

An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín	121-138	19-20	Santa Marta Colombia, 1989-1990	ISSN 0120-3959
---------------------------------------	---------	-------	------------------------------------	-------------------

CARACTERIZACION ECOLOGICA DE LA SALINA ARTIFICIAL POZOS COLORADOS, CARIBE COLOMBIANO

José Ernesto Mancera Pineda

RESUMEN

Un estudio ecológico de la salina marina Pozos Colorados se llevó a cabo entre enero y agosto de 1987. Si bien las dos estaciones de muestreo presentaron amplias diferencias entre sí; en general la dinámica del ecosistema dependió aparentemente de la salinidad, la cual varió entre 75 y 341°/oo; su incremento y la disminución del nivel de agua, al parecer generaron aumento de la temperatura y disminución del oxígeno disuelto, con rangos de 26,3 y 41°C para la primera y 0 y 5,4 mg/l para el segundo. Aunque en promedio el pH fue neutro (7,5), este sistema reductor, caracterizado además por abundante materia orgánica, generó en ocasiones una ligera acidez (6,7). La producción primaria neta fue negativa en la mayoría de los casos, como resultado de una intensa actividad respiratoria, hecho que le confirió un carácter heterotrófico al sistema. La dinámica de las especies posiblemente estuvo determinada por la precipitación y el cambio en la proporción iónica, mostrando una sucesión dominada inicialmente por cianófitas bentónicas y *Dunaliella viridis*; un incremento en la salinidad acompañó la aparición de *D. salina*, la cual dominó en altas salinidades, antes del dominio absoluto de bacterias rojas y rosadas.

ABSTRACT

An ecological study of Pozos Colorados marine brine was carried out between January and August 1987. Although the two sampled stations were greatly different to each other in general, the dynamics of the ecosystem were apparently controlled by salinity, which varied between 75 and 341 °/oo; its increase, accompanied by a decrease of the water level, possibly generated a temperature increment and a decrease of the dissolved oxygen, ranging between 26,3 and 41°C for the first and between 0 and 5,4 mg/l for the latter. Although the average pH was neutral (7,5), this reductive environment, also characterized by the abundance of organic matter, occasionally generated a slight acidity (6,7). The net primary production was negative in most cases, as a result of an intense respiratory activity. Therefore, the system behaved as heterotrophic, using organic matter as subsidiary energy. The species dynamics was possibly determined by rain and ionic change relations, showing a succession dominated initially by benthic cyanophytes and *Dunaliella viridis*; an increase in salinity was followed by the appearance of *Dunaliella salina*, which dominated in high salinities, before the total dominance of red and pink bacteria began.

INTRODUCCION

Los cuerpos de agua hipersalinos son sistemas atípicos con relación a los que en la actualidad predominan en la biosfera (Margalef, 1983) y tradicionalmente han sido considerados como ecosistemas en permanente tensión (Cope-land y Nixon, 1974). Estos ambientes, naturales ó creados por el hombre y distribuidos mundialmente, se vienen explotando desde 3000 años a.c. empleando una tecnología muy elemental. Sin embargo, sólo hasta hace poco tiempo y tras el descubrimiento de nuevos tipos y componentes de las salinas, se abre un amplio espectro de posibilidades en la consecución de materia prima para las industrias química y alimenticia (Ordóñez, 1984).

Es posible que al entender la estructura y dinámica de éstos ecosistemas se pueda plantear un modelo de explotación en el que no sólo sus sales sean aprovechadas, sino también sus elementos vivos, como la biomasa y quistes del crustáceo *Artemia salina* y las clorofíceas *Dunaliella viridis* y *D. salina*, organismos que por su euritolerancia son de gran interés en acuicultura (Bent-Amotz y Avron, 1980; Loeblich, 1982; Mancera, 1988).

Esta investigación pretendió caracterizar el sistema hipersalino Pozos Colorados, relacionando los principales componentes físico-químicos y biológicos del ecosistema.

AREA DE ESTUDIO

La salina marina artificial Pozos Colorados, con una extensión de 65 hectáreas, se encuentra al nivel del mar a 7 km de Santa Marta (Fig. 1). Se ubica aproximadamente en los 11° 15' 18'' N y los 74° 13' 44'' W, región que corresponde a la formación vegetal de monte espinoso tropical (me-T) (Espinal y Montenegro, 1963). Su clima se caracteriza por una temperatura media anual superior a los 28°C, una humedad relativa media anual de 75%, una pluviosidad total anual de 436 mm, con un rango promedio mensual entre 1 y 93 mm, un potencial de evapotranspiración total anual de 1707 mm, con rango promedio mensual entre 113 y 168 mm, y un brillo solar con promedios mensuales entre 180 y 295 horas (HIMAT, 1987).

En algún tiempo la salina fue considerada de importancia para el país por su producción, la cual llegó a sobrepasar las mil toneladas de sal por año (IGAC, 1973). En la actualidad la salina se encuentra abandonada y sólo persisten cinco pozos en el sistema, los cuales están separados 200 m aproximadamente de la carretera troncal Santa Marta-Ciénaga y 350 m del Mar Caribe (Fig. 2).

El color del agua en la estación 1 permaneció transparente a lo largo del tiempo de observación, mientras que en la estación 2 cambió de transparente a rojo a medida que se incrementó la salinidad.

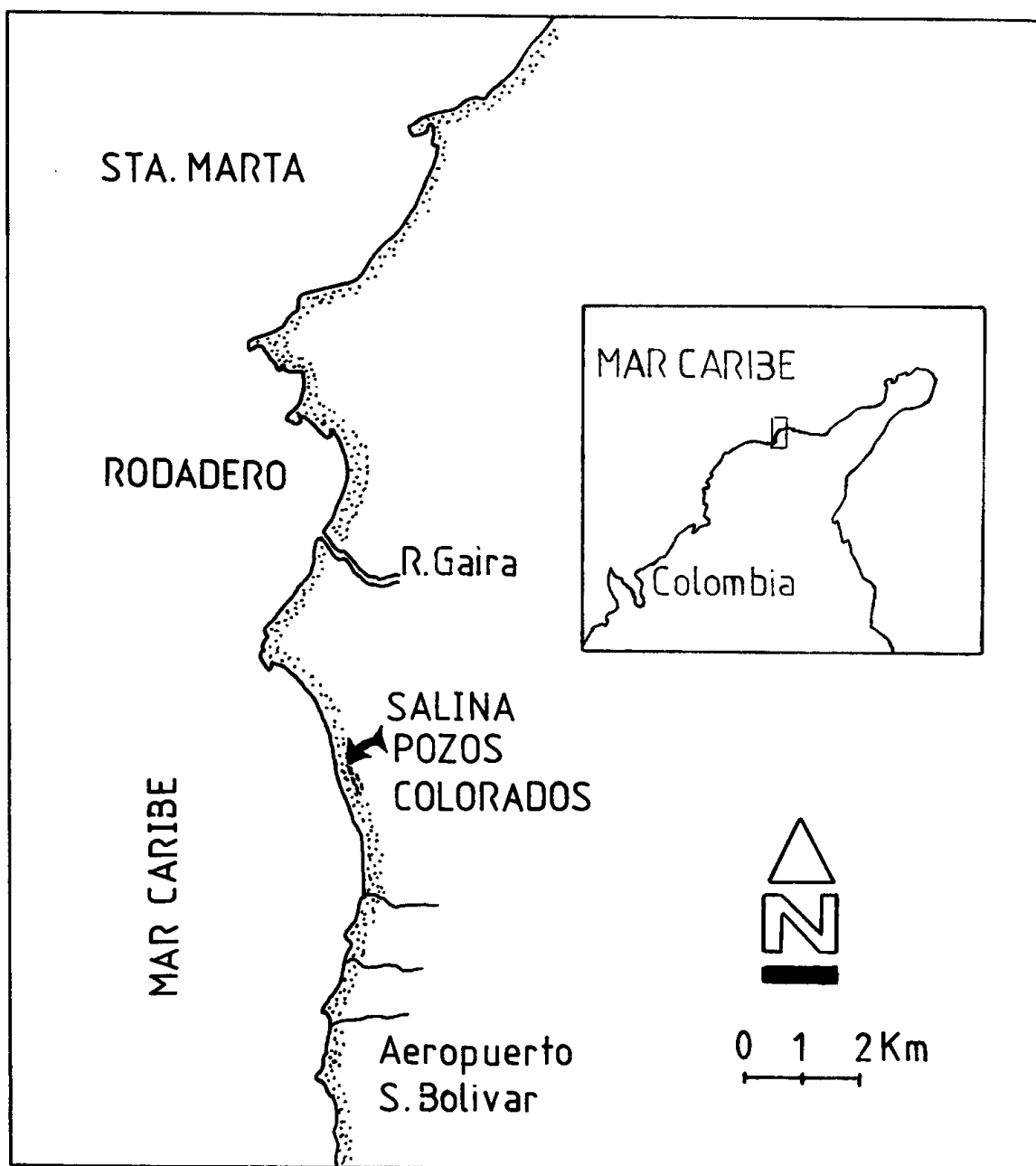


Figura 1. Localización de la salina marina artificial de Pozos Colorados.

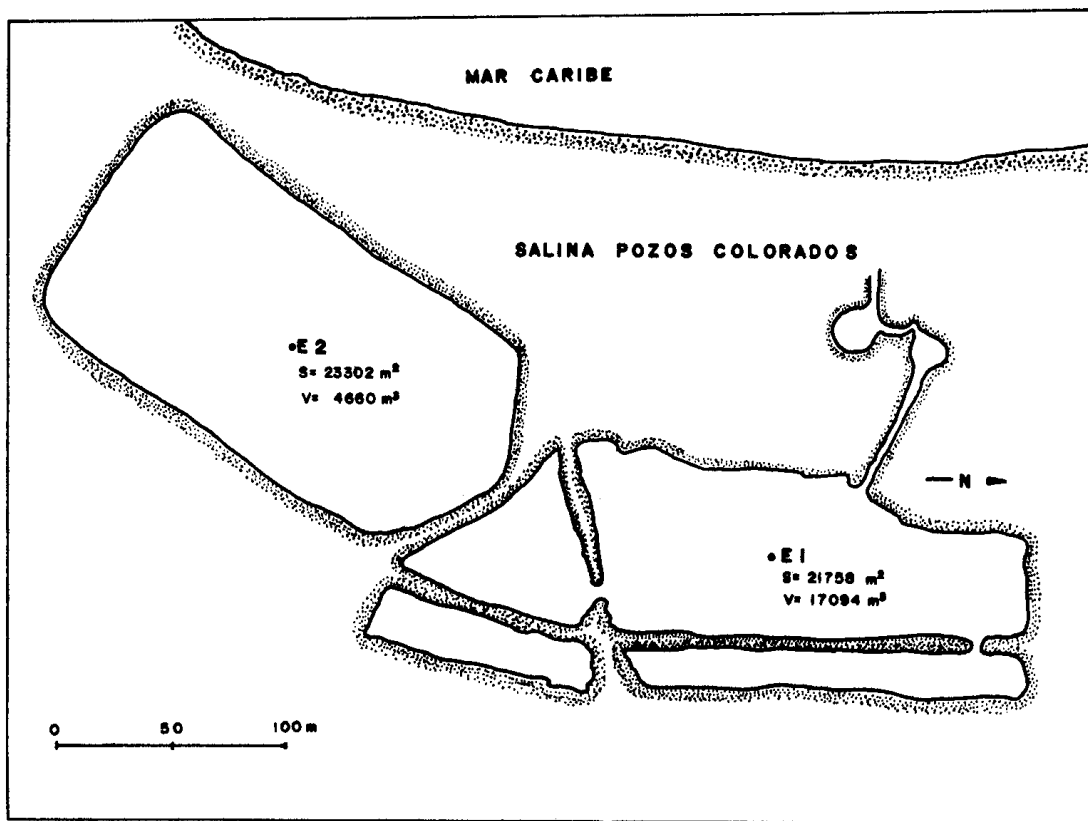


Figura 2. Estaciones de muestreo, salina Pozos Colorados. Para cada estación (E), se indica la superficie (S) y el volumen (V).

MATERIALES Y METODOS

En la salina Pozos Colorados se establecieron dos estaciones de muestreo (Fig. 2), en las cuales se cuantificaron entre enero 30 y agosto 18 de 1987 las principales variables físicas, químicas y biológicas.

El empleo de una botella muestreadora de dos litros de capacidad permitió tomar las muestras de agua en el centro de cada estación. Una vez registrada la temperatura (generalmente entre las 08:00 y 10:00 horas), las muestras se refrigeraron y fueron conducidas al laboratorio del INVEMAR, donde se realizaron las siguientes determinaciones:

Salinidad: Determinada por conductividad eléctrica. Todas las muestras se disolvieron 10 veces utilizando agua destilada-desionizada y su lectura se realizó a 25°C. Para el cálculo de la salinidad (S) se empleó la ecuación de una regresión lineal obtenida a partir de concentraciones conocidas de NaCl (‰) contra conductividad eléctrica (usiemens/cm a 25°C).

$$S = \frac{C - 2,6468}{0,1443} \quad r = 0.999$$

Donde: C = Conductividad de la muestra a 25°C.

- pH: Se determinó el mismo día del muestreo, mediante un potenciómetro calibrado para cada set de muestras con soluciones buffer de pH 7 y pH 4. Para el cálculo se aplicó un factor de corrección mediante la siguiente fórmula (Gocke, 1984):

$$pH_i = pH_m + 0.0144 (T_m - T_i)$$

Donde: pH_i y T_i = pH y temperatura del agua in situ.

pH_m y T_m = pH y temperatura del agua en el momento de la medición.

- Oxígeno disuelto: Se calculó mediante el método iodométrico, según modificaciones señaladas en Strickland y Parsons (1972) y APHA (1975). Las titulaciones se realizaron con una bureta automática de 0.05 ml de precisión.

- Pigmentos fotosintéticos: La preservación, extracción y cálculo de las clorofilas a, b, y c se llevó a cabo según SCOR-UNESCO (1966), empleando la ecuación tricromática. El total de carotinoides se calculó según Strickland y Parsons (1972), ecuación específica para cuando dominan clorofíceas y cianofíceas.

- Nutrientes: La preservación de las muestras y las determinaciones de nitritos, nitratos y ortofosfatos se realizaron según especificaciones de APHA (1975) y Gocke (1984).

- Producción primaria y respiración: Se empleó el método de botellas claras y oscuras (Vollenweider, 1974), utilizando botellas de vidrio de aproximadamente 1 l de capacidad. Las incubaciones se realizaron in situ a 20 cm de la superficie, durante 120 minutos. Las valoraciones de oxígeno se obtuvieron mediante el método Winkler (APHA, 1975).

- Cuento e identificación de fitoplancton: Las muestras se fijaron con lugol al 10% y se concentraron centrifugando a 2000 rpm durante 15 minutos. Los conteos se realizaron con hemocitómetro de 0.1 mm de profundidad y con rayado mejorado de Neubauer (Sournia, 1978). Para las identificaciones se utilizaron los siguientes trabajos: Bicudo (1970), Fristch (1935), Gómez-Aguirre (1981), Palmer (1962), Smith (1950), Yacubson (1969, 1972, 1974a, 1974b, 1981 y 1985).

La dominancia relativa (DR_i) se calculó con la fórmula: $DR_i = N_i/N_t \times 100$, donde N_i es el número total de individuos de la especie i y N_t el número total de individuos de todas las especies encontradas.

RESULTADOS

Los parámetros evaluados mostraron amplias variaciones espaciales y temporales. La salinidad varió entre 75 y 341^o/oo y el oxígeno entre 0 y 5.4 mg/l. Mientras que en la estación 1 se obtuvo una salinidad promedio muy inferior (172.57^o/oo) a la obtenida en la estación 2 (263.86^o/oo), la concentra-

ción promedio de oxígeno de esta primera estación fue casi del doble comparada con la estación 2. En mayo, coincidiendo con el primer período de lluvias del año, se presentaron cambios drásticos relacionados con estas variables (Figs. 3 y 4).

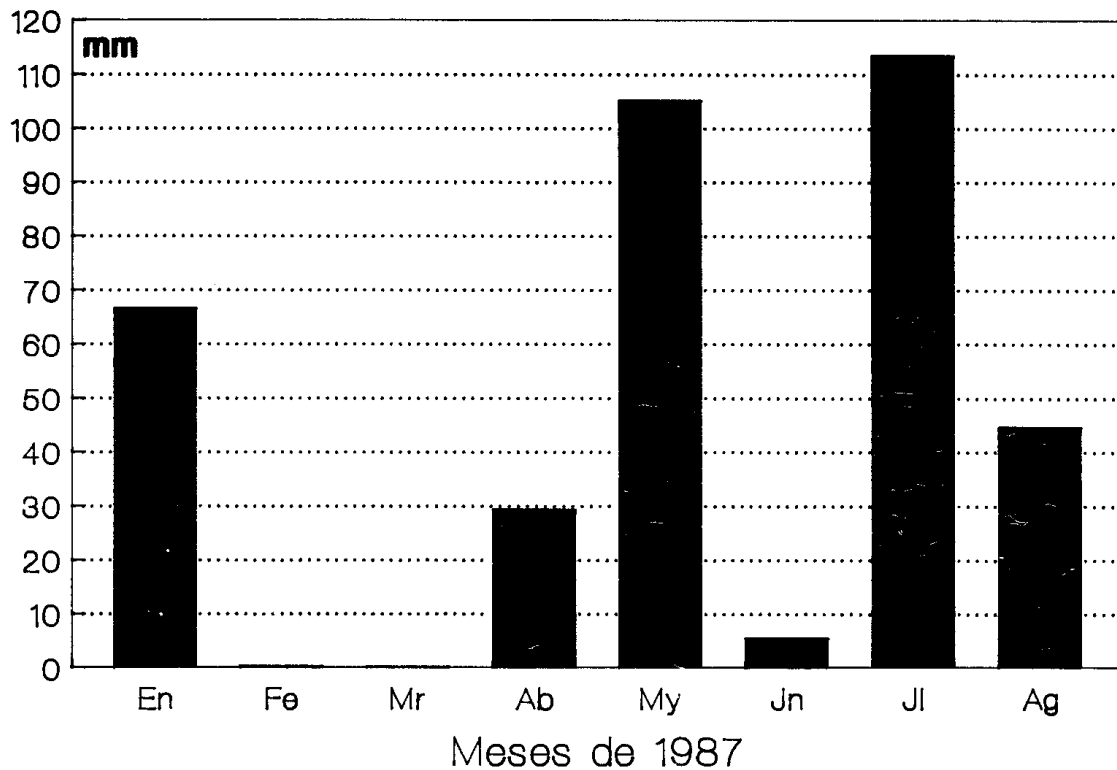


Figura 3. Promedio mensual de la pluviosidad, registrada entre enero y agosto de 1987, en la estación meteorológica del aeropuerto Simón Bolívar de la ciudad de Santa Marta.

En la estación 1 la temperatura fue siempre menor, mientras que el pH fue generalmente más alto (Fig. 5). En promedio los valores para las estaciones 1 y 2 respectivamente fueron de 32 y 37°C para la temperatura y 7,8 y 7,3 para el pH.

La figura 6 muestra que en la estación 2, la concentración de ortofosfatos fue mucho mayor que la de los otros dos nutrientes evaluados, mientras que para la estación 1, la concentración promedio de nitratos fue más alta (0,982 $\mu\text{mol/l}$); en dicha estación los ortofosfatos descendieron a concentraciones muy bajas en junio (0.001 $\mu\text{mol/l}$).

Los coeficientes de variación indicaron una alta fluctuación en la concentración de fitopigmentos, la cual fue en promedio mucho más alta en la estación 2 (tablas 1 y 2). La concentración promedio de clorofila a fue aproximadamente once veces más baja en la estación 1 (1.84 mg/m^3), donde el valor máximo (14.34 mg/m^3) fue menor que el promedio en la estación 2 (19.94 mg/m^3).

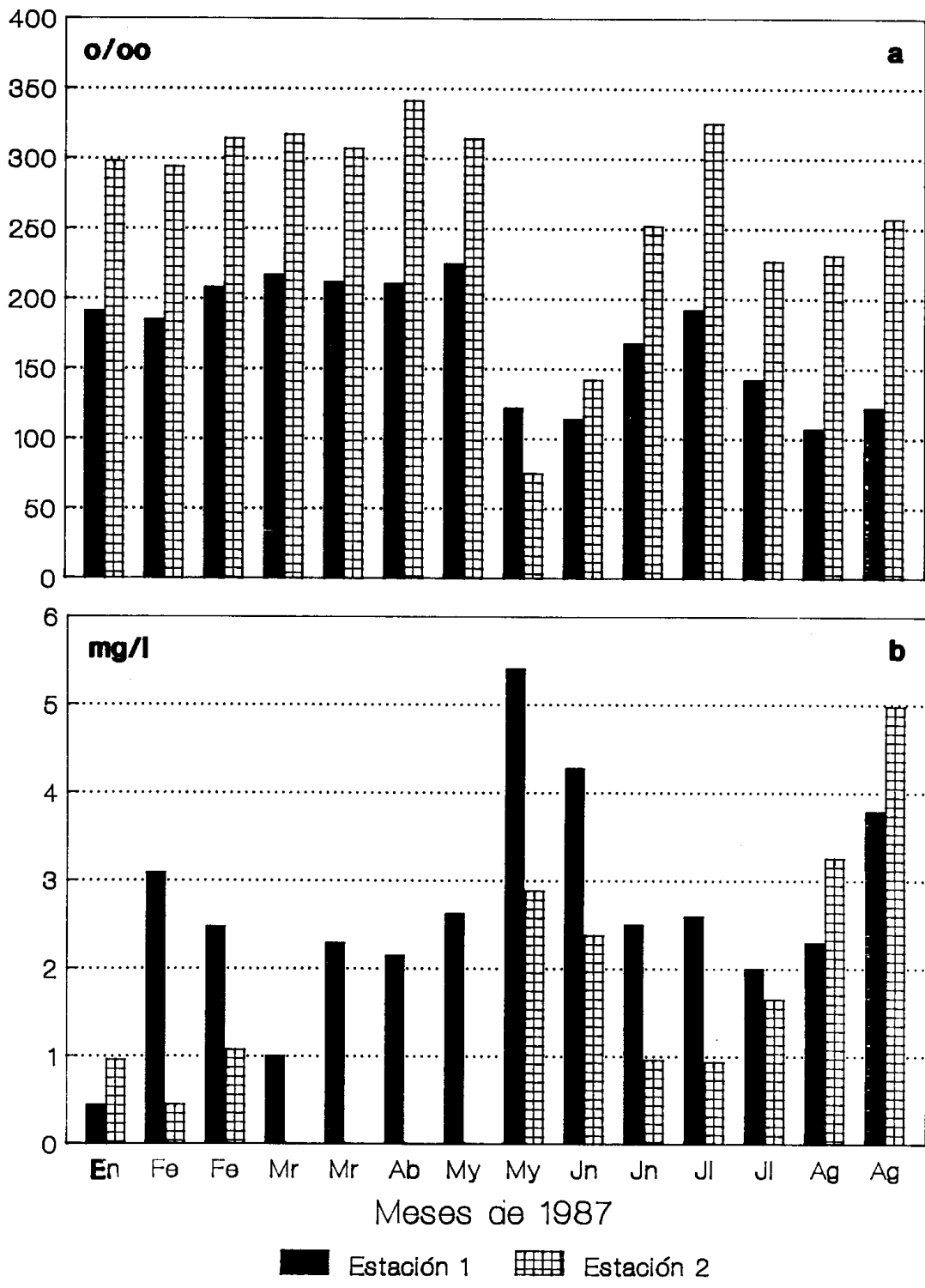


Figura 4: Variación de la salinidad (a) y el oxígeno disuelto (b), entre enero y agosto de 1987, en dos estaciones de la salina Pozos Colorados.

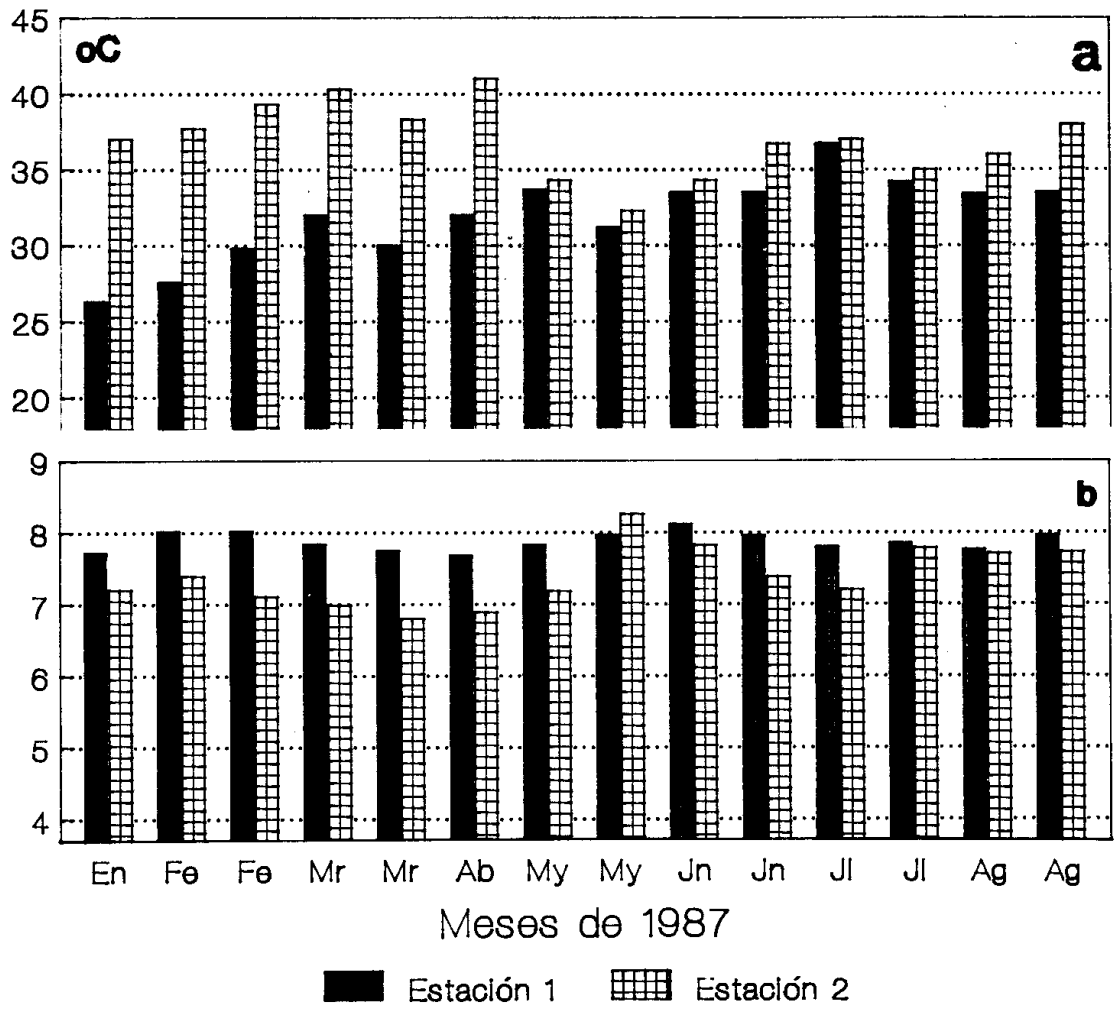


Figura 5. Variación de la temperatura (a) y el pH (b), entre enero y agosto de 1987, en dos estaciones de la salina Pozos Colorados.

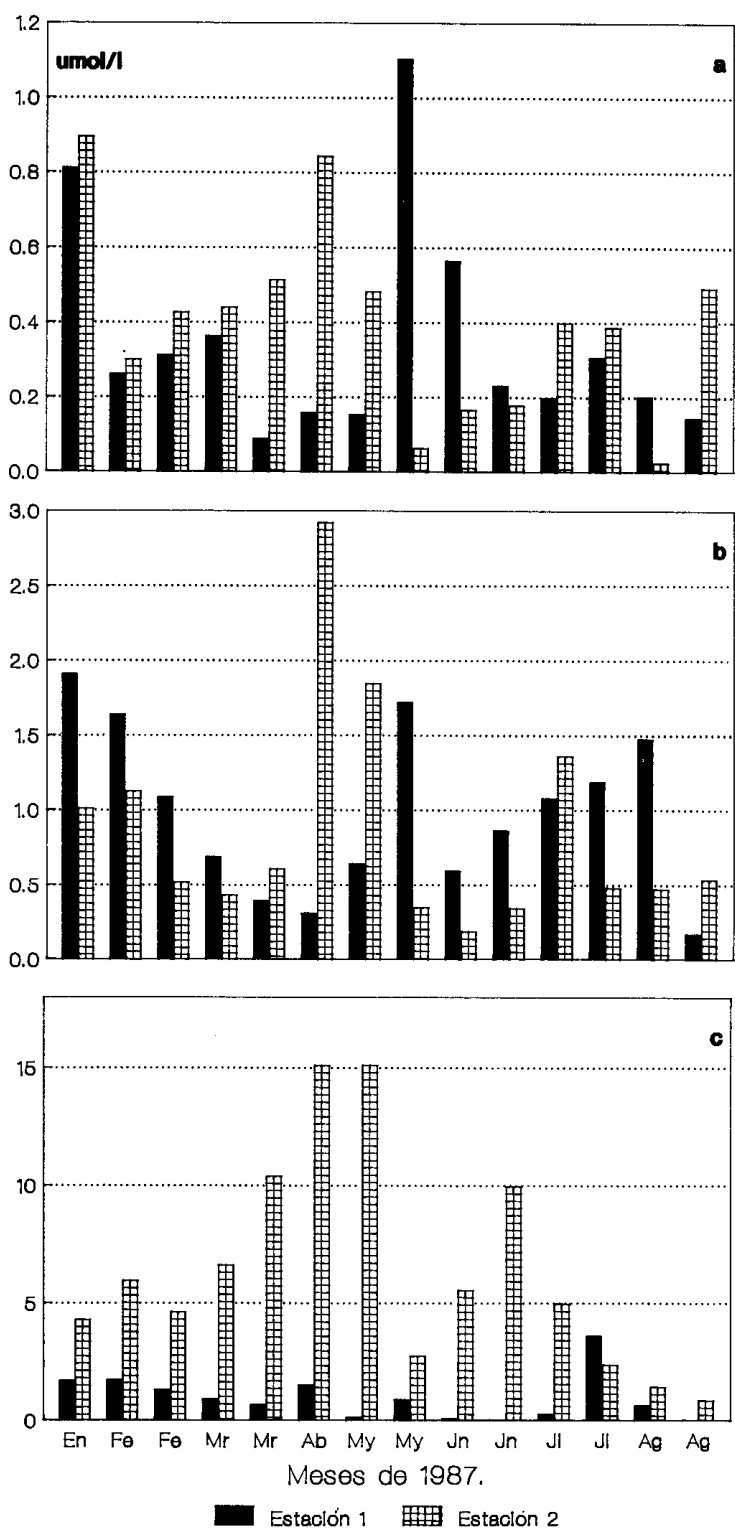


Figura 6. Concentración de nutrientes inorgánicos. Nitritos (a), nitratos (b) y ortofosfatos (c), medidos en dos estaciones de la salina Pozos Colorados, entre enero y agosto de 1987.

Tabla 1. Variables registradas en la estación E1 de la salina Pozos Colorados. Ca, Cb y Cc = Clo-rofilas a, b y c respectivamente. PPN, PPB y R = Producción primaria neta, bruta y respiración. X = Valor promedio y C.V. = Coeficiente de variación.

	Ca	Cb mg/m ³	Cc	Caroti- noides	PPN	PPB gC/m ² /d	R	INDICE 480/665
ENE 30	0.32	0.32	2.94	3.73	0.00	1.61	1.91	28.00
FEB 12	0.15	0.00	0.00	1.20	7.99	14.20	6.21	24.00
FEB 26	0.27	0.03	1.71	5.30	0.00	3.14	12.83	53.00
MAR 12	0.33	0.09	0.00	1.16	0.00	1.84	5.58	29.00
MAR 26	1.84	0.00	0.00	5.79	0.00	2.54	3.98	9.13
ABR 07	0.23	0.02	1.44	1.94	2.23	26.56	24.33	23.00
MAY 12	0.56	0.07	0.00	5.10	0.00	3.65	14.36	34.00
MAY 26	2.43	0.81	0.00	4.45	0.00	2.13	13.02	5.56
JUN 08	14.34	7.08	1.21	11.80	3.78	12.93	9.15	2.38
JUN 23	3.42	1.89	3.07	4.30	0.00	3.53	9.94	3.58
JUL 07	0.94	0.40	0.00	0.85	0.00	1.29	7.08	2.83
JUL 21	0.41	0.07	0.29	1.30	0.00	2.70	4.30	13.00
AGO 04	0.41	0.07	0.29	1.50	0.00	3.50	4.97	10.00
AGO 18	0.15	0.00	0.61	0.90	0.00	4.40	18.29	18.00
X	1.84	0.77	0.82	3.52	1.00	6.00	9.71	18.25
C.V.	195.27	234.68	127.67	82.19	222.10	114.70	62.25	77.01

Tabla 2. Variables registradas en la estación E2 de la salina Pozos Colorados. Ca, Cb y Cc = Clo-rofilas a, b y c respectivamente. PPN, PPB y R = Producción primaria neta, bruta y respiración. X = Valor promedio y C.V. = Coeficiente de variación.

	Ca	Cb mg/m ³	Cc	Caroti- noides	PPN	PPB gC/m ² /d	R	INDICE 480/665
ENE 30	86.63	18.98	64.34	810.93	18.83	22.57	3.74	25.55
FEB 12	25.34	18.83	4.70	128.80	13.24	13.75	0.51	13.20
FEB 26	43.58	6.63	32.10	457.48	0.00	14.59	24.22	28.86
MAR 12	2.91	0.00	0.00	168.60	0.00	0.00	0.00	118.60
ABR 07	0.48	0.00	0.00	59.50	0.00	0.00	0.00	357.00
MAY 12	16.25	3.10	0.00	115.70	0.00	0.00	0.00	22.25
MAY 26	20.17	8.22	14.77	71.73	28.92	101.15	72.23	10.25
JUN 08	2.39	0.00	0.00	5.65	0.68	4.32	3.64	7.06
JUN 23	0.58	0.00	0.00	4.35	0.00	2.07	2.52	21.75
JUL 07	1.73	0.80	0.92	4.65	0.00	2.10	4.39	7.75
JUL. 21	22.40	11.56	12.42	30.90	8.37	27.59	19.22	3.96
AGO 04	30.63	21.06	19.28	89.20	0.00	31.91	59.44	6.93
AGO 18	25.72	12.67	14.27	134.16	0.00	86.91	89.82	14.97
X	19.94	7.28	11.63	152.36	5.00	21.93	19.98	76.65
C.V.	114.25	106.06	149.79	140.18	176.10	143.05	147.97	165.38

Así mismo, la estación 1 presentó un promedio cinco veces más bajo de producción primaria neta ($1 \text{ gC/m}^2/\text{d}$) que la estación 2 ($5 \text{ gC/m}^2/\text{d}$). En general los valores de producción primaria neta oscilaron entre 0 y $28.92 \text{ gC/m}^2/\text{d}$, destacándose el mes de mayo por presentar los más altos valores (tablas 1 y 2).

El análisis fitoplanctónico reveló el predominio de cianófitas y clorófitas. Las primeras se agrupan en dos órdenes, Chroococcales y Hormogonales, con representantes de tres familias, ocho géneros y 10 especies así: *Chroococcus minimus* (Keissl) Lemmermann, 1904; *Chroococcus turgidus* (Kütz) Nägeli, 1849; *Aphanothece microscopica* Nägeli, 1849; *Aphanocaps* sp.; *Phormidium mucicola* Naum y Hub-Prest; *Lyngbya* sp.; *Oscillatoria tenuis* C.A. Agardh; *Spirulina* cf. *supersalsa* Schiller, 1956; *Anabaena constricta* Bory, 1822; *Anabaena* sp.

Las clorófitas se agrupan en los órdenes Volvocales y Chlorococcales, para un total de tres especies, una de ellas no identificada, y las otras dos *Dunaliella salina* (Dunal), Teodoresco, 1905 y *Dunaliella viridis* Teodoresco, 1906, de la familia Polyblepharidae. También se encontraron algunas diatomeas de los géneros *Nitzschia* y *Navicula*.

La estructura fitoplanctónica de Pozos Colorados involucró 15 especies, no obstante, fueron *C. minimus*, *D. salina* y *D. viridis*, las tres más importantes en lo que a densidad de individuos y dominancia relativa se refiere (tabla 3, Fig. 7).

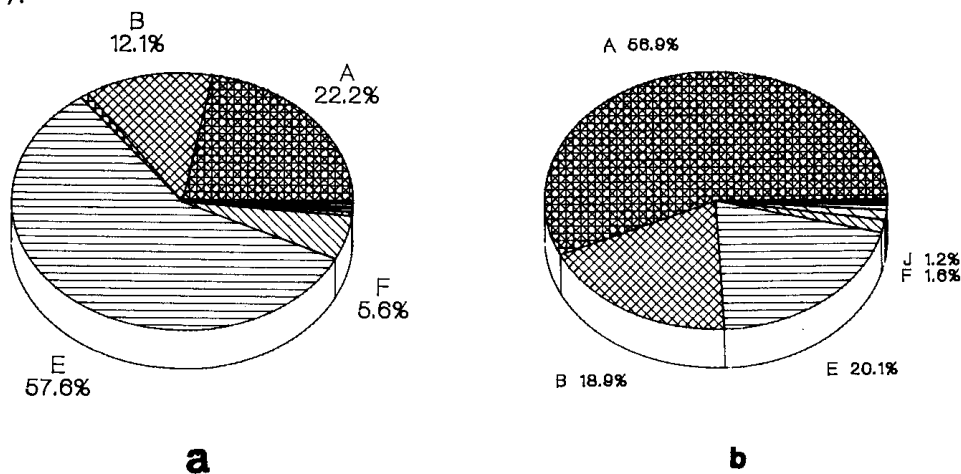


Figura 7. Dominancia relativa de las principales especies de microalgas encontradas en Pozos Colorados: a, estación E1; b, estación E2. Las especies están indicadas por las letras. A = *D. salina*, B = *D. viridis*, C = *C. minimus*, F = *C. turgidus*, G = *A. microscopica*, H = *Aphanocapsa* sp y O = *Anabaena* sp.

D. salina se encontró en las dos estaciones de muestreo durante casi todo el tiempo de observación, notándose mayor dominancia relativa y densidad poblacional en la estación 2 (la de mayor salinidad) y durante el período más salino. Aunque la máxima densidad registrada durante el tiempo de monitoreo fue de 400.000 cel/ml , en enero de 1988 a una salinidad de 283‰ se registró una densidad del orden de $3,5 \times 10^6 \text{ cel/ml}$. Estas densidades son muy superiores a la máxima citada por Post (1981) para el Gran Lago Salado de UTAH ($4 \times 10^4 \text{ cel/ml}$).

Tabla 3. Densidad en células/ml. del fitoplancton encontrado en dos estaciones (E1 y E2) de la salina Pozos Colorados entre enero y agosto de 1987.

Especie \ Fecha	E30	F12	F26	M12	M26	A7	M12	M26	J8	J23	J7	J21	A4
<i>D. salina</i>	E1	52000	37889	8889	22222	13889	20556	1665			2222		1481
	E2	223333	57611	400000	71944	11111	4815	10000	2222	4444	11754	4444	17222
<i>D. viridis</i>	E1	1111	3333		22222	3530	3047	4444	3703	11111	12222	7222	9222
	E2	10611	32778	22222	2963	10000	2000	1111	10555	16666	4667	80864	57753
<i>Cloroficea l</i>	E1						6111						43056
<i>Nitzschia</i> sp.	E1								1111				
	E2								1111				
<i>Navicula</i> sp.	E1												1111
<i>C. minimus</i>	E1	44444	38000	4444	8890	4963	3666	33333	170027	61666	19630	7222	10667
	E2	37259	1111	14667	7222	5555	1111	2592	27778	8889	72668	109777	25333
<i>C. turgidus</i>	E1							4444	12611	22333		1111	
	E2							19259	6667				
<i>A. microscopica</i>	E1								1111				2592
	E2										15555		2222
<i>Aphanocapsa</i> sp.	E1												2666
	E2												3333
<i>P. mucicola</i>	E1				1852								
	E2								7259	3333	1111	2222	2222
<i>O. tenuis</i>	E1										1111		1111
	E2								1111	1111		1111	4444
<i>Lyngbye</i> sp.	E1												
	E2				1111	2222		1111	7778				
<i>S.cf. supersalsa</i>	E1												
	E2						1111					2222	1111
<i>A. constricta</i>	E1												
<i>Anabaena</i> sp.	E1												
	E2								1111				1111

DISCUSION

La evaporación del agua de mar genera una saturación diferencial de sales, las cuales precipitan en una secuencia que es bien conocida (Nixon, 1974; Ordóñez, 1984). Teniendo en cuenta que Pozos Colorados es una salina marina, es posible que la dinámica iónica y el incremento de la salinidad desencadenaran los cambios de la mayor parte de las variables físico-químicas, así como del comportamiento biótico del sistema.

La variación de la salinidad fue el resultado del aporte de agua dulce por precipitación (Fig. 3), aportes marinos y evaporación; esta última pudo verse favorecida por el alto cociente área-profundidad propio de éstos cuerpos de agua (Fig. 2).

Empleando la cantidad total de iones en solución como criterio de comparación, la salina Pozos Colorados es semejante al Lago Salado Boca Chica de Isla Margarita, se encuentra por encima del Lago Hunazoko y de otras salinas artificiales (tabla 4), probablemente por encontrarse fuera de actividades de explotación.

Cuando en Pozos Colorados la concentración salina fue alta (Fig. 4a), el nivel de la columna de agua fue bajo y el color de la misma rojo (observación cualitativa), pudiéndose generar un mayor calentamiento (Fig. 5a). Larsen (1967) plantea que la coloración roja propia de salinas favorece la absorción de energía calórica. Al aumento de temperatura se asocia un incremento en la velocidad de los procesos metabólicos (Margalef, 1983), como el de la respiración, explicando en parte la baja concentración de oxígeno, que incluso llegó a valores no detectables en la estación 2 en los meses de mayor salinidad (Fig. 4). La cantidad de oxígeno que pudo disolverse dependió inversamente de la temperatura y la salinidad, pues al aumentar ésta última, el medio acuoso se hizo más denso.

Las salinas en las que la proporción de iones Ca^{++} y Mg^{++} es semejante a la de CO_3 y HCO_3 y el pH se mantiene neutro o ligeramente alcalino se denominan salinas sulfatadas (Ordóñez, 1984). Siendo Pozos Colorados una salina marina y estando su pH dentro de los límites dados por Ordóñez (1984) (Fig. 5b), corresponde a esta clasificación y se diferencia claramente del otro grupo, el de las salinas sódicas o alcalinas. Cabe destacar que durante los meses de mayor salinidad, el agua se tornó ligeramente ácida en la estación 2, probablemente a consecuencia del ambiente reductor originado por la abundante materia orgánica (observación cualitativa) y la falta de oxígeno. De otra parte, puede deducirse que a mayor densidad fitoplanctónica el pH tiende a ser mayor, debido seguramente al mayor consumo de CO_2 (Copeland y Nixon, 1974).

En la estación 2 la mayor concentración de nutrientes se presentó en el período de mayor salinidad (Figs. 4a y 6), lo cual pudo deberse al efecto de bacterias anaerobias del sedimento y/o a la remoción del mismo por efecto de los vientos alisios del NE, proceso favorecido por el reducido tamaño de la columna de agua. De otra parte, pudo presentarse concentración por evaporación. Caso contrario se presentó en la estación 1, donde las mayores concen-

Tabla 4. Comparación de algunos ecosistemas hipersalinos de diferentes partes del mundo. S = salinidad, O2 = Oxígeno disuelto, T = TEMPERATURA, NO2, NO3 Y PO4 = nitritos, nitratos y fosfatos respectivamente. Los datos corresponden a promedios anuales de diferentes estaciones de muestreo.

	S	pH	O2	T	NO2	NO3	PO4	AUTOR	AÑO
	o/oo		mg/l	oC	umol/l				
Lago Hunazoko (Bahia Lutzow-Antártica)	132.00	8.00	4.51	8.80	0.13	3.57	0.09	Watanuki <i>et al.</i>	1997
Lago salado Boca Chica (Isla Margarita-Venezuela)	228.00 180.70	— —	2.03 2.49	30.6 29.3	0.04 0.04	1.11 1.29	2.79 2.79	Scelzo y Voglar	1980
Alviso Salt Pond (Bahia San Francisco-USA)	27.50 94.00	8.35 8.30	— 3.74	— —	— —	0.70 1.70	6.00 13.00	Carpelan	1957
Salina Tuticorin (Sur de la India)	73.83 117.32	8.04 8.18	5.70 4.49	31.92 32.71	— —	— —	— —	Ramamoorthi y Thangaraj	1980
Salina Aveiro (Portugal)	36.99 75.37	8.03 7.70	8.04 6.00	16.86 18.45	0.02 0.01	0.02	0.02 0.01	Vieira y	1985
Salina Pozos Colorados (Caribe Colombiano)	172.57 263.86	7.81 7.26	2.64 1.39	31.96 36.94	0.35 0.40	0.98 0.87	0.95 6.42	Mancera	1988

traciones de nutrientes se presentaron en meses de relativa alta pluviosidad, principalmente en lo que se refiere a nitritos y nitratos (Figs. 3 y 6); siguiendo el típico criterio empleado al caracterizar cuerpos de agua, esta estación constituiría un agua oligotrófica (Margalef, 1983). Sin embargo, dada la particularidad del ambiente hipersalino, es posible que muchas comparaciones no sean aplicables. Es así como en promedio, la concentración de carotinoides en la estación 2 fue aproximadamente ocho veces superior a la de la clorofila a y cuatro veces mayor que el total de pigmentos clorofílicos (tabla 2). Mientras que para otros cuerpos de agua un elevado cociente carotinoides-clorofilas sería síntoma de envejecimiento y baja producción primaria, en la salina es parte de una estrategia de adaptación a la elevada intensidad lumínica (Nixon, 1974; Oosterhelt, 1976).

El incremento clorofílico estuvo asociado con la aparición de *Chroococcus minimus*, *C. turgidus* y *D. viridis*, especies que desarrollaron altas densidades en concentraciones salinas bajas. Los pigmentos carotinoides fueron aportados por *D. salina* y las halobacterias en condiciones de elevada salinidad (tabla 3).

A partir de los resultados obtenidos de las incubaciones de plancton de salmuera, puede decirse que el valor de la respiración en la mayoría de los casos fue mayor que el de la producción primaria bruta, resultando así un balance negativo para la producción neta (tablas 1 y 2). Estos resultados podrían indicar la existencia de algún subsidio energético capaz de mantener el sistema. Resultados similares han sido observados por otros autores, entre ellos Scelzo y Voglar (1980) en el Lago Salado Boca Chica de Isla Margarita y Ramamoorthi y Thangaraj (1980) en la salina Tuticorin (sur de la India), quienes se limitaron a describir el fenómeno.

Al comparar los valores de producción bruta obtenidos en Pozos Colorados con ecosistemas altamente productivos como son los estuarios, arrecifes de coral, manglares y las zonas de cultivos intensivos, para los que se han calculado cifras que varían entre 10 y 20 gC/m²/d (Dajoz, 1979), podría pensarse que la salina Pozos Colorados constituye un ecosistema de altísima producción, pues los promedios por estación arrojaron valores de 6 y 21.9 gC/m²/d; no obstante, los resultados de respiración fueron aún mayores, hasta el extremo de dar un carácter heterotrófico al sistema.

Las observaciones macro y microscópicas, así como los resultados de cuantificación de algunos parámetros abióticos, permiten plantear que la estructura del ecosistema de la salina de Pozos Colorados obedece a los cambios de salinidad, probablemente no solamente en la concentración total de iones, sino también en la proporción relativa de los mismos. Ello concuerda en parte con las observaciones de otros ambientes hipersalinos, como el de la Laguna Madre en la bahía de Bafin, Texas (Nixon, 1974).

De otra parte, se destaca el reducido número de especies y la alta proporción de individuos.

La biota de Pozos Colorados varió a través del tiempo observándose parte (estación 1) o la totalidad (estación 2) de una sucesión comprendida en cuatro estados:

- Un estado inicial que se caracterizó por una concentración salina baja y el desarrollo de cianofíceas bentónicas, que cubrieron de verde el fondo de los pozos. Así mismo, florecieron cianofíceas fitoplanctónicas como *C. turgidus* y *C. minimus*; clorofíceas como *D. viridis* y *D. salina* se encontraron en menor proporción. En términos generales, la producción primaria fue alta (tablas 1 y 2), lo que sumado a la baja salinidad, permitió el desarrollo zooplanctónico. Si bien este zooplancton no fue cuantificado, la observación cualitativa mostró una predominancia de *Artemia salina* sobre ciliados (*Fabrea salina*), hemípteros (*Trichorixa* sp.) y larvas (*Efidra* sp., *Uca* sp.). La presencia de peces (*Poecilia* sp.) y aves (*Himantopus himantopus*) complementaron la cadena trófica.

- Un segundo estado, considerando a partir de 225°/oo de salinidad, se caracterizó por la disminución de las algas bentónicas. Ordóñez (1984) plantea que la evaporación de agua marina genera inicialmente, además de un incremento en la salinidad, un enriquecimiento con Ca^{++} y Mg^{++} ante la precipitación de carbonatos y boratos. Según Nixon (1974), los iones de calcio y magnesio en elevadas concentraciones salinas resultan tóxicos para la cianofíceas, lo cual podría explicar el fenómeno observado en Pozos Colorados.

D. viridis predominó en el fitoplancton, mientras que *A. salina* lo hizo en el zooplancton. No fueron observados peces y sólo unas pocas aves (*Himantopus himantopus*). El cuerpo acuático adquirió una leve coloración rojiza.

- En el tercer estado no fueron observadas cianofíceas bentónicas y *D. salina* dominó en el fitoplancton, alcanzando altas densidades (400.000 cel/ml). El nivel de agua disminuyó y se caracterizó por su color rojo y gran contenido de materia orgánica (observaciones cualitativas), producto muy probablemente de la descomposición de zooplancton muerto.

- El último estado se consideró cuando la salinidad llegó a más de 340°/oo. La altura de la columna de agua fue menor de 10 cm y *D. salina*, en baja densidad, fue el único organismo eucariótico observado. Si bien no se llevaron a cabo análisis bacteriológicos, la coloración del agua indicó la presencia de bacterias rojas y rosadas, organismos que pudieron verse favorecidos con la alta concentración de sales. Se ha demostrado que una elevada concentración de NaCl es ideal para el desarrollo de las halobacterias (Stanier *et al.*, 1972).

En las dos estaciones se detectó, debajo de varias capas salinas, un sedimento negro, cuyo color y olor delataron la presencia de H_2S . Se infiere, por tanto, la actividad reductora de sulfobacterias, a las que según algunos autores es posible atribuir un papel decisivo en la mineralización de la materia orgánica en los ambientes hipersalinos (Larsen, 1967).

Con relación al ambiente físico-químico de la salina, muchos autores han considerado que este es un ecosistema en permanente tensión, sin tener en cuenta que estas condiciones extremas son típicas y comunes allí. De acuerdo con Margalef (1983), un ecosistema se encuentra en tensión cuando se forzado a responder a alteraciones que retardan o aceleran los procesos a los que comúnmente responde, poniéndose de manifiesto que alta salinidad y temperatura, así como baja concentración de oxígeno no son factores que tensionen permanentemente a la biota propia de las salinas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo institucional y financiero del Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales "Francisco José de Caldas" (COLCIENCIAS); al Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín "José Benito Vives D'Andreis" (INVEMAR) y a la Universidad Nacional de Colombia. Mi reconocimiento a todo el personal científico, docente, técnico y administrativo que labora en estas instituciones. A la bióloga Adriana Santos por su apoyo y crítica. A la doctora Leonor Botero, por su colaboración en la redacción del abstract y la corrección del manuscrito, así mismo a la doctora María Mercedes Criales. Este trabajo formó parte de la tesis de Magister Scientiae presentada por el autor y aprobada por la Universidad Nacional de Colombia.

BIBLIOGRAFIA

- APHA. 1975. Standard methods for examination of water and waste water, 14th ed. APHA, AWWA, WPCF, Washington, D.C., USA, 1193 P.
- Bent-Amotz, A. y M. Avron. 1980. Glycerol, B-Carotene and dry algal meal production by commercial cultivation of *Dunaliella*: 603-610. En C. Shelef y C.J. Soeder (eds.): algae biomass. Elsevier/North Holland Biomedical Press, Amsterdam.
- Bicudo, E.M. y R.M. Bicudo. 1970. Algas de aguas continentais brasileiras. Fund. Brasil. Desenvol. Ens. Cienc., Sao Paulo, 228 p.
- Carpelan, L.H. 1957. The hydrobiology of the Alviso salt ponds. Ecology, 38: 375-390.
- Copeland, B.J. y S.W., Nixon. 1974. Hypersaline Lagoons: 312-330. En: H.T. Odum, B.J. Copeland, E.A. McMahan (eds.): Coastal ecological systems of the United States. Tomo I The Conservation Fund., Washington, D.C.
- Dajoz, R. 1979. Tratado de ecología, 2a. ed. Mundi Prensa, Madrid, 610 p.
- Espinal, L. y E. Montenegro. 1963. Formaciones vegetales de Colombia, Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Inst. Geogr. "Agustín Codazzi", Bogotá, 201 p.
- Fritsch, F.E. 1935. The structure and reproduction of the algae. Vol. I. Cambridge Univ. Press, Cambridge, Inglaterra, 791 p.
- Gocke, K. 1984. Manual para determinar los procesos de producción y degradación en biotopos marinos, especialmente en lagunas costeras y manglares. Informe interno (Mimeógrafo), INVEMAR, Santa Marta, Colombia, 77 p.
- Gómez-Aguirre, S. 1981. Comunidades planctónicas representativas de estuarios y lagunas costeras del noreste de México (105-110°W y 22-27°N), en los años 1968 a 1973. Tesis Doct. Cienc., Univ. Nal. Aut. México. Fac. Cienc., México, 122 p.
- HIMAT. 1987. Calendario meteorológico. Inst. Colom. Hidrol. Meteorol. Adec. Tierras, Bogotá, 221 p.
- IGAC. 1973. Monografía del Departamento del Magdalena. Inst. Geogr. "Agustín Codazzi", Bogotá, 164 p.
- Larsen, H. 1967. Biochemical aspects of extreme halophilism. Adv. Microbiol. Physiol., 1: 97-132.
- Loeblich, L.A. 1982. Photosynthesis and pigments influenced by light intensity and salinity in the halophile *Dunaliella salina* (Chlorophyta). J. Mar. Biol. Ass., U.K., 62: 493-508.
- Mancera, J.E. 1988. Contribución al estudio de la microalga de salmuera *Dunaliella salina* (Dunal), Teodoresco, 1905 (Chlorophyceae: Volvocales) y su comportamiento en cultivos experimentales. Tesis M. Sc. Biol. Mar., Fac. Cienc. Univ. Nacional de Colombia, Bogotá, 162 p.

- Margalef, R. 1983. Limnología. Ed. Omega S.A., Barcelona, 1010 p.
- Nixon, S.W. 1974. Salina Systems: 318-341. En: H.T. Odum, B.J. Copeland, E.A. McMahan (eds.): Coastal ecological systems of the United states. Tomo III. The Conservation fund. Washington. D.C.
- Oesterhelt, D. 1976. Isoprenoids and bacteriorhodopsin in halobacteria. Prog. Molec. Subcell. Biol., 4: 134-166.
- Ordóñez, S. 1984. Las Salmueras. Inv. y Ciencia, 88: 19-28.
- Palmer, M. 1962. Algas en abastecimiento de agua. Ed. Interamericana, S.A., México, 91 p.
- Post, F.J. 1981. Microbiology of the Great Salt Lake. Hydrobiología, 81: 59-69.
- Ramamoorthi, K. y G.S. Thangaraj. 1980. Ecology of *Artemia* in the salt pans of Tuticorin, South India: 105-114. En G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels and E. Jaspers (eds.): The brine shrimp *Artemia*. Vol. 3, Ecology, culturing, use in aquaculture, Universa Press, Bélgica.
- Scelzo, M.A. and J.F. Voglar. 1980. Ecological study of the *Artemia* populations in Boca Chica salt lake, Margarita Island, Venezuela: 115-125. En G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels and E. Jaspers (eds.): The brine shrimp *Artemia*. Vol. 3, Ecology, culturing, use in aquaculture, Universa Press, Bélgica.
- SCOR-UNESCO. 1966. Determination of photosynthetic pigments in seawater. Monogr. Oceanogr. Methodol., 1. UNESCO, Paris, 54 p.
- Smith, G.M. 1950. The fresh-water algae of the United States, 2a. ed. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 719 p.
- Sournia, A. (ed.). 1978. Phytoplankton manual. Monogr. Oceanogr. Methodol., 6. UNESCO, París, 337 p.
- Staniner, R. Y., M. Doudoroff y E.A. Adelberg. 1972. Microbiología. Aguilar Ed. Colec. Ciencia y Técnica, Madrid, 932 p.
- Strickland, J.D. y T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis, 2a. ed. Fish. Res. Board Canadá. Ottawa, 310 p.
- Vieira, M.N. y M.H. Galhano. 1985. First data about the ecology of the Aveiro salt ponds, Portugal. Inst. Zoolg. Facul. Cienc. do Porto, 190: 1-12.
- Vollenweider, R.A. 1974. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments, 2a. ed. IBP Hand Book No 12, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 225 p.
- Watanuki, T., M. Ohno y S. Nakamura. 1987. Growth characteristics of *Duanliella* sp., unicellular green alga isolated from a salt lake along the coastal region of Lützw-Holm Bay, Antarctica. Rep. USA Mar. Biol. Inst., Kochi Univ., 9: 139-147.
- Yacubson, S. 1969. Algas de ambientes acuáticos continentales, nuevas para Venezuela (Cyanophyta, Chlorophyta). Bol. Centro Inv. Biol., Univ. Zulia, 3: 1-87.
- _____. 1972. Catálogo e iconografía de las Cyanophyta de Venezuela. Bol. Centro Inv. Biol., Univ. Zulia, 5: 1-78.
- _____. 1974a. Catálogo e iconografía de las Chlorophyta de Venezuela. Bol. Centro Inv. Biol., Univ. Zulia, 11, 1-143.
- _____. 1974b. El fitoplancton de la laguna de San Javier del Valle (Río Mérida, Venezuela). Rev. Algol. Nouv. Ser., 11: 91-131.
- _____. 1981. Algas del Río Limón y ambientes acuáticos cercanos (Estado Zulia, Venezuela): Bol. Centro Inv. Biol., Univ. Zulia, 14: 1-81.
- _____. 1985. Algas del Río Tucuco y ambientes acuáticos de sus alrededores (Estado Zulia, Venezuela). Bol. Centro Inv. Biol., Univ. Zulia, 16: 19-95.

Dirección del autor:

INVEMAR, Apartado 1016, Santa Marta, Colombia.