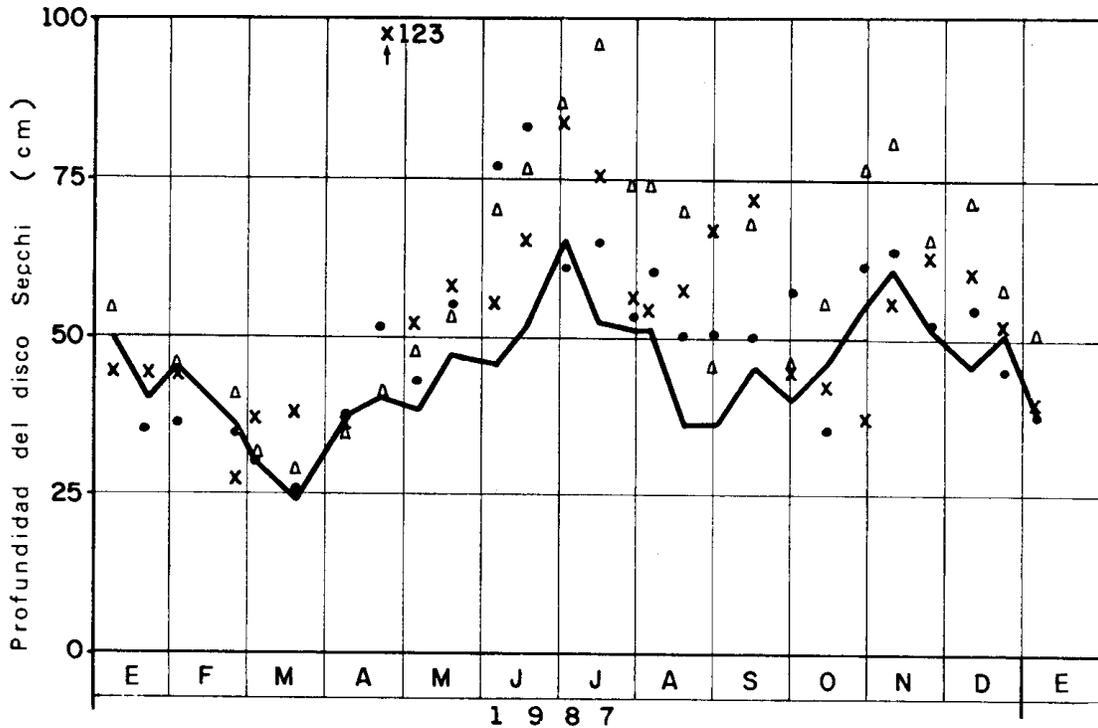


Figura 3. Variación estacional de la profundidad de visibilidad del disco Secchi en la Ciénaga Grande. El: E1: equis, E2: puntos; E3 (centro de la CGSM): Línea continua; E4: triángulos.

Los meses de mayor turbidez fueron febrero, marzo y abril, cuando la salinidad fue mayor. Durante junio y julio, cuando la salinidad disminuyó, se encontró la menor turbidez del agua. El patrón de la profundidad del disco Secchi fue muy irregular, los valores cambiaron en el tiempo y espacio durante el día, según variaron las condiciones meteorológicas (vientos, nubosidad) y la concentración de materia particulada y disuelta, debido a los procesos de resuspensión y movimientos horizontales de las masas de agua con características físico-químicas diferentes.

En la tabla 2 se muestran los valores promedio de la profundidad del disco Secchi. Los valores estuvieron alrededor de solo 50 cm en las 4 estaciones, lo que muestra claramente la alta turbidez del agua. Conociendo la profundidad del disco Secchi se puede calcular la profundidad hasta donde llega un 1% de la luz superficial incidente. Esta profundidad, la cual se obtiene multiplicando la profundidad del disco Secchi por 2.7, representa el límite inferior de la productividad primaria neta (Parsons *et al.*, 1977). Basándose en los valores del disco Secchi, mencionados anteriormente, se estima que el espesor de la capa fotosintética llegó en promedio a 1.35 m. La luz es uno de los factores reguladores de la productividad primaria (Fogg, 1975). La alta radiación solar que

recibe la región (más de 200 Kcal/cm²/año, Margalef, 1986), causa una gran fotoinhibición en la capa superficial de la columna de agua (Ryther y Yentsch, 1957), como lo evidencian los valores pequeños de producción de oxígeno, en las botellas incubadas, en el 100% de intensidad de luz incidente. En la Ciénaga Grande el menor espesor de la capa fotosintética fue de 65 cm, pero en muchos casos la luz penetró hasta el fondo. Sin embargo, partiendo de la profundidad media anual del disco Secchi, solamente en la estación 4 había, en promedio, producción primaria en toda la columna de agua hasta el sedimento. En las estaciones restantes las aguas profundas cerca del fondo no recibieron suficiente luz para permitir el crecimiento de organismos fotosintéticos, aunque en la estación 1 la profundidad de la capa eufótica casi coincidió con la profundidad total del lugar.

Tabla 1. Nutrientes en aguas de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Valores promedio anual en $\mu\text{mol l}^{-1}$ para cada una de las cuatro estaciones. (E) estación; (NH₄) amonio; (NO₂) nitrito; (NO₃) nitrato; (NIT) nitrógeno inorgánico total; (NTT) nitrógeno total (inorgánico más orgánico); (PTT) fósforo total (inorgánico más orgánico); (PO₄) ortofosfatos; (SiO₄) silicato.

E	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NIT	NTT	PO ₄	PTT	SiO ₄
1	0.757	0.104	0.104	0.965	43.80	0.347	4.23	79.87
2	0.769	0.102	0.072	0.943	49.65	0.322	4.66	104.90
3	0.808	0.127	0.121	1.056	51.93	0.306	5.06	118.77
4	0.851	0.105	0.048	1.004	50.36	0.986	5.77	108.81

Tabla 2. Promedios de productividad primaria neta (PPN), bruta (PPB), respiración (RESP), clorofila "a" (C''a''), proteínas del seston (PROT), salinidad (S) y profundidad de visibilidad del disco secchi (DS), para cada una de las 4 estaciones.

E	PPN gCm ⁻² h ⁻¹	PPB gCm ⁻² h ⁻¹	RESP gCm ⁻² h ⁻¹	C''a'' μg l ⁻¹	PROT mg l ⁻¹	S ‰	DS cm
1	0.300	0.376	0.076	43.00	3.37	20.2	55
2	0.364	0.460	0.096	54.42	4.18	22.2	50
3	0.382	0.462	0.080	64.26	5.01	21.3	45
4	0.362	0.444	0.082	72.50	4.27	15.6	59

En la CGSM la penetración de la luz a través de la columna de agua está determinada por la cantidad de materia orgánica particulada viva y detrítica, por las sustancias disueltas como los ácidos húmicos y fúlvicos que absorben la luz y por partículas minerales finas; este conjunto de elementos interactúa de diversas formas, pero su efecto es reducir el espesor de la capa fotosintética. Los coeficientes de correlación entre la profundidad del disco Secchi y la concentración de clorofila "a" (ver tabla 3) fueron inversos en todas las estaciones, significativos en las estaciones 1 y 2 y no significativos en las restantes. Esto podría indicar que la turbidez del agua tiene un origen diferente en las estaciones 3 y 4 (al menos durante el período de medición) el cual se puede

atribuir más al seston total, en general, que al fitoplancton en particular. Los coeficientes de correlación entre profundidad del disco Secchi y proteínas del seston fueron de signo negativo (inverso) y los valores significativos, lo que estaría respaldando la hipótesis anterior.

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre productividad primaria neta (PPN), salinidad (S), profundidad Secchi (DS), clorofila "a" (C "a") y proteínas del seston (PROT). Coeficientes superiores a 0.38 o inferiores a -0.38 son estadísticamente significativos a un nivel de confianza $\leq 9.5\%$.

	ESTACION	S	DS	C "a"	PROT
DS	1	-0.03			
	2	-0.27			
	3	-0.50			
	4	-0.60			
C "a"	1	-0.71	-0.48		
	2	-0.52	-0.52		
	3	-0.58	-0.09		
	4	-0.58	-0.20		
PROT	1	-0.34	-0.70	0.76	
	2	-0.12	-0.60	0.67	
	3	-0.06	-0.56	0.47	
	4	-0.16	-0.61	0.25	
PPN	1	-0.58	0.10	0.78	0.33
	2	-0.57	0.34	0.69	0.31
	3	-0.74	0.34	0.69	0.04
	4	-0.64	0.39	0.76	0.09

Nutrientes

El nitrógeno inorgánico total ($\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$) tuvo un amplio rango de variación de 0.12 a $4.56 \mu\text{mol l}^{-1}$, lo que indica una gran actividad biológica y cambios rápidos y permanentes de las masas de agua (Fig. 4); el promedio disponible en el agua fue de $0.99 \mu\text{mol l}^{-1}$. El amonio, el compuesto más abundante en que se encuentra el nitrógeno inorgánico en la CGSM, fluctuó entre 0.040 a $2.83 \mu\text{mol l}^{-1}$; el promedio fue de $0.80 \mu\text{mol l}^{-1}$. Los valores de nitrógeno (inorgánico más orgánico) total medidos fueron: el $43.80 \pm 20.35 \mu\text{mol l}^{-1}$; E2 $49.64 \pm 22.92 \mu\text{mol l}^{-1}$; E3 $51.93 \pm 21.10 \mu\text{mol l}^{-1}$ y E4 $50.36 \pm 21.34 \mu\text{mol l}^{-1}$.

El fósforo (ortofosfato) varió de manera amplia (0.05 a $7.22 \mu\text{mol l}^{-1}$, Fig. 5); el promedio anual fue $0.49 \mu\text{mol l}^{-1}$. La concentración de fósforo total (inorgánico más orgánico) fluctuó así: E1 $4.23 \pm 1.64 \mu\text{mol l}^{-1}$; E2 $4.66 \pm 1.62 \mu\text{mol l}^{-1}$; E3 $5.06 \pm 2.22 \mu\text{mol l}^{-1}$ y E4 $5.77 \pm 1.98 \mu\text{mol l}^{-1}$. Se puede decir lo que en el caso del nitrógeno, una gran demanda biológica y períodos de subsidio (entrada) que modifican su disponibilidad en el agua, con la diferencia

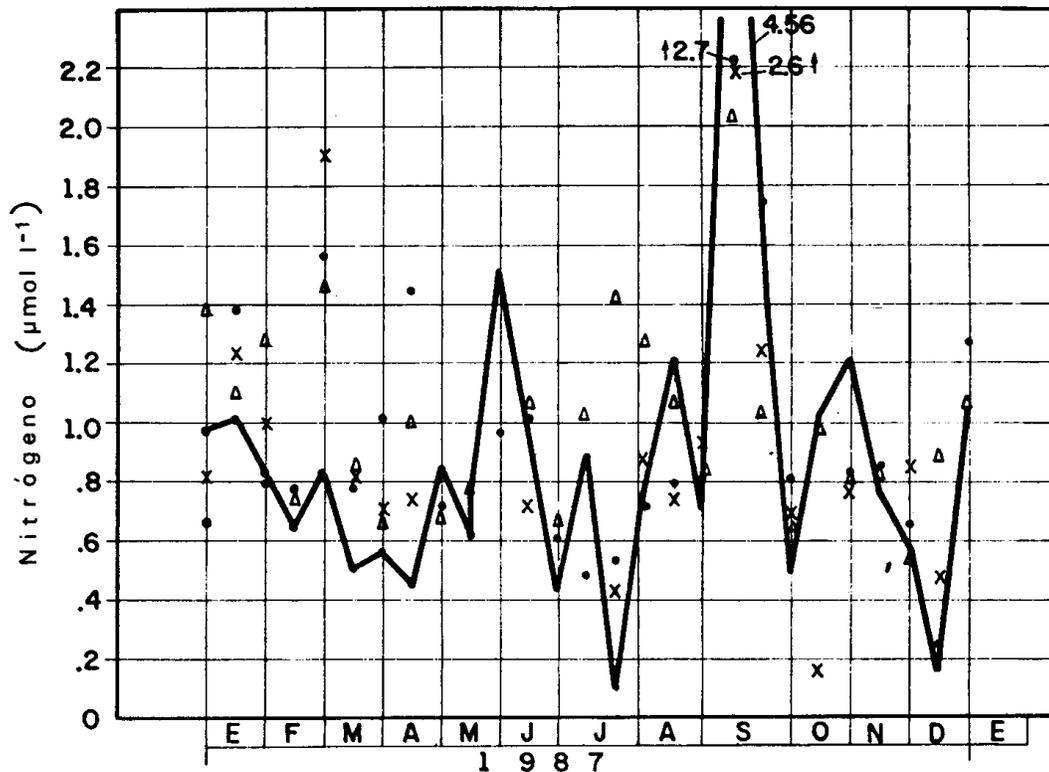


Figura 4. Variación estacional de la concentración de nitrógeno inorgánico total en la Ciénaga Grande. E1: equis; E2: puntos; E3 (centro de la CGSM): línea continua; E4: triángulos.

que el nitrógeno además de entrar como subsidio de otros ecosistemas puede ser fijado de la atmósfera por algunos organismos, sobre todo por las algas verde-azules. La pequeña concentración de las formas inorgánicas del N y P comparada con la alta cantidad de estas sustancias en forma orgánica, tanto particulada como disuelta, es típica para los sistemas acuáticos tropicales de alta dinámica biológica. En estos sistemas los procesos de incorporación de los nutrientes por las algas y de liberación por la actividad de los organismos heterótrofos, son enlazados tan íntimamente que el reciclaje de estas sustancias es tan rápido que las concentraciones directamente disponibles nunca llegan a ser altas.

El silicato fluctuó ampliamente entre 5.34 y 265.0 $\mu\text{mol l}^{-1}$; el promedio anual fue 103 $\mu\text{mol l}^{-1}$. Gran parte de este nutriente llega por los ríos de la SNSM. El silicato no fue limitante para el fitoplancton (diatomeas). En la Tabla 1 se presentan los valores de los nutrientes y en las Figuras 4 y 5 se muestran las tendencias.

La proporción N:P de las formas inorgánicas de estos nutrientes varió en un amplio rango desde 0:1 (Estación 4, noviembre y diciembre) a 27:1 (Esta-

ción 1, septiembre). Los valores promedio fueron: E1 5:1, E2 4:1, E3 4:1 y E4 4:1. El promedio anual para las cuatro estaciones fue 4:1. Estos valores indican que la mayor parte del año el nitrógeno estuvo en deficiencia con respecto al fósforo (Rhee y Gotham, 1980). El promedio anual de la razón entre el nitrógeno y el fósforo combinado está por debajo de los valores registrados en otros ecosistemas, que según Margalef (1986) son del orden de 14:1 o 16:1.

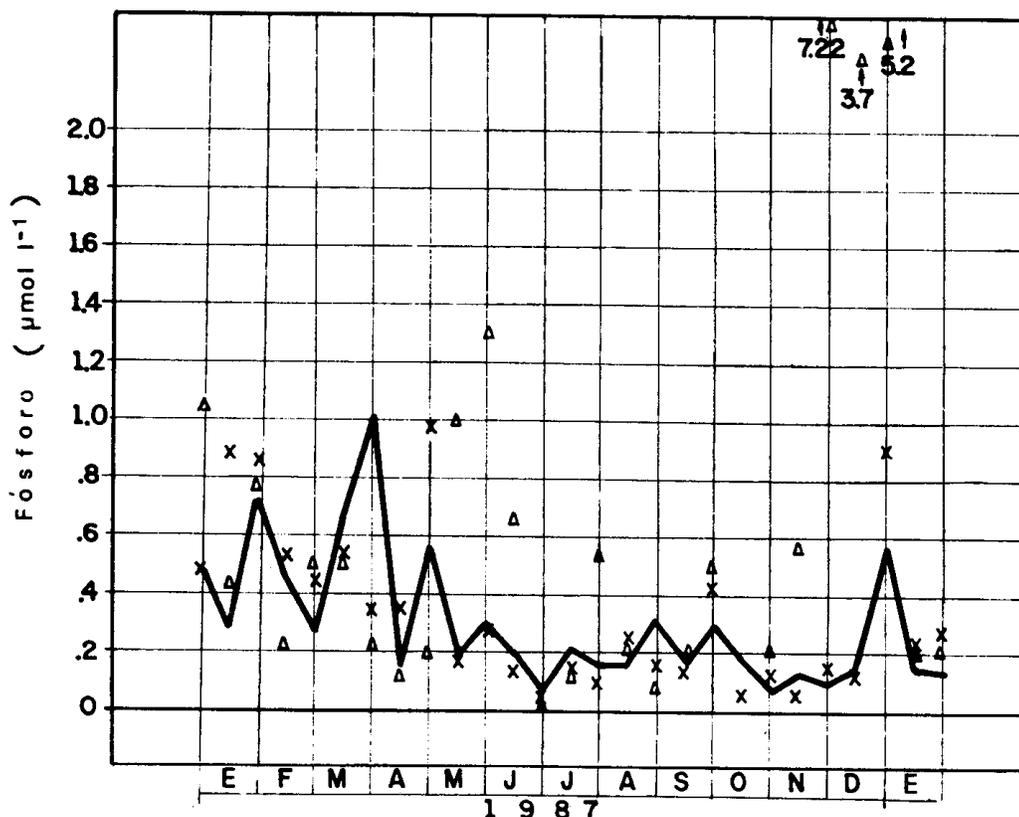


Figura 5. Variación estacional de la concentración de ortofosfato en la Ciénaga Grande. E1: equis; E2: puntos; E3 (centro de la CGSM): línea continua; E4: triángulos.

La disponibilidad de nutrientes es uno de los factores que regulan la producción primaria. Los datos obtenidos de nitrógeno, fósforo y de la proporción N:P sugieren que el nitrógeno es el elemento limitante, como ocurre en otros ecosistemas tropicales. La concentración de nitrato en el agua fue pequeña debido al consumo intenso de este nutriente por parte del fitoplancton (Stephen *et al.*, 1984), mientras que la cantidad de fósforo que entró al sistema era proporcionalmente mayor que el nitrógeno, lo que favorece a un crecimiento masivo de algas verde-azules (fijadoras de nitrógeno gaseoso) (Paerl y Ustick, 1982); presentando pulsos de productividad que alcanzan altos niveles de acumulación de materia orgánica (eutrofia), los que ocurren con intensidad diferente en el tiempo y espacio.

La probabilidad de que otros nutrientes alcancen niveles limitantes, por ejemplo, el CO₂ (fuente de carbono) que se agota al menos en la zona de foto-

síntesis intensa, el hierro (necesario en la síntesis de clorofila, parte esencial del citocromo), el molibdeno (esencial en la fijación de nitrógeno etc.), es aparentemente pequeña en el caso de la Ciénaga Grande.

El mecanismo del flujo de nutrientes probablemente está dado por las entradas de materia alóctona y por el reciclaje interno de nutrientes, en el cual la actividad de las bacterias tanto en el agua como en el sedimento debe ser el proceso más importante (Hoppe *et al.*, 1983; Nowicki y Nixon, 1985). Las entradas de nutrientes por los ríos y canales deben ser mayores en la época de lluvias, esto es cuando el caudal del flujo de aguas de escorrentía aumenta y la salinidad baja. Durante la época seca o cuando no hay flujo de agua continental y solo entra agua del mar, como en abril y mayo, el proceso de remineralización y pastoreo es la única vía de entrada de nutrientes. Eventualmente ocurren fuertes vientos (mares de leva y vendavales), los cuales producen el lavado de playones dejando entrar, entonces, la materia acumulada en el manglar, fertilizando así las masas de agua costeras.

Clorofila "a" y feopigmentos

El promedio de concentración de clorofila "a" para las cuatro estaciones fue de $58.6 \mu\text{g l}^{-1}$ (± 12.72). El rango de variación fue de 5.6 a $181.7 \mu\text{g l}^{-1}$

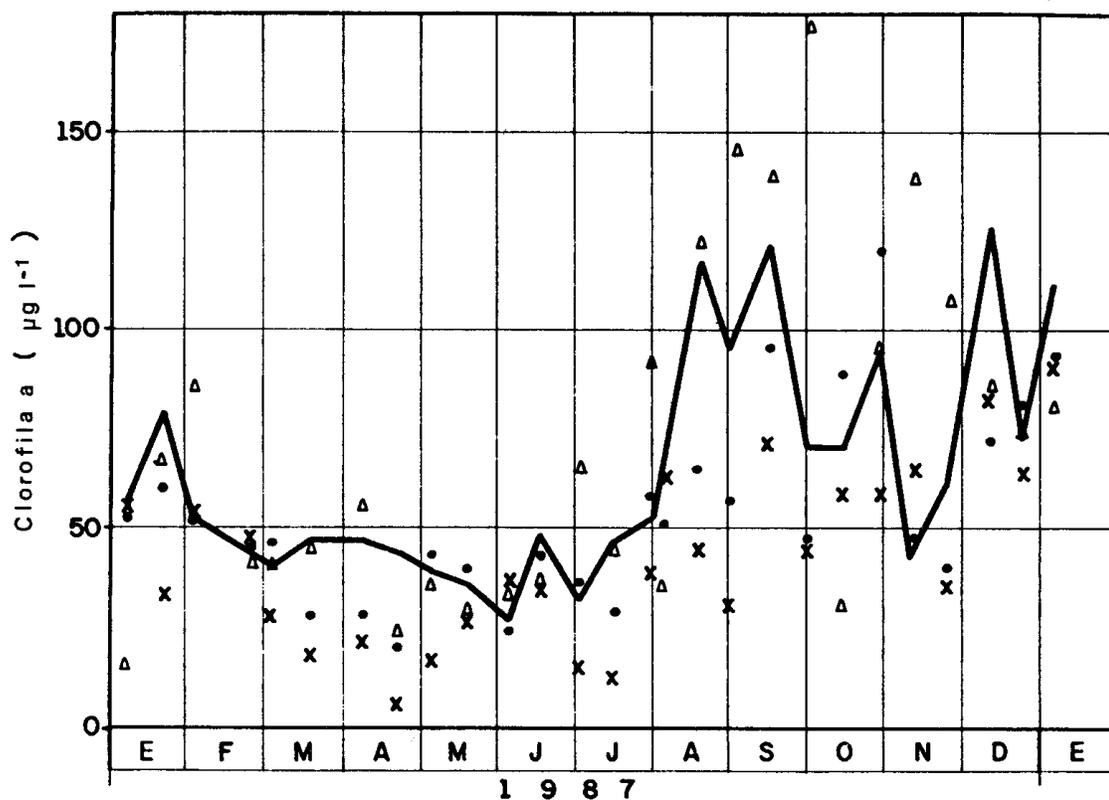


Figura 6. Variación estacional de la concentración de clorofila "a" en la Ciénaga Grande. E 1: equis; E 2: puntos; E3 (centro de la CGSM): línea continua; E4: triángulos.

(Fig. 6). Los valores menores de $33 \mu\text{g l}^{-1}$ se presentaron entre marzo y julio (final de la época seca mayor y durante la época húmeda corta). Los valores mayores de $84 \mu\text{g l}^{-1}$ fueron entre agosto y enero (época húmeda mayor y principio de la época seca mayor) cuando entran los aportes más significativos de agua continental enriquecida con materia orgánica y nutrientes. Los coeficientes de correlación entre clorofila y salinidad son significativos e inversos, indicando que cuando la salinidad es baja la síntesis de clorofila "a" es alta.

El valor promedio de los feopigmentos fue para las cuatro estaciones $15.3 \mu\text{g l}^{-1}$. Los valores mayores de $27 \mu\text{g l}^{-1}$ se presentaron en el 6% de los casos observados, en los meses de enero a marzo y septiembre a octubre en algunas estaciones; los valores menores de $4 \mu\text{g l}^{-1}$ ocurrieron en el 6% de las observaciones en enero y abril. Los valores altos indican que ocurre un pastoreo intenso del zooplancton, o que algunos elementos del fitoplancton están muriendo por otras causas, como por ejemplo variaciones de la salinidad; también es posible que los valores en algunos casos se deban a la entrada de material vegetal detrítico. Los picos de feopigmentos ocurren en marzo y abril cuando la cantidad de clorofila "a" disminuye y la salinidad aumenta. Lo anterior hace suponer que las células fitoplanctónicas son viejas y poco productivas ya que la producción primaria fue baja en marzo y abril.

Proteínas del seston

La cantidad promedio anual de proteínas del seston para las cuatro estaciones de la Ciénaga fue de 4.21 mg l^{-1} (± 0.67). El rango de variación fue de 0.92 a 9.40 mg l^{-1} (Fig. 7). Los valores menores ocurrieron entre mayo y julio. Los valores mayores se encontraron entre marzo y abril.

Los coeficientes de correlación entre proteínas del seston y clorofila se reportan en la tabla 3. Estos son positivos, siendo significativos los valores de las estaciones 1, 2 y 3 pero muy bajo el de la 4. Esto indica que buena parte de la

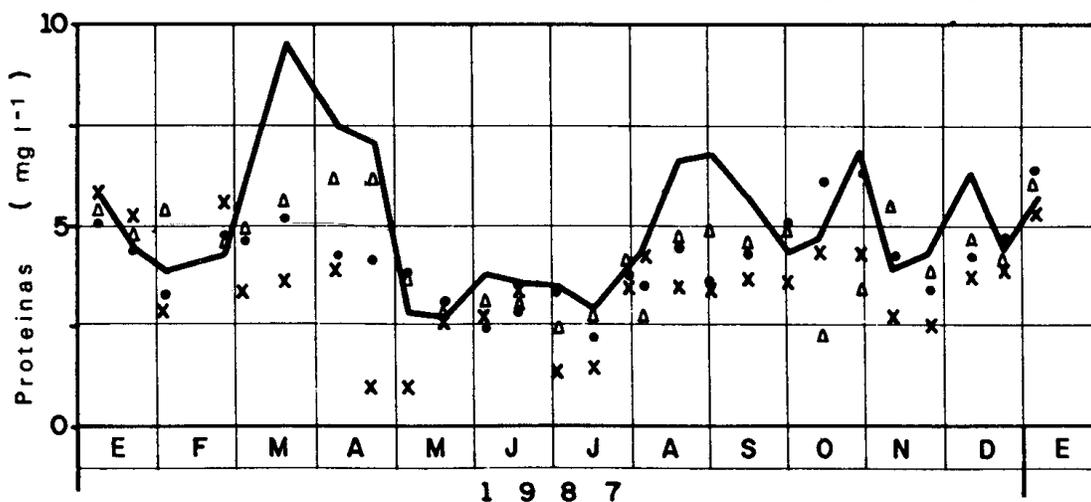


Figura 7. Variación estacional de la concentración de las proteínas del seston en la Ciénaga Grande. E1: equis; E2: puntos; E3 (centro de la CGSM): línea continua, E4: triángulos.

proteína es aportada por el fitoplancton y posiblemente en la 4 por la biomasa de bacterias, la cual tuvo un rango de variación de 20 a 867 $\mu\text{g C l}^{-1}$ (6×10^6 a 121×10 bacterias por mililitro), la más alta que se registró comparativamente entre las cuatro estaciones (Gocke y Hernández, sin publicar). La relación entre proteiáns del seston y la salinidad es inversa pero poco significativa, esto puede deberse a los cambios en la estructura del seston y biomasa de cada uno de los componentes (fitoplancton, zooplancton, bacterias-hongos y materia orgánica detrítica).

Productividad primaria

En la fig. 8 se ve claramente que existe una variación estacional bien definida de la productividad primaria en la Ciénaga Grande. Los valores más bajos

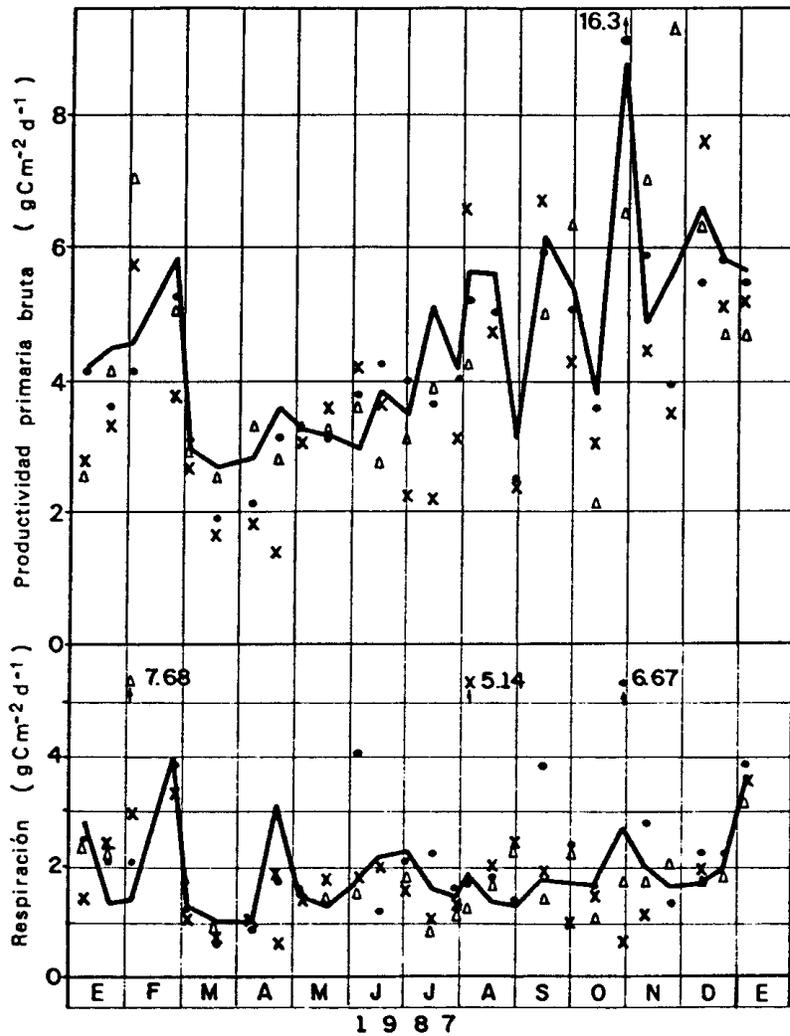


Figura 8. Variación estacional de la productividad primaria bruta del fitoplancton y la respiración de la comunidad planctónica en la Ciénaga Grande. E1: equis; E2: puntos; E3 (centro de la CGSM): línea continua; E4: triángulos.

se encontraron en marzo y abril cuando la salinidad presentó los valores más altos, mientras que la productividad más alta se observó entre octubre y diciembre cuando la salinidad mostró valores mínimos. Sin embargo, a pesar de esta clara variación estacional, las diferencias entre los mínimos y los máximos de la productividad primaria no fueron muy marcadas. En el centro de la Ciénaga el valor más alto de la productividad primaria bruta por día ($9.16 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) superó aproximadamente 3 veces el valor más bajo ($2.72 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Los extremos encontrados en toda la Ciénaga fueron 1.40 (mediados de abril, estación 1) y $16.3 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (finales de octubre, estación 2). La diferencia es pequeña comparada con las variaciones estacionales de la productividad en las regiones tampladas, pero es característica para la región tropical (ver descripciones resumidas por Margalef, 1986 y Raymont, 1980).

La productividad primaria bruta en el centro de la Ciénaga Grande, donde se observó generalmente la más alta productividad del sistema (fig. 8), fue de 1690 g C m^{-2} por año y la productividad primaria neta (PPN) llegó a $990 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. En las estaciones 2 y 4 los valores fueron muy semejantes, solamente la 1, la cual está situada en la parte de la Ciénaga que está más influenciada por las aguas oceánicas, muestra una productividad primaria un poco reducida (Tabla 4). A pesar de esta diferencia se observó que, en general, tanto la magnitud como la variación estacional de la productividad primaria y de la respiración fueron muy similares en las diferentes regiones de la Ciénaga.

Tabla 4. Productividad primaria del fitoplancton. Valores promedio, coeficiente de variación, rango de variación de la productividad primaria bruta (PPB) y productividad primaria neta (PPN) en $\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

	ESTACION 1		ESTACION 2		ESTACION 3		ESTACION 4	
	PPB	PPN	PPB	PPN	PPB	PPN	PPB	PPN
Promedio	0.38	0.30	0.46	0.36	0.46	0.38	0.44	0.36
Coef. Var.	42%	46%	56%	60%	32%	36%	39%	44%
Máximo	0.76 dic	0.67 dic	1.63 oct	1.35 oct	0.92 oct	0.80 oct	0.94 nov	0.85 nov
Mínimo	0.14 abr	0.11 abr	0.19 mar	0.16 mar	0.27 mar	0.23 mar	0.21 oct	0.16 oct

La Laguna en Términos, una laguna costera de 1600 km^2 de área y de una profundidad media de 3.5 m, situada en la base de la península de Yucatán, México, tiene ciertas características parecidas a la CGSM. En ella se determinó que la productividad primaria del fitoplancton fue de 440 g C m^{-2} por año (Day *et al.*, 1982). Resumiendo la literatura, Nixon (1982) concluyó que la productividad primaria en la mayoría de las lagunas costeras en todo el mundo asciende a valores 200 y $400 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Comparado con estos datos la Ciénaga Grande es un sistema con una productividad excepcionalmente alta.

Los patrones de variación de la productividad primaria y la clorofila "a" fueron muy semejantes; en la tabla 3 se dan los coeficientes de correlación entre las variables; como se puede observar son positivos y significativos, indicando que la mayor concentración de clorofila "a" ocurre durante un aumento en la velocidad de fijación de carbono.

Generalmente se ha utilizado la profundidad de visibilidad del disco Secchi como un indicador de la productividad de las aguas, e incluso se ha pretendido que puede dar una idea de la producción primaria. Sin embargo, en el caso particular de la Ciénaga los datos indican que no puede ser usada con estos fines, ya que si bien la turbidez se debe en buena parte a la biomasa de la comunidad planctónica, existen otros agentes que afectan la penetración de la luz, como son los complejos formados por la materia orgánica disuelta y las partículas inorgánicas resuspendidas por la turbulencia.

Hay dos mecanismos probables que permiten mantener durante el año la alta productividad de las aguas de la Ciénaga Grande: 1) el flujo de nutrientes para el fitoplancton a lo largo del ciclo anual es continuo y alto, con ciertos incrementos producto del aporte adicional de fuentes alóctonas al ecosistema; 2) el efecto del "arado" (análogo al fin que se persigue al arar la tierra agrícola) mantiene la comunidad planctónica en una fase joven de crecimiento rápido.

El mecanismo de "arado" estaría dado por los fenómenos climáticos y las entradas de agua a la Ciénaga de origen diferente (ríos, pantanos, ciénagas y mar). Estos cambian las características físico-químicas y biológicas del agua, entre ellas la salinidad y la concentración de nutrientes, eliminan o limitan a las poblaciones menos adaptadas y revitalizan a las especies que se adaptan mejor a las nuevas condiciones (Margalef, 1986), e ingresan nuevas especies, lo que modifica la estructura del fitoplancton (Harris, 1978). La salinidad es un regulador de varias de las características estructurales y funcionales del sistema CGSM, los coeficientes de correlación entre la PPN y salinidad son significativos e inversos (tabla 3). La comunidad de productores primarios es favorecida en su crecimiento durante las épocas de baja salinidad, dado al aporte de aguas continentales (dulces y salobres) ricas en nutrientes.

CONSIDERACIONES FINALES

La CGSM, desde el punto de vista funcional, se caracteriza por: 1) la heterogeneidad del cuerpo de agua, que está constituido por un mosaico de subsistemas con características físicas, químicas y biológicas definidas, que se desplazan en el espacio y tiempo en un continuo proceso de ajuste. 2) La importación de energía y de materia auxiliar o mejor de subsidio de los sistemas adyacentes, mediante mecanismos de transporte, como los vientos, las precipitaciones, los cambios en el nivel de las aguas, las corrientes y mareas. 3) El alto flujo de energía potencial que sostiene el ecosistema, dado por la producción primaria autóctona y por la producción primaria alóctona de ecosistemas como

el manglar y como la vegetación enraizada y flotante de ríos y pantanos. A esto se suman los excedentes de producción y los desechos antropogénicos provenientes de la agroindustria del banano y de la palma africana, más las aguas residuales, que entran como subsidios de nutrientes inorgánicos directamente, o bien a través de la acción de los descomponedores. 4) El predominio de la productividad primaria sobre la respiración, lo que indica un comportamiento autotrófico del sistema que tiende a una mayor eutroficación, produciendo excedentes de materia orgánica que se exporta a otros sistemas. El fitoplancton fija en promedio $2.70 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (PPN) en la parte central de la Ciénaga y en el año se están generando unos 990 g C m^{-2} para los heterótrofos. 5) Los factores reguladores más importantes de la productividad primaria del fitoplancton en la CGSM son probablemente: a) los cambios de la salinidad, b) la reducida penetración de la luz en la columna de agua, c) la alta disponibilidad de nutrientes y d) la composición de especies de fitoplancton.

Los cambios de salinidad explican en gran parte la variabilidad de los demás factores, ya que en realidad son el resultado de la interacción de otras variables que determinan la entrada de energía-materia de subsidio.

La mezcla continua del agua a través de la acción del viento impide la estratificación de las masas de agua, causando así una resuspensión del sedimento, partículas y una disponibilidad constante de nutrientes. Además, el viento ocasiona cambios en el nivel del agua que lavan las orillas, sacan materia orgánica y nutrientes que llegan al sistema pelágico de la Ciénaga Grande.

CONCLUSIONES

La CGSM es una laguna costera altamente productiva. En su parte central se midió una productividad primaria bruta de 1690 g C m^{-2} por año. En otras dos estaciones, situadas en regiones con mayor influencia de ríos y de ciénagas vecinas, se observó una productividad muy similar a la de la parte central. Solamente en la región septentrional de la Ciénaga, la cual está expuesta a la influencia de las mareas débiles del Mar Caribe y conjuntamente a las aguas poco productivas del mar abierto (por lo menos durante una cierta época del año), la productividad bruta anual fue levemente más baja ($1375 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Sin embargo, la diferencia no fue muy grande. Tomando en cuenta las observaciones, que la parte con influencia marítima es pequeña y que las otras regiones de la Ciénaga mostraron una productividad primaria muy uniforme, se puede calcular con certeza la productividad en todo el sistema. Según los datos obtenidos, la producción primaria bruta de fitoplancton ascendió a 710000 toneladas de carbono orgánico por año en el área total de la Ciénaga.

De las 710000 toneladas de materia orgánica producidas por el fitoplancton se pierde, en toda la columna de agua por respiración de la comunidad planctónica, aproximadamente el 49%, la mayor parte corresponde a la respiración del zooplancton y a la degradación a través de las bacterias. Substrayendo estos gastos, la productividad primaria tendría unas 360000 toneladas

de carbono orgánico para los requerimientos del sistema y un excedente para ofrecer a otros. Sin embargo, se presume que, a pesar de la alta turbulencia y de la poca profundidad de la Ciénaga, una buena cantidad de las 360000 toneladas precipitan al fondo del sistema, donde un pequeño porcentaje queda como sedimento permanente mientras que el resto se degrada por la acción de los organismos bentónicos.

Aunque faltan todavía datos para poder estimar la magnitud de los dos procesos (degradación por el bentos y formación de sedimento permanente) se puede asumir con certeza que de las 360000 toneladas de carbono orgánico queda un remanente significativo en el sistema. A esto se suma el material orgánico producido en ecosistemas adyacentes y exportado hacia la Ciénaga. La cantidad de este material debe ser grande en términos absolutos, pero relativamente pequeña comparada con la alta producción autóctona.

Sería interesante agregar algunas consideraciones sobre la cantidad total del seston orgánico en toda la Ciénaga. Como se deduce de la tabla 2, se encontraron concentraciones de proteínas entre 3.37 y 5.01 mg l⁻¹ (promedios anuales) en las diferentes regiones de la Ciénaga. Ya que la variación regional tampoco es grande, se puede calcular un valor medio que es representativo para todo el sistema. Partiendo de este valor (4.2 mg l⁻¹) se obtiene una cantidad que asciende a 2850 toneladas de proteínas en toda la Ciénaga. Asumiendo que el seston orgánico contiene un 50% de su masa como proteínas se llega a una cantidad de materia orgánica particulada de 5700 toneladas (peso seco). Este último valor, expresado en término de carbono orgánico, representaría aproximadamente 2850 toneladas en toda la Ciénaga.

Del análisis de lo expuesto anteriormente se aprecia claramente que la alta productividad primaria de la Ciénaga puede sostener una importante pesquería y extracción de moluscos (como *Crassostrea rhizophorae* y *Melongena melongena*) y crustáceos (como *Callinectes sapidus* y *Penaeus* sp.) de importancia comercial. Además las áreas costeras adyacentes se ven beneficiadas en su propia producción a través de la materia orgánica exportada en gran escala por la CGSM.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a Marta Hernández, a los científicos y técnicos del INVEMAR por su colaboración, a su director Hernando Sánchez, de manera especial a los señores Jacobo Blanco, Lisandro Moreno y Klaus Müller por la amistad y ayuda que nos brindaron durante nuestra estancia en el INVEMAR; al señor Martín Montaña por su invaluable apoyo en las jornadas de trabajo en la Ciénaga. Este proyecto fue financiado por COL-CIENCIAS - INVEMAR.

BIBLIOGRAFIA

- Avila, T.G. 1972. Variación de zooplancton presente en la Ciénaga Grande de Santa Marta. INDERENA, Div. Pesquera, 12 (1): 1-49.
- Carmona, G. 1979. Contribución al conocimiento de la ecología de plancton de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis Biol. Univ. Antioquia, Medellín, 80 p.
- Cosel, R. 1978. Die Mollusken der Ciénaga Grande de Santa Marta (Kolumbien) und ihre Lebensgemeinschaften im Wechsel der Jahreszeiten. Diss. Dr. rer. nat., Univ. Gießen, RFA, 348 p.
- Day, J.W., R.H. Day, M.T. Barreiro, F. Ley-Low y C.J. Madden. 1982. Primary production in Laguna de Términos, a tropical estuary in the southern Gulf of México. *Oceanol. Acta*, N° SP: 269-276.
- Fogg, G.E. 1975. Primary Productivity: 385-453. En: J.P. Riley and G. Skirrow (Eds.): *Chemical Oceanography*. Academic Press, Londres.
- Gaarder, T. y H. Gran, 1927. Investigations of the production of plancton in the Oslo Fjord. *Rapp. et. Proc. Verb., Cons. Int. Explor. Mer.*, 42: 1-48.
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt y K. Kremling (Eds.), 1983. *Methods of seawater analysis*, Verlag Chemie, Weinheim, Alemania Federal, 142 p.
- Harris, G. 1978. Photosynthesis, productivity and growth: the physiological ecology of phytoplankton. *Arch. Hydrobiol. Beih.*, 10: 1-171.
- Hernández, C. 1983. Estado actual de los bancos naturales de *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) en el norte de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis Biol., Univ. Nacional de Colombia, Bogotá, 167 p.
- Hernández, C. 1986. Producción primaria y dinámica del fitoplancton en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Tesis M. Sc. Biol. Mar., Univ. Nacional de Colombia, Bogotá, 177 p.
- Hernández, C. 1988. Producción primaria de fitoplancton en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Primera parte. Inf. Final, Proyecto Estudio Ecológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta, COLCIENCIAS-INVEMAR, Santa Marta, 62 p.
- Hoppe, H.G., K. Gocke, D. Zamorano y R. Zimmermann. 1983. Degradation of macromolecular organic compounds in a tropical lagoon (Ciénaga Grande, Colombia) and its ecological significance. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 68 (6): 811-824.
- IGAC. 1974. Monografía del departamento del Magdalena. *Inst. Geog. "Agustín Codazzi"* Bogotá, 163 p.
- IGAC. 1975. Estudio hidroclimático de la región caribe. *Inst. Geog. "Agustín Codazzi"*, Bogotá, 77 p.
- Kaufmann, R. y F. Hevert. 1973. El régimen fluviométrico del río Magdalena y su importancia para la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient.*, 7: 121-136.
- Lorenzen, C.J. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, 12: 343-346.
- Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr y R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the folinphenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193: 265-275.
- Margalef, R. 1986. *Ecología*. Edit. Omega, Barcelona, España, 951 p.
- Nixon, S.W. 1982. Nutrient dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. *Oceanol. Acta*, N° SP: 357-371.
- Nowicki, P. y A. Nixon. 1985. Benthic nutrient remineralization in a coastal lagoon ecosystem. *Estuaries*, 8: 182-190.
- Paerl, H. y J. Ustach. 1982. Blue-green algal scums: An explanation for their occurrence during freshwater blooms. *Limnol. Oceanogr.*, 27: 212-217.
- Palacio, J.A. 1983. Die benthische Makroinvertebratenfauna der tropischen Astuarregion Ciénaga Grande de Santa Marta (Kolumbien) und ihre Aktivität im Wechsel zwischen Trocken und Regenzeit. Diss. Dr. rer. nat., Ruhr-Universität Bochum, RFA, 248 p.

- Parsons, T.R., M. Takahashi y B. Hargrave. 1977. Biological oceanographic processes. 2nd edit. Pergamon Press, Londres, 280 p.
- Pedraza, R., S. Suárez y R. Julio. 1979. Evaluación de captura en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Inf. Téc. INDERENA. ECODESARROLLO, Cartagena, 3: 1-68.
- Pérez, C., L. 1977. Observaciones ecológicas y ensayos de cultivos de la ostra *Crassostrea rhizophorae* en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis Biol., Univ. de Antioquia, Medellín, 78 p.
- Raymont, J.E.G. 1980. Plankton and productivity in the oceans. Vol. 1. Phytoplankton. 2nd edit. Pergamon Press, New York, 489 p.
- Rhee, G. y I. Gotham. 1980. Optimum N:P ratios and coexistence in planctonic algae. H. Phycol., 16: 486-489.
- Ryther, J. y C. Yentsch. 1957. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol. Oceanogr., 2:281-286.
- Stephen, S., E. Kurt y J. Yoder. 1984. Nutrient limitation of phytoplankton growth in Georgia nearshore waters. Estuaries, 7: 506-512.
- Wiedemann, N. 1973. Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta. Physical parameters and geological history. Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., 7: 85-119.
- Zamorano, D.H. 1983. Productividad del manglar y su importancia para el pelagial de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis M. Sc. Biol. Marina, Univ. Nacional de Colombia, Bogotá, 124 p.

Dirección de los autores:

Apartado 27678, Bogotá, Colombia (C.A.H.J.). Institut für Meereskunde an der Universität Kiel, Düsternbrooker Weg 20, D-2300 Kiel 1, Alemania Federal (K.G.).

