

Balance hidrológico y de nutrientes en un humedal costero del Pacífico Sur de México

Cristian Tovilla Hernández¹
Guadalupe de la Lanza Espino²

¹El Colegio de la Frontera Sur, unidad Tapachula,

²Instituto de Biología UNAM.

Tovilla Hernández, C. y G. de la Lanza Espino, 2001, Balance hidrológico y de nutrientes en un humedal costero del Pacífico Sur de México. *Hidrobiológica* 11 (2): 133-140.

RESUMEN

Las lagunas costeras exportan o importan materiales, según donde estén ubicadas y el régimen fluvial y marino asociadas a ellas. Con base en este concepto se midió en un humedal costero del SO de México el balance de agua dulce, salobre y nutrientes (NO_2 , NO_3 , NH_4 y PO_4) durante dos años. El volumen de agua dulce que penetró al humedal fue mayor en 1991 que en 1992, con un promedio de $0.87\text{m}^3/\text{s}$, con los máximos en septiembre ($1.62\text{m}^3/\text{s}$) y mínimos en abril ($0.37\text{m}^3/\text{s}$). La cantidad introducida de agua marina fue más constante durante el año con un promedio de $1.77\text{m}^3/\text{s}$. El volumen de agua dulce fue mayor que la marina con $31.4 \times 10^6\text{m}^3$ vs $28.5 \times 10^6\text{m}^3$. Esta situación favoreció a condiciones oligohalinas durante gran parte del año en todo el humedal. A pesar de la variación en el contenido de nutrientes, los nitratos (NO_3) fueron los más abundantes con un aporte vía fluvial promedio anual de $7.5\ \mu\text{M}$; la exportación duplicó a las entradas con un promedio de $14.5\ \mu\text{M}$, le siguieron el amonio (NH_4) y nitritos (NO_2). La entrada fluvial de ortofosfatos (PO_4) al humedal, también fue inferior que la exportación al mar. Durante las lluvias el humedal recibió $33.7\text{ ton/nutrientes}$ contra 14.45 en el estiaje debido a la disminución del agua del río. La exportación de nutrientes por el humedal fue superior a las entradas fluviales con 86.5 ton/año vs 48.2 ton/año ; lo anterior señala el gran enriquecimiento de nutrientes del medio marino por parte del área del manglar.

Palabras claves: Humedal costero, balance hidrológico y de nutrientes.

ABSTRACT

Coastal lagoons can export or import different amount of materials according to the geographical localization and fluvial and marine regimes associated to them. Taking this in account, water, salinity and nutrient balances (NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4) were measured in coastal wetland. The volume of fresh water that penetrated into the wetland was different in the two years (1991 and 1992), with a $0.87\text{m}^3/\text{s}$ average. It was high in September ($1.62\text{m}^3/\text{s}$) and low in April ($0.37\text{m}^3/\text{s}$) with $31.4 \times 10^6\text{m}^3/\text{yr}$. Marine water was more constant with an average per year of $1.72\text{m}^3/\text{s}$, and $28.5 \times 10^6/\text{yr}$. This situation favored to oligohaline condition. Nitrates were the most abundant with a high input of $7.5\ \mu\text{M}$ in June ($16.8\ \mu\text{M}$) and low input of $1.6\ \text{mM}$ in December. The exportation was twice the importation with an average of $14.5\ \mu\text{M}$. The ammonium and nitrites were second in place in exportation. The fluvial input of orthophosphates to wetland was less than to the sea exportation. The wetland received 33.7 tons of nutrients during the rainy season and 14.5 tons during the dry season. The lower amount caused by a diminishing river flow. The export of nutrients from the wetland was greater than the import, with 86.5 ton/yr vs 48.2 ton/yr , respectively. The former meaning, a great marine nutrient enrichment by consequence of the mangrove area.

Key words: Coastal wetland, hydrology and nutrient balances.

INTRODUCCIÓN

El intercambio y balance de energía y materiales en los distintos cuerpos de agua costeros son variables espacial y temporalmente, dependientes de aportes diferenciales continentales y marinos, así como por la morfología y batimetría locales e incluso de factores climáticos regulares y eventuales característicos de latitudes tropicales; situación que conduce a resultados heterogéneos, en muchas ocasiones controversiales por el alto número de factores que intervienen en dicho intercambio (de la Lanza-Espino y Rodríguez Medina, 1990). Además, en un balance de esta naturaleza, no sólo tiene importancia la inclusión de un cierto número de factores sino también el tipo de modelo empleado para calcular el intercambio, tal como lo señalan Fan y Jin (1989) y los trabajos compendiados en LOICZ (1997). Dada esta situación, la tendencia es a realizar evaluaciones durante un año como mínimo, para integrarse como un balance anual, ya que en un mes se pueden comportar los cuerpos de agua como exportadores y en otros como importadores.

Las lagunas y estuarios mexicanos presentan una gran variedad de rasgos morfológicos, aportes fluviales de distinta magnitud marcadamente estacionales e incluso los hay sin aporte de aguas continentales, diferente tipo y amplitud de marea, la mayoría de escasa profundidad, algunos rodeados de una compleja vegetación, entre otros factores, que influyen en diverso grado y proporción en el intercambio y balan-

ce de materiales sin precisar un carácter de sistemas de exportación o importación definida.

En México, hasta la década de los 90's se realizaron diversos estudios al respecto; entre algunos se cuenta con el efectuado por de la Lanza-Espino y Rodríguez-Medina (1993) en la Laguna de Huizache y Caimanero, Sin., que permitió señalar que el clima condiciona un alto intercambio de nutrientes en este sistema costero. Además, de aquellos realizados en diversas lagunas de ambos litorales y compendiados en LOICZ (1997).

En virtud de lo anterior, el objetivo del presente estudio es aportar nuevos conocimientos sobre el intercambio y balance hidrológico y de nutrientes en un sistema lagunar de escasas dimensiones, con influencia fluvial y marina y con un aporte alto de materia orgánica procedente del manglar; esta laguna es Barra de Tecoaapa, Guerrero.

ÁREA DE ESTUDIO

El humedal costero de Barra de Tecoaapa, está ubicado en la desembocadura del Río Quetzala a los $98^{\circ}-45'04''$ W y los $16^{\circ}-30'12''$ N (Fig. 1). El clima es de tipo Aw3(f) (García, 1973), cálido semiseco (noviembre a mayo), con dos estaciones al año, y una época de lluvias (junio a octubre). El máximo de precipitación se registra en septiembre (menores a 1100 mm/año).

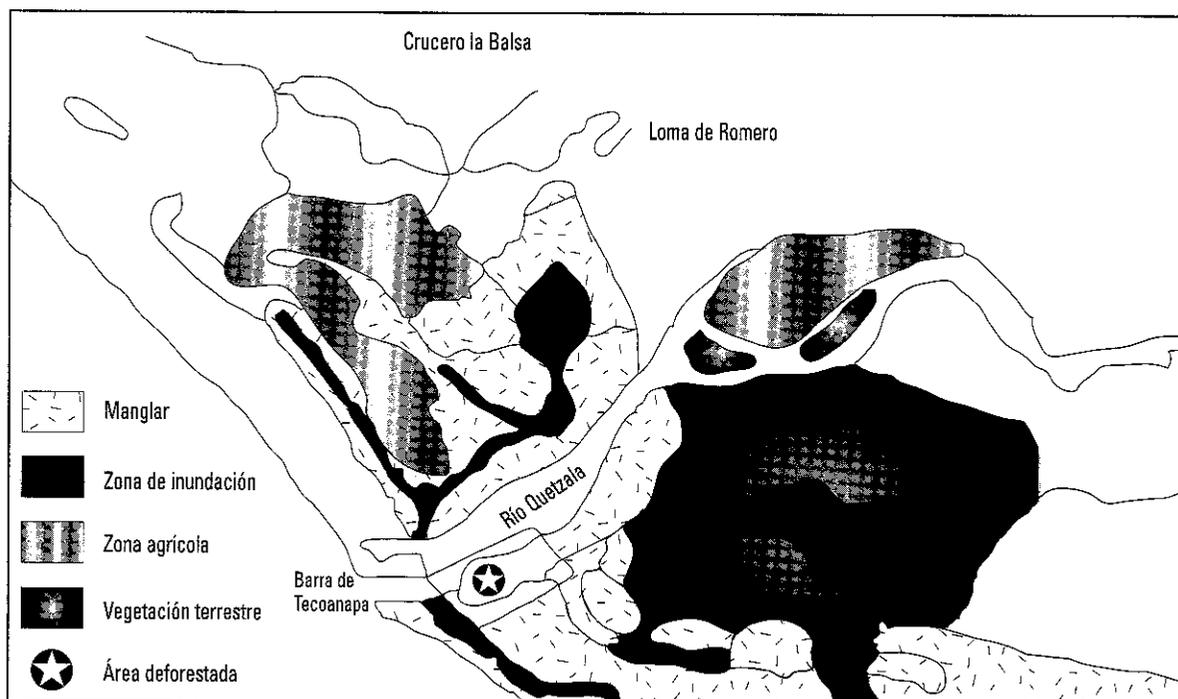


Figura 1. Ubicación del sitio de estudio en Barra de Tecoaapa, Guerrero.

La temporada de secas se ubica de noviembre a mayo. Este sistema cubre una extensión de 2062 hectáreas y es alimentado por el Río Quetzala. Existen en el área comunidades vegetales, constituidas por bosques de manglar, vegetación de dunas, vegetación de zonas inundables, palmares y pastizal natural. El manglar es la vegetación más abundante con 915 hectáreas, la cual está constituida por las cuatro especies de mangles: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* (Tovilla-Hernández, 1998).

METODOLOGÍA

Flujo del río hacia el humedal. Con una frecuencia bimestral, de 1991 a 1992, se calculó el aporte fluvial que penetraba al bosque de manglar a través de los canales ubicados en la parte superior del estuario (Fig. 1). En una sección transversal de los canales se estimó el volumen de agua dos veces por día (06:00 AM y 18:00 PM), utilizando una cuerda dividida en segmentos de 50 cm; en cada segmento se midió la profundidad, obteniéndose el área de cada segmento. El área total de la sección transversal de cada canal estaba representada por la sumatoria de las áreas de los segmentos:

$$\text{Área total del canal} = \Sigma a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + \dots + a_n$$

En cada uno de los segmentos se midió la velocidad del flujo del agua (m/s); de acuerdo a Baldor (1981) la velocidad de la corriente en cada segmento multiplicada por el área de éste es igual al gasto en ese sitio:

$$\text{Vel.}_{\text{agua}} \times A_1 = \text{gasto en el segmento 1}$$

la sumatoria del gasto en cada segmento es igual al flujo total del canal, estimado en m³/s:

$$\Sigma g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + \dots + g_n = g_t \text{ m}^3/\text{s}.$$

Flujo de agua marina. Para calcular el flujo de agua marina que penetraba del mar hacia el manglar se empleó el mismo procedimiento anterior pero efectuado mensualmente de 1992 a 1993. Se midieron en tres tiempos diferentes el flujo en pleamar: 30 minutos después del inicio, durante la altura máxima de la marea y 30 minutos antes de finalizar, de acuerdo al calendario de mareas (Instituto de Geofísica, 1992) obteniéndose un promedio del flujo total intercambiado.

Intercambio de nutrientes. Para cuantificar la entrada y salida de nutrientes del humedal se realizaron determinaciones mensuales durante el año de 1993 del contenido de nitratos (NO₃), nitratos (NO₂), amonio (NH₄) y ortofosfatos (P-PO₄) en el canal de agua dulce que llega al humedal y en el canal de comunicación marina durante la marea saliente o bajamar (Fig. 1). Para los cálculos de exportación se consideró que el volumen que penetró en pleamar fue el mismo volumen que

salió en bajamar; así como, para el balance de nutrientes se transformaron los µM (µgat/l) a toneladas tomando en cuenta el volumen calculado. Cabe señalar que en los trabajos compendiados en LOICZ (1997) se incluye en el balance de nutrientes mayor número de entradas y salidas para una mejor representación de la realidad. Las determinaciones químicas se realizaron de acuerdo a las técnicas espectrofotométricas de Strickland y Parsons (1968).

RESULTADOS

Volumen de agua aportado al humedal por el Río Quetzala. El volumen de agua introducido en 1991 fue ligeramente mayor que en 1992, con un promedio de 0.879 m³/s, con el flujo menor en enero (0.37 m³/s), incrementándose en septiembre, donde se registró el más alto con 1.62 m³/s, como se observa en la figura 2A. En el año de 1992, el volumen promedio de agua que penetró al humedal fue de 0.819 m³/s, con un comportamiento anual similar al de 1991, con el flujo mínimo de enero a abril, siendo el más bajo con 0.39 m³/s; mientras que el mayor volumen introducido por el río fue en agosto (1.2 m³/s), manteniéndose aproximadamente constante hasta octubre (Tabla 1). En la época de secas los aportes disminuyeron a una tercera parte de los registros observados en lluvias donde se introdujo una gran cantidad de agua debido a las constantes crecidas del río en esta época, y que por las precipitaciones mayores aumentó a 0.58 m³/s; este volumen sumado a los aportes del río incrementaron el flujo de agua hasta 1.43 m³/s.

Volumen de agua aportado al humedal por el mar. Las mareas son mixtas semidiurnas con una altura promedio en verano de 0.63 m, mientras en primavera de 0.96 m; los resultados corresponden a un promedio de pleamar, calculado para los dos años (Tabla 2). Los registros indican que en 1992 se presentó un volumen ligeramente mayor en relación a 1993 (Fig. 2B). En 1992 el flujo promedio fue de 1.803 m³/s, con un máximo de 2.31 m³/s registrado en abril, mientras que los flujos más bajos se presentaron en diciembre con 1.31 m³/s. Durante 1993, el promedio fue de 1.74 m³/s; en enero se registró el nivel más bajo con 1.21 m³/s, y el máximo en junio siendo de 2.01 m³/s (Fig. 2B).

Intercambio de nutrientes por el humedal. En Barra de Tecocanapa se observaron diferencias entre la cantidad de

Tabla 1. Volumen introducido al humedal por el río (m³/s).

Año/mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
1991	0.37	-	0.40	-	0.76	-	1.34	-	1.62	-	1.02	0.64	0.87
1992	-	0.41	-	0.39	-	0.99	-	1.20	-	1.19	-	0.72	0.81

Tabla 2. Volumen introducido al humedal por el mar (m^3/s).

Año/mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Prom.
1992	1.49	1.61	2.21	2.31	1.90	2.20	1.84	1.75	2.20	1.82	1.77	1.31	1.80
1993	1.21	1.32	1.88	1.95	2.00	2.01	1.89	1.88	1.91	1.72	1.87	1.51	1.74

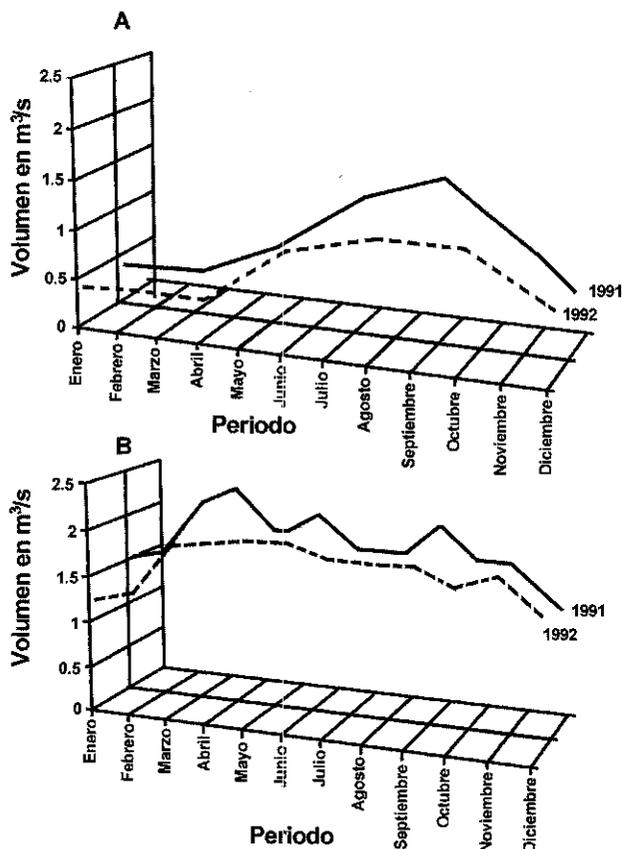


Figura 2. A) Flujo de agua de entrada del río hacia el humedal; B) Flujo de agua del humedal hacia el mar.

nutrientes aportados por el río y la cantidad a la salida hacia la zona marina. Los resultados indican que los nitratos fueron los que penetraron en mayor cantidad al humedal, con un promedio anual de $7.5 \mu M$; los mínimos se registraron en diciembre y los más altos en junio (1.9 y $16.8 \mu M$), como se observa en la tabla 3 y figura 3A. Las exportaciones de este nutriente duplicaron las entradas, con un patrón semejante a la importación a lo largo del año. El promedio anual de los nitratos en el canal de salida (marino) fue de $14.53 \mu M$, con mínimos en diciembre ($7.5 \mu M$) y máximos en mayo ($21.0 \mu M$).

El amonio fue el segundo nutriente en abundancia tanto a la entrada como a la salida del humedal. El promedio en el canal fluvial fue de $4.74 \mu M$, los mínimos, al igual que en el caso de los nitratos, correspondieron a la época de secas, aunque en octubre fue aún más bajo ($0.7 \mu M$) y el máximo en septiem-

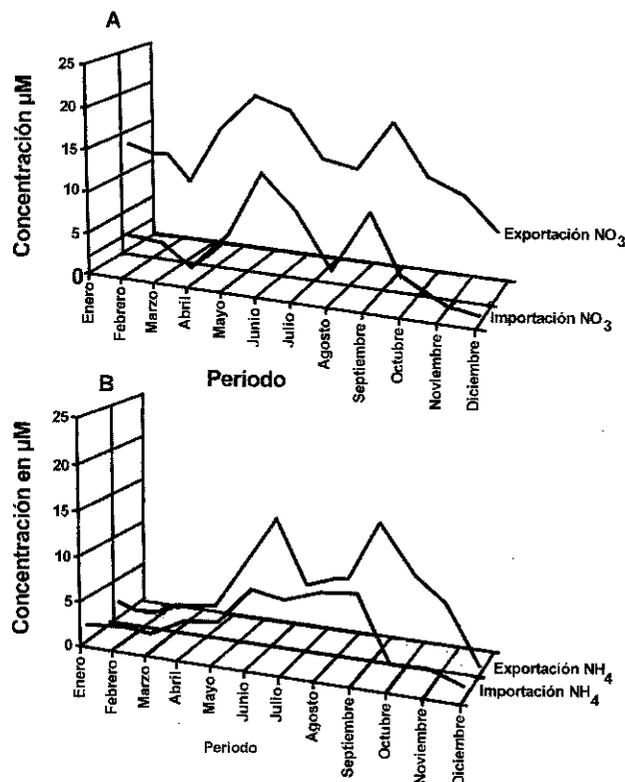


Figura 3. A) Variación mensual de la concentración de nitratos; B) concentración de amonio en el agua del río que penetra al humedal y en canal de salida hacia el mar durante 1993.

bre con $9.7 \mu M$ (Fig. 3B). La exportación de amonio promedio anual fue de $6.3 \mu M$ y como en el caso de los nitratos registró dos picos de abundancia, el primero en junio y el segundo en septiembre; en este último se determinó el nivel más alto con $14.8 \mu M$, disminuyendo hasta $0.9 \mu M$ en el mes de diciembre. La abundancia de este nutriente en las lluvias contrasta con la pobreza de los registros en la época de secas.

Tabla 3. Concentración de nutrientes en el agua del río que penetra al sistema y el canal de salida hacia el estuario durante 1993, (en μM).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Importación NO_3	2.3	4.7	8.2	6.11	12.9	16.8	16.0	4.0	11.2	2.2	3.9	1.9
Exportación NO_3	13.1	12.7	9.7	16.9	21.0	19.8	14.0	11.6	19.8	13.6	11.9	7.5
Importación NH_4	2.1	2.6	1.8	4.0	6.9	4.8	5.3	7.1	9.7	0.7	1.9	1.5
Exportación NH_4	2.9	1.8	2.7	2.4	8.4	13.4	6.9	6.4	14.8	9.0	6.3	0.9
Importación NO_2	0.4	0.3	0.1	0.3	0.8	0.9	1.2	0.8	0.3	0.4	0.1	N.D
Exportación NO_2	0.9	1.1	0.8	1.9	1.0	1.0	1.1	0.9	2.2	1.7	0.4	1.0
Importación P- PO_4	0.9	0.09	0.3	0.6	0.7	0.6	0.9	1.1	1.3	1.1	0.2	0.8
Exportación P- PO_4	1.1	0.7	1.0	1.0	1.2	1.3	1.3	0.9	2.8	2.9	0.7	0.4

N.D. no detectable

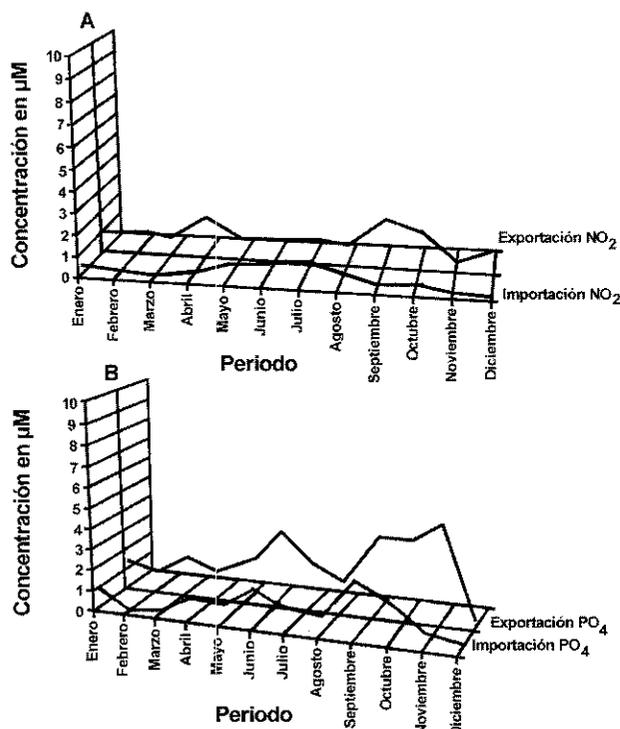


Figura 4. A) Variación mensual de la concentración de nitritos; B) concentración de ortofosfatos en el agua del río que penetra hacia el humedal y en canal de salida hacia el mar durante 1993.

La concentración de los nitritos determinada a la entrada del humedal, tuvo un promedio anual de $0.46 \mu\text{M}$; de noviembre hasta abril fueron marcadamente bajos, mientras que en diciembre de indetectable a $1.2 \mu\text{M}$ en julio; en las crecidas del río se observaron los máximos (Tabla 3, Fig. 4A). La exportación promedio de este nutriente fue de $1.16 \mu\text{M}$, con el máximo en septiembre ($2.2 \mu\text{M}$) y el mínimo en noviembre ($0.4 \mu\text{M}$).

Los ortofosfatos registraron un patrón ligeramente diferente al comportamiento del resto de los nutrientes a lo largo del año. En la entrada del humedal el contenido máximo se registró en septiembre, con $1.3 \mu\text{M}$, y los más bajos de noviembre a febrero, con un promedio anual de $0.7 \mu\text{M}$, como se observa en la figura 4B. La exportación, fue más variable y en todos los casos sus contenidos se situaron por encima de las entradas. El promedio anual en la boca fue de $1.3 \mu\text{M}$; en diciembre se determinó el mínimo con $0.4 \mu\text{M}$ y en septiembre el máximo con $2.8 \mu\text{M}$ (Tabla 3, Fig 4B).

DISCUSIÓN

Importancia del agua dulce. De acuerdo a la SARH (1987), el volumen anual que el Río Quetzala aporta hacia el mar es de $311.8 \times 10^7 \text{m}^3/\text{año}$; con base en ese registro, los resultados obtenidos en este trabajo indican un aporte del río

Tabla 4. Volumen de agua dulce y salobre introducida en cada época del año.

Año	1991	1992	Vol. total 1991	Vol. total 1992
Río				
Epoca de secas	$8.5 \times 10^6 \text{m}^3$	$7.8 \times 10^6 \text{m}^3$	$29.3 \times 10^6 \text{m}^3$	$25.6 \times 10^6 \text{m}^3$
Epoca de lluvias	$20.8 \times 10^6 \text{m}^3$	$17.7 \times 10^6 \text{m}^3$		
Arroyos, lluvias	$3.4 \times 10^6 \text{m}^3$	$4.5 \times 10^6 \text{m}^3$	$3.4 \times 10^6 \text{m}^3$	$4.5 \times 10^6 \text{m}^3$
Aporte total del río	$32.7 \times 10^6 \text{m}^3$	$30.1 \times 10^6 \text{m}^3$		
Mar				
Epoca de secas	$14.0 \times 10^6 \text{m}^3$	$12.7 \times 10^6 \text{m}^3$	$29.4 \times 10^6 \text{m}^3$	$27.6 \times 10^6 \text{m}^3$
Epoca de lluvias	$15.3 \times 10^6 \text{m}^3$	$14.9 \times 10^6 \text{m}^3$		

hacia el humedal de $31.4 \times 10^6 \text{m}^3/\text{año}$ promedio (Tabla 4), lo que representa el uno por ciento del total del río. Aún cuando el volumen de agua dulce que penetra hacia el manglar es bajo, la importancia de estos subsidios hacia el manglar son altos, debido a que éste es un humedal abierto que depende de los flujos de materia y energía del agua dulce, con nutrientes, sedimentos e intercambio de material genético, como ha sido demostrado por otras investigaciones (Snedaker *et al.*, 1977; Lugo 1978).

De acuerdo a Snedaker *et al.* (1977) los aportes de los ríos y corrientes secundarias a los humedales sirven para regular la temperatura y el régimen hídrico, debido a que ejercen una acción amortiguadora y disolvente sobre áreas donde existen intrusiones de agua marina. En este humedal este fenómeno fue evidente en las partes más alejadas de los canales de marea, donde el proceso de recambio de agua fue menos activo y la evaporación más vigorosa en la época de secas. Tovilla-Hernández (1998) observó que la entrada de agua dulce ayudaba a reducir la cuña de sal con una zona de mezcla moderada en los años con estiajes prolongados. Incluso, el volumen de agua dulce superaba a la del mar, lo que permitió mantener una cuña de sal reducida en la zona del estuario (5 a 25 ups), que no penetra más allá de 150 m sobre el cauce del río.

Los ríos regulan la erosión e incrementan la fertilidad, a través del transporte de sedimentos y nutrientes en la parte posterior de los manglares. Tovilla-Hernández (1998) registró la depositación de gran cantidad de sedimentos en la zona posterior del manglar y del estuario del Río Quetzala en la época de lluvias; posteriormente Tovilla-Hernández y de la Lanza-Espino (1999), demostraron que estos sedimentos al inicio del estiaje servían de sustrato para el desarrollo de *Conocarpus erectus*, *L. racemosa*, *Prosopis juliflora* y *Tipha dominguesis*. Este proceso también se ha estudiado en otras latitudes; Abernethy (1980), demostró que el Río Brahmaputra en la India, en los últimos 70 años ha depositado una capa de sedimentos en el área de su desembocadura con un espesor de

dos metros, lo que ha permitido la expansión constante del delta del río y sobre éste los manglares.

Importancia del agua marina. El intercambio de agua de mar hacia el humedal fue de $28.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ (promedio), volumen ligeramente inferior (9.2%) al del agua dulce, consecuencia de esto la salinidad fue baja (Tabla 4) por lo que se presentó una circulación estuarina y una condición oligohalina en ocho meses del año y mesohalina en los meses restantes. Sin embargo, esta condición puede variar interanualmente por el mayor o menor aporte de agua marina como sucedió en los años de estudio. Para 1991, se registró una diferencia en el volumen de agua marina de $1.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ entre la época de secas ($14.0 \times 10^6 \text{ m}^3$) y la de lluvias ($15.3 \times 10^6 \text{ m}^3$), mientras que en 1992 esta diferencia fue más notable al pasar de $12.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ en el estiaje, a $14.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ durante las lluvias (Tabla 4).

En este humedal el volumen de agua marina introducido por las mareas fue bajo en comparación con otros sistemas estuarinos de México como Laguna de Términos (Graham *et al.*, 1981), esto se debe a que el flujo de agua introducido hacia el mar por el río domina al mareal principalmente durante la época de lluvias, así como a la reducida amplitud de la boca, a la menor altura de las mareas y a la estrecha planicie costera. Los aportes de agua marina son de gran importancia, debido a que introducen no sólo nutrientes, sino también materia orgánica, que son proporcionales al volumen de agua introducido. Este proceso también construye el sustrato adecuado para el establecimiento de las comunidades de manglares y tulares. A nivel físico las mareas son el mecanismo principal que permite la introducción de agua salada al interior de las planicies. La amplitud y fuerza de las corrientes de mareas permitirá la renovación constante del agua superficial e intersticial del piso de los bosques de mangle. De acuerdo a Cintrón y Schaeffer (1983), el flujo y refluo vigoroso de agua durante los ciclos de marea, permite mantener bien oxigenada la columna de agua así como un sustrato adecuado, evitando la formación de gases como el H_2S , CH_4 y otros desechos metabólicos (McKee *et al.*, 1988; Rivera-Monroy *et al.*, 1995).

A nivel biológico, las mareas permiten la formación de gradientes salinos que determinan el establecimiento de los manglares; Chapman (1944) encontró que la distribución de las especies de mangles está asociada al número de veces que un área era lavada por la marea durante el año. Las mareas juegan un papel importante en el transporte, selección y arraigo de semillas y propágulos de tres especies de mangle; las semillas de mayor tamaño de *R. mangle* son dispersadas por las corrientes más fuertes cerca de los canales, mientras que las más pequeñas de *L. racemosa* y *A. germinans* se dispersan más lejos y al interior por los flujos más débiles, como

se demostró en los diferentes bosques de mangle de este humedal por Tovilla-Hernández (1998).

Balance y Presupuesto de nutrientes en el humedal. En la época de lluvias este humedal recibió mayor cantidad de nutrientes nitrogenados y fosforados (33.76 ton) que en el estiaje (14.45 ton) (Tabla 5), debido al volumen de agua introducida por el río y las precipitaciones, lo que aumentó la carga de materia orgánica e inorgánica que fue acarreada hacia los manglares. La cantidad de nutrientes exportada por el manglar fue superior a la cantidad aportada por los ríos tanto en secas (31.39 ton) como en lluvias (55.14 ton); es decir durante todo el año el manglar puede exportar cantidades mayores de nutrientes de las que recibe; esta situación fue semejante a la observada por Rivera-Monroy *et al.* (1995) en Laguna de Términos.

En las lluvias de 1993, el humedal recibió 21.18 ton/ $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y 0.88 ton/ $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ en secas. El manglar generó 33.78 ton/ $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ en lluvias contra 24.41 ton/ $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ en secas. Analizando las entradas y salidas para cada época, se observa que la diferencia entre ingresos y egresos en lluvias fue de 12.6ton/ $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ y de 15.54ton/ $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ en secas. Esta situación se repitió con ligeras variantes entre una época y otra en el resto de los nutrientes a lo largo del periodo estudiado (Tabla 5). Restando los ingresos de los egresos anuales, el manglar exportó $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ hacia el mar 28.14 ton netas. Flores-Verdugo (1985) determinó en Estero "El Verde" Sinaloa, 487 kg/día de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, exportados en agosto cuando la boca se abre, estas cantidades llegaron a ser ocho veces más elevadas en julio (72.5:9.25 μM) que en esta localidad. Posteriormente De la Lanza-Espino y Rodríguez-Medina (1993) en Laguna Huizache-Caimanero cuantificaron 3.0 kg/ $\text{NO}_3/\text{día}$; registros semejantes a los obtenidos en este humedal.

Tabla 5. Importación y exportación de nutrientes del humedal en toneladas en 1993.

Nutriente	E. Secas		E. Lluvias	
	E. Secas	E. Lluvias	E. Secas	E. Lluvias
$\text{NO}_3 + \text{NO}_2$			P- PO_4	
Importación	8.87	21.18	Importación	1.22
Exportación	24.41	33.78	Exportación	1.66
Diferencia E*	15.54	12.60	Diferencia E*	0.44
E. neta anual	28.14		E. neta anual	1.92
NH_4				
Importación	4.36	10.8		
Exportación	5.33	18.1		
Diferencia E*	0.97	7.3		
E. neta anual	8.27			

Diferencia E* = Diferencia entre la cantidad de un compuesto importado y su exportación.

El amonio en la época de secas representó el 40.3% del ingresó del de las lluvias (4.36/10.8 ton). En el estiaje se generaron dentro del manglar 5.33 ton/ NH_4 , exportándose 0.97 ton, mientras que en la época de lluvias a partir del subsidio recibido se generaron 10.8 ton/ NH_4 , exportándose 7.3 ton/ NH_4 (Tabla 5). Por otra parte, las concentraciones de amonio aquí registradas (0.7-14.8 μM) se ubican por abajo de lagunas con fuerte impacto humano como Laguna de Alvarado, Ostión y Yavaros: (Ortega y Stephenson, 1976; de la Lanza-Espino *et al.*, 1986; Contreras, 1991). Casos extremos de amonio en agua (92.5-182.2 μM) se han registrado en el Río Calzadas y Laguna del Ostión; ambos cuerpos de agua son receptáculo de descargas industriales (Vázquez-Botello *et al.*, 1988).

En la época de secas el manglar importó 1.22 ton/P- PO_4 contra 1.78 ton/P- PO_4 en lluvias, mientras que exportó 0.44 ton/P- PO_4 en el estiaje y 1.48 ton/P- PO_4 en las lluvias. Este incremento representa el 26.5% más de P- PO_4 a partir de los ingresos durante la época de sequía y 45.3% más que en la de lluvias, con una exportación anual de 1.92 toneladas de ortofosfatos en 1993.

En cuanto a las concentraciones de este nutriente, Flores-Verdugo (1985) en Estero el Verde registró cambios significativos en la concentración de ortofosfatos en el agua del río y el canal de mareas al inicio de las lluvias (7.97 y 5.5 μM), y al finalizar ésta (2.96 y 1.79 μM); afirmando que las principales modificaciones en la concentración de este nutriente son debidas al aporte del río. Conde-Gómez (1992) observó en la Laguna de Ensenada del Pabellón Sinaloa, una marcada variación espacial y temporal en la concentración de este nutriente; en agosto los contenidos variaron de 1.2 a 7.6 μM , mientras que en abril del siguiente año los niveles se elevaron de 3.1 a 25 μM , esta diferencia se asoció con los subproductos de las actividades agrícolas. Arenas-Fuentes (1979) no registró variaciones importantes en la concentración de ortofosfatos a lo largo de 10 años de registros en las aguas del sistema lagunar de Huizache-Caimanero, no teniendo aportes de agricultura significativos circundantes.

Las concentraciones de ortofosfatos obtenidas en este estudio se ubican por abajo de los registros obtenidos en la mayoría de las lagunas costeras del país; así como en el interior de bosques de manglares y estuarios de otras localidades comparados con los registros de Boto y Wellington (1983) y de la Lanza-Espino *et al.* (1986).

CONCLUSIONES

La complejidad y riqueza del humedal de Barra de Teacoanapa reside en el alto y variable subsidio de materia y energía que recibe del río y de la capacidad de incrementar-

los en un 45% en el área del manglar y su movilización hacia la zona marina. Por medio del río y los arroyos el humedal recibe el 1% de agua dulce y hasta 48.21 ton/nutrientes/año ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$, NH_4 y P- PO_4). A través de la interacción con el mar el humedal intercambia $28.5 \times 10^6 \text{m}^3$ /año de agua marina, que representa el 2.9% de lo que llega vía fluvial, pero con un contenido alto de nutrientes que fertiliza en forma natural. Este humedal exporta a través del reflujó o bajamar hasta 86.54 ton/nutrientes/año, con una exportación neta de 38.33 ton/nutrientes/año. Esta cantidad de nutrientes sumada a la cantidad de detritos que los manglares exportan hacia el mar, es importante debido a que se realizan en una zona donde no existen grandes ríos que drenen hacia la costa. Ambos compuestos van a formar parte del subsidio que los humedales costeros proveen a la cadena trófica marina.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo tipográfico a la Biol. Edith Orihuela Belmonte y al Téc. Salvador Hernández Pulido por su inapreciable asistencia en la elaboración de tablas y figuras.

REFERENCIAS

- ABERNETHY, C. L., 1980. Problems of soil erosion and sedimentation in the context of population growth and economic development. In: IAHR/UNESCO, Hydraulic Research and River Basin Development in Africa. Seminar, Nairobi 11-15 September.
- ARENAS-FUENTES, V., 1979. Balance anual del carbono orgánico, nitrógeno y fósforo en el sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa, México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM. México, 114pp.
- BALDOR A., 1981. *Trigonometría*. 14ª edición, Ed. Ediciones Culturales. México, 348p.
- BOTO, K. G. y J. T. WELLINGTON, 1983. Phosphorus and nitrogen nutritional status of a northern Australian mangrove forest. *Marine Ecology Progress Series* 11: 63-69.
- CINTRÓN, G. y Y. SHAEFFER-NOVELLI, 1983. *Introducción a la Ecología del Manglar*. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, UNESCO. Uruguay, 106p.
- CONTRERAS, F., 1991. Hidrología y nutrientes en lagunas costeras, p: 16-24. En: FIGUEROA T. M. G.; S. C. ALVAREZ; A. H. ESQUIVEL y M. M. E. PONCE (Eds.) *Fisicoquímica y Biología de las Lagunas Costeras Mexicanas: Serie Grandes Temas de la Hidrobiología* 1. Universidad Autónoma Metropolitana, México p:7-15. Div. Ciencias Biológicas y de la Salud.

- CONDE-GÓMEZ, J., 1992. Análisis hidrológico y de contaminación en Bahía Ensenada del Pabellón Sinaloa. Tesis Licenciatura Facultad de Ciencias UNAM, México 82p.
- CHAPMAN, V. J., 1944. The 1939 Cambridge University Expedition to Jamaica. II, A study of the environment of *Avicennia nitida* Jacq. In Jamaica. *Journal Linnean Society of Botany* 52: 448-486.
- DE LA LANZA-ESPINO, G., V. ARENAS-FUENTES y M. A. RODRÍGUEZ-MEDINA, 1986. La fijación de nitrógeno asociada a la descomposición de halófitas en una laguna litoral del Noroeste de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 13(1): 339-344.
- DE LA LANZA-ESPINO, G. y M. A. RODRÍGUEZ-MEDINA, 1990. Caracterización de la Laguna de Caimanero, Sinaloa, México, a través de algunas variables geoquímicas. *Ciencias Marinas* 16(3): 27-44.
- DE LA LANZA-ESPINO, G. y M. A. RODRÍGUEZ-MEDINA, 1993. Nutrient exchange between subtropical lagoons and the marine environment. *Estuaries* 16(2): 273-279.
- FAN, A. y X. JIN, 1989. Tidal effect on nutrient exchange in Xiangshan Bay, China. *Marine Chemistry* 27: 259-281.
- FLORES-VERDUGO, F. J., 1985. Aporte de materia orgánica por los productores primarios a un ecosistema lagunar estuarino de boca efímera. Tesis Doctoral, UNAM, México., 89p.
- GARCÍA, E., 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón de México.
- GRAHAM D. S., J. P. DANIELS, J. M. HILL y J. W. DAY, JR., 1981. A preliminary model of the circulation of Laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 8(1): 51-62.
- INSTITUTO DE GEOFÍSICA, 1992. *Calendario gráfico de mareas: Mareógrafos establecidos en las costas del Pacífico*. III Manzanillo-Puerto Madero. UNAM, México, 36p.
- LOICZ LAND-OCEAN-INTERACTIONS IN THE COASTAL ZONE, 1997. Comparison of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes in the Mexican Coast Lagoons. LOICZ Report and Studies No. 10 Netherlands Institute for the Sea Research. Netherlands, 83 pp.
- LUGO, A. E., 1978. Strees and ecosystems p: 61-101, En: J. H. THORP y J. W. GIBBONS (Eds.). *Energy and Environmental Stress im Aquatic Ecosystems*. DOE Symposium Series (CONF. 771114), Oak Ridge, Tenn. U.S.A.
- McKEE, K. L., I. A. MENDELSSOHN y M. W. HESTER, 1988. Reexamination of pore water sulfide concentrations and redox potentials near the aerial roots of *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans*. *American Journal of Botany* 75 (9): 1352-1359.
- ORTEGA, M. S. and R. R. STEPHENSON, 1976. Some aspects of the hydrography and hydrochemistry of the Yavaros and Huizache-Caimanero Lagoons complexes in north-west México. Informe del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 231p.
- RIVERA-MONROY, V. H., J. W. DAY, R. R. TWILLEY, F. VERA-HERRERA y C. CORONADO-MOLINA, 1995. Flux of nitrogen and sediment in a fringe mangrove forest in Terminos Lagoon, México. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 40: 139-160.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (SARH), 1987. Volúmenes de Agua Transportados por los Ríos Nexpa, Quetzalapa y Verde durante los últimos 10 años. Publicación Especial No. 4º: 52p.
- SNEDAKER, S. C., D. DE SILVA and D. J. COTTRELL, 1977. *A Review of the role of fresh water un estuarine ecosystems*. Vol I and II, Final Report Submitted to The Southwest Florida Water Management District, Univ. of Miami Florida. 420pp.
- STRICKLAND, J. D. H. y T. R. PARSONS, 1968. *A Practical Handbook of Sea Water*. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, 311 p.
- TOVILLA-HERNÁNDEZ, C. y G. de la Lanza-Espino, 1999. Ecología, Producción y Aprovechamiento del mangle *Conocarpus erectus* L., en Barra de Tecoaapa Guerrero, México. *Biotropica* 31(1): 121-132.
- TOVILLA-HERNÁNDEZ, C., 1998. Ecología de los bosques de manglar y algunos aspectos socioeconómicos de la zona costera de Barra de Tecoaapa Guerrero, México. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM. México, 365p.
- VÁZQUEZ-BOTELLO, A., A. CHÁZARO, M. HERZIG, L. BOZADA, M. PÁEZ y F. CONTRERAS, 1988. Medio ambiente en Coatzacoalcos; Resumen Ejecutivo. Centro de Ecodesarrollo, H. Ayuntamiento de Coatzacoalcos y Universidad Veracruzana. México, 76p.

Recibido: 9 de marzo de 2001.

Aceptado: 6 de septiembre de 2001.