

Dinámica de las variables fisicoquímicas del sedimento de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México

Dynamics of sediment physic-chemical variables of Lake Tampamachoco, Veracruz, Mexico

María Alejandra LÓPEZ JIMÉNEZ ^{1,2}✉, Scot MONKS ¹, Arturo SERRANO ², Griselda PULIDO FLORES ¹, Juan Carlos GAYTAN OYARZUN ¹ y Marisela LÓPEZ ORTEGA ^{1,2}

¹Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4,5, Colonia Carboneras, C. P. 42181, Mineral de la Reforma, Hidalgo. México y ²Laboratorio de Mamíferos Marinos, Universidad Veracruzana, Carretera Tuxpan-Tampico Km. 7,5, C. P. 92895, Tuxpan, Veracruz, México. E-mails: malexa_58@uv.mx, smonks@uaeh.edu.mx, arserrano@uv.mx, gpulido@uaeh.edu.mx, jcgaytan@uaeh.edu.mx y malopez@uv.mx ✉ Autor para correspondencia

Recibido: 13/03/2011

Fin de arbitraje: 27/02/2012

Revisión recibida: 15/12/2012

Aceptado: 27/12/2012

RESUMEN

A pesar de su importancia comercial para la producción pesquera, no existe información sobre el comportamiento de los fisicoquímicos de los sedimentos de la laguna de Tampamachoco, por lo cual, se tuvo como objetivo fue determinar los parámetros fisicoquímicos *in situ* (conductividad eléctrica [CE], pH, temperatura [°C] y salinidad [UPS] en sedimentos durante el periodo enero 2009-marzo de 2010; donde se consideraron las cuatro estaciones climáticas del año: primavera, verano, otoño e invierno. La laguna de Tampamachoco se localiza en la costa norte del Estado de Veracruz. Se seleccionaron cuatro sitios de muestreo; de sur a norte: Estero de la Mata de Tampamachoco (el punto 1), Isla Potrereros Sur (punto 2), la CFE (Comisión Federal de Electricidad) (punto 3) y Pipiloya (el punto 4). El valor mínimo para la temperatura fue de 17,84 °C en la estación de invierno y la temperatura máxima fue de 31,54 °C en la estación de verano, con un promedio de 24,9 °C. En la salinidad el valor mínimo fue de 4,60 UPS para el verano, con una máxima de 51,90 UPS en primavera y con un promedio de 28,25 UPS. El pH durante primavera-verano fue de 7,2, sin embargo, este comienza a disminuir al término del verano con un pH de 6,5 (agosto). Finalmente la conductividad mínima fue de 8,34 mS/cm durante el verano y la máxima fue de 71, 38 mS/cm en primavera, con un promedio de 49, 42 mS/cm. Se concluye que el comportamiento de las variables fisicoquímicas de los sedimentos es estacional y es homogéneo en toda la laguna.

Palabras clave: Sedimento; parámetros fisicoquímicos; Laguna de Tampamachoco

ABSTRACT

Despite its commercial importance to fisheries production, there is no information on the physicochemical behavior of the sediments of Lake Tampamachoco, therefore, it was aimed to determine *in situ* physicochemical parameters (electrical conductivity [EC], pH, temperature [° C] and salinity [UPS] in sediments during the period January 2009-March 2010, which considered the four seasons of the year: spring, summer, autumn and winter. Tampamachoco lagoon is located in the north coast of the state of Veracruz. Four sampling sites were selected, from south to north: Estero de la Mata Tampamachoco (point 1), South Island Potrereros (point 2), CFE (Federal Electricity Commission) (Item 3) and Pipiloya (point 4). the minimum value for the temperature was 17.84 ° C in the winter and the maximum temperature was 31.54 ° C in the summer season, with an average of 24 , 9 ° C. the salinity was the minimum value of 4.60 UPS for summer, with a high of 51.90 UPS in the spring and with an average of 28.25 UPS. during the spring-summer pH was 7 , 2, however, this begins to decrease at the end of the summer with a pH of 6.5 (August). Finally minimum conductivity was 8.34 mS / cm during the summer and the maximum was 71, 38 mS / cm in spring, with an average of 49, 42 mS / cm. was concluded that the behavior of physicochemical variables of the sediments is seasonal and is homogeneous across the lagoon.

Key words: Sediment; physicochemical parameters; Lagoon Tampamachoco

INTRODUCCIÓN

México cuenta con más de 130 lagunas costeras. En ellas viven especies de tipo comercial y no comercial que están siendo afectadas por la

contaminación de actividades causadas por el ser humano alterando las condiciones de los parámetros fisicoquímicos. En este contexto es primordial conocer las condiciones físicas y químicas, su influencia e impacto ecológico. Las variables

fisicoquímicas y los sedimentos representan un problema que afecta directamente a la biota (Gutiérrez *et al.*, 2006)

Para el sistema lagunar Pueblo Viejo-Tamiahua-Tampamachoco, esta laguna tiene una larga historia de contaminación por desechos petroleros, mineros, domésticos de ciudades distantes como la Ciudad de México (Rosas *et al.*, 1983; Atwod *et al.*, 1987; Botello *et al.*, 1994; Botello y Calva, 1998 citado por Botello *et al.*, 2005).

Los sedimentos en sistemas acuáticos, tanto de agua dulce como marina, son matrices complejas y dinámicas, compuestas de materia orgánica en diversos estados de descomposición, material particulado que varía en tamaño y composición química, así como material inorgánico de origen biológico y antropogénico (Leal *et al.*, 2009). Tanto en lagos y lagunas, los sedimentos se convierten en sumideros de diversas sustancias que pueden ser reintroducidas a la columna de agua y transferidas a la cadena trófica (Chen y White, 2004). También son depósito de contaminantes tóxicos que amenazan la salud y la viabilidad de la biota acuática. Sin embargo, en la mayoría de las lagunas costeras no se han realizado estudios de este tipo y, en el caso de la laguna de Tampamachoco, los estudios realizados en sedimentos datan de 20 años atrás (Botello, 2005).

En las lagunas existen varios factores fisicoquímicos que influyen en la tasa de crecimiento de los organismos que las habitan; el estado de desarrollo, la actividad y la disponibilidad del alimento, el foto periodo, la salinidad y la temperatura, la Laguna de Tampamachoco no es una excepción. Espina y Vanegas (2005).

Debido a este vacío de información, en este trabajo se planteó evaluar las variables fisicoquímicas; temperatura (T°), pH, salinidad y conductividad eléctrica (CE) de los sedimentos depositados en el fondo de la laguna para determinar si influyen o no en la contaminación.

Dentro de los parámetros fisicoquímicos, la temperatura en los sedimentos y en la columna de agua es un factor que tiene un significado metabólico mediante el cual los organismos aceleran o retardan sus funciones hasta un nivel letal; además, incrementos mayores de 5°C sobre el máximo registrado en latitudes tropicales provocan pérdidas de oxígeno.

La salinidad en los sedimentos y en el cuerpo de agua, es un factor que modifica la fijación de algunos contaminantes, como lo son los metales pesados, donde en bajas salinidades incrementan la biodisponibilidad y la incorporación química del metal, debido a interacciones competitivas con otros iones por los sitios de transporte y a los efectos del mismo a los mecanismos de regulación iónica y osmótica en el organismo. Hansen *et al.*, 1992 En (Espina y Vanegas, 2005). La salinidad es un factor que presenta variaciones por influencia fluvial y que determina el balance osmótico y por ende en el equilibrio hídrico en comunidades diversas. Este parámetro es equivalente a conductividad, clorinidad y sólidos disueltos totales (Botello, 2005)

En los ambientes costeros el pH es un factor muy importante en la mezcla de aguas dulces y marinas. La variación diurna puede señalar un ciclo en función de la respiración nocturna (pH ácido) y la fotosíntesis matutina (pH alcalino). Al aumentar la profundidad en las lagunas, suele producirse también un aumento del pH que favorece la adsorción sobre el sedimento (Bourg, 1983; Gaillard *et al.*, 1986; Ponce *et al.*, 2000). El parámetro pH (acidez o alcalinidad) presenta una variación diaria entre 7,5 a 9,5 en condiciones normales de cuerpos de agua semicerrados de alta producción primaria como es el caso de la laguna de Tampamachoco y si existen ciertas industrias que no controlan frecuentemente sus desechos y el pH sobrepasa estos límites va a existir una influencia directa en los organismos incidiendo en forma cáustica a nivel celular, de órganos o tejidos, según se trate las dimensiones de los organismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo se realizó en la laguna de Tampamachoco el cual se ubica en la llanura costera de Veracruz, al noroeste de la ciudad de Tuxpan, Veracruz, México, ubicada entre $97^{\circ} 22' 12''\text{W}$ y $21^{\circ} 03' 00''\text{N}$ (Figura 1). Es somera, con profundidad promedio de 3 m, longitud de 11,0 km y ancho de 1,3 km. Recibe aportes de agua dulce del estero El Corral y en la parte meridional se ubica la desembocadura del Río Tuxpan.

En la parte norte de la laguna existen dos canales, uno artificial y el otro natural, conocidos como “El Nuevo” y “El Viejo” respectivamente, que se enlazan con la boca de “La Barra de Galindo, que

se comunica al mar. Debido a la influencia de las mareas, el agua adopta forma de cuña, que ejerce efecto hasta una distancia aproximada de 30 km hacia la parte interna del Río Tuxpan (Contreras, 1983).

Colecta de las Muestras

Se realizaron 15 salidas a campo, mensualmente durante el periodo de enero de 2009 a marzo de 2010, (invierno 2009 al invierno 2010), utilizando una lancha menor tipo A de fibra de vidrio, con un motor fuera de borda de 35 HP.

Se establecieron 4 puntos de muestreo a lo largo de la laguna, 1) Punto La Mata de Tampamachoco: zona influenciada por la entrada de agua marina y agua dulce, y asentamientos humanos [Comunidad de la Mata]; 2) Punto Isla Potreritos Sur: que presenta asentamientos humanos y restaurantes, 3) Punto Comisión Federal de Electricidad (CFE): zona influenciada por las instalaciones de la termoeléctrica (Adolfo López Mateos), y 4) Punto Pipiloya: muy cerca de los canales de navegación que comunican con la laguna de Tamiahua (Fig. 1). Sin embargo no se establecieron más puntos de muestreo a pesar de ser una laguna de dimensiones relativamente grande, debido a que son zonas menos perturbadas por el hombre.

Para la colecta de los sedimentos se utilizó una draga metálica a una profundidad de 1,50 m. Las determinaciones fisicoquímicas se realizaron *in situ* en los 4 sitios, utilizando para ello una sonda multiparámetro marca Hanna, modelo HI 9828/4-1, con el cual se obtuvieron los valores de temperatura (exactitud \pm 0.15°C), pH (exactitud \pm 0.02pH); salinidad (exactitud \pm 2% de lectura) y conductividad eléctrica (exactitud \pm 1% μ S/cm), así como también las variables se determinaron mediante un análisis químico de laboratorio.

Análisis estadístico: El comportamiento de las variables fisicoquímicas durante las épocas del año y entre los sitios de muestreo se determinó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía balanceado, a un nivel de significación de 0,05. Para determinar las medias poblacionales que diferían entre sí, se aplicó una prueba a *posteriori* de Tukey. Ambos análisis se realizaron con el programa Statgraphics Plus V.5.1

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron 15 salidas a la laguna de Tampamachoco durante el periodo de invierno 2009 a invierno del 2010, con un esfuerzo de búsqueda de 56 hrs., abarcando los cuatro puntos de muestreo. Los

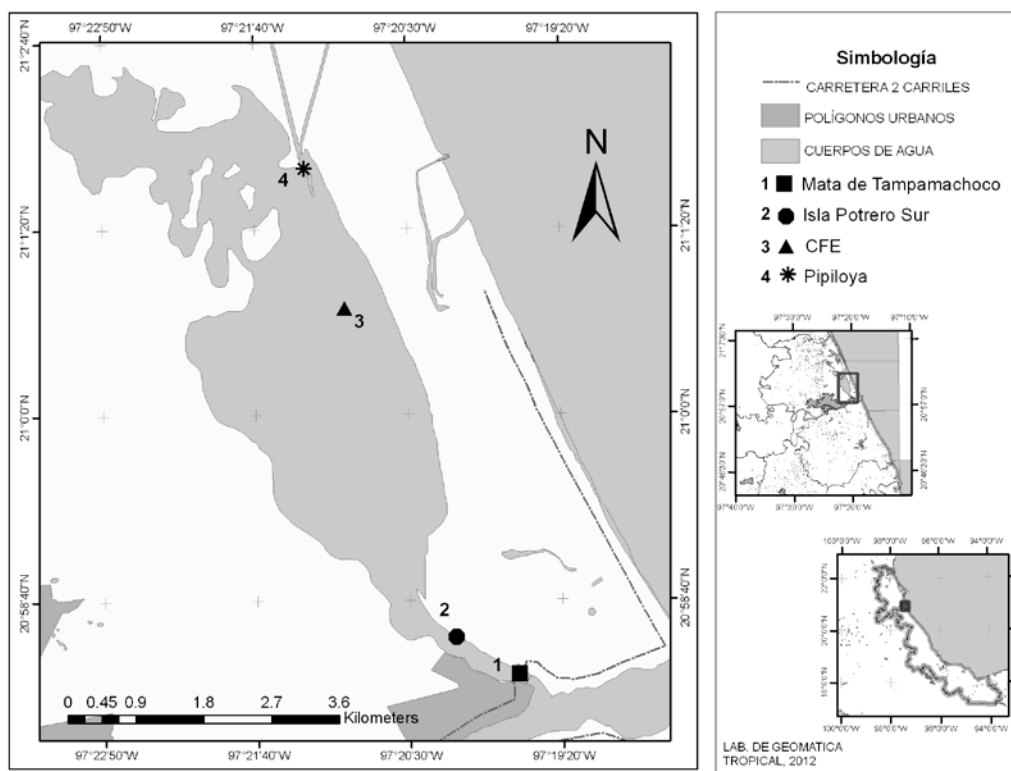


Figura 1. Ubicación del área de estudio de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México.

resultados registrados de las variables fisicoquímicas durante el periodo de estudio invierno 2009 a invierno 2010 de la laguna de Tampamachoco en las diferentes épocas climáticas (Cuadro 1) y los colectados en los sitios de muestreo (Cuadro 2). El análisis de varianza aplicado mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre las estaciones climáticas, debido a que su comportamiento es estacional. A partir de las diferencias entre las medias muestrales de las variables de interés se puede deducir que la variabilidad natural (estacional) de la temperatura modula el comportamiento del resto de las variables.

Debido a ello cuando la temperatura promedio en las temporadas invernales es baja la conductividad eléctrica y la salinidad tienden a elevarse, mientras que el pH se basifica. Por otra parte en las temporadas de primavera y verano donde la temperatura promedio se incrementa los valores del pH tienden a incrementarse aun más, mientras que la salinidad y la conductividad eléctrica tienden a disminuir. Estas tres variables disminuyen en sus valores medios durante el otoño al iniciar la temporada de lluvias y por ende al disminuir la temperatura promedio.

Cuadro 1. Valores promedios, desviación estándar, mínimos y máximos de las variables fisicoquímicas registradas durante el periodo de enero 2009 a marzo 2010 en cuatro estaciones climáticas en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz. México.

Estaciones del año	Parámetros fisicoquímicos			
	pH	Temperatura (° C)	Salinidad (ups)	Conductividad eléctrica (mS/cm)
Invierno 2009	7,41 ± 0,04 ab † 7,20 - 7,60	23,50 ± 0,00 b 22,00 - 25,00	37,92 ± 3,75 34,50 - 42,60	54,09 ± 4,78 49,78 - 60,01
Primavera 2009	7,65 ± 0,04 b 7,20 - 7,88	27,90 ± 0,50 c 26,00 - 28,97	34,7 ± 6,3 bc 25,05 - 51,90	49,42 ± 5,79 39,46 - 71,38
Verano 2009	7,57 ± 0,13 b 6,50 - 8,00	28,65 ± 1,35 c 26,93 - 31,54	20,52 ± 1,1 ab 4,60 - 27,81	32,61 ± 1,72 8,34 - 43,44
Otoño 2009	7,25 ± 0,05 a 6,60 - 7,90	24,73 ± 0,35 b 20,61 - 26,08	14,49 ± 2,93 a 10,36 - 28,72	24,27 ± 5,15 10,15 - 44,62
Invierno 2010	7,42 ± 0,14 ab 6,90 - 7,90	21,04 ± 0,46 a 17,84 - 23,60	22,55 ± 3,35 ab 11,30 - 31,20	38,34 ± 1,34 31,3 - 44,38

Valores de la prueba F: pH: $F_{4,55} = 3,84$; $P < 0,05$. Temperatura: $F_{4,55} = 43,26$; $P < 0,05$. Salinidad: $F_{4,55} = 16,55$; $P < 0,05$ y Conductividad eléctrica: $F_{4,55} = 1,34$; $P > 0,05$.

† Promedios con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a la Prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Cuadro 2. Valores promedios, desviación estándar, mínimos y máximos de las variables fisicoquímicas registradas en cuatro estaciones climáticas durante el periodo de enero 2009 a marzo 2010 en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz. México.

Localidad	Parámetros Fisicoquímicos			
	pH	Temperatura (° C)	Salinidad (ups)	Conductividad eléctrica (mS/cm)
La Mata	7,53 ± 0,19	24,58 ± 2,78	23,24 ± 7,77	37,33 ± 10,68
	6,60 - 7,90	18,32 - 28,97	4,60 - 34,60	8,34 - 49,97
Isla Potreros	7,41 ± 0,14	24,91 ± 2,67	23,45 ± 7,78	36,28 ± 10,11
	6,50 - 7,88	20,20 - 28,75	7,00 - 35,20	10,65 - 50,64
CFE	7,47 ± 0,15	25,32 ± 2,78	27,88 ± 8,16	42,35 ± 9,24
	6,50 - 7,81	17,84 - 30,46	11,69 - 47,80	19,55 - 66,31
Pipiloya	7,46 ± 0,16	25,64 ± 3,56	27,08 ± 10,75	41,56 ± 14,45
	7,20 - 8,00	18,96 - 31,54	5,29 - 51,90	9,56 - 71,38

CFE.: Comisión Federal de Electricidad de Tuxpan, Veracruz.

Valores de la prueba F: pH $F_{3,56} = 0,48$; $P > 0,05$. Temperatura: $F_{3,56} = 0,23$; $P > 0,05$; Salinidad: $F_{3,56} = 0,68$; $P > 0,05$ y Conductividad eléctrica: $F_{3,56} = 0,45$, $P > 0,05$.

Por otra parte, entre los puntos muestreados de la laguna no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$). Por lo que se puede deducir que el comportamiento de las variables fisicoquímicas es homogéneo. A continuación se describe el comportamiento mensual de cada una de las variables en cada uno de los puntos de muestreo:

Temperatura

El valor de temperatura promedio en el sedimento fue de 24,9 °C, la cual se registró a una profundidad de 1,50 m. Esta variable mostró valores menores en Febrero del 2010 (Invierno) entre el estero y la desembocadura del Río Tuxpan, donde convergen la entrada de agua marina y agua dulce en el punto de muestreo de La Mata de Tampamachoco (Cuadro 3). Por otra parte, la temperatura máxima promedio en verano fue de 28,65 °C, siendo el valor más alto de 31,54 °C en el mes de Junio en la localidad de Pipiloya; mientras que la temperatura promedio más baja en invierno fue de 21,04 °C., sobresaliendo el valor de 17,84 °C para la localidad de la CFE durante el mes de Febrero (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 3. Valores de temperatura (°C) de los cuatro puntos de muestreo de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México, durante el periodo de muestreo.

Meses del muestreo	Temperatura (°C)			
	LM	IPS	CFE	P
2009				
Enero	22,00	22,00	22,00	22,00
Febrero	25,00	25,00	25,00	25,00
Marzo	26,00	26,00	26,00	26,00
Abril	26,50	26,50	26,50	26,50
Mayo	28,97	28,75	28,72	28,92
Junio	27,07	27,71	29,73	31,54
Julio	26,93	28,04	30,46	30,00
Agosto	27,41	27,89	28,54	30,14
Septiembre	27,82	28,01	29,02	28,86
Octubre	25,89	25,85	25,87	26,08
Noviembre	23,11	23,27	23,65	23,66
Diciembre	20,61	20,87	21,52	21,55
2010				
Enero	19,91	20,20	20,72	21,12
Febrero	18,32	21,06	17,84	18,96
Marzo	23,60	23,60	23,60	23,60
Promedio	24,61	24,98	25,28	25,60
DE	± 3,20	± 2,94	± 3,70	± 3,77

LM: La Mata, IPS: Isla Potrereros Sur, CFE: Comisión Federal de Electricidad de la ciudad de Tuxpan, Veracruz y P: Pipiloya. DE: Desviación estándar

Pocos son los trabajos que se realizan y arrojan datos de temperatura de los fondos marinos (sedimentos); sin embargo Valdés *et al.* (2009) realizaron un estudio durante la primavera-verano, sobre la caracterización fisicoquímica preliminar del fondo marino del Golfo Dulce de la Provincia de Puntarenas en Costa Rica. Estos autores reportan valores de temperaturas en la superficie (agua) de 32 °C mientras que en el fondo de 30 °C. Lo anterior coincide con los valores de temperatura registradas en primavera- verano del presente estudio (31,54 °C).

pH

Con respecto a los valores de pH en sedimentos, se registró un máximo en el mes de Julio con 8,0, en el punto de Pipiloya (verano), seguido de aquellos obtenidos en La Mata en diciembre 2009 y enero 2010 con 7,90. El pH mínimo se presentó en verano en el mes de Agosto con 6,50 en la localidad de la CFE (Cuadro 4).

El comportamiento estacional del pH fue algo variable debido a que se registró el mayor valor

Cuadro 4. Valores de pH de los cuatro puntos de muestreo de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México, durante el periodo de muestreo.

Meses del muestreo	pH			
	LM	IPS	CFE	P
2009				
Enero	7,40	7,50	7,60	7,60
Febrero	7,30	7,40	7,30	7,20
Marzo	7,50	7,40	7,60	7,20
Abril	7,50	7,40	7,70	7,80
Mayo	7,85	7,88	7,81	7,70
Junio	7,77	7,80	7,77	7,77
Julio	7,80	7,80	7,80	8,00
Agosto	7,77	6,50	6,50	7,40
Septiembre	7,49	7,73	7,63	7,64
Octubre	6,60	6,60	6,80	7,20
Noviembre	7,00	6,80	6,80	7,20
Diciembre	7,90	7,60	7,70	7,30
2010				
Enero	7,90	6,90	7,80	7,20
Febrero	7,40	7,50	7,20	7,20
Marzo	7,61	7,47	7,47	7,42
Promedio	7,52	7,35	7,43	7,46
DE	± 0,35	± 0,24	± 0,42	± 0,27

LM: La Mata, IPS: Isla Potrereros Sur, CFE: Comisión Federal de Electricidad de la ciudad de Tuxpan, Veracruz y P: Pipiloya. DE: Desviación estándar

durante primavera, verano e invierno (7,7) dentro de la CFE y la Mata. Los valores más bajos se presentaron en otoño (7,1). Por otra parte el resto de los sitios presentaron valores similares y bajos en otoño (Cuadro 4).

Cada laguna costera tiene cierta variabilidad propia de su región relacionada a los factores naturales y antrópicos que la modelan. Así mismo, existen ciertos patrones generales entre las mismas. Por ejemplo la laguna costera del presente trabajo y las estudiadas por Dorronsoro (2005) y Valdés *et al.* (2009) son alcalinas. Para Valdés *et al.* (2009) los resultados son muy similares a los reportados en el presente trabajo en Golfo dulce de Puntarenas en Costa Rica (valores que oscilan entre casi neutros a ligeramente alcalinos). Aunque para Dorronsoro (2005), sus valores tienden a ser más alcalinos en las siguientes localidades: Pueblo Viejo (primavera 8,9, en verano 8,91 y en otoño-invierno 8,54), San Andrés (primavera 9,03, verano 8,71 y en otoño-invierno 8,83) y Marismas (primavera 8,93, verano 8,97 y otoño-invierno 8,93).

De manera general cuando el pH en los sedimentos es alcalino o ligeramente alcalino, es propenso a sedimentar más rápido los metales pesados o sustancias toxicas que cuando el pH es ácido. Debido a ello se consideran que estos cuerpos de agua tienen la capacidad natural de atrapar estos contaminantes y fungir como un sumidero natural. Por lo que la probabilidad de encontrar estos contaminantes es muy alta y aún más cuando hay desarrollos humanos cercanos.

En investigaciones realizadas por otros autores, en agua y sedimentos existen dos unidades de diferencia promedio entre los valores de pH registrados a mayor profundidad, para agua de 7,2 y para sedimentos de 5,5; lo cual indica que la diferencia de pH puede originar reacciones disímiles, a los valores registrados en sedimentos de lagos dulcícolas, los cuales son más ácidos que los presentados en lagunas con influencia salobre, como es el caso de la laguna de Tampamachoco.

Salinidad

La salinidad tiene un patrón estacional determinado por las estaciones climáticas, debido a ello cuando la temporada de lluvias disminuye la salinidad tiende a aumentar. Durante la estación de primavera, en el mes de marzo del 2009 se

presentaron los valores más elevados de salinidad en las localidades de Pipiloya (51,90 UPS) y la CFE (47,80 UPS) (Cuadro 5). Por su parte el valor mínimo se obtuvo en septiembre (verano) en la Mata (4,60 UPS). Así mismo en el resto de las localidades durante el mismo mes los valores fueron bajos en comparación con las demás temporadas climáticas. Estos valores podrían deberse a las abundantes precipitaciones diarias, lo que aportó grandes cantidades de agua dulce a la laguna. A pesar de que no se encontraron diferencias significativas entre las localidades, las variaciones en los valores de salinidad pueden tener diversas explicaciones como: la distancia y profundidad que hay de las localidades más cercanas y/o lejanas a la bocana del río Tuxpan, así como a la variabilidad natural de la estación de lluvia.

Botello *et al.* (2005) evidencia que en la Laguna de Términos en Campeche existe un gradiente en cuanto a la relación profundidad y salinidad entre el área Este (profunda y con aporte de agua marina) y

Cuadro 5. Valores de salinidad (UPS) de los cuatro puntos de muestreo de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México, durante el periodo de muestreo.

Meses del muestreo	Salinidad (UPS)			
	LM	IPS	CFE	P
2009				
Enero	34,60	35,20	37,20	42,50
Febrero	34,50	35,00	41,40	42,60
Marzo	34,60	34,60	47,80	51,90
Abril	33,90	33,30	35,50	34,50
Mayo	25,51	25,05	25,87	31,30
Junio	25,53	26,21	27,16	26,43
Julio	23,68	23,45	27,81	22,32
Agosto	25,79	25,51	21,60	24,30
Septiembre	4,60	7,00	11,69	5,29
Octubre	14,47	11,68	12,27	10,36
Noviembre	9,09	28,72	22,09	18,27
Diciembre	17,00	12,56	26,97	19,81
2010				
Enero	12,20	11,30	24,76	24,4
Febrero	25,10	11,93	19,93	20,18
Marzo	28,00	31,20	30,90	30,90
Promedio	23,24	23,51	27,53	27,00
DE	± 9,73	± 10,01	± 9,96	± 12,39

LM: La Mata, IPS: Isla Potreros Sur, CFE: Comisión Federal de Electricidad de la ciudad de Tuxpan, Veracruz y P: Pipiloya. DE: Desviación estándar

Oeste (somera, con aporte de agua dulce). En la parte Este se presenta mayor salinidad (34,3 UPS), respecto a la parte Oeste donde la salinidad es menor a 24,3 UPS. Esto coincide, con el comportamiento de la salinidad de este trabajo para los cuatro puntos de muestreo (cuadro 4). En términos generales existe un gradiente de salinidad y profundidad, en donde los valores aumentan conforme se adentra de la boca de la laguna (La Mata) hacia las localidades más alejadas (Pipiloya).

Conductividad eléctrica

Los valores de conductividad eléctrica reportados indican un comportamiento similar al de la salinidad, en donde el valor máximo fue reportado en Pipiloya en marzo (primavera) con 71,38 mS/cm, para los demás puntos de muestreo también se presentó la mayor CE en el mismo mes, excepto para Isla Potrereros Sur. La menor conductividad eléctrica se registró en La Mata con 8,34 mS/cm (otoño) y al igual que la salinidad, la menor conductividad eléctrica en todos los puntos de muestreo se presentó en el mes de septiembre (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores de conductividad eléctrica (mS/cm) de los cuatro puntos de muestreo de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México, durante el periodo de muestreo.

Meses del Muestreo	Conductividad eléctrica (mS/cm)			
	LM	IPS	CFE	P
2009				
Enero	49,88	50,64	53,32	59,91
Febrero	49,78	50,55	58,57	60,10
Marzo	49,97	49,88	66,31	71,38
Abril	49,11	48,25	51,12	49,78
Mayo	43,21	39,46	40,64	48,12
Junio	40,15	40,91	42,47	41,46
Julio	37,61	37,22	43,44	35,12
Agosto	40,54	40,14	34,52	38,38
Septiembre	8,34	12,31	19,55	9,56
Octubre	10,15	10,65	20,53	17,55
Noviembre	15,02	44,41	44,41	36,58
Diciembre	44,62	20,93	41,52	32,23
2010				
Enero	43,80	40,20	38,61	33,31
Febrero	31,30	33,40	32,26	32,22
Marzo	42,50	44,40	44,38	43,72
Promedio	37,07	37,56	42,11	40,63
DE	± 14,38	± 13,04	± 12,59	± 16,01

LM: La Mata, IPS: Isla Potrereros Sur, CFE: Comisión Federal de Electricidad de la ciudad de Tuxpan, Veracruz y P: Pipiloya. DE: Desviación estándar

De manera general y a una profundidad de 1,5 m, el valor promedio de conductividad eléctrica durante primavera de la laguna de Tampamachoco (49,42 mS/cm) (Cuadro 1) fue muy similar al reportado por Valdés *et al.* (2009) en los sedimentos del Golfo dulce de Puntarenas en Costa Rica a 1,40 m (41,6 mS/cm). Las diferencias en los valores, pueden deberse a que en la laguna de Tampamachoco existe menor dinámica del agua y remoción de sedimentos por ser un estero, a diferencia de reportados por Valdés *et al.* (2009) en el mar abierto.

En el cuadro 6 se pueden observar las variaciones de la conductividad eléctrica entre estaciones y épocas estacionales, registrándose un máximo de conductividad eléctrica en primavera para todos los puntos de muestreo, y mínimos en septiembre (otoño) para también los cuatro puntos de muestreo.

A pesar de que no se realizó un análisis de correlación y regresión, los datos sugieren que la CE fue directamente proporcional al contenido de salinidad en el sedimento muestreado e inverso a la temperatura.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La temperatura del sedimento en los distintos sitios de muestreo está relacionada con las diferentes estaciones del año. El pH de los sedimentos de la laguna, presenta características neutras a alcalinas y fue relativamente estable durante el periodo de muestreo. Para los parámetros de conductividad eléctrica y pH no existen aún Límites Máximos Permisibles (LMP) en la NOM-001-ECOL-1996 ni tampoco en los CE-CCA-001/89, por lo que sería necesario cambiar la legislación vigente en donde se involucren los LMP de los parámetros estudiados, para poder generar información precisa para la gestión y toma de decisiones para un mayor manejo ecológico y económico de la laguna.

La laguna de Tampamachoco es homogénea al menos entre las localidades de muestreo, pero no así entre las temporadas climáticas durante el tiempo en que se llevó a cabo el estudio. Durante los meses de septiembre y octubre en que hubo precipitaciones elevadas y entrada de agua dulce a la laguna se obtuvieron diferencias (disminución) en la salinidad y conductividad eléctrica.

Es recomendable seguir realizando estudios fisicoquímicos de los sedimentos de manera sistemática, se recomienda hacerlo en más sitios para poder analizar su comportamiento dentro de la Laguna de Tampamachoco y los efectos con los organismos que la habitan.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo proporcionado por la Cooperativa de Pescadores de La Mata de Tampamachoco, los Servicios Náuticos Tampamachoco y el Laboratorio de Mamíferos Marinos de la Universidad Veracruzana para la realización de esta investigación y al CONACYT por la beca otorgada.

LITERATURA CITADA

- Botello, A. V.; J. Rendón von Osten, G. Gold Bouchot y C. Agraz Hernández (Eds). 2005. Golfo de México: Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. 2^{da} Edición. Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México. 696 p.
- Contreras E., F. 1983. Variaciones en la hidrología y concentraciones de nutrientes en el área estuarino-lagunar de Tuxpam-Tampamachoco, Ver., México. *Biótica* 8 (2): 201-213.
- Chen, G. and P. A. White. 2004. The mutagenic hazard of aquatic sediments: A review. *Mutation Research* 567: 151-225.
- CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación. 1989. (2 de diciembre). DOF-NOM-059-SEMARNAT 2001. Diario Oficial de la Federación. México
- Espina, S. y C. Vanegas. 2005. Ecofisiología y contaminación. p. 53-78. *In*: A. V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold Bouchot y C. Agraz Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2^{da} Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. 696 p.
- García, I. y C. Dorronsoro. 2005. Contaminación por metales pesados. *In*: Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm> (Consultada Mayo, 2009).
- Gutiérrez, M. F. J.; F. Varona y F. Contreras. 2006. Caracterización estacional de las condiciones fisicoquímicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del Estado de Chiapas. *Hidrobiológica* 16 (2): 137-146.
- Leal Ascencio, M. T.; S. Miranda, E. M. Otazo Sánchez, F. Prieto García y A. J. Gordillo. 2009. Contaminación por metales en la laguna El Limón, Chiapas, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10 (3): 415 - 421
- Ponce, R.; J. M. Forja y A. Gómez Parra. 2000. Influencia de la actividad antropogénica en la distribución vertical de zn, cd, pb y cu en agua intersticial y sedimentos marinos costeros (Bahía de Cádiz, SW de España). *Ciencias Marinas* 26 (3): 479-502,
- Norma Oficial Mexicana. NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Valdés, J.; G. Esquivel, J. Segura y M. Martínez. 2009. Caracterización fisicoquímica preliminar de las emisiones gaseosas provenientes del fondo marino en el área de Golfito después de los sismos del 11 de marzo de 2009. Comisión Nacional de Emergencias (CNE) y Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional (OVSICORI-UNA). 8 p.