Rev. Int. Contam. Ambient. 6, 19-32, 1990.

INTERCAMBIO DE AGUA, FOSFORO Y MATERIAL SUSPENDIDO ENTRE EL SISTEMA LAGUNAR DEL PUERTO DE MAZATLAN Y LAS AGUAS COSTERAS ADYACENTES

Federico PAEZ-OSUNA, Yovani MONTAÑO-LEY y Humberto BOJORQUEZ-LEYVA

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Estación Mazatlán, Apdo. Postal 811, Mazatlán 82000, Sinaloa, México

(Recibido septiembre 1990, aceptado diciembre 1990)

Palabras clave: fósforo, material suspendido, sistema lagunar.

RESUMEN

Se evaluó el intercambio de agua, fósforo y material suspendido entre el sistema lagunar del puerto de Mazatlán y las aguas costeras adyacentes. Se colectaron muestras sobre la base de un ciclo de marea de sicigia y uno de cuadratura, para analizar la salinidad, el material suspendido y el fósforo disuelto y en suspensión. El transporte volumétrico de agua se determinó considerando un flujo unidimensional. El transporte neto entre los dos ciclos de marea fue diferente en magnitud y el balance reveló una exportación neta de 25-128 toneladas de material suspendido y 200 kg de fósforo para un período de marea de 13.2 h.

ABSTRACT

The exchange of water, phosphorus and suspended material between the lagoon system of the Mazatlan harbor and the adjacent coastal waters were evaluated. Samples were taken over one neap and one spring tydal cycle and analysed for salinity, total suspended material, and dissolved and suspended phosphorus. Water volume transport was determined considering the flux to be one-dimensional. Net transport between the two tidal cycles was different with regard to magnitude. The budgets revealed a net export of 25-128 ton of total suspended material and 200 kg of phosphorus, for a tidal period of 13.2 h.

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del incremento demográfico y del desarrollo industrial costero de las últimas décadas, se ha elevado considerablemente el flujo hacia el ambiente marino de una gran variedad de materiales naturales y sintéticos, contribuyendo a modificar y deteriorar la zona costera. Con ello, se ha creado una demanda por conocer el intercambio de materiales y contaminantes entre los estuarios/lagunas y el ambiente costero adyacente, a fin de comprender el papel que juegan los distintos ecosistemas como exportadores o importadores de los materiales vertidos.

El puerto y antepuerto de Mazatlán, se caracteriza porque recibe una diversidad de descargas, las cuales son muy variables en naturaleza; los desechos municipales e industria-

les y las aguas de enfriamiento de la termoeléctrica, son los principales aportes inducidos. Adicionalmente la presencia de embarcaciones pequeñas y de gran calado que incluyen a las flotas camaronera, atunera, petrolera, mercante y turística, constituyen otra posible fuente de desechos (Osuna-López *et al.* 1986).

En el área examinada no existen trabajos previos sobre el intercambio de materiales, algunas investigaciones sólo se han orientado a conocer aspectos de la contaminación por metales pesados (Osuna-López *et al.* 1986, Páez-Osuna y Marmolejo-Rivas 1990), plaguicidas (Secretaría de Marina 1974, Heredia *et al.* 1988) y a estudios biológicos (Alvarez-León 1980, Priego 1985, Robles 1985).

Contrariamente a lo que ocurre en las regiones tropicales y subtropicales, en las zonas templadas se han efectuado cantidades importantes de análisis para conocer la conducta de los materiales en los cuerpos estuarinos, Vieira (1985) y Baird *et al.* (1987) citan varias publicaciones concernientes a este tópico.

Fósforo se considera el nutriente que limita la productividad de los cuerpos de agua costeros y terrestres (Stumm y Morgan 1981). Los nutrientes al ser adicionados en cantidades excesivas provocan cambios en la producción primaria y la composición de especies, así como intensas explosiones algales ("blooms") y efectos nocivos como la disminución de la concentración de oxígeno disuelto y un aumento de los sólidos suspendidos. Estos últimos son un importante indicador de la calidad del agua, cuya principal fuente antropogénica son los sólidos de la materia orgánica de los desechos municipales y una variedad de sustancias inorgánicas tales como cemento, cenizas y basura en general.

La presente investigación tiene como objetivo principal, evaluar el flujo de material en suspensión a través de dos secciones transversales del cuerpo lagunar del puerto de Mazatlán. Con este propósito se determinan concentraciones de sólidos totales en suspensión (SST), fósforo disuelto y en suspensión, salinidad y se miden los flujos de las aguas durante condiciones de pleamar y bajamar. Adicionalmente se estiman los tiempos de recambio hidrodinámico y de residencia del fósforo y del material suspendido.

ÁREA DE ESTUDIO

El sistema lagunar donde se ubica el puerto de Mazatlán se localiza entre los paralelos 23° 10' 36" y 23° 13' 00" de latitud norte y los meridianos 106° 20' 00" y 106° 25' 35" de longitud oeste (Fig. 1). El clima de la región es cálido subhúmedo con una temperatura media anual de 25°C. Los registros meteorológicos de 43 años muestran un promedio anual de 148 mm de lluvia, con sus máximos en los meses de agosto, septiembre y octubre, los cuales a veces vienen acompañados por huracanes y tormentas tropicales (DEEE 1985).

Dentro de la clasificación de lagunas costeras de México, el cuerpo de agua donde se asienta el puerto de Mazatlán se considera del tipo III B (III A), es decir, laguna costera con barrera de plataforma interna, en la cual los ejes de orientación son paralelos a la línea de costa (Lankford 1977).

El cuerpo lagunar mantiene comunicación con el mar mediante una boca permanente, ello lo convierte en un ambiente muy influído por el régimen de mareas. Los apor-

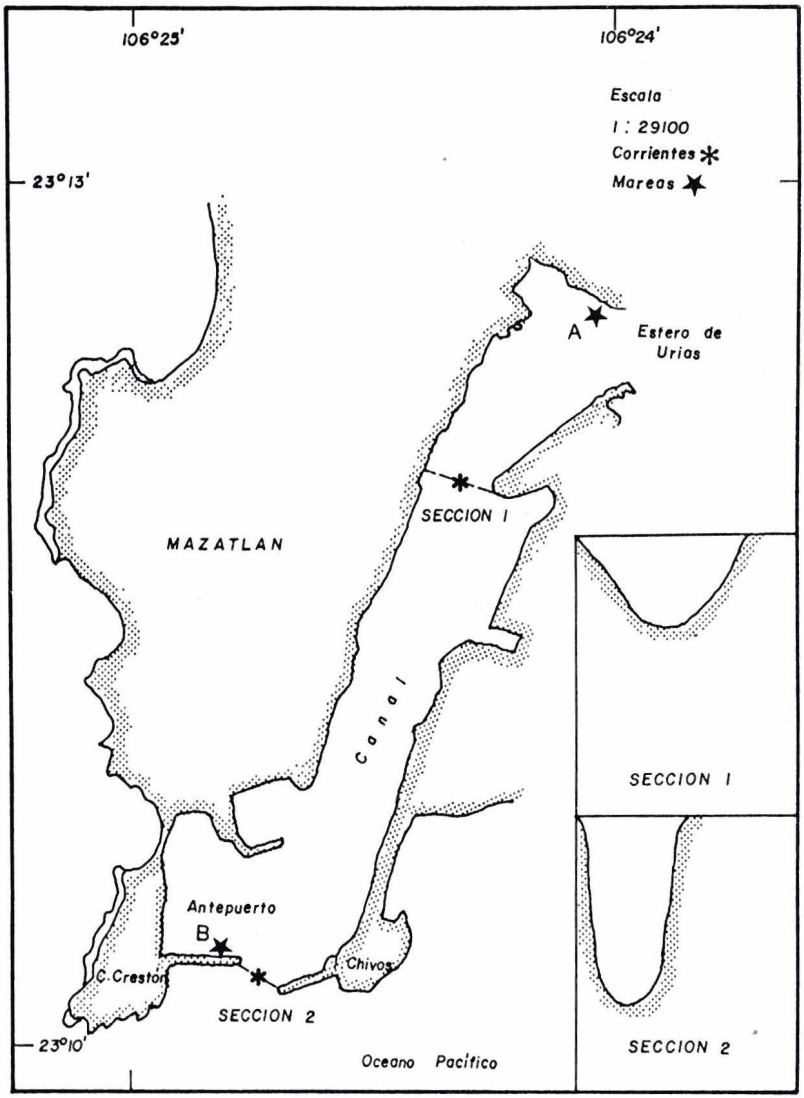

Fig. 1. Area de estudio donde se muestran las secciones transversales 1 y 2.

tes de agua dulce al estero son muy reducidos; sin embargo, recoge sobre su porción central unos 800 m^3/h como producto de las descargas municipales e industriales (Alvarez-León 1980) y temporalmente en la época de lluvias, el cuerpo lagunar recibe aguas de escurrimiento, mediante un complejo sistema de esteros (Confites, Barrón, Cacafé, etc.) en su parte más meridional.

Teniendo en cuenta solamente el cuerpo lagunar principal, éste posee una superficie aproximada de 18 km^2; dentro de los primeros 3 km adyacentes a la boca se localiza la zona portuaria; entre los 3 y 7 km siguientes se encuentra el sitio al que llegan las princi-

pales descargas urbanas, industriales y de enfriamiento de la termoeléctrica; los kilómetros restantes de la cabeza lagunar se hallan rodeados por bosques de manglar.

METODOLOGÍA

El plano base utilizado en esta investigación fue la carta SM 368, editada por la Secretaría de Marina (1988). Para llevar a cabo el estudio se seleccionaron dos secciones transversales del cuerpo lagunar. La primera se ubicó en la boca, entre los dos rompeolas que sirven de protección al puerto y la segunda se situó donde el canal de navegación presenta una área transversal mínima (Fig. 1).

En ambas secciones se colectaron muestras superficiales de agua (0.5 m) y de la profundidad intermedia (60% de la profundidad total existente), mediante una botella horizontal tipo Niskin de 4 litros, en intervalos sucesivos de dos horas, durante ciclos de 24 horas. Las muestras de agua fueron filtradas inmediatamente después de colectarlas a través de filtros de fibra de vidrio de 1.2 μm de diámetro de poro, para separar el material disuelto del suspendido. Previo a su utilización los filtros fueron lavados con HNO_3 2M y llevados a peso constante en una mufla a 550°C.

El material suspendido se determinó empleando un método gravimétrico (Banse *et al.* 1963). La salinidad se evaluó con un salinómetro de inducción Beckman (modelo RS-10), después de calibrarlo contra un subestándar de salinidad conocida. El fósforo disuelto y en suspensión se cuantificó mediante la técnica colorimétrica del ortofosfato descrita por Strickland y Parsons (1972).

La química del fósforo en este caso fue tratada en forma muy simplificada para los cálculos que se presentan aquí. Las transformaciones químicas en el sedimento suspendido son excluídas y solamente se consideran las fracciones disuelta y suspendida con base en la membrana de 1.2 μm de poro. La fracción disuelta está determinada por la concentración de fósforo reactivo, principalmente ortofosfato que es la forma química predominante en las aguas marinas (Stumm y Morgan 1981). La fracción suspendida del fósforo se refiere a la retenida por el filtro y se extrae con HCl 1M, luego de incinerar a 550°C el material (Aspila *et al.* 1976). Esta técnica tiene un coeficiente de variación del 10%, una vez que se han hecho las correcciones por las sales disueltas retenidas.

En forma simultánea a la colecta de agua, en ambas secciones del cuerpo lagunar se midieron las velocidades de la corriente y elevaciones de marea; las primeras se registraron en los mismos niveles de profundidad e intervalos de tiempo que las muestras de agua. Para las mediciones se utilizó un correntímetro Kahlsico (Gemware 231 WA 300). Cabe señalar que los muestreos realizados en cada sección transversal se efectuaron en fechas diferentes; en la sección 1 y con marea de cuadratura se trabajó en mayo de 1989, mientras que en la sección 2 en marea de sicigia se muestreó en octubre de 1987.

Para el cálculo de la descarga de agua a través de las secciones transversales consideradas, se usó la información batimétrica y los datos de corrientes, para ello se partió de la suposición de un flujo unidimensional, de tal manera que las descargas se estimaron con las lecturas directas de velocidad (v) y con el área de la sección transversal (a) correspondiente (Woodroffe 1985): $q = v \times a$

Conociendo las descargas en cada hora, tanto para condiciones de flujo como de reflujo de la marea, se evaluaron la masa del material suspendido y del fósforo, multiplicando los volúmenes de agua (correspondientes a cada hora) por la concentración respectiva del material suspendido y del fósforo. El transporte total neto se calculó mediante la suma algebraica de los valores durante el flujo y el reflujo de la marea, considerando positivos a los primeros y negativos a los segundos. En estos cálculos fue despreciable el flujo vertical de los materiales disueltos y suspendidos entre la columna de agua y el lecho.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2 presenta las curvas de velocidades y de elevaciones de marea correspondientes a la sección transversal 1. En ella se observó que ambas fueron asimétricas porque se desviaron de curvas perfectamente senoidales. Las mediciones en esta sección se efectuaron durante mareas de cuadratura. Las velocidades máximas a 3.0 m de profundidad fueron de 23 cm/s en flujo y de 46 cm/s en reflujo. La máxima elevación de marea fue de 47 cm y la mínima de −64 cm, con referencia al Nivel Medio del Mar.

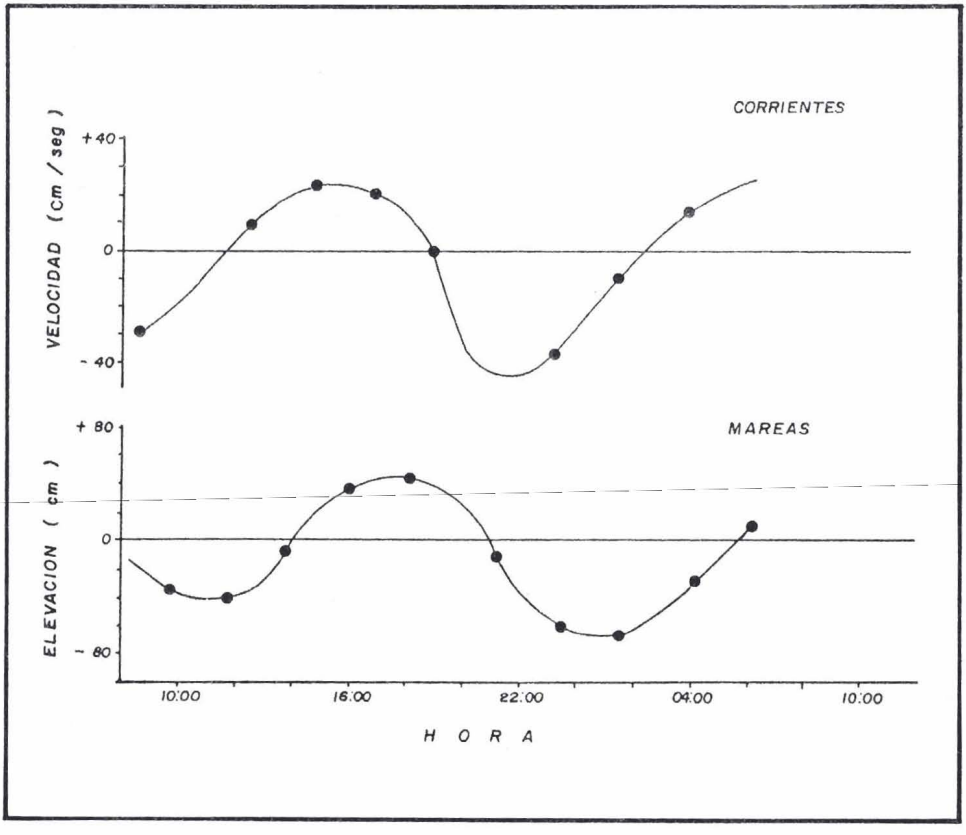

Fig. 2. Velocidad y elevación en un ciclo de marea en la sección transversal 1 y en el punto A, respectivamente.

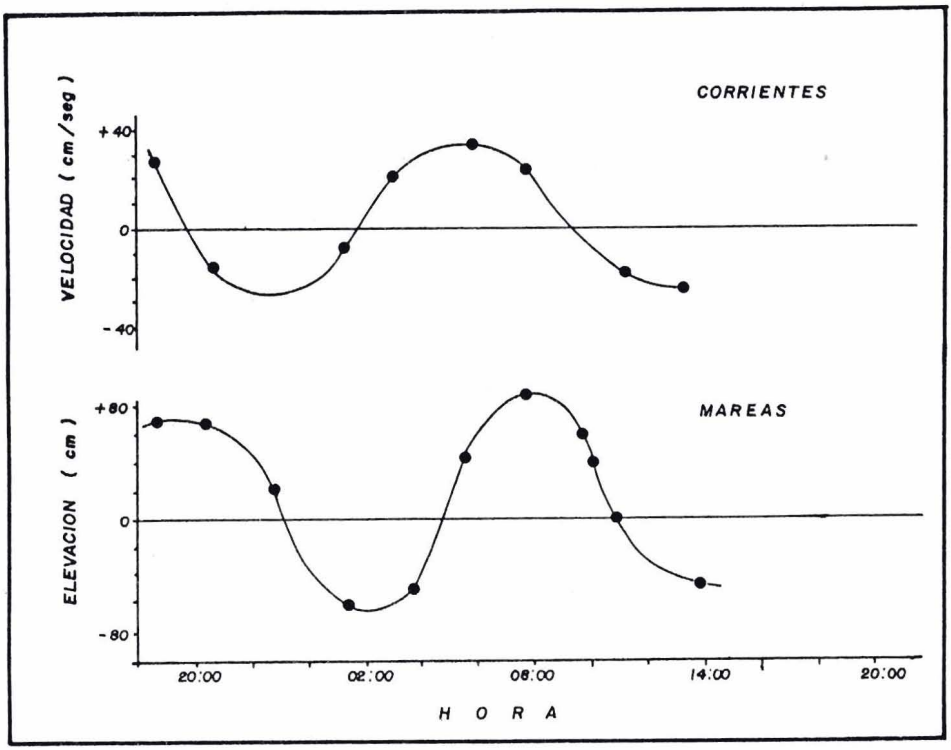

Fig. 3. Velocidad y elevación en un ciclo de marea en la sección transversal 2 y en el punto B, respectivamente.

La figura 3 muestra las curvas de velocidades y de elevaciones de marea registrada en la sección transversal 2 comprendida entre los rompeolas de protección del puerto. Las velocidades máximas encontradas a 8 m de profundidad fueron de 32 cm/s en flujo y de 27 cm/s en reflujo. La máxima elevación de marea fue de 80 cm y la mínima de 60 cm con relación al Nivel Medio del Mar. En esta sección las mediciones se efectuaron durante mareas de sicigia.

Como puede apreciarse en la figura 1 las dos secciones transversales estudiadas, hidráulicamente tienen características muy diferentes. La sección 2 comprendida entre los dos rompeolas tiene un área de sección transversal de aproximadamente 1443 m^2 mientras que la sección 1, que es la parte más angosta del canal, tan sólo alcanza los 1068 m^2. Esto hace que las condiciones de flujo en lo que respecta a velocidades, presenten en cada sección rasgos muy particulares; por ejemplo en las figuras 2 y 3 puede notarse que las mayores velocidades correspondieron a la sección 1, no obstante de que las mediciones en esta sección se realizaron durante mareas de cuadratura. Esto se podría explicar con base en que la menor sección transversal contribuye a incrementar la velocidad de las corrientes. La Secretaría de Marina (1974) en este punto tiene descritas velocidades hasta de 90 cm/s, mientras que entre los dos rompeolas reporta velocidades máximas de solamente 52 cm/s.

TABLA I. FLUJO NETO Y VOLUMEN DE DESCARGA DE ACUERDO CON LA FASE DE MAREA EN LAS SECCIONES 1 Y 2 DEL AREA DE ESTUDIO

Sección	*Fase de Marea*	*Descarga* (m^3)	*Flujo Neto* (m^3)	*Flujo Neto en % de Descarga Media*
1	En flujo	4183142	-468,650	10.6
1	En reflujo	-4651792		
2	En flujo	5974020	363,636	6.27
2	En reflujo	-5610384		

La tabla I presenta las descargas obtenidas para condiciones de flujo y reflujo de mareas en las dos secciones consideradas. Asimismo, muestra el flujo neto o diferencial entre las descargas para las dos fases de la marea. Este flujo en la sección 1 es negativo lo que indica una salida de agua mayor que la que entra al cuerpo de agua costero. En la sección 2 la diferencia es positiva lo cual refleja un flujo neto en sentido inverso. Las discrepancias encontradas pueden atribuirse a procesos de evaporación y descargas de agua dulce. Woodroffe (1985) en cuerpos de agua de manglar y ecosistemas de marismas en Nueva Zelandia, encontró diferencias entre 0.1 y 40% con respecto a los valores más altos de las descargas pero concluye que esos valores no son excesivamente altos cuando se comparan con los de otras regiones. El autor los atribuye al hecho de generalizar las lecturas de velocidades de una estación a toda la sección transversal.

El tiempo de recambio hidrodinámico, llamado frecuentemente tiempo de residencia está definido por la expresión (Kjerfve y Magill 1989):

$$T_H = V/(dV/dt)$$

donde V es el volumen del cuerpo lagunar y dV/dt es la velocidad de intercambio de agua. Este concepto se aplica para cuerpos de agua en estado estable o casi estable y es igual al tiempo de tránsito promedio. Es una medida del tiempo que se requiere para reemplazar 63% (1/e) del volumen total definido cuando el cuerpo de agua se halla mezclado y con la condición de que el tiempo de mezcla sea menor que el de recambio T_H.

En el caso particular del cuerpo lagunar en que se encuentra ubicado el puerto de Mazatlán, es muy factible considerar que se trata de un sistema cuyo mezclado es relativamente rápido, debido a varios factores: a) ausencia de aporte de agua dulce significativo que pudiera generar masas de agua de diferente densidad, b) tamaño relativamente grande de la boca y c) velocidades también relativamente altas de las corrientes de marea. Las pequeñas diferencias entre la salinidad del agua del fondo y de la superficie ponen de manifiesto lo anterior; Alvarez-León (1980) y Heredia *et al.* (1988) encontraron gradientes máximos de 0.3 °/oo en distintas localidades.

A partir de la carta batimétrica SM 368, se estimó para el área portuaria (que incluye el antepuerto, el canal de navegación y la zona donde descarga las aguas de enfriamiento de la planta termoeléctrica) una superficie de aproximadamente 13.1 km^2 y una profundi-

dad promedio con respecto al Nivel Medio del Mar de 4 m; mientras que para la cabeza lagunar que ciertamente es más somera (0.5-2.0 m), se calculó una profundidad promedio de 1.5 m y un área superficial de 5.4 km^2, con estos datos se puede suponer que el cuerpo lagunar posee un volumen del orden de 60.7 $\times$ 10^6 m^3 con relación al Nivel Medio del Mar.

Con los resultados de la Tabla I se puede calcular como promedio una velocidad de intercambio de agua (dV/dt) de 102 m^3/s para el régimen de marea en cuadratura y de 134 m^3/s para el período en sicigia. Con el volumen estimado y estas velocidades se propone para el cuerpo lagunar del puerto de Mazatlán un tiempo de recambio hidrodinámico del orden de 5-7 días, que es algo menor que el de las lagunas costeras en donde se ha establecido un intervalo de 10 a 100 días (Kjerfve y Magill 1989) y ello se puede deber a que este sistema lagunar es más profundo (tanto en su entrada como en su porción central) que la mayoría de las lagunas costeras de la región y otras en general. Las actividades de dragado que regularmente se realizan (cada 24 meses) para mantener en condiciones navegables al puerto contribuyen a que el sistema posea una gran capacidad de conversión de agua que se traduce en un breve período de tiempo de racambio.

Las figuras 4 y 5 presentan concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) y salinidades como funciones del tiempo en las secciones 1 y 2, respectivamente. En la sec-

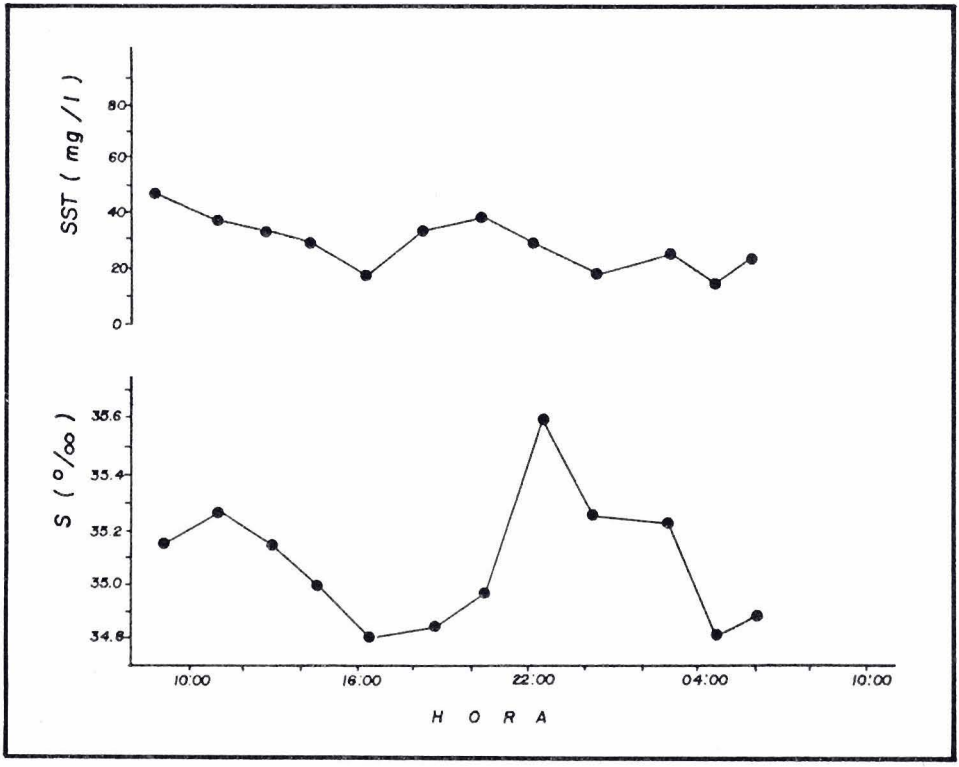

Fig. 4. Concentración de sólidos suspendidos totales y salinidad en un ciclo de marea en la sección transversal 1.

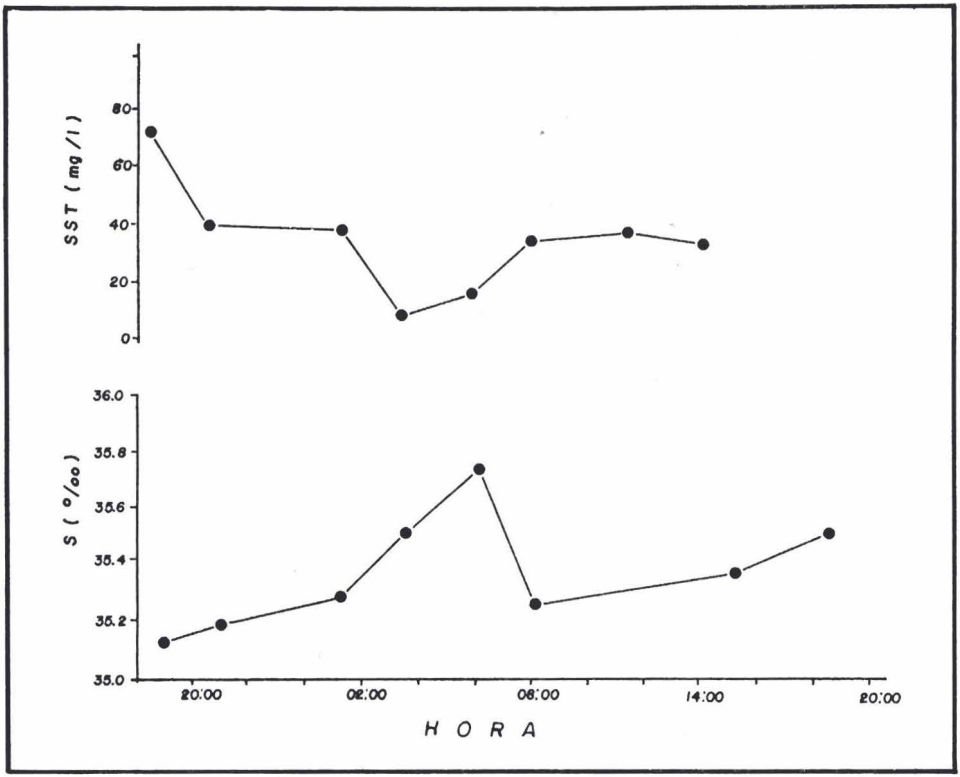

Fig. 5. Concentración de sólidos suspendidos totales y salinidad en un ciclo de marea en la sección transversal 2.

ción 1 la mayor concentración de SST fue de 46.2 y la menor de 14.8 mg/L. Por lo que respecta a la salinidad la concentración más elevada fue de 35.639 y la más baja de 34.828°/oo. En la sección 2 la mayor concentración de SST fue de 73.1 y la menor de 8.0 mg/L. La concentración de salinidad fluctuó entre 35.153 y 35.758°/oo.

Al comparar las curvas de velocidades (Figs. 2 y 3) con las de concentraciones de sólidos suspendidos totales en las secciones 1 y 2, se observan desfases entre las máximas velocidades y las mayores concentraciones. Estos casos de desfasamiento los atribuye Postma (1961) a que el sedimento una vez puesto en suspensión por la corriente rápida, tarda cierto tiempo en llegar al fondo por lo que al disminuir la velocidad de la corriente es posible todavía encontrar altas concentraciones de material suspendido.

En la figura 4 se muestran las variaciones de salinidad correspondientes a la sección 1 y en ella se observa que la mínima corresponde a la velocidad más alta de la corriente de flujo (Fig. 2), lo cual indica entrada de agua de salinidad más baja. Esto posiblemente es el reflejo de un período de evaporación importante (en el mes de mayo) que produce un ligero pero notorio incremento de la salinidad del cuerpo de agua lagunar.

En la figura 5 se presentan las concentraciones de salinidad correspondientes a la sección 2. En ella se observa que el máximo de salinidad coincide con el de la velocidad de la

figura 5. Esto implica un flujo de agua marina más salada hacia el interior de la laguna, el cual durante el tiempo de las mediciones recibió descargas de agua dulce de los arroyos, producto de la precipitación pluvial de la época (octubre) con la consiguiente disminución de la salinidad.

La figura 6 muestra las variaciones en el contenido de fósforo disuelto y particulado a lo largo de un ciclo mareal en la sección 1. La mayor concentración de fósforo disuelto fue de 137.5 y la menor de 46.9 μg/L; mientras que la mayor concentración de fósforo suspendido fue de 17.3 y la menor de 1.6 μg/L. Las concentraciones relativamente elevadas de fósforo de las aguas del puerto de Mazatlán se deben a los desechos vertidos en las aguas municipales e industriales que descargan directamente en la porción central del cuerpo lagunar. Christensen (1976), señala que el fósforo en las aguas domésticas de desecho puede estar predominantemente como ortofosfato (50%), pirofosfato (30%) y fósforo orgánico (20%) y sólo una parte muy pequeña del fósforo está asociada con las partículas suspendidas sedimentables. En las muestras aquí colectadas, la fracción del fósforo en el material suspendido siempre se mantuvo por debajo de 15% con respecto del total.

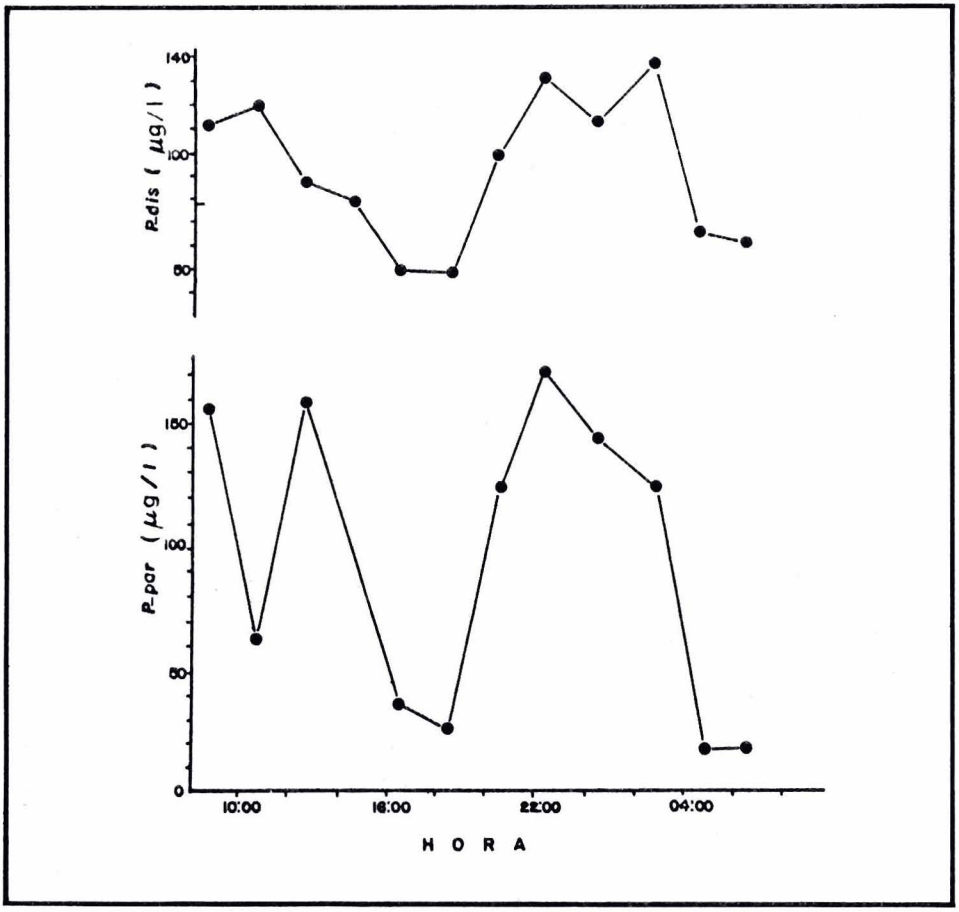

Fig. 6. Concentración de fósforo disuelto y particulado en un ciclo de mareas en la sección transversal 1.

Cuando se comparan los niveles de concentración de la laguna costera en este estudio con los de otros cuerpos de agua estuarinos no afectados como Ochlockonee (Kaul y Froelich 1984), el del río Amazonas (Fox *et al.* 1986) y el del río Sepik (Fox 1990), se nota que posee valores más elevados de fósforo disuelto, incluso, éstos son hasta dos veces mayores que los de la laguna de Bahía Magdalena (Guerrero *et al.* 1988), la cual se localiza en el noroeste de México y se halla libre de actividad antropogénica.

En cambio, los niveles resultan comparables cuando se confrontan con los de la laguna de Mezcaltitán, Nayarit (de la Lanza-Espino 1986), que al igual que el puerto de Mazatlán ha recibido la influencia de diversos factores antropogénicos (azolvamiento, asentamientos humanos y mal manejo).

Las gráficas del fósforo en las dos fracciones presentan cierta correspondencia entre sus máximos y mínimos, la cual queda más claramente en evidencia cuando ambas concentraciones se ajustan a una expresión del tipo lineal de manera significativa ($r = 0.76$; $p<0.05$):

$$Cp = 0.146\ Cd - 4.07$$

donde Cp se refiere a la concentración del fósforo en el material suspendido en $\mu g/L$ y Cd a la del fósforo disuelto en las mismas unidades.

La Tabla II resume los resultados obtenidos de flujos de sólidos suspendidos totales (SST) y flujos de fósforo disuelto y particulado. En ambas secciones se observa un flujo neto de SST con dirección hacia el océano (−). El flujo másico a través de la sección 1 resultó considerablemente menor que el de la sección 2. Esto, se puede deber a que durante las mediciones en esta última sección se tuvo un régimen de mareas de sicigia, lo cual incrementó ligeramente los volúmenes de agua que pasaron a través de la sección en el ciclo de mareas considerado. En la Tabla II es posible notar que aunque el flujo neto en la sección 2 fue positivo (hacia el interior del cuerpo de agua), el flujo másico es negativo,

TABLA II. FLUJO DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y DE FOSFORO DISUELTO Y PARTICULADO EN LAS DISTINTAS FASES DE MAREA

Sección	*Fase de Marea*	*Flujo de SST (kg) X 10^5*	*Flujo Neto SST (kg) X 10^5*	*Flujo Neto en % del prom. de SST en pleamar y bajamar*	*Flujo Fósforo Disuelto (kg)*	*Flujo Neto Fósforo Disuelto (kg)*	*Flujo Fósforo Suspendido (kg)*	*Flujo Neto Fósforo Suspendido (kg)*
1	En flujo	1.32	−0.25	17.3	338	−175	37	−27
1	En reflujo	−1.57			−513		−64	
2	En flujo	0.94	−1.28	81.0				
2	En reflujo	−2.22						

lo cual es un reflejo de que las concentraciones durante bajamar fueron mucho mayores que las concentraciones en pleamar. Otro aspecto que puede haber influído considerablemente en ésto es que durante el tiempo de muestreo de la sección 2, se realizaban operaciones de dragado en la porción central de la laguna.

En un estudio realizado por Baird *et al.* (1987) en el estuario Swartkops en Sudáfrica (un cuerpo de agua bien mezclado y con una boca permanentemente abierta al mar), se encontró una exportación neta de materiales de 0.2 a 35.4 toneladas, la cual es comparable a las 25 toneladas exportadas en el puerto de Mazatlán en marea de cuadratura, pero muy inferior a las 128 toneladas estimadas durante la marea de sicigia. Ello se debe a las diferentes dimensiones de los dos cuerpos de agua y que además de ser más somero el estuario Swartkops, éste se halla libre de actividades antropogénicas.

Con objeto de evaluar la calidad de las aguas del puerto de Mazatlán, en cuanto a los SST, se revisaron algunas investigaciones relacionadas, encontrándose que su concentración (14.8-46.2 mg/L en cuadratura y 8.0-73.1 mg/L en sicigia) es del mismo orden a la cuantificada por Páez-Osuna *et al.* (1987) en las bocas de laguna de Términos, Campeche (7.4-43.2 mg/L) o a regiones pantanosas de Virginia (EUA), donde Boon (1980) observó valores de 27.7-59.7 mg/L, para un período mareal completo. Sin embargo, estos intervalos de concentración son inferiores a los medidos por de la Lanza-Espino (1986) en la laguna de Mezcaltitán, Nayarit (100-679 mg/L), quien señala que seguramente se deba a los problemas de azolvamiento que presenta dicho lugar.

Partiendo de las mismas consideraciones que se hicieron para el cálculo del tiempo de recambio hidrodinámico y de la definición de tiempo de residencia τ (Stumm y Morgan 1981):

$$\tau = \frac{\text{cantidad del material en el reservorio}}{\text{suma de los aportes o descargas del material}}$$

Se puede estimar un tiempo de residencia de 5.5 y 6.5 días para el material suspendido y el fósforo, respectivamente, lo que permitiría suponer que estos materiales se comportan de manera conservadora con respecto al agua en las salinidades aquí estudiadas. Sin embargo, en estos cálculos se está ignorando el flujo entre el agua y los sedimentos del fondo, el cual puede llegar a ser significativo en fondos con sustratos de sedimentos finos (Berner 1980). En la mayoría de las localidades del cuerpo lagunar se tiene en el fondo sedimentos predominantemente arenosos, aunque en algunos puntos cercanos a la franja que limita el contorno lagunar, los limos alcanzan hasta un 82% (Osuna-López *et al.* 1986), por lo que el intercambio de fósforo y material suspendido en estos puntos puede ser importante y necesario de considerar.

AGRADECIMIENTOS

A Luis Fueyo McDonald, Director del Centro Regional de Investigación Pesquera del Instituto Nacional de Pesca, por el equipo facilitado para realizar la presente investigación. A Margarita Cordero Ruiz y Sonia Osuna Páez, por la transcripción del manuscrito.

REFERENCIAS

Alvarez-León R. (1980). Hidrología y zooplancton de tres esteros adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. An. Centr. Cienc. del Mar y Limn. Univ. Nal. Autón. México 7, 177-195.

Aspila-K.I., Agemian H. y Chau A.S.Y. (1976). A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. Analyst *101*, 187-197.

Baird D., Winter P.E.D. y Wendt G. (1987). The flux of particulate material through a well-mixed estuary. Cont. Shelf Res. *7*, 1399-1403.

Banse K., Falls C.P. y Hobson L.A. (1963). A gravimetric method for determining suspended matter in sea water using millipore filters. Deep Sea Res. *10*, 639-642.

Berner R.A. (1980). *Early diagenesis*. Princenton University Press, Princenton, Nueva Jersey, 241 p.

Boon J.D. (1980). Comment on: Nutrient and particulate fluxes in a salt marsh ecosystem: tidal exchanges and inputs by precipitation and groundwater (Valiela *et al.*). Limnol. Oceanogr. *25*, 182-183.

Christensen R. (1976). Possibilities in sewage treatment to reduce the quality of nutrients. Seminar Proceeding, Hanassari, Cultural Centre, Espoo, Finland, 18-22 Oct., 215-246.

DEEE (1985). Síntesis Monográfica del Municipio de Mazatlán. Dirección de Estadística y Estudios Económicos de la Secretaría de Hacienda Pública y Tesorería del Gobierno del Estado de Sinaloa, 92 p.

De la Lanza-Espino G. (1986). Calidad ambiental de la laguna de Mezcaltitán, Nayarit, México, durante el estiaje. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México *13*, 315-328.

Fox L.E., Sager S.L. y Wofsy S.C. (1986). The chemical control of soluble phosphorus in the Amazonas estuary. Geochim. Cosmochim. Acta *50*, 783-794.

Fox L.E. (1990). Geochemistry of dissolved phosphate in the Sepik River and Estuary, Papua, New Guinea. Geochim. Cosmochim. Acta *54*, 1014-1024.

Guerrero G.R., Cervantes D.R. y Jiménez P.A. (1988). Nutrient variation during a tidal cycle at the mouth of a coastal lagoon in the northwest of Mexico. Indian J. Mar. Sci. *17*, 235-237.

Heredia L.G., Mexia J.H. y Hernández L.M. (1988). Estudio de la contaminación por plaguicidas en camarón *Penaeus sp.* y en agua del Estero de Urias, Mazatlán, México. Memoria Profesional, Escuela Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, 99 p.

Kaul L.W. y Froelich P.N. (1984). Modeling estuarine nutrient geochemistry in a simple system. Geochim. Cosmochim. Acta *48*, 1417-1433.

Kjerfve B. y Magill K.E. (1989). Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. Marine Geol. *88*, 187-194.

Lankford R.R. (1977). Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification. En: *Estuarine Processes* (M. Wiley, Ed.). Academic Press, Nueva York *11*, 183-215.

Osuna-López J.I., Ortega-Romero P. y Páez-Osuna F. (1986). Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos del puerto y antepuerto de Mazatlán. Ciencias Marinas *12*, 35-45.

Páez-Osuna F., Valdez-Lozano D.S., Alexander H.M. y Fernández-Pérez H. (1987). Trace metals in the fluvial system of Términos lagoon, México. Mar. Pollut. Bull. *18*, 294-297.

Páez-Osuna F. y Marmolejo-Rivas C. (1990). Trace metals in tropical coastal lagoon bivalves, *Crassostrea corteziensis*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. *45*, 538-544.

Postma H. (1961). Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. En: *Holocene Tidal Sedimentation* (G. de Vries Klein, Ed.). Dowden, Hutchinson and Ross Stroudsburg, Pennsylvania *30*, 176-219.

Priego B. (1985). Contribución al conocimiento de la composición fitoplanctónica del Estero de Urias y la Bahía de Mazatlán, Sinaloa. Tesis Profesional, Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Guadalajara, 62 p.

Robles E.G. (1985). Productividad primaria del fitoplancton y distribución temporo-espacial de pigmentos fotosintéticos en el Estero de Urias, durante un ciclo anual. Tesis Profesional, Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Guadalajara, 76 p.

Secretaría de Marina (1974). Estudio geográfico de la región de Mazatlán, Sinaloa. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, México.

Secretaría de Marina (1988). Carta Náutica SM 368. Portulano de Mazatlán. Esc. 1-7500. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, México.

Strickland J.D. y Parsons T.R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Fish Res. Bull. Canada, 311 p.

Stumm W. y Morgan J.J. (1981). *Aquatic chemistry*. Wiley, Nueva York, 780 p.

Vieira M.E.C. (1985). Estimates of subtidal volume flux in Mid-Chesapeake Bay. Est. Coastal Shelf Sci. *21*, 411-427.

Woodroffe C.D. (1985). Studies of a mangrove basin, Tuff crater, New Zealand: 11. Comparison of volumetric and velocity-area methods of estimating tidal flux. Est. Coastal Shelf Sci. *20*, 431-445.