

Caracterización físico-química de dos estuarios en la bahía de Golfito, Golfo Dulce, Pacífico de Costa Rica

Ana Margarita Silva^{1,2} & Jenaro Acuña-González^{1,3}

1 Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica.

2 Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica; msilva@biologia.ucr.ac.cr

3 Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica; jacuna@racsa.co.cr

Recibido 10-II-2006. Corregido 09-III-2006. Aceptado 30-III-2006.

Abstract: Physico-chemical characterization of two mangrove estuaries of Golfito bay, Pacific coast of Costa Rica. The temporal and spatial distributions of salinity, temperature, dissolved oxygen, Secchi disk depth, suspended matter, dissolved inorganic nutrients and chlorophyll *a*, were determined in two mangrove estuaries at Golfito Bay, Golfo Dulce, Pacific coast of Costa Rica. Sampling was performed monthly at high tides in a total of eleven cruises, from February to December 1998, at 12 sampling stations. Salinity profiles showed these are vertically mixed or well mixed estuaries, with no anoxic conditions, although two stations were found with low dissolved oxygen saturation of 13.6% and 49.5%, respectively. Silicate was the nutrient always present in the estuarine waters in concentrations ranging from 12.7 to 739.5 $\mu\text{mol/L}$ in the dry season, and from 6.82 to 979.9 $\mu\text{mol/L}$ in the rainy season. Nitrite showed values ranging from not detected (nd) to 1.05 $\mu\text{mol/L}$. Nitrate had values from 0.55 to 17.69 $\mu\text{mol/L}$ in the dry season and from nd to 62.9 $\mu\text{mol/L}$ in the rainy season. Phosphate was between nd to 4.86 $\mu\text{mol/L}$ in the dry season, and from nd to 6.67 $\mu\text{mol/L}$ in the rainy season. River station nutrient concentrations were higher than in stations at the estuary along the mangrove forest. For example, nitrate: during the dry season the highest concentration at the river station from Purruja estuary was 17.7 $\mu\text{mol/L}$; at the middle estuary 7.06 $\mu\text{mol/L}$ and at the marine station 4.79 $\mu\text{mol/L}$. During the rainy season the values were 62.90 $\mu\text{mol/L}$, 7.06 $\mu\text{mol/L}$ and 4.79 $\mu\text{mol/L}$, respectively. Chlorophyll *a* exhibited higher concentrations during the dry season in a distribution from nd to 7.19 mg/m^3 . In general, the main estuaries in this tropical mangrove forest do not suffer from significantly polluted water discharges, except for two sites that received waters from a pigsty, a tannery and sewage. Rev. Biol. Trop. 54 (Suppl. 1): 241-256. Epub 2006 Sept. 30.

Key words: tropical estuaries, nutrients, dissolved oxygen, chlorophyll *a*, suspended matter, mangrove, Golfo Dulce, Costa Rica.

La bahía de Golfito está ubicada en la margen este del Golfo Dulce, un estuario de unos 45 km de longitud, localizado en la costa Pacífica Sur de Costa Rica (Fig. 1). Este golfo ha sido caracterizado como uno de los pocos fiordos tropicales del mundo (Hebbeln *et al.* 1996, Thamdrup *et al.* 1996), y desde 1970 ha sido investigado esporádicamente desde el punto de vista oceanográfico (Richards *et al.* 1971, Cortés 1992, Sponberg y Davis 1998, Silva y Bonilla 2001, Dalsgaard *et al.* 2003, Acuña-González *et al.* 2006b, Ferdelman *et al.* 2006, García *et al.* 2006, Quesada-Alpízar

y Cortés 2006, Quesada-Alpízar y Morales-Ramírez 2006). Entre diciembre de 1993 y febrero de 1994, se realizó una exhaustiva evaluación multidisciplinaria sobre las áreas costeras del Pacífico de Costa Rica, organizada por el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica (UCR), y el Centro para la Ecología Tropical Marina (ZMT) de Alemania, con el propósito de establecer la base científica necesaria para ayudar a definir estrategias para su conservación y manejo sostenible (Vargas y Wolf 1996). En el 2003 se verificó de manera

pionera que en la zona anóxica del Golfo Dulce ocurre la reacción de *anammox*, mediante la cual se justifica un significativo sumidero de nitrógeno oceánico (Dalsgaard *et al.* 2003, Acuña-González *et al.* 2006a).

De tiempos más recientes, el proyecto Contaminación Costera en Costa Rica que se ejecutó en el CIMAR, incorporó la bahía de Golfito (Acuña-González *et al.* 2004, García-Céspedes *et al.* 2004, Spongberg 2004). Esta bahía constituye un sistema estuarino que, morfológicamente, corresponde al tipo de barra, de acuerdo con la clasificación fisiográfica de Fairbridge (1980); está bordeada por una cadena montañosa, que se eleva casi en forma perpendicular a la línea de la costa; termina abruptamente hacia el sur y se expande en un bosque de manglar, en el que se encuentran los esteros de los ríos Purruja y Golfito. Con el objetivo de proporcionar información básica, que sirva de apoyo en el desarrollo futuro de un plan de manejo que considere y destaque la importancia de preservar el manglar de este ecosistema costero, se llevó a cabo un estudio pionero sobre el ambiente físico y químico de sus dos estuarios principales: el Estero de Purruja y el Estero Mayor. Durante este estudio se obtuvieron datos inéditos sobre los patrones temporales y espaciales de varios parámetros físico-químicos, típicos de ambos esteros y en el presente artículo se comunican, se examinan y se comparan esos datos, a la vez que se relacionan con los informados para otras regiones de Costa Rica y del mundo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio: En la ribera sureste del Golfo Dulce, costa Pacífica de Costa Rica, se encuentra el bosque de manglar de Purruja, en la parte central y sur de la bahía de Golfito, a una distancia de unos 7 km al este de la ciudad de Golfito (Fig. 1). El manglar posee un área aproximada de 70 ha, una línea de costa cercana a 1 km, parches de árboles de 5 a 10 m de altura, cuya especie dominante es *Rhizophora mangle*, y en las partes internas, formando un continuo, las especies *Rhizophora racemosa* y

Avicennia germinans. En esta región del Golfo Dulce, meteorológicamente se dan tres épocas al año: la seca, de febrero a abril, la lluviosa, de mayo a diciembre, que supera en ocasiones precipitaciones anuales de 6 800 mm (Umaña 1998) y, por lo general, enero es un mes de transición. En los alrededores del manglar se han establecido varios caseríos, en los cuales no existe una adecuada eliminación de las aguas servidas, ni de los desechos sólidos. Además de una compleja red de canales, hay dos esteros principales, uno pequeño designado en este trabajo como Estero de Purruja, y que corresponde al curso del río Purruja en el extremo oeste del manglar, y otro más extenso al sur del Estero de Purruja, denominado aquí Estero Mayor, conformado por el río Golfito, el riachuelo La Alcantarilla, y otros pequeños afluentes (Fig. 1). Para los fines de esta investigación, se recurrió a subdividir los ejes longitudinales de los esteros en tres sectores: fluvial, medio y marino, según la propuesta de Fairbridge (1980) y en cada uno de ellos se distribuyeron estaciones de muestreo según se indica en la Fig. 1. Se incluyó un patrón de muestreo en dos lugares más, denominados el sitio 5 y la estación 20, localizados en el riachuelo La Alcantarilla que desemboca en el sector medio del Estero Mayor (Fig. 1). La onda de marea tiene una altura máxima alrededor de los 3 m, y la profundidad de las estaciones de muestreo en los esteros estuvo entre los 2 m y 3 m.

Recolección de muestras y mediciones *in situ*: El período de estudio comprendió once campañas, de febrero a diciembre de 1998. Una vez al mes se procuró hacer las siguientes mediciones *in situ* en marea alta: salinidad (unidades prácticas de salinidad, ups, UNESCO (1981)), con un refractómetro óptico Modelo RHS-10ATC, calibrado con agua de mar estándar; temperatura (°C), con el sensor de un equipo YSI Modelo 55; oxígeno disuelto (mg/L), con un medidor YSI Modelo 55; transparencia del agua, expresada como la profundidad de la penetración de la luz en la columna de agua (m), medida con un disco de Secchi atado a una

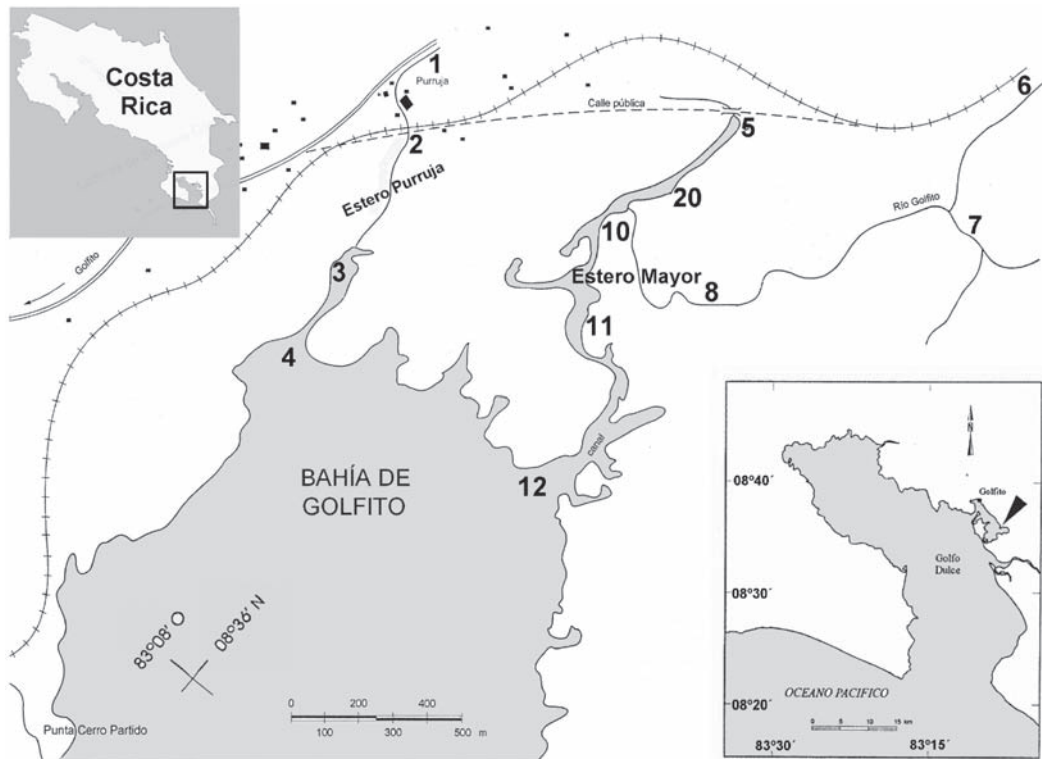


Fig. 1. Localización de los sitios de muestreo en el estero de Purruja (Estaciones 1, 2, 3, 4) y en el estero Mayor (estaciones 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 20), en la Bahía de Golfito, Golfo Dulce, Pacífico de Costa Rica.

cuerda con marcaciones cada 10 cm. Los datos obtenidos para la concentración de oxígeno disuelto fueron transformados en porcentajes de saturación (PSO), por medio de la ecuación de Weiss (Riley y Skirrow 1975). Durante el lapso de las mediciones *in situ*, se tomaron muestras de agua con una botella de Niskin de 2 L, para llevar a cabo la determinación de la concentración de los materiales en suspensión, los nutrientes y la clorofila *a*. El agua se transfirió a diferentes botellas plásticas opacas, color ámbar, etiquetadas, y se trasladaron refrigeradas al laboratorio de la UCR en Golfito. Cuando las condiciones de profundidad lo permitieron, se recolectaron, además, algunas muestras de agua del fondo para definir el tipo de estratificación salina prevaleciente.

Análisis de las muestras de agua: Para determinar la cantidad de sedimentos suspendidos en el agua (mg/L), se filtraron las muestras

a través de filtros G/F C secos y prepesados; luego se colocaron en un horno a 70 °C por 24 h o hasta alcanzar masa constante. Los nutrientes: nitrato, nitrito, amonio, fosfato y silicato ($\mu\text{mol/L}$), se determinaron según la metodología descrita en Strickland y Parsons (1972), modificada para volúmenes de 10 mL. Se empleó el método de diagramas de mezcla (Liss 1976, Dyrssen y Wedborg 1980), en el análisis de los datos sobre la distribución de las concentraciones de nutrientes, el cual consiste en correlacionar la salinidad con la concentración del analito en estudio. Se establece así la condición de “no conservativa” para la sustancia química, cuando su concentración medida en el laboratorio difiere de la concentración calculada a partir de la ecuación de la recta de ajuste entre los valores extremos de salinidad: cero en el río y el valor de la salinidad en el sector marino. El requisito es que esta diferencia sea superior o inferior al 10% del valor teórico

o calculado, obtenido de la línea teórica de dilución (LTD), o sea, la recta de ajuste. Por la limitación de espacio, los diagramas de mezcla que se prepararon (más de 100), no se incluyen en este artículo, con la excepción de los mostrados en las Figs. 2 - 6. La determinación de clorofila *a* (mg/m^3), se llevó a cabo mediante la filtración de las muestras a través de un tamiz ASTM de $60\ \mu\text{m}$ y filtros G/F C, para retener el material a analizar y se trasladaron almacenados en hielo a los laboratorios donde se aplicó la metodología descrita en Strickland y Parsons (1972) y se utilizó la ecuación de SCOR/UNESCO (Strickland y Parsons 1972) para el cálculo de la concentración de los pigmentos.

Estadística: Se aplicó la estadística básica con promedios, medianas, modas, desviaciones estándares, límites de detección, límites de cuantificación, y los métodos no paramétricos basados en el contraste U de Mann-Whitney (Conover 1971, Miller y Miller 2002), y el coeficiente de correlación ordinal de Spearman (Miller y Miller 2002).

RESULTADOS

Salinidad: La salinidad del agua fue cero en las estaciones localizadas en los sectores fluviales de ambos esteros. En los sectores marinos del Estero de Purruja y del Estero Mayor (Fig. 1), la capa superficial presentó los valores más altos durante los meses de la época seca: 33 y 34 ups, respectivamente; mientras que en junio (época lluviosa), la salinidad descendió a 22 ups en el sector del Estero de Purruja y a 25 ups en del Estero Mayor. Los valores más bajos de salinidad en estos sectores marinos, se obtuvieron en el muestreo efectuado en el mes de diciembre: 12 ups en el Estero de Purruja y 19 ups en el Estero Mayor, lo cual coincidió con un período de lluvias más intensas. Tomando como referencia los valores de salinidad de los sectores fluviales y marinos, en los sectores medios de ambos esteros se detectó una variación horizontal de salinidad (el gradiente

típico de los estuarios), como consecuencia de la mezcla de agua de mar y el agua del río (Cuadros 1 y 2). Se encontró que la columna de agua estaba bien mezclada, pues no hubo diferencias en los valores de salinidad de la superficie con respecto a los del fondo.

Temperatura: El ámbito anual de la temperatura de las aguas superficiales de los dos esteros del manglar de Purruja, fue de $24.8\ ^\circ\text{C}$ a $32.6\ ^\circ\text{C}$. Los Cuadros 1 y 2, acogen los ámbitos y los promedios de la temperatura, desglosados según la época seca y la lluviosa. De manera similar al caso de la salinidad, la columna de agua estuvo uniforme en cuanto a la distribución vertical de temperatura, pues no se detectaron variaciones entre las magnitudes medidas en la superficie con respecto a las del fondo.

Oxígeno disuelto: Para el Estero de Purruja, quedó de manifiesto la existencia de una situación especial entre los PSO de dos localidades vecinas, la estación 1 y la estación 2: en la época seca hubo una diferencia significativa al nivel de 95% de confianza (ámbitos de 64.6% a 107.6% y de 13.6% a 47.4%, respectivamente), mientras que en la época lluviosa no hubo tal diferencia entre ellos, ocasión en que los valores del PSO en ambos sitios fueron superiores al 99.0%. Para los sitios de muestreo del sector fluvial (6 y 7) del Estero Mayor, se obtuvo una diferencia significativa al nivel de confianza del 95%, al cotejar los promedios y sus respectivas desviaciones estándares, tanto en la época seca como en la lluviosa. En la época seca, en la estación 6 el ámbito del PSO estuvo entre 61.3% y 92.5%, y fue menor en la estación 7: 44.6% a 59.7%. En la época lluviosa, el ámbito del PSO estuvo entre 89.9% y 107.0% en la estación 6, y de nuevo fue menor en la estación 7: 75.2% a 89.3%; sin embargo, estas tendencias no fueron tan pronunciadas como las indicadas para el Estero de Purruja, en el que se observó una mayor actividad humana en los alrededores de los sectores fluviales. No se encontraron condiciones de anoxia durante todo el estudio (Cuadros 1 y 2) en ninguno de las estaciones de muestreo.

CUADRO 1

Distribución de varios parámetros físico-químicos en los tres sectores principales del Estuario de Purruja, en el manglar de Purruja, Golfito, Costa Rica, año 1998

Parámetro / Época		Fluvial	Medio	Marino
Salinidad, (ups):				
ES	Ámbito:	0	32 – 34	33
	Prom. ± desv. est.:	0 ± 0	33 ± 1	33 ± 0
ELL	Ámbito:	0	12 – 33	19 – 34
	Prom. ± desv. est.:	0 ± 0	24.4 ± 6.0	25.6 ± 4.7
Temperatura, (°C):				
ES	Ámbito:	29.0 – 34.0	31.0 – 32.0	31.0 – 33.0
	Prom. ± desv. est.:	30.3 ± 3.2	31.7 ± 0.6	32.3 ± 1.2
ELL	Ámbito:	25.0 – 29.0	26.0 – 32.0	27.0 – 33.0
	Prom. ± desv. est.:	26.1 ± 1.4	29.4 ± 2.1	29.9 ± 2.1
Oxígeno disuelto, (% saturación):				
ES	Ámbito:	13.6 – 108.6	57.7 – 114.3	94.9 – 112.3
	Prom. ± desv. est.:	61.7 ± 39.8	82.8 ± 28.8	101.3 ± 9.6
ELL	Ámbito:	20.8 – 120.3	85.4 – 127.6	98.3 – 125.3
	Prom. ± desv. est.:	100.0 ± 24.4	106.5 ± 13.6	108.8 ± 8.4
Materiales en suspensión, (mg/L):				
ES	Ámbito:	nsm*	25.0 – 32.0	25.0 – 27.0
	Prom. ± desv. est.:		28.3 ± 3.5	25.7 ± 1.2
ELL	Ámbito:	nsm*	17.0 – 47.0	25.0 – 40.0
	Prom. ± desv. est.:		29.9 ± 10.0	33.1 ± 5.1
Profundidad del disco Secchi, (cm):				
ES	Ámbito:	F*	50	100 – 125
	Prom. ± desv. est.:	F	50 ± 0	113 ± 18
ELL	Ámbito:	F	75 – 175	50 – 200
	Prom. ± desv. est.:	F	101 ± 37	108 ± 49

F*: La profundidad típica en los sectores fluviales fue de 30 cm y el disco de Secchi llegó hasta el fondo. nsm* = no se midió. ES = Época seca; ELL: Época lluviosa; ups = unidades prácticas de salinidad.

Materiales en suspensión: Durante los muestreos efectuados en la época seca y en la época lluviosa en el Estero de Purruja, no hubo diferencia significativa al nivel de confianza del 95% entre los valores promedio, ni las medianas, de la concentración de los materiales en suspensión (CMS), determinados en los sectores medio y marino (Cuadro 1). La mediana para todas las mediciones fue 28.0

mg/L, dentro de un recorrido de 30.0 mg/L. Las CMS en el agua del Estero Mayor, en la época seca, se enmarcaron dentro del ámbito de 0.60 y 41.0 mg/L, y en la época lluviosa entre 2.00 mg/L y 96.0 mg/L. Tanto en la época seca como en la lluviosa, hubo diferencias significativas al nivel de confianza del 95%, en las concentraciones promedio de cada uno de los sectores que conforman el estuario (Cuadro 2).

CUADRO 2
Distribución de varios parámetros físico-químicos en los tres sectores principales del Estuario Mayor, en el manglar de Purruja, Golfito, Costa Rica, año 1998

Parámetro / Época		Fluvial	Medio	Marino
Salinidad, (ups):				
ES	Ámbito:	0	29 – 33	33
	Prom. ± desv. est.:	0 ± 0	31.6 ± 1.3	33 ± 0
ELL	Ámbito:	0	2 – 32	10 – 33
	Prom. ± desv. est.:	0 ± 0	21.7 ± 7.6	25.6 ± 7.0
Temperatura, (°C):				
ES	Ámbito:	27.0 – 29.0	29.0 – 33.0	31.0 – 33.0
	Prom. ± desv. est.:	28.3 ± 1.2	31.3 ± 1.4	32.3 ± 1.2
ELL	Ámbito:	23.0 – 27.0	24.0 – 32.0	27.0 – 31.0
	Prom. ± desv. est.:	25.5 ± 1.2	28.7 ± 2.1	29.4 ± 1.6
Oxígeno disuelto, (% saturación):				
ES	Ámbito:	44.6 – 92.5	60.0 – 125.8	90.6 – 123.3
	Prom. ± desv. est.:	61.1 ± 19.8	82.4 ± 27.0	105.4 ± 16.6
ELL	Ámbito:	59.7 – 107.0	73.8 – 129.1	96.6 – 118.1
	Prom. ± desv. est.:	88.3 ± 12.3	95.0 ± 14.4	109.8 ± 7.6
Materiales en suspensión, (mg/L):				
ES	Ámbito:	0.60 – 1.50	23.0 – 41.0	16.0 – 24.0
	Prom. ± desv. est.:	1.17 ± 0.49	27.8 ± 6.6	19.7 ± 4.0
	Mediana:	1.40	26.0	19.0
ELL	Ámbito:	1.00 – 47.0	23.0 – 96.0	10.0 – 96.0
	Prom. ± desv. est.:	11.7 ± 14.8	37.5 ± 20.4	32.1 ± 27.6
	Mediana:	8.50	35.0	22.0
Profundidad del disco Secchi, (m):				
ES	Ámbito:	F*	90 – 150	125 – 150
	Prom. ± desv. est.:	F	122 ± 32	138 ± 18
ELL	Ámbito:	F	50 – 250	75 – 200
	Prom. ± desv. est.:	F	99 ± 49	131 ± 46

F*: La profundidad típica en los sectores fluviales fue de 30 cm y el disco de Secchi llegó hasta el fondo.
 ES = Época seca; ELL: Época lluviosa; ups = unidades prácticas de salinidad.

Transparencia del agua: En el manglar de Purruja, el medidor de la transparencia del agua (el disco de Secchi), alcanzó una profundidad máxima de 2.0 m en las bocas de ambos esteros, mientras que en las partes internas de los esteros la turbidez del agua fue mayor,

observándose el disco hasta una profundidad máxima de 0.5 m (Cuadros 1 y 2).

Nutrientos: La concentración de los diferentes nutrientes en los dos estuarios del manglar de Purruja, varió temporal y espacialmente.

El nitrato fue la forma dominante entre las especies de nitrógeno determinadas, dado que el nitrito y el amonio no fueron detectados en la mayoría de las muestras. Las tendencias generales que predominaron se pueden resumir en dos: a) las concentraciones de nutrientes fueron más altas en los sectores fluviales (estaciones 1, 2, 6 y 7); en los sectores medios (estaciones 3, 5, 8, 10, 11 y 20), variaron sin seguir un patrón definido, aunque la moda fue un incremento en la magnitud de la concentración, y fueron consistentemente más bajas en los sectores marinos (estaciones 4 y 12), y b) durante la época seca las magnitudes de las concentraciones promedio de los nutrientes fueron mayores que las de la época lluviosa, en cada uno de los sectores de los estuarios (Cuadros 3 y 4).

Estero de Purruja

Nitrato: El análisis de los diagramas de mezcla para los datos del estero de Purruja, reveló que la situación típica de las concentraciones de nitrato, durante la época seca, fue la de un importante incremento en las concentraciones en el sector medio, superior al 10% calculado de la LTD. Esto pudo ser parcialmente atribuido a que las aguas de escorrentía de otros canales y afluentes del río, constituyeron una fuente de este nutriente para el estuario y al aporte antropogénico. No obstante, en mayo las concentraciones se ajustaron a la LTD; hubo un aumento en junio, y en julio se determinó un déficit del 100% (Fig. 2), que además coincidió con una reducción en la concentración de fosfato (Fig. 3) en el mismo sitio (estación 3), luego de un aumento de cerca del 44% en la segunda estación del sector fluvial (estación 2). En agosto la relación fue positiva al determinarse un fuerte aumento en la concentración de nitrato en el sector medio, superior al 100% de la concentración calculada según la LTD (Fig. 4), que luego se niveló a la LTD en los siguientes tres meses, y concluyó en diciembre con un déficit o relación negativa de más del 10%.

Nitrato: El estudio contempló 44 determinaciones por triplicado para el análisis de

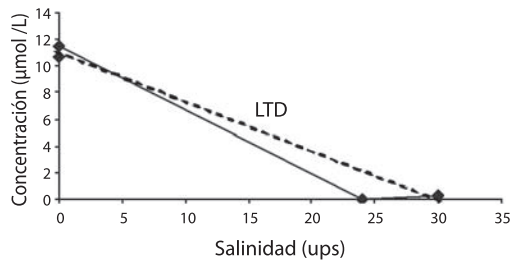


Fig. 2. Diagrama de mezcla para la concentración de nitrato en el mes de julio de 1998, en el Estero de Purruja, Bahía de Golfito, Costa Rica. LTD: Línea teórica de dilución.

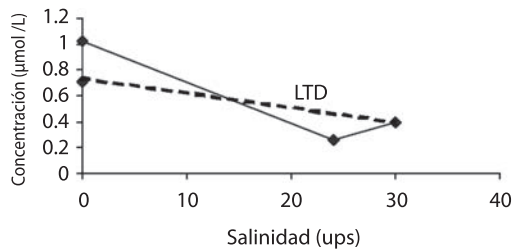


Fig. 3. Diagrama de mezcla para la concentración de fosfato en el mes de julio de 1998, en el Estero de Purruja, Bahía de Golfito, Costa Rica. LTD: Línea teórica de dilución.

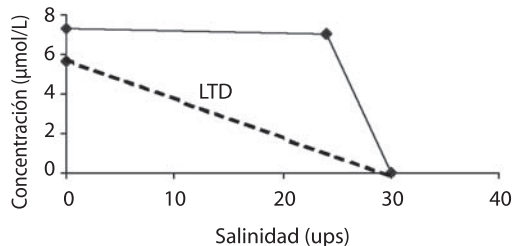


Fig. 4. Diagrama de mezcla para la concentración de nitrato en el mes de agosto de 1998, en el Estero de Purruja, Bahía de Golfito, Costa Rica. LTD: Línea teórica de dilución.

nitrito, de las cuales solo 11 proporcionaron datos diferentes de cero o sobre el límite de detección de la técnica. Estos 11 valores se distribuyeron de manera que los más altos correspondieron a la época seca, con una mediana de 0.64 µmol/L; 0.56 µmol/L fue la mediana para los de la época lluviosa y 0.56 µmol/L la mediana para el grupo de datos.

Amonio: El ion amonio fue detectado únicamente en una ocasión, en el mes de mayo y

CUADRO 3

Concentraciones de nutrimentos ($\mu\text{mol/L}$), expresadas en ámbitos y promedios \pm desviación estándar, durante los muestreos mensuales efectuados en la marea alta en la época seca (ES) y en la época lluviosa (ELL) del año 1998, en los tres sectores principales del Estero de Purruja, en el manglar de Purruja, Golfito, Costa Rica

Nutrimento/Época		Fluvial	Medio	Marino
Nitrito:				
ES	Ámbito:	1.37 – 17.7	0.96 – 14.90	0.62 – 13.89
	Prom. \pm desv. est.:	7.0 \pm 7.0	5.7 \pm 8.0	5.1 \pm 7.6
ELL	Ámbito:	3.26 – 62.90	nd – 7.06	nd – 4.74
	Prom. \pm desv. est.:	14.0 \pm 14.6	1.9 \pm 3.0	1.1 \pm 1.9
Nitrito:				
ES	Ámbito:	nd – 1.05	nd	nd
	Prom. \pm desv. est.:	0.21 \pm 0.42	nd	nd
ELL	Ámbito:	nd – 3.04	nd – 0.81	nd – 0.84
	Prom. \pm desv. est.:	0.32 \pm 0.42	0.10 \pm 0.29	0.13 \pm 0.30
Fosfato:				
ES	Ámbito:	1.65 – 4.86	0.61 – 0.72	0.06 – 0.72
	Prom. \pm desv. est.:	3.5 \pm 1.4	0.65 \pm 0.06	0.28 \pm 0.38
ELL	Ámbito:	nd – 6.67	nd - 0.57	nd – 0.86
	Prom. \pm desv. est.:	1.0 \pm 2.0	0.10 \pm 0.21	0.16 \pm 0.32
Silicato:				
ES	Ámbito:	208.8 – 739.5	44.8 – 87.8	12.7 – 68.0
	Prom. \pm desv. est.:	436 \pm 173	61.6 \pm 23.0	35.0 \pm 29.2
ELL	Ámbito:	43.2 – 886.1	29.1 – 979.9	6.82 – 133.4
	Prom. \pm desv. est.:	310 \pm 228	178 \pm 325	62.0 \pm 42.6

nd = no detectado.

en la estación 2, con una concentración alta de 13.6 $\mu\text{mol/L}$. Sin embargo, siempre se presentaron dificultades analíticas con esta técnica, que pudieron deberse a la existencia de alguna falla inherente a la metodología específica para la determinación de este catión, la cual ha sido experimentada tanto en nuestros laboratorios (Quiel 2003), como en otros estudios (Chaves y Birkicht 1996), o a que en realidad el amonio estaba ausente o en concentraciones muy bajas, no detectables por el método.

Fosfato: Los diagramas de mezcla para el fosfato presentaron una típica dilución en los meses de febrero y mayo, un incremento

en el sector medio en los meses de marzo y abril, y cambió a un déficit en junio y en julio. A partir del mes de agosto, ya el fosfato no fue detectado. En el sector fluvial, durante la época seca, al pasar de la estación 1 al sitio 2, se notó un incremento en la concentración de fosfato. Esta diferencia fue significativa ($p = 0.05$), únicamente en la época seca, según la prueba de U de Mann-Whitney (Conover 1974, Miller y Miller 2002). Esta misma prueba estadística indicó que en la época seca las diferencias entre las concentraciones de fosfato del sector fluvial y del sector medio, fueron diferentes ($p = 0.05$), al igual que entre las del sector medio y las del sector marino.

CUADRO 4

Concentraciones de nutrimentos ($\mu\text{mol/L}$), expresadas en ámbitos y promedios \pm desviación estándar, durante los muestreos mensuales efectuados en la marea alta en la época seca (ES) y en la época lluviosa (ELL) del año 1998, en los tres sectores del Estero Mayor, manglar de Purruja, Golfo Dulce, Costa Rica

Nutrimento/Época		Fluvial	Medio	Marino
Nitrito:				
ES	Ámbito:	2.41 – 17.69	0.55 – 14.91	0.69 – 13.52
	Prom. \pm desv. est.:	8.5 \pm 6.7	6.1 \pm 6.4	5.1 \pm 7.3
ELL	Ámbito:	2.52 – 24.27	nd – 10.68	nd – 3.10
	Prom. \pm desv. est.:	8.4 \pm 6.0	2.2 \pm 2.8	0.54 \pm 1.04
Nitrito:				
ES	Ámbito:	nd – 0.21	nd	nd – 0.24
	Prom. \pm desv. est.:	0.07 \pm 0.10	0 \pm 0	0.15 \pm 0.13
ELL	Ámbito:	nd – 0.82	nd – 0.88	nd – 0.88
	Prom. \pm desv. est.:	0.12 \pm 0.28	0.12 \pm 0.28	0.17 \pm 0.31
Fosfato:				
ES	Ámbito:	1.78 – 2.51	nd – 2.15	0.30 – 0.72
	Prom. \pm desv. est.:	1.95 \pm 0.28	0.68 \pm 0.53	0.44 \pm 0.24
ELL	Ámbito:	nd – 5.14	nd – 3.60	nd – 0.86
	Prom. \pm desv. est.:	0.88 \pm 1.58	0.29 \pm 0.65	0.14 \pm 0.31
Silicato:				
ES	Ámbito:	460.0 – 637.7	30.5 – 112.7	15.6 – 45.7
	Prom. \pm desv. est.:	582.8 \pm 64.1	55.6 \pm 22.9	25.8 \pm 17.2
ELL	Ámbito:	19.88 – 656.1	25.38 – 242.0	10.0 – 110.4
	Prom. \pm desv. est.:	291 \pm 164	114.4 \pm 66.2	47.6 \pm 33.0

nd = no detectado.

Silicato: Los diagramas de mezcla mostraron un incremento en su concentración en los sectores medios, entre los meses de febrero y julio, y un déficit para el resto del año; de hecho, el silicato estuvo presente en todas las ocasiones en que se tomaron muestras de agua, a diferencia del fosfato, el nitrito y el amonio.

Estero Mayor

Nitrato: Los diagramas de mezcla para las concentraciones de nitrato en el Estero Mayor, indicaron una condición de déficit en el sector medio, en muchas de las ocasiones a lo largo del año. Las relaciones positivas o de incremento en el sector medio, ocurrieron

en febrero, abril y septiembre. En julio, el diagrama de mezcla (Fig. 5), reveló un pequeño déficit de nitrato al inicio del sector medio (estaciones 8 y 10) y luego un fuerte aumento en la estación 11, localizada en la zona central de ese sector.

Nitrito: De las 66 determinaciones por triplicado para el análisis de nitrito, que se llevaron a cabo en las muestras de agua del Estero Mayor, sólo el 22.7% proporcionó datos diferentes de cero o sobre el límite de detección de la técnica. La tendencia general de la distribución de estas concentraciones fue que en la época seca los promedios en el sector fluvial y en el sector medio resultaron similares,

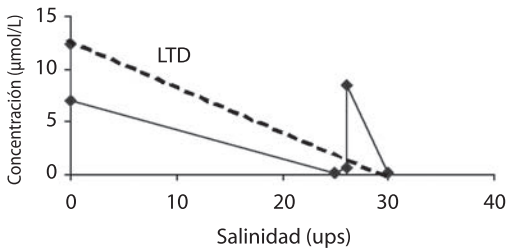


Fig. 5. Diagrama de mezcla para la concentración de nitrato en el mes de julio de 1998, en el Estero Mayor, Bahía de Golfito, Costa Rica. LTD: Línea teórica de dilución.

y en el sector marino no se detectó nitrito. En la época lluviosa, el patrón de distribución fue similar en los tres sectores, aunque en el 77.1% de las mediciones, no se detectó nitrito.

Amonio: El ion amonio no fue detectado en ninguna de las muestras de agua del Estero Mayor.

Fosfato: Los diagramas de mezcla de fosfato, para el Estero Mayor, revelaron que en la época seca ocurrió un aumento en el sector medio del estero, al igual que en la primera etapa de la época lluviosa en mayo y en julio. En este último mes, el aumento en el sector medio a la altura de la estación 10, fue de un 33.8%, de acuerdo con la LTD (Fig. 6). En junio se observó un déficit en el sector estuarino, pero cambió a un incremento hacia el sector marino. Durante el resto del año, a partir de agosto, no se detectó fosfato en ninguno de los sitios de muestreo del Estero Mayor. En el sector fluvial del Estero Mayor, tanto en la época seca como en la lluviosa, las concentraciones de fosfato en la estación 6 fueron significativamente mayores que las de la estación 7, según la prueba estadística de U de Mann-Whitney (Conover 1971, Miller y Miller 2002). En los diagramas de mezcla se utilizó como punto de partida de la LTD a la estación 6 (Fig. 5 y 6).

Silicato: El silicato presentó un aumento del 37% en la concentración durante la época seca, luego un patrón de déficit hacia la estación 10, ligado a un incremento en la estación 11 durante junio, julio y agosto. En el resto de

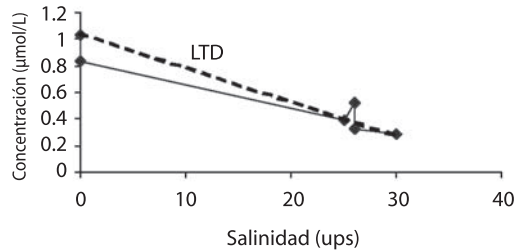


Fig. 6. Diagrama de mezcla para la concentración de fosfato en el mes de julio de 1998, en el Estero Mayor, Bahía de Golfito, Costa Rica. LTD: Línea teórica de dilución.

los meses de la época lluviosa, de septiembre a diciembre, se dio un incremento en la concentración de silicato en el sector medio.

Clorofila a: Se estudió la variación estacional de la concentración de clorofila *a* en el Estero Mayor. Los valores fueron significativamente más altos en la época seca (promedio y desviación estándar de $3.9 \pm 1.7 \text{ mg/m}^3$), que en la época lluviosa (promedio $1.7 \pm 0.8 \text{ mg/m}^3$). La concentración más alta ocurrió en el mes de mayo (7.9 mg/m^3) en el sector medio.

DISCUSIÓN

Los gradientes en la distribución de la salinidad que se detectan en los estuarios tropicales dependen, fundamentalmente, de la manera en que se conjugan la precipitación en su locación geográfica, las características del caudal de sus ríos, y la intensidad del ciclo de las mareas (Bowden 1980, Tait 1987). Esta situación general se evidenció en los sectores medios de los esteros de Purruja y Mayor de la bahía de Golfito, donde los valores de salinidad fueron bajos en la época lluviosa, debido a la dilución provocada por el aumento en el caudal de los ríos, y más altos durante el período seco, debido al reducido aporte de agua dulce, acoplado al aumento en la temperatura que favorece la evaporación del agua. En el contexto del presente estudio, se observó que las aguas de los sectores medios de los dos esteros del manglar de Purruja correspondieron, durante las fechas de muestreo, al tipo de

estuario bien mezclado, según el sistema de clasificación descrito por Bowden (1980), es decir, ocurrió la mezcla total de la columna de agua por secciones horizontales dentro del sector, lo cual se reflejó en la homogeneización de la salinidad desde la superficie hasta el fondo de la columna de agua. En un sentido genérico, los factores principales que favorecieron esta estratificación salina fueron: la magnitud de la onda de marea (altura máxima alrededor de los 3 m), la poca profundidad de los esteros (de 2 a 3 m), la fisiografía y la posición de la bahía de Golfito (somera, con una barra arenosa orientada del este hacia el oeste y situada a la derecha de la dirección de la entrada de la onda de marea), y además, la ubicación geográfica de los esteros al extremo sur de la bahía. A través de la información generada y analizada en este trabajo, se plantea aquí la hipótesis de que, probablemente, el estado de estratificación salina más frecuente en estos dos esteros sea el de verticalmente mezclados o bien mezclados. La distribución de la temperatura, analizada en función de perfiles verticales para el sector medio de los estuarios del manglar de Purruja, mantuvo una concordancia con la distribución de la salinidad. Este hecho sirvió para reforzar la evidencia de que ambos esteros correspondieron al tipo bien mezclados, durante el tiempo que abarcó la investigación.

Las fluctuaciones en las concentraciones de oxígeno disuelto en los estuarios, están relacionadas con varios factores, entre ellos la productividad primaria, que se puede considerar, con suficiente aproximación, como representada dentro de ciertos límites por la concentración de clorofila *a* (Parsons y Takahashi 1976), la cantidad de materiales en suspensión (Hernández 1995) y también diversos aspectos de la contaminación antrópica (Aston 1980, Clark 2001). Con respecto a la integración de los dos primeros factores mencionados, Millán-Núñez *et al.* (1999), recogieron la información de que la presencia de sedimentos en suspensión puede estimular en las algas fitopláncticas, un incremento en su contenido de clorofila por célula, a manera de una respuesta fisiológica motivada por la disminución en la

disponibilidad de luz, a la vez que se habilita la disponibilidad de reservas de nutrientes al introducir de nuevo en la columna de agua los sedimentos y su carga de sustancias químicas solubles. Así, podría existir un aumento en la concentración de oxígeno disuelto en el agua, a pesar de que esta tenga una apariencia turbia. Sin embargo, las descargas de materiales orgánicos que se originan en actividades humanas, algunos de ellos susceptibles de ser oxidados directamente por el oxígeno presente en la columna de agua, y otros que sirven de sustrato adecuado para su utilización en el metabolismo bacterial (Aston 1980), tienden a contrarrestar este aumento, e incluso pueden llegar a crear situaciones de anoxia, tanto en el agua como en el sedimento (Presley y Trefry 1980).

El hecho más notable acerca de la magnitud y la distribución de las concentraciones de oxígeno disuelto en los esteros del manglar de Purruja (Cuadros 1 y 2), se presentó durante la época seca, entre los dos sitios de muestreo del sector fluvial del Estero de Purruja (1 y 2), pues ocurrió una fuerte disminución de más del 50% en el porcentaje de saturación de oxígeno (PSO), al avanzar de la estación 1 al sitio 2, y esto pudo deberse a la reducida turbulencia del agua en el canal somero, al aumento de la temperatura (Cuadro 1), que favorece el escape de este gas a la atmósfera, y a las fuentes puntuales de descarga de materia orgánica, pues en los alrededores de la estación 2 estaba ubicada una industria artesanal de cuero (tenería), y se generaban aguas servidas que se descargaban sin tratamiento alguno. La comparación de los PSO por estación meteorológica, reveló que en la época seca sólo el 37.5% de los valores de PSO fueron superiores al 100%, destacándose un valor de 13.6% en el mes de marzo; mientras que en la época lluviosa el 85.7% de los PSO fueron superiores al 100%, y el valor más bajo de este grupo fue el correspondiente al mes de junio, 85.4%, un valor satisfactorio dentro del concepto de buena calidad del agua para los organismos. Este recuento indica que la dilución, por efecto de la escorrentía en la época lluviosa, juega un papel muy importante en la compensación de

los efectos negativos de la descarga de materia orgánica en este estuario.

Las pruebas estadísticas basadas en el contraste U de Mann-Whitney (Conover 1971, Miller y Miller 2002), aplicadas a los valores obtenidos de CMS en los sectores medio y marino del Estero de Purruja (Cuadro 1), indicaron que la variabilidad entre el conjunto de datos de la época seca y el de la época lluviosa, no fue diferente, al nivel de confianza de 95%. Las medianas y los promedios de los dos grupos (época seca versus época lluviosa), no fueron sustancialmente diferentes, por lo que la mediana indicada en el apartado de resultados, CMS = 28.0 mg/L, puede tomarse como una característica del componente geomórfico final del estuario, bajo las condiciones típicas que prevalecieron durante el muestreo efectuado en este estudio. En el Estero de Purruja no se determinaron los materiales en suspensión en el sector fluvial. La dinámica de las CMS en el Estero Mayor (Cuadro 2), varió de acuerdo con la época del año y con el sector del estuario, probablemente influenciada por las mayores dimensiones del estero y, en general, debido a la hidrodinámica de este sistema. Las CMS más bajas fueron detectadas en el sector fluvial en la época seca, y en ambas estaciones del año el sector medio presentó las CMS más altas, revelando la influencia de la fuerza de la onda de marea al resuspender los sedimentos conforme avanzó hacia la cabeza del estuario (Cuadro 2). De acuerdo con los análisis estadísticos (Conover 1971, Miller y Miller 2002), tanto en la época seca como en la lluviosa, hubo una alta variabilidad entre las CMS y las diferencias entre promedios de cada uno de los sectores que conforman el estuario, fueron significativas al nivel de confianza del 95%. La inclusión de las medianas de CMS en el Cuadro 2, se hizo con el propósito de destacar la alta variabilidad que ocurrió en el Estero Mayor, al comparar con el valor antes mencionado de 28.0 mg/L, correspondiente al Estero de Purruja para todo el período de estudio. A partir de esta información, se puede establecer la premisa de que los dos estuarios del manglar de Purruja, presentan algunas propiedades que son marcadamente

contrastantes; por ejemplo, los sectores medios difieren en tanto en que el Estero de Purruja puede ser considerado como un estuario de manglar que es bastante uniforme en su contenido de CMS durante todo el año, mientras que en el Estero Mayor las CMS son variables no solo temporal sino que también espacialmente (Cuadros 1 y 2).

La aplicación del método del coeficiente de correlación ordinal de Spearman (Miller y Miller 2002), a los datos de la transparencia del agua indicada por el disco de Secchi, comparados con las correspondientes CMS para cada sector de los dos esteros del manglar de Purruja, dio como resultado que no existió una correlación directa entre estos dos parámetros. Esto probablemente reflejó la variabilidad en la composición de los materiales erosionados por las aguas de los ríos y de la naturaleza de los materiales suspendidos en la columna de agua, y la probabilidad de que ocurrieran acumulaciones acarreadas por las corrientes superficiales y sus giros o remolinos (Martínez-López y Gárate-Lizárraga 1994, Harrison *et al.* 1997, Salazar *et al.* 2004).

El conocimiento de los patrones de distribución de las concentraciones de las especies químicas nitrato, nitrito, amonio, fosfato y silicato a lo largo de los estuarios, posibilita la detección -entre otras cosas- de indicios de contaminación. Estos iones participan en una importante función dentro del mantenimiento de los ecosistemas acuáticos, pues fungen como nutrientes esenciales para el sistema biótico, en lo que corresponde al inicio de la cadena alimentaria (Parsons y Takahashi 1976, Nixon *et al.* 1986, Nixon 1987, Staver *et al.* 1996, Acuña *et al.* 1998, Forja *et al.* 2003, Arrigo 2005). De manera similar a otros estuarios del mundo (Nixon *et al.* 1986, Nixon 1987, Ferreira *et al.* 1996, Staver *et al.* 1996, Cravo *et al.* 2003), en los esteros estudiados, las descargas antropogénicas, así como los procesos naturales de erosión e intemperización, provocaron que las concentraciones de estos nutrientes en los ríos fueran por lo general superiores a las concentraciones en el agua de mar adyacente (Cuadros 3 y 4). van Driel (1988) analizó la

dinámica de las especies de fosfato en las aguas del estero de Punta Morales, un componente del muy productivo Golfo de Nicoya, el cual es otro estuario del Pacífico de Costa Rica (Epifanio *et al.* 1983), y encontró concentraciones de fosfato disuelto en el ámbito de no detectable y $3.85 \mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{L}$, muy inferiores a las informadas en este artículo. Esta variabilidad entre estuarios puede interpretarse en función de la fisiografía de cada uno de ellos y su entorno humano. Las altas concentraciones de silicato reflejaron la importancia del componente silíceo en las rocas de la zona (Linkimer y Aguilar 2000).

Mediante una investigación socio-biológica llevada a cabo en el manglar de Purruja (Silva y Carrillo 2004), se logró definir las metas adecuadas para su manejo por parte de la comunidad y en especial por un grupo local organizado, que se encargaría de implementar un plan de acción. En este sentido, la estación 2 (río Purruja), y la estación 5 (Quebrada La Alcantarilla), constituyen puntos de atención en los planes de manejo y toma de decisiones, pues los niveles de nitrato y fosfato fueron altos, sobre todo en la época seca (Cuadro 2). El primer sitio recibía los desechos crudos de una pequeña fábrica de curtición de cueros y el segundo era el receptor de desechos domésticos y de una porqueriza durante el período de esta investigación. La disminución en la concentración de los nutrientes en los sitios que se encuentran en los sectores marinos, probablemente se debió al efecto de dilución con el agua de mar, que se caracterizó por presentar concentraciones bajas de nutrientes, y a la utilización por parte de los organismos pelágicos y bentónicos (Jordan *et al.* 1991, Falcão y Vale 2003). Esto muestra un estero donde la influencia de aportes antropogénicos todavía no ha alcanzado los niveles alarmantes que favorezcan el deterioro de la vida estuarina. Sin embargo, la población que reside alrededor del manglar, puede estar alterando el ecosistema debido a la eliminación indiscriminada de aguas jabonosas y aguas servidas, en especial en el río Purruja y en la quebrada La Alcantarilla, con las subsecuentes consecuencias negativas

sobre la biota, por ejemplo, si se favorece el proceso de eutrofización, especialmente para las especies de peces, camarones y moluscos en general, que habitan en estos sitios.

La información sobre las concentraciones de clorofila *a* permite determinar cambios en la biomasa fitoplanctónica (Beman *et al.* 2005). En el Estero Mayor, los valores más altos que ocurrieron en la época seca, fueron coherentes con el aumento de la temperatura y el aumento en la concentración de nutrientes. La concentración más alta ocurrió en el mes de mayo ($7.9 \text{ mg}/\text{m}^3$) en el sector medio. El Estero de Purruja, básicamente en la estación 3, presentó condiciones sombreadas, debido a la profusa vegetación ribereña, lo que favoreció el poco desarrollo del fitoplancton reflejado en las bajas concentraciones de clorofila *a* desde no detectado hasta $0.06 \text{ mg}/\text{m}^3$.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al Programa de Estudios Tropicales de la Universidad de Kansas, Gollito y a la Unión para la Conservación para la Naturaleza (UICN). Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica el apoyo al proyecto y al Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) por el préstamo de equipo, y en especial a Jairo García, Eddy Gómez y Grettel Agüero, por los análisis químicos. A Jeffrey Sibaja por ayudar con las bases de la estadística no paramétrica. A Eduardo López por su colaboración en los muestreos. A los revisores por sus valiosos comentarios.

RESUMEN

Se determinó la distribución temporal y espacial de la salinidad, la temperatura, los sedimentos en suspensión, el oxígeno disuelto, los nutrientes y la clorofila *a* en dos estuarios del manglar de Purruja, en la Bahía de Gollito, Golfo Dulce de Costa Rica: el estero de Purruja y el estero Mayor. El muestreo se realizó mensualmente en mareas altas, de febrero a diciembre de 1998, en 12

sitios. Los perfiles de salinidad indicaron que se trata de esteros verticalmente mezclados o bien mezclados, los cuales no presentaron condiciones de anoxia en ninguno de sus sectores, a pesar de que en dos sitios se encontró las saturaciones más bajas de oxígeno: 13.6% y 49.5%. El silicato fue el nutrimento que siempre estuvo presente en las aguas estuarinas, en un ámbito de 12.7 a 739.5 $\mu\text{mol/L}$ en la época seca y de 6.82 a 979.9 $\mu\text{mol/L}$ en la época lluviosa, mientras que el nitrito mostró los valores más bajos (no detectado (nd)-1.05 $\mu\text{mol/L}$). El nitrato obtuvo valores de 0.55 a 17.69 $\mu\text{mol/L}$ en la época seca, y entre nd y 62.9 $\mu\text{mol/L}$ en la época lluviosa, y el fosfato desde concentraciones nd hasta 4.86 $\mu\text{mol/L}$ en la época seca y de nd hasta 6.67 $\mu\text{mol/L}$ en la época lluviosa. Las estaciones ubicadas en los ríos presentaron las concentraciones de nutrimentos más altas, en comparación con los sitios en los estuarios que componen el manglar. Los datos de clorofila *a* exhibieron menores concentraciones en la época seca y la distribución varió entre nd y 7.19 mg/m^3 . En general, los resultados presentaron un manglar sometido a descargas contaminantes no muy fuertes, con excepción de dos sitios que presentaron los efectos de una porqueriza, una pequeña industria de curtición de cueros y de aguas negras durante la época de estudio.

Palabras clave: estuarios tropicales, nutrientes, oxígeno disuelto, clorofila *a*, material en suspensión, manglar, Golfo Dulce, Costa Rica.

REFERENCIAS

- Acuña, J., V. García & J. Mondragón. 1998. Comparación de algunos aspectos físicos-químicos y calidad sanitaria del Estero de Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 1-10.
- Acuña-González, J., T. Dalsgaard & B. Thamdrup. 2006a. El Golfo Dulce de Costa Rica. *Invest. Cienc.* 352: 34-35.
- Acuña-González, J.A., J.A. Vargas-Zamora & R. Córdoba-Muñoz. 2006b. A snapshot view of some vertical distribution of water parameters at a deep (200 m) station in Golfo Dulce, Costa Rica, a dynamic tropical fjord-like embayment. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Supl. 1): 000-000.
- Acuña-González, J., J.A. Vargas-Zamora, E. Gómez-Ramírez & J. García-Céspedes. 2004. Hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos, en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 43-50.
- Arrigo, K.R. 2005. Marine microorganisms and global nutrient cycles. *Nature* 437: 349-355.
- Aston, S.R. 1980. Nutrients, dissolved gases and general biogeochemistry in estuaries, p. 232-262. *In* E. Olausson & I. Cato (eds.). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Willey, Inglaterra.
- Beman J.M., K.R. Arrigo & P.A. Matson. 2005. Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean. *Nature* 434: 211-214.
- Bowden, K.F. 1980. Physical factors: Salinity, temperature, circulation, and mixing processes, p. 37-70. *In* E. Olausson & I. Cato (eds.). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Willey, Inglaterra.
- Chaves, J. & M. Birkicht. 1996. Equatorial subsurface water and the nutrient seasonality distribution of the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 41-47.
- Clark, R.B. 2001. *Marine Pollution*. Oxford, Nueva York.
- Conover, W.J. 1971. *Practical nonparametric statistics*. Willey, Nueva York, EEUU.
- Cortés, J. 1992. Los arrecifes coralinos del Golfo Dulce, Costa Rica: Aspectos ecológicos. *Rev. Biol. Trop.* 40: 19-26.
- Cravo, A., M. Madureira, F. Rita, A.J. Silva & M.J. Bebianno. 2003. Concentraciones de nutrientes en aguas costeras: Impacto del Río Guadiana. *Cienc. Mar.* 29: 483-495.
- Dalsgaard, T., D.E. Canfield, J. Petersen, B. Thamdrup & J. Acuña González. 2003. N_2 production by the anammox reaction in the anoxic water column of Golfo Dulce, Costa Rica. *Nature*. 422: 606-608.
- Dyrssen, D. & M. Wedborg. 1980. Major and minor elements, chemical speciation in estuarine waters, p. 71-119. *In* E. Olausson & I. Cato (eds.). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Willey, Inglaterra.
- Epifanio, C.E., D. Maurer & A.I. Dittel. 1983. Seasonal changes in nutrients and dissolved oxygen in the Gulf of Nicoya, a tropical estuary on the Pacific coast of Central America. *Hydrobiol.* 101: 231-238.
- Fairbridge, R. W. 1980. The Estuary: Its definition and geodynamic cycle, p. 1-35. *In* E. Olausson & I. Cato (eds.). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Willey, Inglaterra.
- Falcão, M. & C. Vale. 2003. Dinámica de nutrientes en una laguna costera (Ría Formosa, Portugal): La importancia del intercambio de agua laguna-mar en la productividad biológica. *Cien. Mar.* 29: 425-433.
- Ferdelman, T., B. Thamdrup, D.E. Canfield, R. Nohr Glud, J. Kuever, N. Birger Ramsing & C. Waver. 2006. Biogeochemical controls on the oxygen, nitrogen and sulfur distributions in the water column of Golfo Dulce, Costa Rica: an anoxic basin revisited. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Supl. 1): 00-00.

- Ferreira, M.F., W.S. Chiu, H.K. Cheok, F. Cheang & W. Sun. 1996. Accumulation of nutrients and heavy metals in surface sediments near Macao. *Mar. Poll. Bull.* 32: 420-425.
- Forja, J.M., T. Ortega, R. Ponce, M. de la Paz, J.A. Rubio & A. Gómez-Parra. 2003. Transporte con las mareas de carbono inorgánico y nutrientes en una marisma litoral (Bahía de Cádiz, SO de España). *Cienc. Mar.* 29: 469-481.
- García, V., J. Acuña-González, J.A. Vargas-Zamora & J. García-Céspedes. 2006. Calidad bacteriológica y desechos sólidos en cinco ambientes costeros de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Supl. 1): 000-000.
- García-Céspedes, J., J. Acuña-González & J.A. Vargas-Zamora. 2004. Metales traza en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 51-60.
- Jordan, T.E., D.L. Correl, J. Miklas & D.E. Weller. 1991. Nutrients and chlorophyll at the interface of a watershed and an estuary. *Limnol. Oceanogr.* 36: 251-267.
- Harrison, P.J., N. Khan, K. Yin, M. Saleem, N. Bano, M. Nisa, S.I. Ahmed, N. Rizvi & F. Azam. 1997. Nutrient and phytoplankton dynamics in two mangrove tidal creeks of the Indus River delta, Pakistan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 157: 13-19.
- Hebbeln, D., D. Beese & J. Cortés. 1996. Morphology and sediment structures in Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 1-10.
- Hernández, A. 1995. Régimen hidrográfico del Estero Real (Nicaragua) y sus variaciones estacionales, p. 48-60. *In* J. Zamarro (ed.), *Actas del Simposium. Ecosistema de manglares en el Pacífico Centroamericano y su recurso de Post-Larvas de camarones peneidos*. San Salvador, El Salvador.
- Linkimer, L. & T. Aguilar. 2000. Estratigrafía sedimentaria, p. 43-62. *In* P. Denyer & S. Kussmaul (eds.), *Geología de Costa Rica. Tecnológica de Costa Rica*, Costa Rica.
- Liss, P.S. 1976. Conservative and non-conservative behaviour of dissolved constituents during estuarine mixing, p. 93-130. *In* J.D. Burton & P.S. Liss (eds.), *Estuarine Chemistry*. Academic, Inglaterra.
- Martínez-López, A. & I. Gárate-Lizárraga. 1994. Cantidad y calidad de la materia orgánica particulada en Bahía Concepción, en la temporada de reproducción de la almeja catarina *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835). *Cienc. Mar.* 20: 301-320.
- Millán-Núñez, R., E. Santamaría-del-Ángel, R. Cajal-Medrano & Ó.A. Barocio-León. 1999. El delta del río Colorado: Un ecosistema con alta productividad primaria. *Cienc. Mar.* 25: 509-524.
- Miller, J.N. & J.C. Miller. 2002. *Estadística y quimiometría para Química Analítica*. Pearson Educación, Madrid. 278 p.
- Nixon, S.W. 1987. Chesapeake Bay nutrient budgets - a reassessment. *Biogeochem.* 4: 77-90.
- 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. 1976. *Biological oceanographic processes*. Pergamon, Inglaterra. 332 p.
- Presley, B.J. & J.H. Trefry. 1980. Sediment-water interactions and the geochemistry of interstitial waters, p. 187-232. *In* E. Olausson & I. Cato (eds.), *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Wiley, Inglaterra.
- Quesada-Alpizar, M.A. & J. Cortés. 2006. Los ecosistemas marinos del Pacífico sur de Costa Rica: estado del conocimiento y perspectivas de manejo. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Supl. 1): 000-000.
- Quesada-Alpizar, M.A. & A. Morales-Ramírez. 2006. Posible efecto de El Niño en el zooplancton no gelatinoso del Golfo Dulce, Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Supl. 1): 00-00.
- Quiel, J.A. 2003. Implementación y validación de un método espectrofluorométrico para la determinación de amonio en muestras de agua de mar. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 67 p.
- Richards, F.A., J.J. Anderson & J.D. Cline. 1971. Chemical and physical observations in Golfo Dulce, an anoxic basin on the Pacific coast of Costa Rica. *Limnol. Oceanogr.* 16: 43-50.
- Riley, J.P. & G. Skirrow (eds.). 1975. *Chemical Oceanography*. Volume 3. Appendix, Table 6. Academic, Inglaterra.
- Salazar, A., O.G. Lizano & E.J. Alfaro. 2004. Composición de sedimentos en las zonas costeras de Costa Rica, utilizando fluorescencia de rayos-X (FRX). *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 61-75.
- Silva, A.M. & R. Bonilla. 2001. Abundancia y morfometría de *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis* (Mollusca: Bivalvia) en el manglar de Purruja, Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Suppl. 2): 315-320.
- Silva, A.M. & N.N. Carrillo. 2004. El manglar de Purruja, Golfo, Costa Rica: un modelo para su manejo. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 195-201.

- Staver, L.W., K.W. Staver & J.C. Stevenson. 1996. Nutrient inputs to the Choptank river estuary: Implications for watershed management. *Estuaries* 19: 342-358.
- Spongberg, A.L. 2004. PCB contamination in marine sediments from Golfo Dulce, Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 23-32.
- Spongberg, A.L. & P. Davis. 1998. Organochlorinated pesticide contaminants in Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 111-124.
- Strickland, J. D. & T. R., Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can. Bull.* 167. Queens, Canadá. 311 p.
- Tait, R. 1987. *Elementos de ecología marina*. Acribia. España. 446 p.
- Thamdrup, B., D.E. Canfield, T.G. Ferdelman, R. N. Glud & J.D. Gundersen. 1996. A biogeochemical survey of the anoxic basin Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 19-33.
- Umaña, G. 1998. Characterization of some Golfo Dulce drainage basin rivers (Costa Rica). *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 125-135.
- United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. 1981. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater 1980. *Unesco Technical Papers in Marine Science*, 38. In M. Sparrow, P. Chapman & J. Gould (eds.). 2005. *Hydrographic Atlas of the World Ocean Circulation Experiment (WOCE) Volume 1: Southern Ocean*. WOCE International Project Office, Southampton, Reino Unido.
- van Driel, E. 1988. Phosphate fluxes in the waterinlet of Punta Morales, Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Doktoraal verslagen serie nr. 88-19*. M.Sc. Thesis. Landbouwwuniversiteit Wageningen, Holanda. 71 p.
- Vargas, J.A. & M. Wolff (eds.). 1996. Pacific Coastal Ecosystems of Costa Rica with emphasis on the Golfo Dulce and adjacent areas: a synoptic view based on the R.V. Victor Hensen-expedition 1993/94 and previous studies. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 1-238.