

Características físico-químicas y determinación de plaguicidas en el agua de la laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica

Marta Coll¹, Jorge Cortés² & Desireé Sauma³

- 1 Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España; martacoll@yahoo.com
- 2 Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, San Pedro, San José 2060, Costa Rica. Fax: (506) 207-3008.
- 3 Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA), Universidad de Costa Rica, San Pedro, San José 2060, Costa Rica. Fax: (506) 253-1363.

Recibido 22-IV-2003. Corregido 16-VII-2004. Aceptado 27-VIII-2004.

Abstract: Nutrients and chlorophylls concentrations, as well as salinity, temperature and Secchi disk depth were determined from November 1999 to April 2000, at three stations and two depths, at Gandoca lagoon, Gandoca-Manzanillo National Wildlife Refuge, Limón, Costa Rica. Salinity profiles indicated that the lagoon was a salt wedge estuary with a partially mixed region near the mouth. No processes of eutrophication were found. The distribution and abundance of nutrients and chlorophylls showed a slight influence of continental water and water circulation patterns in the lagoon. A preliminary study was done in order to analyze the presence of 20 organochlorated and organophosphorated pesticides along the Gandoca lagoon in February 2000. None of the pesticides were detected by the analysis of residues from liquid-liquid extractions. The absence of the pesticides may be due to the fact that they did not reach the lagoon or, if they did, they were washed away by the strong rains during the sampling period.

Key words: Nutrients, chlorophylls, pesticides, water, pollution, Gandoca lagoon, Caribbean Sea, Costa Rica.

La laguna de Gandoca se encuentra en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo, Limón, Costa Rica (Fig. 1), en el sudeste de la costa Caribe costarricense cerca de la frontera con Panamá. El espejo de agua de la laguna y la vegetación circundante cubren un área de aproximadamente 266 hectáreas. La extensión de la laguna desde su desembocadura hasta la entrada del río Gandoca es de 1.2 km y muestra una profundidad máxima de 12.5 m (Anónimo 1996). Cerca de la desembocadura de la laguna se encuentra el manglar de Gandoca, el manglar mejor conservado del Caribe de Costa Rica, con una extensión calculada de 12.5 ha aproximadamente en el año 2000 (Cortés 1991, Coll *et al.* 2001). Predomina el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y

se encuentran en menor proporción el mangle caballero (*Rhizophora racemosa*), el mangle salado o negro (*Avicennia germinans*), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el mangle botón (*Conocarpus erecta*). Las formaciones vegetales adyacentes al manglar se componen fundamentalmente de yolillo (*Rhaphia taedigera*) y helecho de manglar (*Acrostichum aureum* y *A. danaeifolium*) (Coll *et al.* 2001).

En las inmediaciones de la laguna de Gandoca se encuentra la comunidad de Gandoca. El asentamiento principal se originó por el flujo migratorio de jornaleros de las compañías agroindustriales que se asentaron en la zona desde mediados del siglo XX, principalmente compañías bananeras. La actividad económica



Fig. 1. Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo, Limón, Costa Rica. Modificado de MIRENEM-UICN/ORMA (1994). - - - Límite del Refugio.

principal de las familias gandoqueñas es la agricultura y ganadería de subsistencia, pero la mitad de la población tiene como principal fuente de ingresos el trabajo en las fincas bananeras del Valle Sixaola (Coll 2000). En este valle se asientan las mayores extensiones de fincas bananeras de la región del Caribe de Costa Rica, siendo el cultivo de banano, de carácter intensivo, una de las actividades económicas más importantes de la provincia de Limón.

Por las características intrínsecas y extrínsecas de la planta del banano, éste es atacado tanto por hongos como por insectos durante su cultivo. Las enfermedades de origen fúngico más importantes son la enfermedad de Panamá, causada por *Fusarium oxysporum*, y la enfermedad de Sigatoka negra, causada por *Mycosphaerella musicola*. A su vez, más de doscientas especies de insectos atacan la planta. Estas enfermedades causan grandes pérdidas

económicas en las fincas bananeras, por lo que se invierte mucho dinero en combatir las mediante la aplicación masiva de plaguicidas, ya sea por vía aérea o terrestre. Los plaguicidas más utilizados son el clorpirifós como insecticida y el tiabendazol e imazalil como fungicidas sistémicos (Soto 1985).

La laguna de Gandoca es alimentada principalmente por las aguas del río Gandoca, el cual aunque no transcurre por las fincas bananeras del Valle Sixaola sino que bordea esta área (Anónimo 1996). A la vez, no se han registrado otros cauces de agua que transcurran por las mismas y lleguen a la laguna. Los canales de drenaje de las fincas bananeras siguen una trayectoria paralela a la costa y desembocan en el río Sixaola, en el sudeste del Valle Sixaola. Sin embargo, cuando el régimen de lluvias es elevado la laguna se nutre del agua de escorrentía del Valle Sixaola. Es en estos momentos cuando los

cauces de los canales de drenaje de las fincas bananeras del Valle se desbordan y alcanzan el río Gandoca, pudiéndose producir una introducción de plaguicidas en la laguna (Anónimo 1996).

En este trabajo se hace una caracterización de los principales aspectos físico-químicos de la laguna de Gandoca: temperatura, salinidad, turbidez, nutrientes y clorofilas. Además, se presentan los resultados de un estudio preliminar realizado con el objetivo de analizar la posible presencia de plaguicidas organoclorados y organofosforados en la laguna. Este trabajo representa el primer esfuerzo de estudio de las aguas de la laguna de Gandoca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 4 muestreos durante 1999-2000 en tres puntos a lo largo de la laguna (Pm1, Pm2 y Pm3) con una distancia de 0.8 km entre ellos (Fig. 2). Éstos fueron situados cerca de la desembocadura de la laguna (Pm1), a media laguna (Pm2) y en la cabecera de la laguna (Pm3).

La temperatura, con termómetro de mercurio y la turbidez, con disco de Secchi de 30 cm de diámetro se midieron *in situ* en las tres estaciones de muestreo durante los 4 períodos de trabajo. En cuanto a la salinidad, los nutrientes y las clorofilas, se recogieron 6 muestras de agua por período de muestreo a profundidad de 0.1 m y 3 m en cada punto de muestreo mediante una botella de Niskin de 1500 ml. Estas muestras se almacenaron en tubos de ensayo plastificados con tapón (10 ml) en el caso de la salinidad, en botellas de ámbar plásticas (500 ml) en el caso de los nutrientes y en botellas azules plásticas (1 litro) en el caso de las clorofilas. Todas las muestras se trasladaron al laboratorio en una hielera a 4°C, temperatura de almacenamiento posterior.

Los análisis de la salinidad, los nutrientes y clorofilas (clorofila-a y faeopigmentos) se realizaron en el laboratorio de química del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa

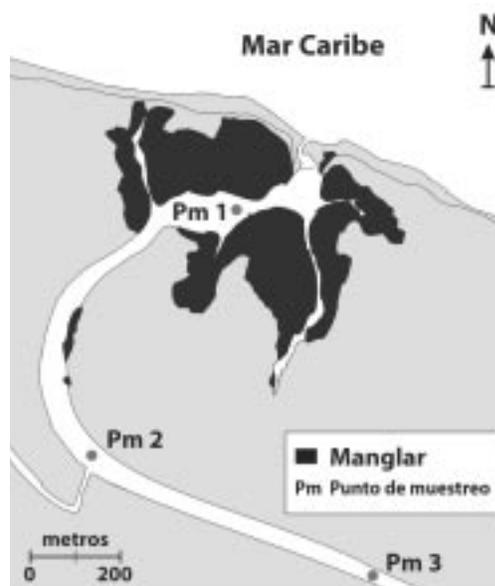


Fig. 2. Laguna de Gandoca: cobertura de vegetación del manglar y puntos de muestreo. Costa Rica.

Rica. La salinidad se midió con un salinómetro marca YSI (modelo 33) y los nutrientes y clorofilas se analizaron mediante la metodología descrita por Strickland y Parsons (1972) modificada para volúmenes de 10.0 ml.

Para el análisis de los plaguicidas se realizó un muestreo en febrero de 2000, en el cual se tomaron 6 muestras de agua a profundidades de 0.1 m y 3 m en cada punto de muestreo mediante una botella de Niskin de 1500 ml. Las muestras fueron transportadas en botellas de vidrio color ámbar (500 ml). Los análisis de plaguicidas se realizaron en el laboratorio del Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA), Universidad de Costa Rica mediante la metodología descrita por Chinchilla (1999). De cada muestra se colocaron 250 ml en un embudo separador con 10 g de cloruro de sodio y 50 ml de diclorometano. La muestra se dejó reposar para lograr una correcta separación de las fases y la fase orgánica se hizo pasar a través de sulfato de sodio anhidro y se recolectó en un balón de fondo redondo mientras que la fase inorgánica fue desechada. Este procedimiento se repitió tres veces con

CUADRO 1

Temperatura, profundidad del disco de Secchi (turbidez) y salinidad (a 0.1 y 3 m de profundidad) en la laguna de Gandoca

	Pm1				Pm2				Pm3			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Temperatura (°C)	26	23	29	29	28	24	27	27	26	24	27	27
Disco de Secchi (m)	1.70	1.70	1.20	1.9	1.00	1.00	1.10	1.0	1.00	1.00	1.20	0.9
Salinidad (p.s.u) 0.1 m	1.0	14.0	1.0	1.0	3.0	9.0	4.0	1.0	1.0	5.0	1.0	1.0
Salinidad (p.s.u) 3 m	3.0	16.0	4.0	1.0	20.0	19.0	10.0	14.0	24.0	19.0	15.0	16.0

I: Noviembre 1999; II: Febrero 2000; III: Marzo 2000; IV: Abril 2000.

25 ml de diclorometano y con una punta de espátula de cloruro de sodio cada una. Se lavó el sulfato de sodio con 15 ml de diclorometano para luego evaporarlo en un rotavapor. Evaporado el disolvente, se lavó tres veces el balón con 2 ml de acetona; los lavados fueron colocados en un cilindro graduado y concentrados a 2 ml con nitrógeno puro (HHS 1994, Chinchilla 1999). Finalmente se realizó una cromatografía de gases con un detector de captura electrónica (ECD) y un detector fotométrico de llama (FPD). Bajo las mismas condiciones de análisis se realizaron un blanco, para comprobar la pureza de los reactivos, y una disolución enriquecida con 250 ml de agua Milli-Q. La disolución enriquecida se realizó con el fin de determinar los porcentajes de recuperación de los plaguicidas y observar si éstos estaban o no dentro de los límites de recuperación de la Agencia Norteamericana de Protección Medioambiental (EPA) (70 a 120%) (HHS 1994).

RESULTADOS

Aspectos físico-químicos: Los resultados de temperatura, turbidez y salinidad se encuentran en el Cuadro 1. La temperatura superficial del agua se mantuvo casi constante durante el período de muestreo, siendo la media de temperatura registrada de 26.4°C, con un máximo de 29°C durante el tercer y cuarto período de muestreo en la boca de la laguna (Pm1) y un mínimo de 23°C durante el mes de febrero, también el Pm1. Las diferencias entre la temperatura superficial del agua de las diferentes estaciones

de muestreo fueron de entre 1 y 2°C. Sin embargo, se observó una ligera baja en la temperatura en el segundo período de muestreo de 3 y 4°C respecto a los demás períodos.

La visibilidad presentó una media de 1.23 m con máximas de 1.9 m y mínimas de 0.9 m (Cuadro 1). En los tres períodos de muestreo se encontró un ligero aumento de visibilidad en la desembocadura de la laguna respecto a las zonas de más adentro.

Respecto a la salinidad, la media registrada en el área de estudio fue de 3.5 p.s.u en superficie (0.1 m) y de 13.4 p.s.u en profundidad (3 m). La máxima de salinidad fue de 24.0 p.s.u durante el primer período de muestreo en la cabecera de la laguna (Pm3), mientras que la mínima que se registró fue de 1.0 p.s.u en superficie el primer, tercer y cuarto período de muestreo en Pm1 y Pm3 y en superficie en el cuarto período en el medio de la laguna (Pm2) y en profundidad en el cuarto período en Pm1. En el primer muestreo se observó que la salinidad cerca del mar presentaba poca estratificación, pero que en Pm2 y Pm3 había una fuerte diferencia entre los valores de 0.1 y 3 m. Esto también se registró en el tercer y cuarto período de muestreo, donde las diferencias de salinidad entre la superficie y el fondo fueron mucho mayores en los puntos de muestreo Pm2 y Pm3. En el segundo muestreo la salinidad en la superficie fue mucho más elevada. Sin embargo, en Pm2 y Pm3 se continuó manteniendo la diferencia en el ámbito de salinidad entre los 0.1 m y los 3 m de profundidad (Cuadro 1).

Los resultados de nutrientes y clorofilas se encuentran en el Cuadro 2. La concentración

CUADRO 2
Concentraciones de nutrimentos y pigmentos en la laguna de Gandoca, Costa Rica

Profundidad 0.1 m	Pm1				Pm2				Pm3			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Fosfatos ($\mu\text{mol/l}$)	2.2	1.04	1.89	1.38	3.16	1.47	3.6	1.75	2.86	2.24	3.39	1.63
Silicatos ($\mu\text{mol/l}$)	104.81	43.04	107.13	65.05	118.47	75.57	203.34	116.85	174.2	160.04	23	79.44
Nitritos ($\mu\text{mol/l}$)	1.93	0.08	nd	nd	2.38	0.24	0.19	nd	2.89	0.3	0.14	nd
Nitratos ($\mu\text{mol/l}$)	nd	nd	nd	7.63	nd	nd	nd	11.83	nd	nd	nd	6.95
Amonio ($\mu\text{mol/l}$)	1.31	nd	4.55	nd	1.22	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Clorefila (mg/m^3)	0.47	5.72	13.06	0.79	0.33	2.4	1.03	2.02	2.68	1.77	1.29	0.87
Faeopigmentos (mg/m^3)	0.42	1.96	1.66	1.34	0.26	0.55	nd	2.42	3.59	1.05	0.23	1.47
Profundidad 3 m	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Fosfatos ($\mu\text{mol/l}$)	1.61	0.64	1.21	3.9	2.27	0.69	2.77	9.39	2.45	1.06	5.66	5.83
Silicatos ($\mu\text{mol/l}$)	32.95	22.47	59.59	82.5	118.47	75.57	203.34	116.85	174.2	160.04	228.41	79.44
Nitritos ($\mu\text{mol/l}$)	0.08	nd	nd	nd	nd	0.18	nd	nd	nd	0.07	0.07	nd
Nitratos ($\mu\text{mol/l}$)	0.64	nd	nd	5.55	0.95	nd	nd	1.68	0.79	nd	nd	2.14
Amonio ($\mu\text{mol/l}$)	nd	nd	nd	nd	6.68	nd	nd	6.27	1.42	nd	nd	nd
Clorefila (mg/m^3)	0.4	4.26	8.61	17.64	3.11	7.05	18.53	(-)	2.54	13.1	26.05	(-)
Faeopigmentos (mg/m^3)	0.35	1.58	3.27	9.09	4.12	5.07	20.13	(-)	3.23	9.1	23.89	nd

I: Noviembre 1999; II: Febrero 2000; III: Marzo 2000; IV: Abril 2000. nd = no detectado.

máxima de fosfatos registrada fue de $9.39 \mu\text{mol/l}$ y la mínima de $0.64 \mu\text{mol/l}$, con un promedio de $2.22 \mu\text{mol/l}$ en superficie y $3.12 \mu\text{mol/l}$ a 3 m de profundidad. Estos siguieron una distribución caracterizada por una mayor concentración en la cabecera del estero y menor en la boca, siendo ligeramente superiores en la superficie de la laguna, en los tres puntos de muestreo y para el primer y el segundo período de muestreo. En el tercer período de muestreo esta situación se mantuvo en Pm1 y Pm2, pero en Pm3 se observó un aumento de fosfatos en el fondo respecto a la superficie. En el cuarto período de muestreo se observó un aumento significativo de fosfatos en el fondo, en los tres puntos del muestreo Pm1, Pm2 y Pm3.

En cuanto a los silicatos, el valor máximo registrado fue de $228.41 \mu\text{mol/l}$ y el mínimo de $22.47 \mu\text{mol/l}$, con un promedio de $123.03 \mu\text{mol/l}$ en superficie y $112.82 \mu\text{mol/l}$ a 3 m de profundidad (Cuadro 2). Los valores se mostraron altos en todos los muestreos. Se pudo observar que, tanto en el primero, en el segundo y en el tercer período de muestreo no se

encontró una diferencia entre el valor de la superficie y el fondo. En Pm1 sí hubo una diferencia importante, siendo la presencia de silicatos mayor en la superficie que en el fondo. Sin embargo, en el cuarto período de muestreo el valor del fondo fue superior al valor de la superficie en la boca de la laguna.

Con relación a los nitritos, estos tendieron en término medio a aumentar de la boca de la laguna a la cabecera y de aguas profundas a aguas superficiales, siendo en algunos casos no detectables (Cuadro 2). El valor máximo alcanzado fue de $2.89 \mu\text{mol/l}$ en la superficie de Pm3 durante el primer período de muestreo. Los valores de nitritos en el primer período de muestreo fueron altos en superficie, pero bajos en profundidad. En el resto de períodos de muestreo los valores fueron muy bajos, llegando a ser no detectables por la metodología de análisis empleada en el presente estudio, tanto en el fondo como en la superficie.

La presencia de nitratos no se detectó en el segundo ni el tercer período de muestreo, siendo el valor máximo alcanzado de $11.83 \mu\text{mol/l}$

en la superficie de Pm2 durante el cuarto período de muestreo. En el primer período de muestreo estos aumentaron con la profundidad, siendo no detectables en la superficie. En el cuarto período de muestreo la concentración de nitratos en la superficie y en el fondo aumentó entre seis y once veces en la superficie y entre dos y cinco veces en el fondo respecto los valores detectados en los períodos de muestre anteriores, siendo mayor la cantidad en la superficie que en el fondo (Cuadro 2).

El amonio no fue detectado en prácticamente ninguno de los puntos de muestreo en el segundo, tercero y cuarto período de muestreo. En el primer muestreo se detectaron concentraciones relativamente pequeñas, con un máximo de 6,68 $\mu\text{mol/l}$ (Cuadro 2).

El nivel máximo de clorofila-a fue de 26.05 mg/m^3 y de faeopigmentos de 23.89 mg/m^3 (Cuadro 2). Ambos se registraron durante el tercer período de muestreo a 3 m de profundidad en Pm3. Los niveles de concentración de clorofilas en el primer muestreo se mantuvieron similares tanto en la superficie como en el fondo, siendo los valores de Pm1 y Pm2 menores que los de Pm3. Sin embargo, los niveles de clorofilas para los demás períodos de muestreo no mostraron la estabilidad el primer muestreo. En el segundo muestreo las clorofilas aumentaron en todos los puntos, tanto en la superficie como en el fondo. En Pm1 no existió diferencia entre la profundidad y el fondo, mientras que en Pm2 y Pm3 sí la hubo. En el fondo aumentó considerablemente la concentración de clorofilas. En el tercer período de muestreo se observó un patrón semejante al anterior, pero los valores aumentaron en el fondo en los tres puntos de muestreo y en la superficie del primero. En el cuarto período de muestreo las clorofilas presentaron valores muy superiores en Pm1 y Pm3 en el fondo. En la desembocadura de la laguna para los períodos segundo y tercero se dieron valores relativamente elevados de entre cinco y trece veces superiores a Pm2 y Pm3. Se pudo observar una cierta correlación con el aumento de clorofilas y la disminución de nitrógeno, fenómeno que no sucedió con los

niveles de fosfato y silicato, los cuales se encontraron en abundancia.

Plaguicidas organoclorados y organofosforados: En el Cuadro 3 se presenta la lista de plaguicidas buscados en la laguna de Gandoca durante el segundo período de muestreo y en los tres puntos de muestreo mencionados a 0.1 y 3 m. Ningún plaguicida de la lista fue detectado durante el muestreo. En el Cuadro 4 se recoge el porcentaje de recuperación obtenido para cada una de las muestras de agua analizadas.

DISCUSIÓN

Parámetros físico-químicos: Las ligeras variaciones de temperatura en la laguna se pueden relacionar con las diferencias horarias del muestreo, ya que el promedio del recorrido muestreal fue de aproximadamente 3 horas. La laguna de Gandoca presenta una alta turbidez en el agua, como es característico de los estuarios, los cuales suelen ser turbios debido a la circulación del agua (Acuña *et al.* 1998).

En los cuatro períodos de muestreo se encontró una capa de agua salada en profundidad, capa de agua con una densidad superior cuyo origen sería una capa intrusiva de forma de cuña proveniente del mar, y una capa de agua dulce en la superficie, capa de agua con una densidad inferior proveniente del río Gandoca y otras fuentes de agua continental. En la desembocadura de la laguna (Pm1), sin embargo, los datos de salinidad mostraron que se daba una mezcla, siendo similares los valores de salinidad en fondo y en superficie. En todos los períodos de muestreo la cuña de agua salada se internaba en la laguna y cuya influencia se pudo registrar hasta la cabecera (Pm3), la cual se encontraba a 1.6 km de la desembocadura de la laguna. Sin embargo, esta entrada de agua se vería moderada por la salida de agua continental y estas dos aguas no se mezclaría en su totalidad, sino que se mantendrían separadas en gran parte de la laguna, presentando una circulación de aguas correspondiente al tipo A-B según la clasificación de Dyer (1979) y de Pickard (1990).

CUADRO 3

Plaguicidas analizados en muestras de agua de la laguna de Gandoca, y sus límites de detección y cuantificación

Análisis	Concentración (mg/l)	Límite de detección (mg/l)	Límite de cuantificación (mg/l)
Organoclorados:			
Dieldrin	nd	0.007	0.010
Clorotalonil	nd	0.003	0.005
Endosulfán Alfa y Beta	nd	0.001	0.003
Clorpirifos	nd	0.003	0.006
Triadimefén	nd	0.002	0.004
Imazalil	nd	0.001	0.003
Bifentrina	nd	0.002	0.003
Tetradifón	nd	0.002	0.004
Permetrina	nd	0.002	0.004
Cipemetrina	nd	0.001	0.002
Cihalotrina	nd	7-10 ⁻⁴	0.001
Deltametrina	nd	0.001	0.002
Oxflucifén	nd	0.002	0.004
Organofosforados			
Diclorvos	nd	0.020	0.030
Dimetato	nd	0.020	0.030
Profos	nd	0.006	0.011
Terbufos	nd	0.010	0.020
Diazinón	nd	0.005	0.010
Fenamifos	nd	0.010	0.020
Tiabendazol	nd	0.030	0.060

nd = no detectable.

La mayor relación de fósforo respecto al nitrógeno en todos los períodos de muestreo confirmó la influencia que las aguas continentales tienen en la laguna. La relación N/P fue elevada en la laguna en los cuatro períodos de muestreo. Esta relación se podría deber a dos factores. En primer lugar, el régimen de mareas en el Caribe no es superior a los 30 cm y la influencia de este sobre las formaciones costeras no es tan grande como en la costa Pacífica de Costa Rica, donde las mareas pueden alcanzar los 3 metros de amplitud (Acuña *et al.* 1998). En segundo lugar, se podría pensar que las características morfológicas de la laguna afectan de manera determinante la influencia que el mar tiene sobre la composición de las aguas en ella. Mediante un trabajo realizado en la zona durante 1999-2000 se apreció que la laguna se abría y cerraba al mar mediante una única apertura, mensual o incluso semanalmente,

según la amplitud de la marea, el régimen de lluvias y la dinámica de los sedimentos en la costa y en la playa adyacente (Coll 2000).

Los niveles de concentración de clorofilas (clorofila-a y faeopigmentos) tanto en superficie como en profundidad fueron mayores en Pm3 (el punto muestreado más alejado de la desembocadura y con clara influencia del río) indicando que había producción primaria relacionada con las aguas continentales provenientes del río Gandoca. Además, se detectaron fenómenos de fotoinhibición o de aumento de la concentración de las clorofilas en el fondo de la laguna respecto a la superficie. Esto se dio en los tres últimos períodos de muestreo, donde se dio una alta incidencia de radiación en la laguna. Esto provocaría que las algas de la superficie no realizaran actividad fotosintética, mientras que a cierta profundidad continúen su actividad con normalidad.

CUADRO 4
 Porcentajes de recuperación de plaguicidas para
 las muestras de agua de la laguna de Gandoca
 (en unidades de porcentaje)

Análisis	Porcentaje de recuperación
Diurón	112
Endosulfán Alfa y Beta	94
Clorpirifos	85
Triadimefón	96
Imazalil	80
Bifentrina	76
Permetrina	104
Cipermetrina	102
Cihalotrina	92
Deltametrina	92
Oxifluorén	101
Dimetoato	92
Profos	85
Terbufos	84
Diazinón	84
Fenamifos	91
Thiabendazol	115

Para el estudio de la nutrición de los productores primarios en los ecosistemas marinos se evalúan principalmente las especies iónicas disueltas (silicatos, fosfatos, nitratos, nitritos y amonio), ya que participan en procesos complejos de reciclaje (Parsons *et al.* 1983, Nixon *et al.* 1986, Cowan y Boynton 1996, Harrison *et al.* 1997, Acuña *et al.* 1998). En los estuarios, el drenaje terrestre suele ser la principal fuente de nutrientes y las concentraciones más altas se encuentran normalmente en las cabeceras de los esteros y en las zonas con influencia humana (Acuña *et al.* 1998). En este estudio se detectó en término medio una mayor presencia de silicatos, fosfatos y nitritos en Pm2 y Pm3 tanto en superficie como en profundidad, respecto a la boca de la laguna, con lo que se evidenciaría la influencia de las aguas continentales.

El fosfato es importante en las aguas marinas y también suele ser abundante en las aguas de los ríos (Acuña *et al.* 1998), derivado de procesos naturales de meteorización y de desechos urbanos, agrícolas e industriales. El

fosfato no fue un elemento limitante en la laguna de Gandoca y que éste presentaba valores normales o moderadamente elevados en todos los muestreos. Su patrón de distribución presentó una mayor abundancia en la cabecera del estero y menor en la boca.

Los silicatos disueltos son fundamentales como material constitutivo de estructuras extracelulares de diversos organismos marinos y su concentración se ve controlada por procesos biológicos. El patrón de concentración de este nutrimento en superficie y profundidad en la laguna de Gandoca fue conservativo, no encontrándose diferencias en Pm2 y Pm3. En la boca de la laguna la concentración fue mayor en superficie que profundidad, quizá mostrando una influencia en toda la columna de agua de esta zona por parte de las aguas marinas y una influencia de la morfología de la desembocadura de la laguna.

En cuanto al nitrato, hubo un déficit en superficie y fondo en los tres primeros períodos de muestreo, siendo un nutrimento claramente limitante. Esto podría estar relacionado con una gran actividad biológica o química con respecto al nitrato (Acuña *et al.* 1998). Su distribución en la laguna evidenció un mayor aporte de este elemento por parte de las aguas continentales en el cuarto período de muestreo, ya que su concentración era mayor en superficie respecto a profundidad en todos los puntos de muestreo. Sin embargo, no se pudo establecer una correlación positiva con un posible aporte continental de nitratos, ya que los valores de nitratos cercanos a la desembocadura fueron frecuentemente mayores a los de la cabecera. Esto podría responder a la dinámica natural del ciclo de nutrientes en la laguna, los cuales se estarían acumulando en la parte central, lugar de mayor amplitud y circulación lenta de aguas.

La distribución de los nitritos, otra forma disuelta del nitrógeno que se produce por oxidación del amonio o reducción del nitrato, también podría deberse a un aporte continental o responder a la dinámica natural del ciclo de nutrientes en la laguna. El nutrimento limitante fue el nitrógeno, tanto en forma de nitrato y

nitrato, fenómeno que podría deberse a posibles procesos de desnitrificación, procesos por los cuales se libera nitrógeno gaseoso si el fondo es anóxico y el flujo de agua es lento, como sucede en la laguna de Gandoca. El amonio fue también un nutrimento relativamente bajo.

No se detectó ningún período intenso de eutrofización de las aguas y no existieron fuentes aparentes de contaminación si se comparan los resultados con otros estudios realizados en esteros costarricenses con mayor influencia antrópica (Acuña *et al.* 1998). La fluctuación que se observa en los niveles de los nutrientes respondería a procesos normales y complejos de circulación de los nutrientes de la zona fótica a la zona afótica de la laguna y de interacción con la producción primaria (Lapointe 1997), así como a la influencia periódica de aguas de origen marino.

Plaguicidas organoclorados y organofosforados: La no detección de ninguna de las 20 sustancias organocloradas y organofosforadas analizadas en muestras de agua representa un resultado preliminar positivo, ya que esto significa que no se detectó la contaminación de las aguas de la laguna por sustancias provenientes de las plantaciones agroindustriales de los alrededores en febrero de 2000. Sin embargo, dado el carácter puntual del muestreo realizado en la laguna de Gandoca, se debería complementar el presente estudio durante un período anual para poder asegurar que la laguna de Gandoca no se ve afectada por plaguicidas provenientes de las plantaciones bananeras. La no detección de estas sustancias podría indicar que éstas efectivamente no estaban llegando a la laguna a través del agua de escorrentía del Valle Sixaola. Sin embargo, también podría haber sucedido que estas sustancias sí hubieran llegado a la laguna, pero una vez presentes fueran lavadas por las fuertes lluvias e inundaciones registradas durante la época del muestreo del presente estudio, siendo rápidamente transportadas hacia el mar si el régimen de mareas y la apertura de la laguna lo permitió.

Por las razones expuestas anteriormente, para obtener datos complementarios sobre

contaminación por plaguicidas en las aguas de la laguna de Gandoca sería también recomendable realizar muestreos adicionales distribuidos de manera homogénea en las épocas seca y lluviosa. Esto es importante ya que como se describió anteriormente las aguas de la laguna se ven fuertemente influenciadas por aportes de agua continentales. En segundo lugar, sería interesante realizar análisis químicos en moluscos bivalvos, crustáceos y peces así como de sedimentos de la laguna. Por las características de las sustancias analizadas, las cuales son difíciles de analizar y de detectar por su rápida degradación, sobretodo en el caso de organofosforados, éstas pueden desaparecer rápidamente del medio acuático, pero permanecer en los organismos vivos y protagonizar fenómenos de bioacumulación y de retención en el sustrato (King 1990).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Ana C. Fonseca, del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), su colaboración en el muestreo. A Jenaro Acuña, del CIMAR y de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica, por su asesoramiento durante la investigación. A la comunidad de Gandoca por su ayuda durante los períodos de muestreo. A Marcela Fernández, María de Lourdes Medina, Max Chavarría y Edgardo Tzoc, del Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA), y a Eddy Gómez, Grettel Alfaro, Jairo García, Andrea Pérez y Natalia Padilla, del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), ambos de la Universidad de Costa Rica, por su ayuda en el análisis de las muestras.

RESUMEN

Parámetros físico-químicos fueron determinados en tres puntos de muestreo y a dos profundidades entre noviembre 1999 y abril 2000, en la laguna de Gandoca, Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo, Limón, Costa Rica. Se determinó la temperatura, turbidez,

salinidad, nutrimentos y clorofilas en la laguna. Se detectó una haloclina presente a 3 m de profundidad y se describió una circulación de aguas con fuerte estratificación por haloclina pero con una interfase entre la laguna y el mar de aguas parcialmente mezcladas. No se detectaron procesos de eutrofización. La fluctuación observada en los nutrimentos y clorofilas correspondería a procesos de circulación normales y complejos en la laguna, claramente influenciada por las aguas continentales. Además, durante febrero 2000, se realizó un estudio preliminar para la detección de sustancias organocloradas y organofosforadas en los puntos de muestreo. El análisis de residuos realizado mediante extracción líquido-líquido no detectó la presencia en las aguas de la laguna de ninguna de las veinte sustancias consideradas. La no detección de éstas podría indicar que no están llegando a la laguna a través del agua de escorrentía, o bien que una vez presentes en la laguna han sido lavadas por las fuertes lluvias durante el muestreo.

REFERENCIAS

- Acuña, J.A., V. García & J. Mondragón. 1998. Comparación de algunos aspectos físico-químicos y calidad sanitaria del Estero de Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 1-10.
- Anónimo. 1996. Plan de Manejo para el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo. Vol. I-II-III. Proyecto de fortalecimiento institucional del SINAC (convenio ATN/JF 3917-CR). UCR-ProAmbi/MINA-E, San José, Costa Rica. 360 p.
- Chinchilla, J. 1999. Determinación de residuos de plaguicidas organoclorados y organofosforados en aguas utilizando extracción líquido-líquido (MAR-1/3). Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Documento interno: 6 p.
- Coll, M. 2000. Evaluación ambiental del manglar de la laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica: Situación actual y retos de futuro para una gestión integrada. Tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- Coll, M., A.C. Fonseca & J. Cortés. 2001. El manglar y otras asociaciones vegetales de la laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 321-329.
- Cortés, J. 1991. Ambientes y organismos marinos del Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo, Limón, Costa Rica. *Geoistmo* 5: 62-68.
- Cowan, J.L.W. & W.R. Boynton. 1996. Sediment-water oxygen and nutrient exchange along the longitudinal axis of Chesapeake Bay: Seasonal patterns, controlling factors and ecological significance. *Estuaries* 19: 562-580.
- Dyer, K.R. 1979. Estuaries and estuarine sedimentation. p. 1-18. *In* K.R. Dyer (ed). *Estuarine Hydrography and Sedimentation: A Handbook*. Cambridge Univ., Cambridge.
- Harrison, P.J., N. Khan, K. Yin, M. Saleem, N. Bano, M. Nisa, S.I. Ahmed, N. Rizvi & F. Azm. 1997. Nutrient and phytoplankton dynamics in two mangrove tidal creeks of the Indus River delta, Pakistan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 157: 13-19.
- HHS. 1994. *Pesticide Analytical Manual: Methods Which Detect Multiple Residues*. 3rd edit. Food and Drug Administration, Dept. Health Human Services, Washington. 2 Vol.
- King, R. 1999. Rapid Assessment of Marine Pollution (RAMP). Biological Techniques. Costa Rica Workshop. Plymouth Environ. Res. Centre, Univ. Plymouth, United Kingdom. 45 p.
- Lapointe, B.E. 1997. Nutrient thresholds for bottom-up control of macroalgal blooms on coral reefs in Jamaica and Southeast Florida. *Limnol. Oceanogr.* 42: 1119-1131.
- Nixon, S.W., C.A. Oviatt, J. Frithsen & B. Sullivan. 1986. Nutrients and the productivity of estuarine and coastal marine ecosystems. *J. Limnol. Soc. Sth. Afr.* 12: 43-71.
- Parsons, T., M. Takahashi & B. Hargrave. 1983. *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon, Oxford. 330 p.
- Pickard, G.L. 1990. *Descriptive Physical Oceanography: An Introduction*. Pergamon, Oxford. 320 p.
- Simmonds, N.W. 1973. *Los plátanos. Técnicas agrícolas y producciones tropicales*. Ed. Blume, Barcelona. 175 p.
- Soto, M. 1985. *Banano: cultivo y comercialización*. Ed. Lil, S.A. San José, Costa Rica. 355 p.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. *Fish. Bull.* 167: 1-310.