

Distribución de carbohidratos, carbono y nitrógeno orgánico en sedimentos de tres lagunas costeras del Golfo de México

Laura Georgina Calva B.
y Rocío Torres Alvarado

Laboratorio de Ecosistemas Costeros. Depto. Hidrobiología. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. México, D.F., C.P. 09340.

Calva, B. L. G. y R. Torres Alvarado, 2000. Distribución de carbohidratos, carbono y nitrógeno orgánico en sedimentos de tres lagunas costeras del Golfo de México. *Hidrobiológica* 10 (2): 101-114.

RESUMEN

En este estudio se determinaron las concentraciones tanto de carbono y nitrógeno orgánicos en sedimentos superficiales como de carbohidratos en el agua intersticial de las Lagunas Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco en el noroeste del Golfo de México. En el período 1994-1995, los contenidos de carbono orgánico siguieron el siguiente orden decreciente: laguna Tampamachoco (1.59 %), laguna Tamiahua (1.32%) y laguna Pueblo Viejo (1.03 %). Los carbohidratos presentaron el mismo comportamiento que el carbono orgánico, el mayor contenido lo tuvo la laguna Tampamachoco (26.13 mg/l), seguida por Tamiahua (23.23 mg/l) y por último Pueblo Viejo (19.74 mg/l). Las concentraciones de nitrógeno orgánico en orden decreciente fueron Tampamachoco (2406.74 mg/g), Tamiahua (1889.16 mg/g) y Pueblo Viejo (1058.96 mg/g). Los contenidos más altos de las fracciones orgánicas en el sedimento y en el agua intersticial fueron superiores en los meses asociados a la época de lluvias, indicando que el principal aporte de estas formas orgánicas a los tres sistemas estuarinos-lagunares proviene de entradas alóctonas y que llegan a las lagunas básicamente a través de los aportes fluviales.

Palabras clave: carbohidratos, carbono orgánico, nitrógeno orgánicos, laguna costera, sedimentos, Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco.

ABSTRACT

An assessment of the concentrations of organic carbon and nitrogen in surface sediments, and carbohydrates in pore water was made in Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco Lagoons in the Northern Coast of the Gulf of Mexico. During the period 1994 to 1995, the levels of organic carbon found were in descending order Tampamachoco Lagoon (1.59 %), Tamiahua Lagoon (1.32 %) and Pueblo Viejo Lagoon (1.03 %). The carbohydrates concentrations in pore water followed a similar order to organic carbon, Tampamachoco (26.13 mg/l), Tamiahua (23.23 mg/l) and Pueblo Viejo Lagoon (19.74 mg/l). Tampamachoco Lagoon showed the highest concentration of organic nitrogen (171.91 mg/g), the Tamiahua Lagoon (134.94 mg/g) and Pueblo Viejo Lagoon (75.64 mg/g). The highest contents of organic fractions in the sediments and pore water were higher in the months associated to the rainy season, showing that the main contribution of the organic forms from three estuarine systems come from alloctonus sources and basically through fluvial drainage.

Keywords: carbohydrates, organic carbon, organic nitrogen, coastal lagoon, sediments, Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco.

INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras no sólo son sistemas altamente productivos sino que también constituyen importantes reservorios de materia orgánica, siendo la fase sedimentaria el principal sitio de depositación de ésta. La materia orgánica se define como el material que se origina de los organismos vivos y tiene una composición complicada, debido a que se encuentra formada por diversos compuestos; en una muestra de agua excepcionalmente se pueden identificar más del 50% de los compuestos orgánicos (Benner *et al.*, 1992). La caracterización química de la materia orgánica típicamente ha involucrado la medición de diferentes propiedades tales como la concentración y el porcentaje de carbono orgánico, la concentración y porcentaje de nitrógeno orgánico, la proporción C/N y el contenido de proteínas y carbohidratos (Libes, 1992).

El carbono orgánico, el nitrógeno orgánico y los carbohidratos son aportados a las zonas costeras principalmente por la materia vegetal ya sea autóctona, como raíces y hojas de pastos; o por la vegetación alóctona que es adyacente al sistema, entre ésta las marismas y los manglares. Otra fuente de los compuestos orgánicos mencionados está constituida por el material de origen terrígeno y el de las aguas residuales que es transportado por medio de los ríos a estos ecosistemas (Algarsamy, 1991; Preston y Prodduturu, 1992; Seitzinger y Sanders, 1997). El carbono orgánico representa una fuente de energía potencial para el ecosistema costero y puede ser metabolizado activamente en el mismo (Berner, 1982; Zweifel *et al.*, 1995). La concentración y distribución del carbono orgánico dentro del ecosistema costero están determinadas por diferentes factores como la circulación del agua, el tamaño de grano del sedimento, la productividad biológica y la tasa de mineralización, ya que las concentraciones elevadas de éste pueden obedecer a la presencia de compuestos carbonados refractarios, mientras que los lábiles son mineralizados rápidamente (Canfield, 1994). De igual forma, la actividad de los organismos bentónicos influye en la distribución del carbono orgánico, en aquellas zonas donde la bioturbación es mayor, hay un bajo contenido de carbono orgánico (Filipek y Owen, 1980).

En lo que respecta a la distribución del nitrógeno orgánico en estos ambientes, ésta se relaciona principalmente con la dirección de las corrientes (Li y Xu, 1990) y con su mineralización, que aumenta en zonas cercanas al manglar, indicando que en ellas existe una gran disponibilidad de materia orgánica, probablemente derivada de la excreción de las raíces del manglar (Nedwell *et al.*, 1994).

En lo que se refiere a los carbohidratos, éstos ingresan a la fase sedimentaria no sólo a través de las diversas

fuentes establecidas anteriormente, sino también como producto de las transformaciones efectuadas por los microorganismos durante la mineralización de la materia orgánica. Al mismo tiempo los carbohidratos son utilizados por la microbiota presente en el ecosistema (bacterias y hongos, principalmente) como fuente de energía y a través de la actividad bacteriana, pueden ser incorporados en biomasa microbiana; o bien, son transformados metabólicamente en polímeros complejos que contribuyen a la formación de compuestos refractarios. Los carbohidratos constituyen una fracción fundamental del carbono orgánico, contribuyen entre el 14% y el 21% de éste en un estuario (Preston y Prodduturu, 1992; Borsheim *et al.*, 1999); sin embargo, hasta finales de los ochenta se conocía poco acerca de su distribución y abundancia en el ambiente estuarino (Ochiai *et al.*, 1988), esta información se ha incrementado con los trabajos de Preston y Prodduturu (1992) y Borsheim *et al.*, (1999).

Debido a que los ecosistemas costeros son sitios con altos contenidos de materia orgánica, es importante determinar la concentración, distribución y variación de sus componentes químicos, así como los factores que favorecen su acumulación y preservación en los sedimentos y que determinan el reservorio de carbono y nitrógeno orgánicos, el cual constituye una fuente de energía para el sistema; aunado a lo anterior, la composición de la materia orgánica tiene un papel importante en la acumulación de algunos contaminantes orgánicos (HAP y PCB) (Razak *et al.*, 1996). Por lo tanto, los objetivos del presente trabajo fueron determinar el contenido de carbono y nitrógeno orgánicos en sedimentos, y de carbohidratos en el agua intersticial, así como su posible variación estacional y espacial en las lagunas costeras Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco, Ver.

ÁREA DE ESTUDIO

Las lagunas de Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco (Fig. 1) se localizan en la Llanura Costera del Golfo de México, entre las poblaciones de Tuxpan y Tampico, al norte del Estado de Veracruz. El área de estudio está limitada por las coordenadas geográficas extremas 20°57', 22°13' de latitud norte y 97°19', 98°80' de longitud occidental, formando parte de las cuencas hidrológicas de los ríos Tuxpan y Pánuco (Tabla 1).

En lo referente a las características generales de las lagunas estudiadas, Pueblo Viejo es un sistema relativamente pequeño en el que desembocan los ríos La Tapada, Pedernales, La Cuásima, La Puerca y Tamacuil, siendo éste el más importante ya que los demás conducen gastos significativos sólo en época de lluvias. La vegetación está

Tabla 1. Algunas características de los sistemas estudiados.

Laguna	Área Km ²	Profundidad media m	Volumen Km ³	Principales ríos
Pueblo Viejo	112	1.4	157	Pánuco, Tamacuil.
Tamiahua	750	2.0	1041	La Laja, Cucharas, Tancochín.
Tampamachoco	57	1.4	80	Tuxpan.

compuesta básicamente por mangle y en menor grado por tule.

Tamiahua, por su extensión, ocupa el tercer lugar entre las lagunas costeras del país. En ella descargan numerosos ríos, entre los cuales están La Laja, Cucharas,

Tancochín, Malpas y Tampache. Actualmente cuenta con dos bocas, al norte la Boca de Tampachiche, y al sur, la Boca Barra de Corazonos. La laguna de Tamiahua, hidrológicamente ha sido dividida en tres zonas: norte, centro y sur. Las zonas norte y sur se caracterizan por carecer de aportes importantes de agua continental, además, en éstas se ubican las bocas de comunicación con el mar, lo que determina que sean áreas con características eurihalinas; mientras que la zona centro, que es la más extensa, es donde desembocan las principales descargas de agua dulce que se mezclan con el agua marina, creando condiciones mixohalinas durante casi todo el año. El manglar localizado en sus márgenes ha sido talado considerablemente en las dos últimas décadas sobre todo en la porción oeste. A la fecha, dichas zonas no se utilizan para ganadería ni en agricultura.

Tampamachoco, el sistema de menor área, recibe la influencia del río Tuxpan y del estero Del Corral; éste último es una comunicación directa hacia el Golfo de México que fue abierta artificialmente desde 1979. La vegetación circundante está conformada básicamente por manglar, el cual está impactado fuertemente por los asentamientos humanos de la región.

Estas tres lagunas se eligieron como sitio de estudio con base en su importancia ecológica y económica. Desde el punto de vista económico, existen en el Estado de Veracruz dos regiones ostrícolas que aportan hasta un 90% de la producción nacional de ostión (Restrepo, 1995), la primera y más importante se encuentra en la zona norte de la entidad y abarca las lagunas de Tampamachoco, Tamiahua, Pueblo Viejo y la costa (Secretaría de Pesca, 1988; Rodríguez, 1994). Desde el punto de vista ecológico cabe destacar que estudios recientes demuestran que en las lagunas Pueblo Viejo y Tampamachoco los problemas de contaminación son severos y que su productividad ha sido mermada considerablemente ya que dichos ecosistemas están recibiendo aportes constantes de contaminantes orgánicos, inorgánicos y biológicos, que además de alterar las condiciones naturales de los sistemas estuarino-lagunares, ponen en riesgo la salud humana (Barrera y Wong, 1996; Botello y Calva, 1998).

MATERIALES Y MÉTODOS

Estaciones de Muestreo

Las estaciones de colecta para cada laguna se encuentran señaladas en la figura 1. Con la finalidad de determinar las posibles fuentes de los constituyentes orgánicos, así como los factores que influyen en su distribución, las estaciones se ubicaron esencialmente en

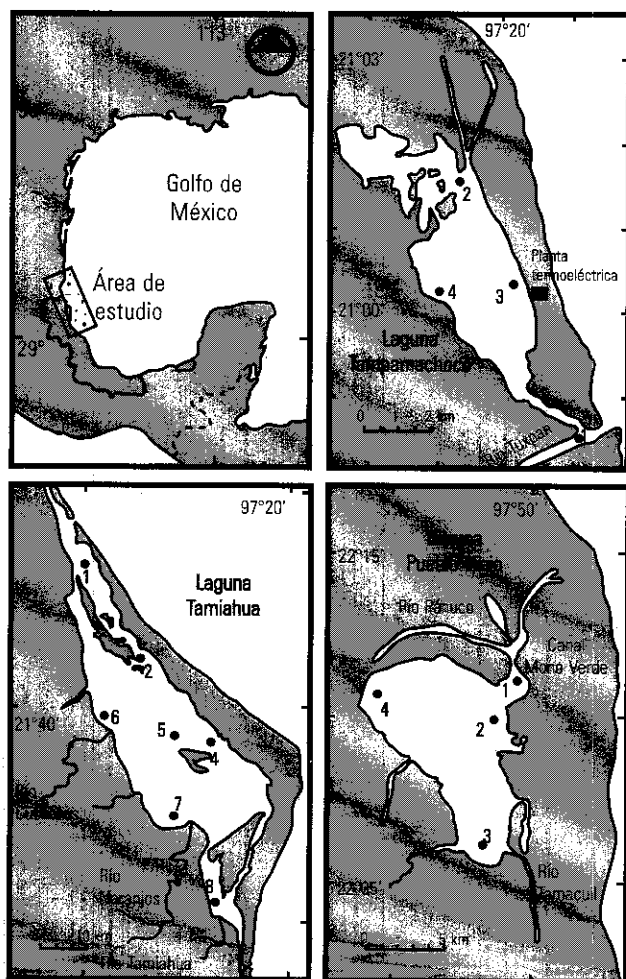


Figura 1. Sitios de muestreo de sedimentos en las lagunas costeras del noreste del Golfo de México.

las áreas sujetas a la influencia de las descargas de arroyos y ríos, en las proximidades de comunicación con el mar y en las zonas caracterizadas por la presencia de vegetación sumergida y/o de bancos ostrícolas.

En la laguna de Pueblo Viejo las estaciones 3 y 4 se localizaron en zonas de influencia dulceacuícola, al estar próximas a las entradas de los ríos Tamacuil y Pedernales, respectivamente. El primero con un flujo permanente y el segundo con un cauce temporal determinado por la época de lluvias; la estación 1 se ubicó en la boca de comunicación con el río Pánuco, cuyo cauce desemboca al mar. Para la laguna de Tamiahua se establecieron estaciones en cada una de las comunicaciones de la laguna con el mar, la primera para la boca de la zona norte (Boca de Tampachiche, estación 1) y la segunda para la zona sur (Boca de Corazones, estación 9), las estaciones 6 y 7 estuvieron sujetas a los aportes de los ríos Cucharas y Naranjos; en tanto que las estaciones 2 y 5 estuvieron cercanas a las islas Juan A. Ramírez y Del Toro con dunas como vestigios de una antigua barrera arenosa. Por último, en la laguna Tampamachoco la estación 3 se estableció cerca de una Planta Termoeléctrica de la CFE, la 2 próxima al canal de comunicación con la laguna de Tamiahua y la 1 en la desembocadura de la laguna con el estuario Tuxpan cercano a la costa.

Carbono Orgánico

En las lagunas Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco se colectaron 91 muestras de sedimento en seis meses diferentes: mayo, julio, septiembre y diciembre de 1994, y marzo y octubre de 1995; dichos meses abarcan épocas de secas y lluvias.

Los sedimentos superficiales se colectaron con una draga van Veen (seis litros) y fueron preservados a 4°C. Posteriormente fueron secados en el laboratorio durante 48 h y se tamizaron en una malla de 0.25 mm.

La determinación del carbono orgánico, se basó en el método propuesto por Gaudette *et al.*, (1974), en el que se lleva a cabo una oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado, seguida de una titulación del exceso de dicromato con sulfato ferroso amoniacal; de acuerdo a los autores, dicha técnica tiene una desviación estándar de $\pm 0.25\%$ y se eligió debido a que es la indicada para sedimentos limo-arcillosos y arenosos y a que es altamente eficiente y permanece vigente, como lo demuestran los trabajos de Abu-Hilal y Khordagui (1994), Guzzella y De Paolis (1994) y El-Sammak (1999).

Carbohidratos disueltos

Para el análisis de los carbohidratos disueltos, se colectaron 68 muestras de sedimento en cuatro meses:

septiembre y diciembre de 1994, octubre y marzo de 1995. Los sedimentos se colectaron con una draga van Veen (seis litros) y fueron conservados a 4°C hasta su procesamiento en el laboratorio.

Los carbohidratos totales se analizaron en el agua intersticial debido a que ésta se enriquece con los carbohidratos originados durante la descomposición de la materia orgánica, llegando éstos a constituir un reservorio de carbono que es rápidamente reciclado en períodos de tiempo cortos. Para su determinación en el agua intersticial la muestra de sedimento, se homogeneizó y centrifugo a 3600 r.p.m. durante 30 minutos siguiendo las recomendaciones de Howes (1985) para separar el agua intersticial del sedimento. De esta manera se recupera la mayor cantidad de agua, aunque no debe sobrepasarse este tiempo de centrifugación para evitar el calentamiento del sedimento (Adams, 1994).

Posteriormente en la fase líquida los carbohidratos totales se determinaron por la técnica descrita en Strickland y Parsons (1972), mediante la cual reaccionan con una mezcla de fenol-ácido sulfúrico para obtener un compuesto de color que se determina espectrofotométricamente a 490 nm. La precisión de la técnica es de ± 0.06 mg/l y la mezcla fenol-ácido sulfúrico proporciona un color estable con diferentes azúcares, sus derivados metilados, oligosacáridos y polisacáridos, mientras que otras mezclas tienen una especificidad mayor hacia ciertos monosacáridos (Strickland y Parsons, 1972).

Nitrógeno orgánico total

Se colectaron 48 muestras para la evaluación del contenido de nitrógeno orgánico total en los mismos meses que se trabajó para carbohidratos. De igual forma, estos sedimentos se colectaron con una draga van Veen (seis litros) y fueron conservados a 4°C hasta su procesamiento en el laboratorio.

El sedimento fue secado a temperatura ambiente durante 48 h, posteriormente se pesó 1 g y enseguida fue sometido a una digestión Kjeldahl (Rodier, 1981). Este procedimiento tiene una precisión de ± 1.2 mg/g y consiste en la transformación del nitrógeno orgánico en amonio, el cual se determinó por la técnica del azul de indofenol (Solórzano, 1969; Strickland y Parsons, 1972), que se basa en la reacción del amonio con hipoclorito y fenol, catalizada con una sal, para formar un compuesto de azul intenso que se lee a 640 nm y tiene una precisión de ± 0.10 mg/g.

Salinidad

La salinidad se cuantificó en las muestras de agua colectadas en cada uno de los meses estudiados mediante

un salinómetro de inducción marca Beckman (precisión de ± 0.03 ups).

Análisis Estadístico

Con el objeto de determinar si había diferencias significativas en los resultados de los contenidos de carbohidratos, carbono y nitrógeno orgánicos tanto entre su distribución espacial como temporal, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de Kruskal-Wallis (no paramétrica). Cuando existían diferencias significativas ($p < 0.05$), se efectuaron análisis pareados ya sea entre estaciones o entre meses, empleando la prueba de U de Mann-Whitney (Daniel, 1995). También se hicieron pruebas de correlación utilizando en éstas los datos de salinidad de cada laguna, con la finalidad de establecer los posibles aportes (marinos o dulceacuícolas) de los componentes orgánicos a los ecosistemas. El análisis estadístico y la transformación de datos fueron hechos empleando STATISTICA para Windows versión 4.5 (STATISTICA 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Laguna Pueblo Viejo

De acuerdo a los resultados obtenidos, el carbono orgánico (C.O.) determinado en la laguna Pueblo Viejo, tuvo cambios estacionales, cuantificándose el mayor porcentaje promedio en el mes de julio de 1994 (1.4%) correspondiente a la época de lluvias y el menor en mayo del mismo año (0.71%), el cual abarca la época de secas; estadísticamente los cambios mensuales de C.O. no fueron significativos (Tabla 2). Los promedios mensuales de los carbohidratos disueltos en el agua intersticial indican una variación estacional con la máxima concentración (28.54 mg/l) en los meses de lluvias (septiembre y octubre) y la mínima (15.46 mg/l) en la temporada de secas (marzo); las diferencias con base en la varianza sí fueron significativas (Tabla 2). En lo que se refiere al nitrógeno orgánico (N.O.), aparentemente tuvo cambios estacionales, para diciembre 352.24 mg/g y 1678.88 mg/g en octubre (Fig. 2); sin embargo, no fueron significativos.

A partir de las pruebas de correlación efectuadas, se calculó una relación negativa ($r = -0.61$; $p < 0.05$) y significativa estadísticamente entre el contenido de carbohidratos y la salinidad, por lo que a menor salinidad mayor contenido de carbohidratos y viceversa; de ahí se infiere que en la laguna de Pueblo Viejo se está presentando un importante aporte alóctono de carbohidratos de origen fluvial y terrestre. La disminución en la concentración de los carbohidratos pudo obedecer a su dilución con el agua marina. Al respecto Preston y Prodduturu (1992) y Murrell y

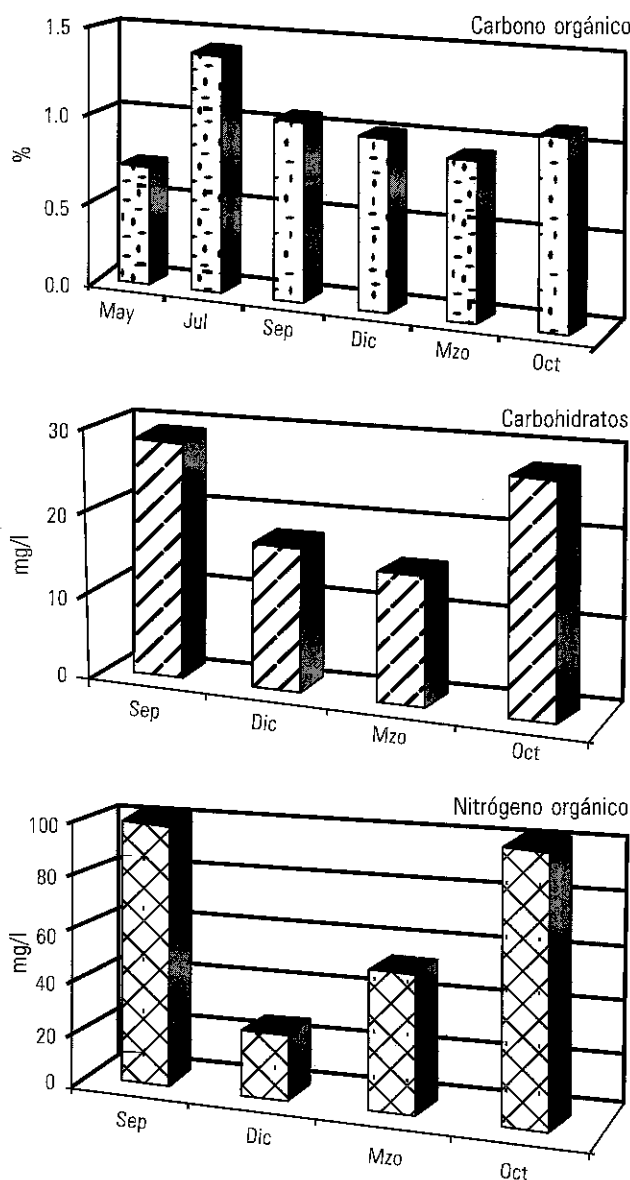


Figura 2. Carbono orgánico, carbohidratos y nitrógeno orgánico en sedimentos de la laguna de Pueblo Viejo.

Hollibaugh (1999) reportaron una correlación negativa entre la salinidad y el contenido de carbohidratos en el estuario Mersey y en la Bahía de San Francisco, a partir de la cual concluyeron que el origen primario de los carbohidratos son los aportes alóctonos de materiales orgánicos (principalmente hojas de angiospermas) y que prevalecen sobre las fuentes autóctonas, éstas últimas derivadas básicamente de la producción fitoplanctónica. Por su parte Odum (1984) estableció que el material orgánico asociado con el gradiente de salinidad proviene principalmente de fuentes terrestres y fluviales, y que se diluyen con el agua marina que tiene una concentración inferior; mientras que el asociado con el

Tabla 2. Carbono orgánico, carbohidratos y nitrógeno orgánico en la Laguna Pueblo Viejo, Tamps. 1994-1995.

Carbono orgánico (%)								
Estaciones	May	Jul	Sep	Dic	Mzo	Oct	Promedio	Desv.Est.
1	0.14	0.77	0.63	0.36	nd	nd	0.48*	0.28
2	0.68	1.58	1.17	1.21	0.69	1.09	1.07	0.34
3	0.31	1.19	1.16	1.20	0.72	0.97	0.93	0.35
4	1.71	2.04	1.25	1.21	1.34	1.22	1.46*	0.34
Promedio	0.71	1.4	1.05	1.00	0.92	1.09		
Desv.Est.	0.70	0.54	0.28	0.42	0.37	0.13		

Carbohidratos (mg/l)							
Estaciones	Sep	Dic	Mzo	Oct	Promedio	Desv.Est.	
1	22.82	17.55	15.79	22.82	19.74	3.62	
2	31.61	14.73	11.39	26.60	21.09	9.58	
3	20.01	17.55	12.27	36.19	21.50	10.31	
4	39.70	18.95	22.38	24.05	26.27	9.20	
Promedio	28.54**	17.19	15.46	27.42**			
Desv.Est.	8.93	1.77	4.99	6.06			

Nitrógeno orgánico (mg/g)						
Estaciones	Sep	Dic	Mzo	Oct	Promedio	Desv.Est.
1	2564.80	730.24	1554.7	2346.96	1799.18	834.39
2	1163.68	287.70	1167.88	319.48	734.69	497.96
3	1842.54	256.62	218.26	2834.30	1287.93	1278.89
4	280.14	134.40	26.88	1214.78	414.05	543.82
Promedio	1462.79	352.24	741.93	1678.88		
Desv.Est.	974.13	260.54	736.56	1132.06		

nd: no determinado.

* diferencias significativas espaciales ($p < 0.05$).

** diferencias significativas temporales ($p < 0.05$).

gradiente de marismas proviene de éstos, de los manglares, pantanos y otras fuentes existentes en los humedales.

En cuanto a la distribución espacial del C.O. promedio en el interior de la laguna Pueblo Viejo, en la tabla 2 se aprecia que existieron variaciones significativas entre las estaciones 4 (La Tapada) y la 1 (Canal de Mono Verde); la primera, ubicada en la desembocadura del río Pedernales presentó un mayor porcentaje de C.O. (1.46 %), y en la segunda, próxima al río Pánuco se registró el menor (0.48 %). De igual forma, la cantidad de carbohidratos fue superior en la estación 4 (26.27 mg/l) e inferior en la 1 (19.74 mg/l), a pesar de ello, dichas diferencias no fueron significativas de acuerdo al análisis de varianza.

En la distribución del N.O., se cuantificó en la estación 1 del Canal del Mono Verde la mayor concentración (1799.18

mg/g), y en la estación 4 (La Tapada) la menor (414.05 mg/g), aunque el análisis de varianza efectuado indica que las diferencias entre las distintas estaciones no fueron significativas.

Con base en lo anterior, se observa que existe un patrón de distribución del carbono orgánico en la laguna Pueblo Viejo, en el cual los menores contenidos de C.O. y carbohidratos estuvieron asociados a la zona cercana a la boca, siendo el caso opuesto a la estación cercana a la desembocadura del río Pedernales, donde se determinaron las concentraciones más altas de ambos; sin embargo, el N.O. presentó un comportamiento opuesto. Esto sugiere que en la distribución de los constituyentes carbonados de la materia orgánica en la laguna Pueblo Viejo están relacionados diversos factores como ha sido establecido por otros autores (Al-Ghadban *et al.*, 1994), entre los que destacan

los patrones de circulación, la distribución de los sedimentos, el tamaño de grano de los mismos y los aportes alóctonos y autóctonos de materia orgánica.

Márquez *et al.*, (1996) establecieron que en la laguna Pueblo Viejo la disposición de los sedimentos se encuentra influida por las corrientes en dirección norte que producen un transporte en ese sentido; éstas, asociadas al oleaje ocasionado por los vientos provenientes del sureste, crean condiciones de alta energía que inducen el depósito de material grueso (arena) en la zona cercana a la boca de comunicación con el río Pánuco, en tanto, hacia el sur, al disminuir la velocidad de las corrientes a 10 cm/s se facilita la sedimentación de materiales finos (limos y arcillas). Odum *et al.*, (1979) y Odum (1984), mencionan que si la velocidad de las corrientes es inferior a los 20 cm/s las partículas pequeñas (5-10 mm) se sedimentan rápidamente, mientras que, si la velocidad es superior a los 20-40 cm/s las partículas permanecen temporalmente en suspensión; por consiguiente, en donde los procesos dinámicos ejercen una alta energía no se favorece la depositación de sedimentos finos ni de material orgánico.

Del mismo modo, el tamaño de grano de los sedimentos influye en la cantidad de materiales orgánicos que están presentes, De La Lanza (1986) y Valette (1993) reportan una relación negativa existente entre la distribución de materia orgánica y el tamaño de grano: a menor tamaño de grano, mayor acumulación de materia orgánica. Las fracciones representadas por el limo y las arcillas tienen de 27-30 veces más contenido de carbono orgánico que la fracción arenosa, este aumento en el contenido del carbono orgánico en las fracciones finas puede ser atribuido al incremento del área superficial en dichas partículas que da como resultado un aumento de su capacidad adsorbente (Padmalal y Seralathan, 1995). A este respecto Mayer (1994) cita que el carbono orgánico se adsorbe en gran parte sobre estos granos.

La estación 4 (La Tapada), además de caracterizarse por una baja energía hidrodinámica y sedimentos finos que favorecen una mayor presencia de los componentes orgánicos, se presentaron lechos de pastos sumergidos, estando además ubicada cerca de zonas de manglar bien conservadas, los primeros constituyen una fuente autóctona de carbono orgánico y el manglar una entrada alóctona de materia orgánica al sistema (Eatherall *et al.*, 1998). Mann (1972) indica que el aporte de materia orgánica al sedimento en los ecosistemas estuarino-lagunares se favorece por la presencia de macrovegetación (pastos marinos y macroalgas), ya que la mayor parte de su producción se incorpora a la cadena del detrito más que a la del pastoreo. Además en las estaciones antes mencionadas se ubican cultivos de

ostiön prósperos que constituyen una entrada adicional de material orgánico.

Laguna Tamiahua

Para la laguna de Tamiahua los contenidos promedio mayores de C.O. se registraron en octubre de 1995 (2.12%) en la época de lluvias y los más bajos en mayo de 1994 (0.46 %), en la temporada de secas; dichas diferencias son estadísticamente significativas de acuerdo al análisis de varianza efectuado (Tabla 3). Los carbohidratos en el agua intersticial aparentemente tuvieron una variación estacional, siendo en el mes de marzo donde se evaluó el contenido promedio más alto (29.56 mg/l) y el más bajo en el mes de octubre (14.52 mg/l); no obstante lo anterior, las diferencias no fueron significativas con base en la varianza. Una variación estacional estadísticamente significativa (Tabla 3), también se cuantificó en el contenido de N.O. con las concentraciones promedio más altas (2748.65 mg/g) en octubre y las más bajas (648.37 mg/g) en diciembre (Fig. 3).

A partir de las variaciones estacionales significativas obtenidas del carbono y del nitrógeno orgánicos, se establece la importancia que tienen los aportes alóctonos de materia orgánica al ecosistema y que ingresan a éste a través de los ríos principalmente durante los meses asociados a la época de lluvias, asimismo cabe mencionar que la laguna de Tamiahua importa grandes cantidades de materia orgánica de los sistemas adyacentes (Abarca-Arenas y Valero-Pacheco, 1993). El agua de ríos generalmente tiene una concentración de carbono orgánico disuelto superior a la obtenida en el medio marino, Sholkovitz (1976) estimó que la concentración promedio del carbono orgánico disuelto en ríos de zonas templadas es aproximadamente cinco veces mayor a la del agua marina. Los aportes fluviales son particularmente importantes en la zona centro de la laguna, ya que además de conducir materiales orgánicos de origen terrestre, llevan los introducidos por las descargas de aguas residuales provenientes de las ciudades de Cucharas y Naranjos (Barrera *et al.*, 1999); como fue establecido por Preston y Prodduturu (1992) y Algarsamy (1991) una gran cantidad de materiales orgánicos provienen de los aportes domésticos e industriales y llegan por medio de los ríos a las lagunas costeras. Aunado a lo anterior, en el presente estudio también se determinó una correlación negativa entre la salinidad y los carbohidratos cuantificados ($r = -0.57$; $p < 0.05$) en la laguna de Tamiahua, lo que destaca la importancia que tienen los ríos en el aporte de estos compuestos a la laguna costera.

De los resultados obtenidos por estaciones de colecta en el sistema de Tamiahua (Tabla 3), los porcentajes promedio de C.O. más altos se evaluaron en la 6 (Estero de

Tabla 3. Carbono orgánico, carbohidratos y nitrógeno orgánico en sedimentos de la Laguna Tamiahua, Ver. 1994-1995.

Carbono orgánico (%)								
Estaciones	May	Jul	Sep	Dic	Mzo	Oct	Promedio	Desv.Est.
1	0.87	2.54	0.83	1.21	0.68	2.2	1.39	0.79
2	0.69	1.07	0.78	1.29	3.75	2.83	1.74	1.26
3	0.11	0.69	nd	0.74	0.33	1.33	0.64	0.47
4	0.48	0.42	2.4	2.32	3.14	1.79	1.76	1.10
5	0.55	0.36	2.01	1.92	nd	2.37	1.44	0.92
6	0.69	2.09	2.16	2.27	nd	2.21	1.88	0.67
7	0.20	0.89	2.13	0.74	0.57	nd	0.91	0.73
8	0.13	0.88	0.44	1.18	0.32	nd	0.59	0.43
9	0.45	0.24	nd	0.17	nd	nd	0.29	0.15
Promedio	0.46**	1.02	1.54	1.32	1.47	2.12**		
Desv.Est.	0.27	0.79	0.81	0.73	1.55	0.51		

Carbohidratos (mg/l)						
Estaciones	Sep	Dic	Mzo	Oct	Promedio	Desv.Est.
1	22.82	21.59	11.83	27.75	21.00	6.66
2	24.23	30.74	12.89	26.16	23.50	7.59
3	22.65	21.77	22.82	19.48	21.68	1.54
4	22.65	30.21	17.55	52.01	30.60	15.19
5	40.94	16.32	18.87	29.86	26.49	11.28
6	40.58	23.70	8.75	50.78	30.96	18.54
7	22.65	22.65	11.83	21.94	19.77	5.30
8	22.12	14.56	14.73	21.94	18.34	4.27
9	21.77	17.55	11.39	16.14	16.71	4.28
Promedio	26.71	22.12	14.52	29.56		
Desv.Est.	7.99	5.64	4.43	13.07		

Nitrógeno orgánico (mg/g)						
Estaciones	Sep	Dic	Mzo	Oct	Promedio	Desv.Est.
1	1612.80	193.48	1892.80	2923.48	1655.64	1125.97
2	1355.20	1551.06	3961.16	2347.10	2303.63	1185.35
6	2178.40	217.98	1662.22	3261.16	1829.94	1264.43
7	2657.48	190.82	2244.20	1950.34	1760.71	1086.04
9	1248.10	1088.50	1971.06	3261.16	1892.21	990.13
Promedio	1810.40	648.37**	2346.29	2748.65		
Desv.Est.	594.85	634.44	926.37	581.90		

nd: no determinado.

** diferencias significativas temporales ($p < 0.05$).

Cucharas), 4 (Cabo Rojo) y 2 (La Loza) con 1.88 %, 1.76% y 1.74%, en tanto que los más bajos se cuantificaron en las estaciones 8 (Estero Tampache) y 9 (Boca de Corazones) con 0.59% y 0.29%, respectivamente, aunque las diferencias no fueron significativas estadísticamente. Los carbohidratos disueltos tuvieron la mayor concentración en

la estación 6 (30.96 mg/l) y la 4 (30.60 mg/l), mientras que las más bajas se determinaron en las estaciones 7 (19.77 mg/l), 8 (18.34 mg/l) y la 9 (16.71 mg/l) cercana a la boca sur; sin embargo, estas diferencias tampoco fueron significativas de acuerdo al análisis de varianza efectuado. En lo que se refiere al N.O. en la estación 2 se cuantificó un

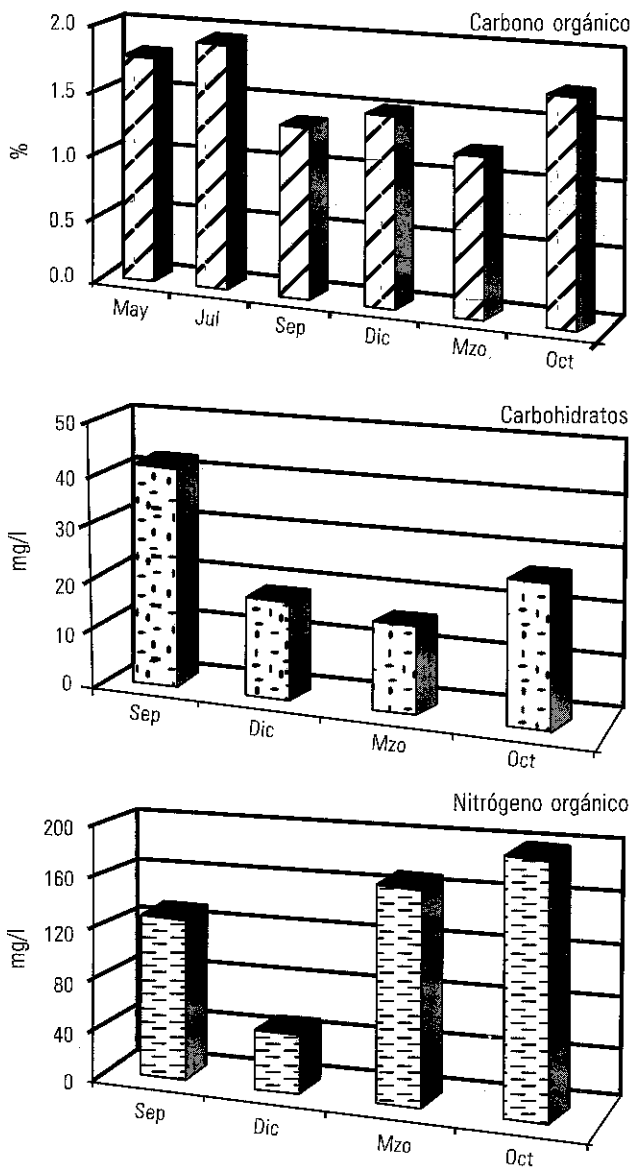


Figura 3. Carbono orgánico, carbohidratos y nitrógeno orgánico en sedimentos de la laguna Tamiahua.

contenido elevado (2303.63 mg/g) y en contraparte, en la estación 1 (Punta Mangle) fue bajo (1655.64 mg/g), como en los casos anteriores los cambios no fueron significativos estadísticamente (Tabla 3).

Lo anterior indica que la distribución espacial de los componentes orgánicos en el interior de la laguna de Tamiahua es homogénea, posiblemente por la alta hidrodinámica de la misma, ya que en cada una de sus zonas la fuerza y dirección de las corrientes es distinta, a diferencia de Pueblo Viejo que se caracteriza por una corriente en dirección norte-sur. En la laguna Tamiahua en

la parte norte se presentan dos corrientes, una en dirección norte-este con una velocidad de 22 cm/s y una hacia el sur-oeste con una velocidad de 20 cm/s. En la región centro las corrientes predominan en dirección norte con 25 cm/s, excepto entre Isla del Toro y Cabo Rojo que alcanzan velocidades de 46 cm/s. En el sur de la laguna hay dos corrientes, una con dirección norte y una velocidad de 22 cm/s y una hacia el sur con una velocidad de 12-22 cm/s, como resultado de estos procesos de mezcla existe una mayor cantidad de sedimentos de tipo arenoso (Márquez *et al.*, 1996). Las características hidrodinámicas antes mencionadas influyen en el balance resuspensión/sedimentación que afecta la distribución de las fracciones orgánicas en los sistemas estuarinos. (Pusceddu *et al.*, 1999).

Laguna Tampamachoco

La laguna Tampamachoco al igual que Pueblo Viejo contó con el mayor porcentaje de C. O. en el mes de julio de 1994 (1.95%), mientras que en marzo de 1995 se registró el menor contenido promedio (1.25%), sin embargo, estas variaciones no fueron estadísticamente significativas. En el caso del contenido de los carbohidratos, en marzo se cuantificó el menor promedio (16.76 mg/l) y en septiembre el mayor (42.39 mg/l), tampoco las diferencias fueron estadísticamente significativas (Fig. 4). Por el contrario, se determinó una variación estacional estadísticamente significativa para el N.O. presentándose la mayor concentración promedio en octubre (3311.09 mg/g) y la menor en diciembre (220.97 mg/g) (Tabla 4).

El mayor contenido de nitrógeno orgánico estuvo asociado a la temporada de lluvias como en el caso de la laguna de Tamiahua, destacándose la importancia de los aportes alóctonos que ingresan al sistema por arrastre fluvial. Seitzinger y Sanders (1997) establecieron que la entrada de nitrógeno orgánico a través de los ríos puede representar del 20 al 90% del total del nitrógeno orgánico cuantificado en los estuarios; a partir de estos porcentajes, dichos autores sugieren que el nitrógeno orgánico de los ríos que entra a los estuarios, contribuye en gran medida a la eutroficación de éstos. El decremento en el contenido de nitrógeno orgánico registrado en el mes de diciembre pudo obedecer a la alta dinámica de transformación del mismo a otras especies químicas como amonio, nitratos y nitritos, o bien, a su transporte a la zona costera adyacente (López, 1988). La concentración de nitrógeno orgánico y su permanencia en el ecosistema están relacionadas con su tasa de mineralización, ya que la complejidad bioquímica incrementa el tiempo de descomposición. Los materiales orgánicos con gran contenido de nitrógeno y pobres en lignina generalmente se degradan a mayor velocidad, lo que

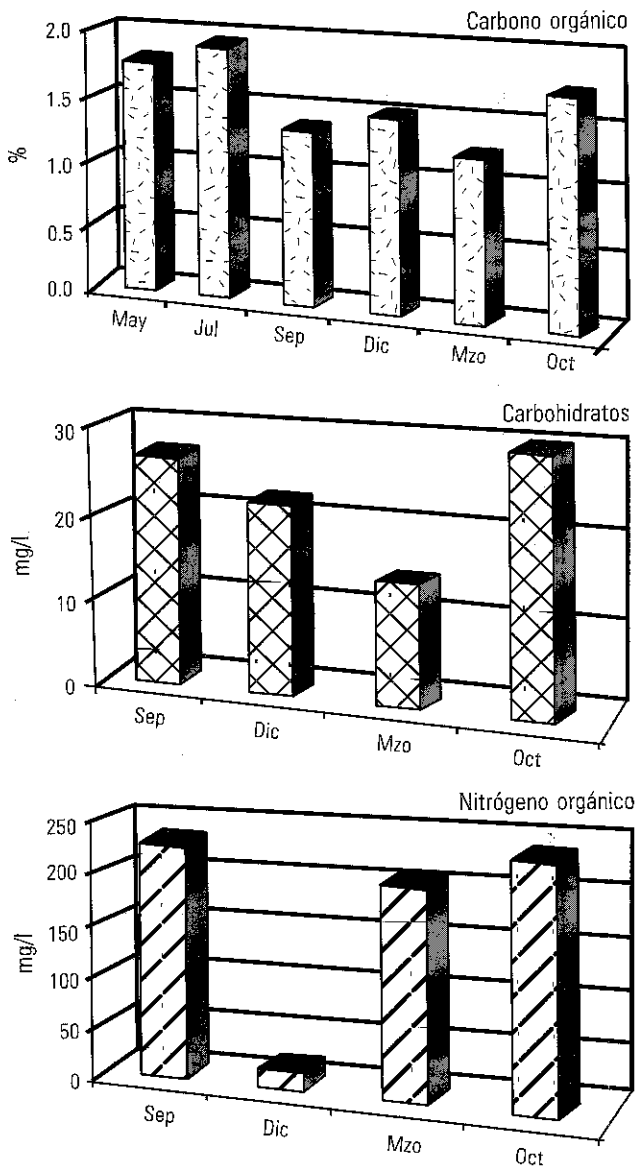


Figura 4. Carbono orgánico, carbohidratos y nitrógeno orgánico en sedimentos de la laguna Tampamachoco.

se traduce en un descenso de las concentraciones de nitrógeno orgánico, un aumento en la biomasa microbiana y la mineralización hacia las formas inorgánicas (Seitzinger y Sanders, 1997); mientras que los materiales con bajas cantidades de nitrógeno y ricos en lignina, generalmente tienen potenciales de inmovilización de nitrógeno más altos, permaneciendo en el sistema (Melillo, 1984). Donnelly y Herbert (1999) señalan que el nitrógeno orgánico resultante de los pastos senescentes se mineraliza rápidamente. En lo que respecta a su transporte a la zona costera, López (1988) determinó en un estudio efectuado en el complejo lagunar de Alvarado-Camaronera y zonas

adyacentes, que durante la temporada de "nortes" el nitrógeno orgánico es acarreado desde la laguna hacia el área costera colindante.

De acuerdo a la tabla 4 de resultados promedio de C.O., en el sistema Tampamachoco, la estación 2 (Dos Bocas) tuvo los porcentajes más altos con 2.67 %, en contraparte, los menores (1.14 %) correspondieron a la estación 4 (Paso Daniel); estas diferencias fueron estadísticamente significativas. Con respecto a la abundancia de carbohidratos disueltos, fueron mayores en la estación 2 con 29.13 mg/l y en la 1 (Estero Jácome) el contenido disminuyó a 21.00 mg/l; pero, estadísticamente estas diferencias no fueron significativas. En lo que se refiere al N.O., en la estación 2 se cuantificaron 2712.36 mg/g, con respecto a 20.84.50 mg/g de la estación 1 (Estero Jácome); como en el caso de los carbohidratos disueltos las diferencias no fueron significativas estadísticamente (Tabla 4).

En la laguna Tampamachoco los cambios espaciales del carbono orgánico probablemente estuvieron relacionados con las zonas de influencia marina y dulceacuícola. Nair *et al.*, (1983) y Guo y Santschi (1997) en ambientes costeros registraron los porcentajes menores de carbono orgánico en la zona marina del sistema, y en la porción dulceacuícola el contenido fue mayor, indicando que el carbono orgánico puede cambiar de componentes principalmente terrestres hacia componentes fitoplanctónicos durante la mezcla estuarina. Un comportamiento similar fue reportado por Odum (1984), quien estableció que la disminución en la concentración del carbono orgánico posiblemente se relaciona con la dilución de los aportes fluviales ricos en materia orgánica con el agua marina que tiene una concentración inferior, así como con una depositación del material terrestre y fluvial.

Por otra parte, de las tres lagunas estudiadas en la que se registró la mayor concentración de carbono orgánico, carbohidratos disueltos y nitrógeno orgánico fue Tampamachoco, seguida por Tamiahua y por último Pueblo Viejo; tal orden de concentraciones fue semejante al citado por Botello y Calva (1998) para lo correspondiente a hidrocarburos aromáticos policíclicos en los sedimentos de los sistemas antes mencionados.

El mayor contenido de los componentes orgánicos en la laguna Tampamachoco probablemente sea el resultado de que este sistema tiene condiciones de muy baja energía, con una velocidad de corriente de 3 cm/s, presenta predominantemente sedimentos limoso-arcillosos y una tasa de sedimentación alta (Márquez *et al.*, 1996). Al respecto, Padmalal y Seralathan (1995) determinaron que el contenido de carbono orgánico es superior en las

Tabla 4. Carbono orgánico, carbohidratos y nitrógeno orgánico en sedimentos de la Laguna Tampamachoco, Ver. 1994-1995.

Carbono orgánico (%)								
Estaciones	May	Jul	Sep	Dic	Mzo	Oct	Promedio	Desv.Est.
1	1.97	1.78	1.60	0.76	0.67	1.55	1.39	0.54
2	2.76	2.37	nd	2.76	2.88	2.58	2.67*	0.20
3	1.12	2.42	1.17	1.32	0.57	1.06	1.28	0.62
4	1.23	1.21	1.26	1.09	0.89	nd	1.14	0.15
Promedio	1.77	1.95	1.34	1.48	1.25	1.73		
Desv. Est.	0.76	0.57	0.23	0.88	1.09	0.63		

Carbohidratos (mg/l)							
Estaciones	Sep	Dic	Mzo	Oct	Promedio	Desv.Est.	
1	25.46	8.75	22.38	27.39	21.00	8.42	
2	47.09	31.61	11.30	26.51	29.13	14.76	
3	51.14	27.22	12.27	20.54	27.79	16.72	
4	45.86	7.87	21.06	31.61	26.60	16.10	
Promedio	42.39	18.87	16.76	26.52			
Desv. Est.	8.42	14.76	16.72	16.10			

Nitrógeno orgánico (mg/g)							
Estaciones	Sep	Dic	Mzo	Oct	Promedio	Desv.Est.	
1	3156.44	197.68	2305.94	2677.92	2084.50	1305.16	
2	3515.96	24.64	3752.56	3556.28	2712.36	1794.79	
3	3022.04	440.58	2530.92	3699.08	2423.16	1405.81	
Promedio	3231.48	220.97**	2863.14	3311.09			
Desv. Est.	255.37	208.95	778.43	552.97			

nd:no determinado.

* diferencias significativas espaciales ($p < 0.05$).** diferencias significativas temporales ($p < 0.05$).

fracciones limosas y arcillosas en comparación con la arenosa, mientras que Venkataswamy Reddy y Hariharan (1986) registraron una relación directa entre el contenido de nitrógeno total y de las arcillas en los sedimentos, debido a que las arcillas inmovilizan los sustratos nitrogenados, atrapándolos dentro de un cristal arcilloso. Además de lo anterior, en este ecosistema existe una mayor abundancia tanto de vegetación sumergida como de macroalgas bentónicas y en los ecosistemas tropicales las algas bentónicas y las plantas vasculares son la principal fuente de carbono orgánico (Polard y Kogure, 1993; Pusceddu *et al.*, 1999).

Como puede observarse en los sistemas estudiados la variación estacional de los componentes orgánicos principalmente estuvo influida por los aportes terrígenos y posiblemente por los antropogénicos introducidos por los ríos, mientras que el comportamiento espacial estuvo relacionado con diversos parámetros. Al-Ghadban *et al.*, (1994), establecieron que varios factores están implicados en la

distribución de las formas orgánicas en zonas costeras, como son la circulación del agua, diversos contaminantes (hidrocarburos, entre ellos), el tamaño de grano del sedimento y la productividad biológica. Además, de los factores mencionados que contribuyen a la variación y distribución de los diferentes constituyentes orgánicos, es importante señalar que éstos pueden ser utilizados por la microbiota presente en el ecosistema (bacterias y hongos, principalmente) como fuente de energía y a través de la actividad microbiana los compuestos orgánicos son mineralizados y también pueden ser incorporados en biomasa microbiana o bien, pueden ser exportados hacia la zona costera adyacente (López, 1988; Ochiai *et al.*, 1988; Algarsamy, 1991).

Por último, en la tabla 5, se presentan los contenidos de carbono orgánico, nitrógeno orgánico y carbohidratos disueltos registrados en diversos ambientes costeros, y, como puede observarse, en general los contenidos determinados en este estudio son similares a otros sistemas

Tabla 5. Carbono orgánico, carbohidratos y nitrógeno orgánico promedio en algunas lagunas costeras.

Sistema	C.O. (%)	Autor
Pueblo Viejo, Tamps.	1.03	Este estudio
Tamiahua, Ver.	1.32	Este estudio
Tampamachoco, Ver.	1.59	Este estudio
Salada, Ver.	1.64	Rodríguez (1994)
La Mancha, Ver.	3.99	Rodríguez (1994)
Mandinga, Ver.	1.32	Calva (1998)
Alvarado, Ver.	2.55	Calva (1998)
Sontecomapan, Ver.	1.50	Calva y Botello (1999)
Del Carmen, Tab.	1.27	Rueda (1993)
Machona, Tab.	1.16	Rueda (1993)
Chantuto-Panzacola, Chis.	4.96	Calva (1999)
Carretas-Pereyra, Chis.	7.24	Calva (1999)
Chantuto-Panzacola, Chis.	4.85	Rueda <i>et al.</i> , (1997)
Carretas-Pereyra, Chis.	6.61	Rueda <i>et al.</i> , (1997)
Estuario Ashtamudi, India	2.51	Nair <i>et al.</i> (1983)
Estuario Goa, India	1.05	Algarsamy (1991)
Bahía Alejandría, Egipto	1.61	El-Sammak (1999)

Sistema	Carbohidratos (mg/l)	Autor
Pueblo Viejo, Tamps.	22.15	Este estudio
Tamiahua, Ver.	23.23	Este estudio
Tampamachoco, Ver.	26.14	Este estudio
Mandinga, Ver.	34.52	Torres (1998)
Alvarado, Ver.	55.43	Torres (1998)

Sistema	N.O. (mg/g)	Autor
Pueblo Viejo, Tamps.	1058.96	Este estudio
Tamiahua, Ver.	1889.16	Este estudio
Tampamachoco, Ver.	2406.74	Este estudio
Alvarado, Ver.	407.4 - 10771.18	López (1988)
Laguna Venice	950 - 3700	Calvo <i>et al.</i> 1991
Laguna Venice	300 - 920	Calvo <i>et al.</i> 1991
Mangalore	38-465	Venkataswamy y Hariharan (1986)

estuarino lagunares, con excepción del C.O. en el que los porcentajes fueron mayores en las lagunas del Estado de Chiapas.

CONCLUSIONES

Existe una variación estacional en el contenido del carbono orgánico y del nitrógeno orgánico en el sedimento, así como de los carbohidratos disueltos en el agua intersticial de las lagunas Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco originada principalmente por los aportes alóctonos

térrigenos y antropogénicos que llegan a las lagunas a través de las descargas fluviales que aumentan en los meses asociados con la temporada de lluvias, confirmándose la relevancia que tienen los afluentes que desembocan a dichos sistemas en el comportamiento temporal de los componentes orgánicos.

El comportamiento espacial del carbono orgánico y nitrógeno orgánico en los sedimentos, y de los carbohidratos disueltos en el agua intersticial en los sistemas estudiados estuvo influenciado por diversos factores, entre ellos la dirección y velocidad de las corrientes, el tipo de sedimento, el aporte alóctono del material orgánico derivado del manglar adyacente y por los aportes autóctonos provenientes de la vegetación sumergida.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se llevó a cabo con el financiamiento otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), a través del Convenio 400200-5-4284PT. Asimismo, agradecemos al Dr. Francisco Gutiérrez Mendieta y a los revisores anónimos del manuscrito sus valiosos comentarios y sugerencias.

LITERATURA CITADA

- ABARCA-ARENAS, L. G. y E. VALERO-PACHECO, 1993. Toward a trophic model of Tamiahua, a coastal lagoon in Mexico. *Trophic models in aquatic ecosystems*. ICLARM, Manila (Philippines). ICLARM Conference Proceedings. Manila. No. 26:181-185.
- ABU-HILAL, A. H. y K. KHORDAGUI, 1994. Petroleum hydrocarbons in the nearshore marine sediments of the United Arab Emirates. *Environmental Pollution* 85(3): 315-319.
- ADAMS, D. D., 1994. Sediment pore water sampling. pp. En: A. MUDROCH y S. D. MACKNIGHT (Comps.). *Techniques for Aquatic Sediments Sampling*. Lewis Publishers. USA. 236 p.
- ALGARSAMY, R., 1991. Organic carbon in the sediments of Mandovi Estuary, Goa. *Indian Journal of Marine Sciences* 20(3): 221-222.
- AL-GHADBAN, A. N., P. G. JACOB y F. ABDAL, 1994. Total Organic Carbon in the Sediments of the Arabian Gulf and Need for Biological Productivity Investigations. *Marine Pollution Bulletin* 28: 356-362.
- BARRERA, G. E. y CH. I. WONG, 1996. Fuentes de contaminación por microorganismos en zonas costeras. pp.377-381. En: BOTELLO A. V., F. VÁZQUEZ, J. L. ROJAS, J. A. BENÍTEZ y D. ZÁRATE (Comps). *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*.

- BARRERA, G. E., CH. I. WONG, A. S. SOBRINO, X. GUZMAN, F. G. HERNÁNDEZ y F. V. SAAVEDRA, 1999. Evaluación microbiológica de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, en el ciclo 1994-1995. *Hidrobiológica* 9(2): 125-134.
- BENNER, R., J. D. PAKULSKY, M. MCCARTHY, J. I. HEDGES y P. G. HATCHER, 1992. Bulk chemical characteristics of dissolved organic matter in the ocean. *Science* 225: 1561-1564.
- BENNER, R. A., 1982. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in the modern ocean: Its geochemical and environmental significance. *American Journal of Science* 282(3): 451-473.
- BORSHEIM, K. Y., S. M. MYKLESTAD y J. A. SNELI, 1999. Monthly profiles of DOC, mono- and polysaccharides at two locations in the Trondheimsfjord (Norway) during two years. *Marine Chemistry* 63(18): 255-272.
- BOTELLO, A. V. y L. G. B. CALVA, 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Pueblo Viejo, Tamiahua and Tampamachoco Lagoons in the Northern Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 60(1): 96-103.
- CALVA, B. L. G., 1998. Determinación del porcentaje de carbono orgánico y análisis granulométrico de los sedimentos en las lagunas Alvarado y Mandinga, Veracruz. pp. 13-15. En: F. CONTRERAS (Comp.). Estudio de la variación espacio temporal de la composición por tamaños de la comunidad planctónica en las lagunas Alvarado y Mandinga, Veracruz. Informe Final del Proyecto Divisional, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.
- CALVA, B. L. G. y A. V. BOTELLO, 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Sontecomapan Lagoon, Veracruz, Mexico. *Hidrobiológica* 9(1): 45-52.
- CALVA, B. L. G., 1999. Determinación del porcentaje de carbono orgánico y análisis granulométrico de los sedimentos en las lagunas Carretas-Pereyra y Chantuto-Panzacola. pp. 61-76. En: F. CONTRERAS (Comp.). Estudio biogeoquímico de nutrientes, productividad primaria fitoplanctónica y algunos consumidores en dos lagunas costeras tropicales del Estado de Chiapas (Carretas-Pereyra y Chantuto-Panzacola). 1999. Informe Final del Proyecto CONACyT – UAM.
- CALVO, C., M. GRASSO y G. GARDENGI, 1991. Organic carbon and nitrogen in sediments and in resuspended sediments of Venice Lagoon: relationships with PCB contamination. *Marine Pollution Bulletin* 22(11): 543-547.
- CANFIELD, D. E., 1994. Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments. *Chemical Geology* 114(3): 315-329.
- DANIEL, W. W., 1995. *Bioestadística*. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Editorial Limusa S.A. de C.V. México, D.F. 878 p.
- DE LA LANZA, E. G., 1986. Materia orgánica en los sedimentos del sistema lagunar Huizache y Caimanero: importancia, comportamiento y significado en modelos de predicción. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México* 13(1): 251-286.
- DONNELLY, A. P. y R. A. HERBERT, 1999. Bacterial interactions in the rhizosphere of seagrass communities in shallow coastal lagoons. *Journal of Applied Microbiology* 85(19): 151-160.
- EATHERALL, A., P. S. NADEN y D. M. COOPER, 1998. Simulating carbon flux to the estuary: The first step. *Science of the Total Environment* 210(6): 519-533.
- EL-SAMMAK, 1999. Model of sediments movement in Montazah, A Semi-Enclosed Bay, Alexandria, Egypt. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 63(5): 618-624.
- FILIPEK, L. H. y R. M. OWEN, 1980. Early diagenesis of organic carbon and sulfur in outer shelf sediments from the Gulf of Mexico. *American Journal of Science* 280(10): 1097-1112.
- GAUDETTE, H., W. FLIGH, L. TONER y D. FOLGER, 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentology and Petrology* 44: 249-253.
- GUO, L. D. y P. H. SANTSCHI, 1997. Isotopic and elemental characterization of colloidal organic matter from the Chesapeake Bay and Galveston Bay. *Marine Chemistry* 59(2): 1-15.
- GUZZELLA, L. y A. DE PAOLIS, 1994. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 28(3): 159-165.
- HOWES, B. L., 1985. Effects of sampling technique on measurements of porewater constituents in salt marsh sediments. *Limnology and Oceanography* 30 (1): 221-227.
- LI, L. y J. XU, 1990. Distribution characteristics of organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in sediments in central and northern Taiwan Strait. *Tropic Oceanology*. 9(1): 31-38
- LIBES, S. M., 1992. *An introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. 129-141 pp.
- LÓPEZ, L. B., 1988. Aporte de nitrógeno orgánico de la zona pantanosa del Río Limón a la Laguna de Alvarado, Veracruz. *Servicio Social. Laboratorio de Oceanografía. UAMI. México*. 111 p.
- MANN, K. H., 1972. Macrophyte production and detritus food chains in coastal waters. *Memorias Instituto Italiano de Hidrobiología* 29: 353-386.
- MÁRQUEZ, Z. A. G., A. PÉREZ-ROJAS y V. DÍAZ, 1996. Geología y Sedimentación. pp. 29-43. En: F. CONTRERAS (Comp.). Evaluación Geoquímica Ambiental y Diagnóstico de la Zona Costera de Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco. Informe Final CONACyT – UAMI.
- MAYER, L. M., 1994. Surface area control of organic carbon accumulation in continental shelf sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58(4): 1271-1284.

- MELILLO, M., 1984. Factors controlling mass loss and nitrogen dynamics of plants litter decaying in northern streams. *Bulletin of Marine Science* 35(3): 341-356.
- MURREL, M.C. y J. T. HOLLIBAUGH, 1999. Organic carbon composition in Northern San Francisco Bay during low freshwater flow conditions. 15 The Biennial international Conference Estuarine Research Federation 99. New Orleans, U.S.A.
- NAIR, N. B., M. ARUNACHALAM, P. K. A. AZIS, K. K. KUMAR y K. DHARMARAJ, 1983. Ecology of Indian estuaries. Distribution of organic carbon in the sediments of the Ashtamudi Estuary. *Indian Journal of Marine Sciences* 12(4): 225-227.
- NEDWELL, D. B., T. H. BLACKBURN y W. J. WIEBE, 1994. Dynamic nature of the turnover of organic carbon, nitrogen and sulphur in the sediments of a Jamaican mangrove forest. *Marine Ecology Progress Series* 110(2-3): 223-231.
- OCHIAI, M., M. OGINO, K. SASAKI y T. OKASAWA, 1988. Behaviour of particulate carbohydrates and amino acids in the estuary of the Tama River. *Marine Chemistry* 25: 265-278.
- ODUM, W. E., 1984. Dual-gradient concept of detritus transport and processing in estuaries. *Bulletin of Marine Science* 35(3): 510-521.
- ODUM, W. E., S. J. FISHER y J. C. PICKRAL, 1979. Factors controlling the flux of particulate organic carbon from estuarine wetlands. En: R. J. LIVINGSTON (Comp.). *Ecological Processes in coastal and marine systems*. Plenum Press. New York. 447 p.
- PADMALAL, D. y P. SERALATHAN, 1995. Organic carbon and phosphorus loading in recently deposited riverine and estuarine sediments, a granulometric approach. *Indian Journal of Earth Sciences* 22: 21-28.
- POLLARD, P. C. y K. KOGURE, 1993. Bacterial decomposition of detritus in a tropical seagrass (*Syringodium isoetifolium*) ecosystem, measured with [Methyl-³H]thymidine. *Australian Journal Freshwater Research* 44(1-2): 155-172.
- PRESTON, M. R. y P. PRODDUTURU, 1992. Tidal variations of particulate carbohydrates in the Mersey Estuary. *Estuarine, Coastal and Marine Science* 34: 37-48.
- PUSCEDDU, A., G. SARA, M. ARMENI, M. FABIANO y A. MAZZOLA, 1999. Seasonal and spatial changes in the sediment organic matter of a semi-enclosed marine system (W-Mediterranean Sea). *Hydrobiologia* 397(12): 59-70.
- RAZAK, I. A. A., A. LL y E. R. CHRISTENSEN, 1996. Association of PAHs, PCBs, super(137)Cs, and super(210)Pb with clay, silt and organic carbon in sediments. *Proceedings of the 18th Biennial Conference of the International Association of Water Quality*. Water Science and Technology 34(7-8): 29-35.
- RESTREPO, I. Coord., 1995. *Desarrollo sustentable en el Golfo y Caribe de México*. Centro de Ecología y Desarrollo, A.C. México, D.F., 270 p.
- RODIER, J., 1981. *Análisis de las aguas*. De. Omega. Barcelona, España. 1059 p.
- RODRÍGUEZ, N. R., 1994. *El Potencial Ostrícola de Veracruz*. Secretaría de Pesca, Cento de Acuicultura en Tuxpan, Ver. (En Prensa).
- RODRÍGUEZ, P. C., 1994. Evaluación de metales en sedimentos, agua y biota de las lagunas Salada, El Llano y La Mancha, Veracruz, México. Tesis Licenciatura, Fac. Ciencias, UNAM. 99 p.
- RUEDA, L. Q., 1993. Determinación de plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos (moluscos y peces) de lagunas costeras en el Sureste de México. Tesis Licenciatura. Fac. Ciencias. UNAM. 78 p.
- RUEDA, L. Q., A. V. BOTELLO y G. G. DÍAZ, 1997. Presencia de plaguicidas organoclorados en dos sistemas lagunares del Estado de Chiapas, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 13(2): 55-61.
- SECRETARÍA DE PESCA, 1988. *Situación Actual de Las Principales Pesquerías Mexicanas*. México, D.F., 477 p.
- SEITZINGER, S. P. y R. W. SANDERS, 1997. Contribution of dissolved organic nitrogen from rivers to estuarine eutrophication. *Marine Ecology Progress Series* 159: 1-12.
- SHOLKOVITZ, E. R., 1976. Flocculation of dissolved and inorganic matter during the mixing of river water and sea water. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 40(3): 831-845.
- SOLORZANO, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnology and Oceanography* 14: 799-801.
- STRICKLAND, J. D. H. y T. R. PARSONS, 1972. *A practical manual of sea-water analysis*. Second Edition. Tech. Bull. 167. Fisheries Research Board of Canada. Ottawa. 310 p.
- TORRES, A. R., 1998. Determinación del contenido de carbohidratos y proteínas disueltos en el agua intersticial en las lagunas Alvarado y Mandinga, Veracruz. pp. 15-21. En: FRANCISCO CONTRERAS (Comp.). Estudio de la variación espacio temporal de la composición por tamaños de la comunidad planctónica en las lagunas Alvarado y Mandinga, Veracruz. Informe Final del Proyecto Divisional, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.
- VALETTE, S. N., 1993. The use of sediment cores to reconstruct historical trends in contamination of estuarine and coastal sediments. *Estuaries* 16(3B): 577-588.
- VENKATASWAMY REDDY, H. R. y V. HARIHARAN, 1986. Distribution of total nitrogen, total phosphorus and organic carbon in the sediments off Mangalore. *Mahasagar* 19(2): 119-122.
- ZWEIFEL, U. L., J. WIKNER, A. HAGSTRÖM, E. LUNDBERG y B. NORRMAN, 1995. Dynamics of dissolved organic carbon in a coastal ecosystem. *Limnology and Oceanography* 40(2): 299-305.

Recibido: 21 de noviembre de 1999.

Aceptado: 8 de mayo de 2000.