



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
Campus Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Variación espacio-temporal de los parámetros físico-químicos, clorofila-a y nutrientes en la Laguna de Tampamachoco-Veracruz (Golfo de México Occidental)

TESIS

Que para obtener el título de:
**MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS
Y COSTEROS**

P R E S E N T A:

Jordán Gutiérrez Vivanco.

**Director:
Marisela López Ortega**



Universidad Veracruzana

Tuxpan, Veracruz

2010

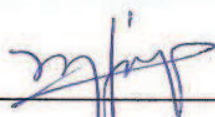
Dr. Arturo Serrano Solís

Coordinador de la Maestría

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, a 27 de Octubre del 2010

La presente Tesis titulada: **Variación espacio-temporal de los parámetros físico-químicos, clorofila-a y nutrientes en la laguna de Tampamachoco-Veracruz (Golfo de México Occidental)**, realizada por el **C. Biol. JORDÁN GUTIÉRREZ VIVANCO** y asesoría del consejo particular de la Mtra. Marisela López Ortega y Dr. Ascensión Capistrán Barradas ha sido aprobada y aceptada para poder llevar a cabo la solicitud de fecha de examen, para obtener el grado de:

MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS



Mtra. Marisela López Ortega
Directora



Dr. Ascensión Capistrán Barradas
Asesor

La presente Tesis titulada: “**VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, CLOROFILA-a Y NUTRIENTES EN LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO-VERACRUZ (GOLFO DE MÉXICO OCCIDENTAL)**” realizada por el C. Biol. Jordán Gutiérrez Vivanco, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

COMISIÓN LECTORA:



DRA. ROSA IDALIA HERNÁNDEZ HERRERA

LECTOR



DRA. GRISELDA PULIDO FLORES

LECTOR

DR. JOSÉ DE JESÚS SALAS PÉREZ

LECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz., Octubre de 2010.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios.

Gracias a mis Padres: Juan Gutiérrez Romero e Imelda Vivanco Villanueva por su inmenso amor, por inculcarme fe y valores.

A mis Hijas Jordana Lissel y Giselle Gutiérrez Montero por su espera, por su infinito amor. Las Amo.

Gracias a mis hermanos: Zohé, Natalia, Iván, Karola y Juan por constituir la Familia Gutiérrez Vivanco.

Mi infinito agradecimiento a mi Director de Tesis M en E. Marisela López Ortega, por su amistad, su paciencia, sus consejos que permitieron concluir esta Tesis.

Agradezco inconmensurablemente a mi Asesor de Tesis, Dr. Ascensión Capistran Barradas, su amistad, su asesoría, consejos y su guía en la culminación de este trabajo.

Gracias mil al M. en C. Juan Roberto Mateos Crespo, Secretario Regional del FESAPAUV por las facilidades otorgadas para obtener el financiamiento para la realización de mis estudios de Maestría.

Agradezco a los sinodales Dr. José de Jesús Salas Pérez, Dra. Rosa Idalia Hernández Herrera y Dra. Griselda Pulido Flores por su crítica constructiva y sus comentarios certeros.

Al M en E. José Luís Alanís Méndez y a la Maestra en Desarrollo Rural Blanca Esther Raya Cruz por su amistad y por el apoyo brindado a través del laboratorio de Geomática.

Agradezco al M. A. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz y Biol. Liliana Cuervo López, su amistad y sus observaciones al presente trabajo.

Al Mtro. Francisco Javier Martos Fernández por su apoyo incondicional y comprometido.
Gracias por tu amistad.

Mil gracias a la Biol. Clara Aoyama Argumedo, Coordinación de Seg. Ind. Prot. Amb. y Cal. Laboratorio Ambiental de SIPAC PEMEX, por brindarme todas las facilidades para el tratamiento de las muestras.

Gracias infinitas a Elizabeth Hernández Martínez por su esfuerzo, dedicación y apoyo en la realización de muestreos y en trabajo de Laboratorio.

Agradezco al B.M. Juan Carlos Solís Bautista su apoyo inicial en el manejo estadístico de los datos.

Deseo Agradecer a todos los maestros que contribuyeron en mi formación profesional a nivel de posgrado.

Gracias a mis compañeros y amigos de esta primera generación de la Maestría en manejo de ecosistemas marinos y costeros: Liliana, Roberto, Arturo, Laura, Yessika, Fernando, Miguel, Rosario y Miriam.

Gracias también a Natalia, Karla, Mauricio, Saúl, Keiko y Andrés por sus contribuciones a la realización de esta Tesis.

ÍNDICE

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
OBJETIVOS	10
Objetivo General	
Objetivos particulares	
AREA DE ESTUDIO	11
MATERIALES Y METODOS	15
RESULTADOS	20
DISCUSION	54
CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRACTICAS	59
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	73
ANEXO A	74
ANEXO B	75
ANEXO C	77
ANEXO D	78
ANEXO E	79

ANEXO F

80

ANEXO G

81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Media, error estándar, máximo y mínimo de ocho parámetros físico-químicos, por sitio de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.....	74
Cuadro 2. Media, error estándar, máximo y mínimo de ocho parámetros físico-químicos, Laguna de Tampamachoco, Veracruz (enero 2009- abril 2010).....	75
Cuadro 3. Media, error estándar, máximo y mínimo de clorofila-a por sitio de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.....	77
Cuadro 4. Media, error estándar, máximo y mínimo de los nutrientes, por sitio en Laguna de Tampamachoco, Veracruz.....	78
Cuadro 5. Media, error estándar, máximo y mínimo mensual de los nutrientes en laguna de Tampamachoco, Veracruz.....	78
Cuadro 6. Comparación de valores de Parámetros Físico- químicos de algunas lagunas costeras con los reportados para este estudio de la laguna de Tampamachoco, Veracruz.....	79
Cuadro 7. Comparación de valores de clorofila-a y fosfatos de algunas lagunas costeras del Golfo de México con los valores reportados para este estudio de la laguna de Tampamachoco.....	80

Cuadro 8. Promedios de precipitaciones y temperatura ambiente y precipitación registrados en el periodo enero 2009-febrero 2010.....	81
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Área de Estudio.....	11
Figura 2. Localización del Área de Estudio en la que se muestran algunas características fisiográficas.....	13
Figura 3. Variación espacial de la temperatura superficial del agua en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	20
Figura 4. Variación mensual de la temperatura superficial del agua en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	21
Figura 5. Variación espacial de la salinidad del agua en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$, ANDEVA de una vía).....	22
Figura 6. Variación mensual de la salinidad del agua en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	23

Figura 7. Variación espacial del pH del agua en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	25
Figura 8. Variación mensual del pH del agua en la Laguna de Tampamachoco. (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	26
Figura 9. Variación espacial de los sólidos disueltos totales en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	28
Figura 10. Variación mensual de los sólidos disueltos totales en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	29
Figura 11. Variación espacial del porcentaje de saturación de oxígeno en la Laguna de Tampamachoco. (Media \pm error estándar) Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	30
Figura 12. Variación mensual del porcentaje de saturación de oxígeno en la Laguna de Tampamachoco. (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	32

Figura 13. Variación espacial de oxígeno disuelto en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	33
Figura 14. Variación mensual de oxígeno disuelto en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	35
Figura 15 Variación espacial de la transparencia en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	36
Figura 16. Variación mensual de la transparencia en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	38
Figura 17. Variación espacial de la clorofila-a en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	39
Figura 18. Variación mensual de la clorofila-a en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	40

Figura 19. Variaciones espaciales (Media \pm error estándar) de NO ₂ , NO ₃ y PO ₄ en la Laguna de Tampamachoco.....	42
Figura 20. Variaciones mensuales (Media \pm error estándar) de NO ₂ , NO ₃ y PO ₄ en la Laguna de Tampamachoco.....	43
Figura 21. Variación espacial de NO ₂ en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, P < 0.05).....	44
Figura 22. Variación mensual de NO ₂ en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, P < 0.05).....	45
Figura 23. Variación espacial de NO ₃ (Media \pm error estándar). Las letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, P < 0.05)....	46
Figura 24. Variación mensual de NO ₃ en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, P < 0.05).....	47
Figura 25. Variación espacial de PO ₄ en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, P < 0.05).....	48

Figura 26. Variación mensual de la concentración de PO_4 en la Laguna de Tampamachoco. Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).....	49
Figura 27. Relación entre NO_2 y el porcentaje de saturación de oxígeno en la Laguna de Tampamachoco.....	50
Figura 28. Relación entre NO_2 y el oxígeno disuelto en la Laguna de Tampamachoco.....	51
Figura 29. Relación entre PO_4 y el porcentaje de saturación de oxígeno en la Laguna de Tampamachoco.....	52
Figura 30. Relación entre PO_4 y el oxígeno disuelto en la Laguna de Tampamachoco.....	53

RESUMEN.

Este estudio se realizó en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz con el objetivo de evaluar la variación espacio-temporal de los parámetros físico-químicos, clorofila-a y nutrientes además de determinar sus relaciones. Se establecieron cinco sitios de muestreo a lo largo de la laguna, para tener una mejor cobertura espacial, estos fueron: la Mata, CFE, Pipiloya, Entrada a canales y Ciénaga. Se registraron *in situ* ocho parámetros físico-químicos (temperatura, salinidad, pH, sólidos disueltos totales, conductividad, porcentaje de saturación de oxígeno y el oxígeno disuelto con medidor multiparamétrico modelo HI 9828, la transparencia se midió con disco de Secchi. Se tomaron mensualmente muestras de agua superficial de enero de 2009 a abril de 2010. La cuantificación de clorofila-a se realizó espectrofotométricamente mediante la técnica descrita por SCOR UNESCO (1980). La concentración de NO_2 en agua fue determinada conforme a la NMX-AA-099-SCFI-2006; los NO_3 se determinaron siguiendo a la NMX-AA-079-SCFI-2001, y los PO_4 través de la NMX-AA-029-SCFI-2001. Se calcularon la media aritmética, el error estándar, máximo y mínimo para todos los parámetros por sitio y por mes. Se realizó comparación de medias, análisis de varianza de una vía y *a posteriori* la prueba de Tukey. Se efectuó correlación de Spearman para detectar posible correlación entre las variables explicatorias y las concentraciones de clorofila-a y nutrientes. La temperatura y la salinidad del agua superficial exhibieron marcada variación temporal, lo que conduce a afirmar que la precipitación es el factor climático más determinante. Especialmente, las

concentraciones más altas de clorofila-a y PO_4 fueron en el sitio la Ciénaga. La relación positiva de NO_3 con el porcentaje de saturación de oxígeno y con el oxígeno disuelto indica que probablemente está siendo inducida por actividad humana.

Palabras clave: Parámetros Físico-químicos, Laguna de Tampamachoco, clorofila-a, NO_2 , NO_3 , PO_4

INTRODUCCIÓN

Las regiones costeras ofrecen espacio para vivir a los humanos y hábitats para plantas y animales, poseen además un alto potencial ecológico y económico.

Las lagunas costeras representan ambientes acuáticos con una considerable variación de sus parámetros ambientales, promovida por el comportamiento hidrodinámico de estos sistemas (Pinto *et al.*, 2001).

Una característica importante del comportamiento ambiental de las lagunas costeras en latitudes templadas y tropicales es la heterogeneidad espacial (Herrera-Silveira, 1994), dependiente de los aportes continentales, marinos y en consecuencia del clima. Este último factor influye en la precipitación y evaporación que conjuntamente con la marea, contribuyen en la concentración salina y nutrientes a través del intercambio de agua (Caffrey y Day, 1986).

Las lagunas costeras generalmente manifiestan un comportamiento hidrológico estacional (Zimmerman, 1981; Knoppers *et al.*, 1999) debido a su dependencia a los aportes de agua dulce y sus efectos (Nixon, 1981; Knoppers *et al.*, 1991; Ringwood y Keppler, 2002), por las estaciones climáticas (lluvia y estiaje). A su vez tienen un comportamiento físico, químico y biológico muy específico, se caracterizan por su gran complejidad. Uno de los rasgos más comunes de estos ambientes es la abundancia relativa de nutrientes y materia particulada si se comparan con las aguas litorales y oceánicas, catalogándose como sistemas exportadores de nutrientes (De la Lanza y Cáceres, 1994).

Las variaciones de las concentraciones de nutrientes y sus fuentes, son primordiales en todos los ecosistemas acuáticos (Nixon, 1981).

Estos ecosistemas de dos masas de agua de diferente origen y características, hace que las variaciones de los ciclos de los nutrientes sean particularmente complejas, así como los factores que controlan la productividad primaria en el agua al estar determinada por múltiples factores y su interacción (Contreras *et al.*, 2005).

Por ello, en las lagunas costeras es relevante realizar estudios que permitan la evaluación y el análisis hidrológico de las variables ambientales y la relación de estas con los nutrientes y clorofila-a en el tiempo y en el espacio, para establecer la dinámica de estos ambientes acuáticos, hacer su caracterización y administrarlos en forma sustentable.

El presente estudio pretende evaluar la variación espacio-temporal de los parámetros fisicoquímicos, nutrientes y clorofila-a de la Laguna de Tampamachoco-Veracruz durante un período de 16 meses.

La medición y el análisis de la concentración de clorofila-a, así como la determinación y cuantificación de los NO_2 , NO_3 y PO_4 de la laguna de Tampamachoco son herramientas que permiten conocer el estado de salud del ecosistema. Aún más, el acopio de datos históricos es importante ya que estos son el sustento para el diseño de modelos que expliquen el funcionamiento de este humedal, y que permitan reproducir y pronosticar sus escenarios ambientales

factibles de lograr a través de la elaboración y aplicación de planes de manejo de conservación.

ANTECEDENTES

En la Laguna de Tampamachoco se han efectuado con anterioridad algunos estudios hidrológicos, de la cinemática de los nutrientes, cuantificación de la biomasa de la clorofila-a, influencia de los factores climáticos sobre algunos parámetros físico-químicos y de la variación de la estructura espacial y temporal de la temperatura, salinidad, silicatos y ortofosfatos. A continuación se describen las investigaciones que sobre los tópicos mencionados anteriormente se han realizado en esta laguna costera.

Contreras (1983) estudió las variaciones en la hidrología y concentraciones de nutrientes en el área estuarino-lagunar de Tuxpan-Tampamachoco, Ver. Basándose en los datos de nutrientes y clorofila-a obtenidos a partir de muestreos bimensuales en un ciclo bianual, además de los registrados por medio de cuatro ciclos nictemerales efectuados en el último año del estudio, presentó un modelo del comportamiento hidrológico del sistema estuarino-lagunar de Tuxpan-Tampamachoco. Los resultados del modelo sugieren un considerable aporte del material nutritivo y energía hacia el mar, en función de la influencia de la marea. Este autor, introdujo las relaciones $N-NH_4^+$: N total y P org: P total como elementos de discusión de la proporción de estos elementos nutritivos involucrados en el proceso de la productividad primaria. Además, los valores de oxígeno disuelto,

tanto para el ciclo bianual como en los muestreos nictemerales, permiten suponer que, en la Laguna de Tampamachoco, los procesos heterotróficos dominan sobre los autotróficos.

Por otra parte, Contreras *et al.*, (1992) estudiaron los cambios hidrológicos en la Laguna de Tampamachoco-Veracruz. En este estudio colectaron material nutritivo en dos períodos, el primero de 1980-1981, el segundo de 1990-1991. Los resultados mostraron que los cambios abióticos en la laguna no son significativos. La proporción de fósforo fue diez veces mayor durante el período 1980-1981 debido a que las actividades humanas alrededor de la laguna generaron un proceso de acelerada eutroficación (Contreras *et al.*, 1992).

Contreras-Espinosa *et al.*, (1994) presentan los resultados derivados de la medición de la clorofila-a, en 33 lagunas costeras, analizando la posibilidad de incorporar estos valores al índice trófico propuesto por Carlson (1977). Destacan que lo más sobresaliente es la relación estrecha que manifiesta la clorofila-a con los suministros naturales o antropogénicos de nutrientes. Remarcan que el incremento en el suministro de nutrientes por escurrimientos continentales tiene efecto inmediato en el establecimiento de áreas con mayor cantidad de clorofila-a. Afirman que la variación más evidente es la estacional, que las concentraciones de clorofila-a alcanzadas en época de lluvias son mucho más elevadas que en época de secas. De las 33 lagunas estudiadas, en 19 (57.6%) el promedio máximo de concentración de clorofila-a se presentó en la época de lluvias; en 11 (33.3%) se manifestó en el estiaje.

Las tres restantes (9%) lo presentaron durante el periodo que se podría considerar como invierno. Estos autores reportan un mínimo de 0.14 mg/m^3 y un máximo de 43.0 mg/m^3 de clorofila-a para la Laguna de Tampamachoco, entre los meses de octubre-mayo de 1980, y de un mínimo de 0.68 mg/m^3 a un máximo de 54.9 mg/m^3 de clorofila-a para los meses febrero-septiembre de 1990. Asimismo, con los valores promedio de clorofila-a determinados en la Laguna de Tampamachoco, la agruparon junto a otras lagunas estudiadas, por el valor promedio en clorofila-a de 12.2 mg/m^3 en el intervalo de 10.0 a 20.0 mg/m^3 para el año de 1980 y 21.2 mg/m^3 en el de 20 a 30 mg/m^3 en 1990.

En otra investigación se estudió la influencia del clima regional sobre una cuenca exorreica ubicada en el Noroeste del Golfo de México, en la que se localiza la laguna costera de Tampamachoco (De la Lanza Espino *et al.*, 1995). Determinándose la influencia cualitativa y cuantitativa de los factores micro climáticos (temperatura ambiental, precipitación, evaporación y vientos dominantes) que afectaron a la salinidad y temperatura del agua de la Laguna de Tampamachoco-Veracruz. La salinidad y temperatura del agua delimitaron cinco áreas hidrológicamente distintas: **I**: El estero de la Mata; **II**: 24% del cuerpo principal; **III**: Suroeste (SO) del cuerpo principal; **IV**: Oeste del cuerpo principal y **V**: Suroeste de la laguna; para las tres temporadas climáticas del estado (*nortes, secas y lluvias*); la salinidad de la laguna en las cinco áreas anteriormente mencionadas fue consecuencia de la evaporación en un 16% y en un 63% de la precipitación; la temperatura del agua dependió en un 50% de la temperatura del

aire. El viento mezcló toda la columna de agua, con velocidades de 8.1 m/s (en nortes), en secas de 6.5 m/s y en lluvias de 7.5 m/s. La distribución espacial y temporal de clorofila-a fue semejante en las cinco áreas.

En otro estudio se compararon hidrológicamente tres lagunas costeras del estado de Veracruz: Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco (Contreras, 1996). Los resultados obtenidos muestran que los sistemas lagunares presentan las tres épocas climáticas típicas del estado: sequía, lluvias y nortes. Además los valores de nitratos medidos en las tres lagunas no fueron mayores a 7.0 $\mu\text{g-at/l}$. En cada laguna, los máximos de ese nutriente se presentan en meses distintos, además, en ninguno de ellos se distinguió en los datos alguna señal estacional. Las formas de fósforo inorgánico (ortofosfatos) para la Laguna de Tampamachoco se mantuvieron relativamente constantes dentro del intervalo de 2.79 y 7.07 $\mu\text{g-at/l}$. Para la clorofila-a, su concentración se mantuvo en general por debajo de los 10 mg/m^3 . Sus valores máximos se detectaron en los tres sistemas lagunares en el mes de mayo del año de 1994 en donde las concentraciones registradas fueron de 36.7, 36.22 y 34.9 mg/m^3 . Un resultado relevante en las tres lagunas costeras, es que los máximos coincidieron con la época de lluvias.

Castillo *et al.*, (1996) realizaron la comparación hidrológica de tres lagunas costeras del norte del estado de Veracruz: Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco, llevaron a cabo un análisis de cada una de ellas, tomando en consideración valores máximos, mínimos y promedios, lo que permitió entender y reafirmar la estacionalidad y temporalidad en el comportamiento de estas lagunas.

Identificaron tres épocas típicas de la zona: lluvias, secas y nortes, reflejándose claramente en la presencia de clorofila-a, formas fosfatadas, formas nitrogenadas y en la relación N: P (Nitrógeno-Fósforo).

Contreras *et al.*, (1996) estudiaron los nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. Los resultados determinaron que no existe una limitación de nutrientes hacia el proceso de la productividad primaria, porque aún en las épocas cuando se presentaron las concentraciones mínimas de sales nutritivas, éstas tienen valores por arriba de las detectadas en otros sistemas similares, sobre todo los situados en latitudes templadas. En algunos casos las variaciones de nutrientes son amplias y delatan la heterogeneidad en el comportamiento de estas sales. La relación entre nutrientes, establecida por el índice N:P desempeña un papel importante en la concentración de cada uno de los nutrientes. Con base en ese índice fue posible clasificar a las lagunas con limitación de nitrógeno (<5) o de fósforo (>10).

El análisis temporal y espacial de los parámetros físico-químicos de la Laguna de Tampamachoco utilizando un análisis multivariado (De la Lanza *et al.*, 1998); estableció el predominio de los silicatos en la explicación de la variación espacial en un sistema tropical fuertemente controlado por las características climáticas interanuales que se reflejaron en mayor o menor grado en la boca a través de la mezcla estuarina con hegemonía de la marea. Estos autores estudiaron la Laguna de Tampamachoco en el período 1979 a 1986, determinaron la variación de la estructura espacial y temporal de la temperatura, salinidad, silicatos y ortofosfatos,

mediante el uso del análisis multivariado aplicándolo en las 3 épocas climáticas mencionadas anteriormente. Mediante el análisis de los datos se delimitaron dos áreas características: la estuarina-marina, caracterizada por un bajo contenido de silicatos (3.37 a 5.55 $\mu\text{g-at/l}$), y la intermedia que constituye el cuerpo principal de la laguna con una marcada señal temporal y estructura espacial. Aunado al amplio intervalo de concentración de SiO_3 (4 a 8.47 $\mu\text{g-at/l}$); esas áreas se modifican en el espacio de acuerdo a las tres temporadas climáticas.

En otro estudio, se realizó la caracterización de 39 lagunas costeras a través de variables ecológicas seleccionadas (Contreras, 2001). Con esos datos realizó el seguimiento de variables para determinar el tipo de agrupamiento basado en una característica compartida. El análisis aplicado a valores promedio de algunos nutrientes (nitrógeno y fosfatos) determinó que estos ecosistemas tienen una tendencia a la eutrofia.

Contreras-Espinosa y Warner (2004) midieron los parámetros ecológicos para la caracterización de las condiciones físico-químicas y biológicas para 29 humedales representativos que ocurren en las costas de México. Entre las lagunas estudiadas, se señala que la Laguna de Tampamachoco fue medida en 3 periodos anuales distintos: 1979-1980, 1990-1991 y 1994-1995. Los autores concluyen que la salinidad del agua es una medida conveniente para la separación de humedales en 4 grupos. Bajo ese criterio, ubicaron a la Laguna de Tampamachoco como Tipo II (mínimo de 10 y máximo de 30 ups).

Destacan que en la Laguna de Tampamachoco en un lapso de 10 años se incrementó por diez la concentración de fosfatos y que las concentraciones de clorofila-a también se incrementaron aproximadamente de 5 a 25 mg/m³.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la variación espacio-temporal de los parámetros físico-químicos, clorofila-a y nutrientes en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Determinar espacio-temporalmente los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua en la Laguna de Tampamachoco.

Estimar la concentración de clorofila-a en diferentes sitios y meses en la Laguna de Tampamachoco.

Medir la concentración de nutrientes nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y fosfatos (PO_4) y su variación espacio-temporal en la Laguna de Tampamachoco.

Establecer la correlación entre la producción de clorofila-a, los parámetros físico-químicos y los nutrientes en la Laguna de Tampamachoco.

AREA DE ESTUDIO

La Laguna de Tampamachoco se localiza al norte del estado de Veracruz, aproximadamente a 9 km de la ciudad de Tuxpan. Forma parte del complejo estuarino lagunar de Tamiahua y Pueblo Viejo en la planicie costera nororiental (Bulit *et al.*, 1989). Es una laguna costera con un eje mayor paralelo a la línea de costa, separada del mar por una barrera arenosa; presenta sedimentación terrígena diferencial, asociada con sistemas deltaico fluviales (Lankford, 1977) (Fig.1).

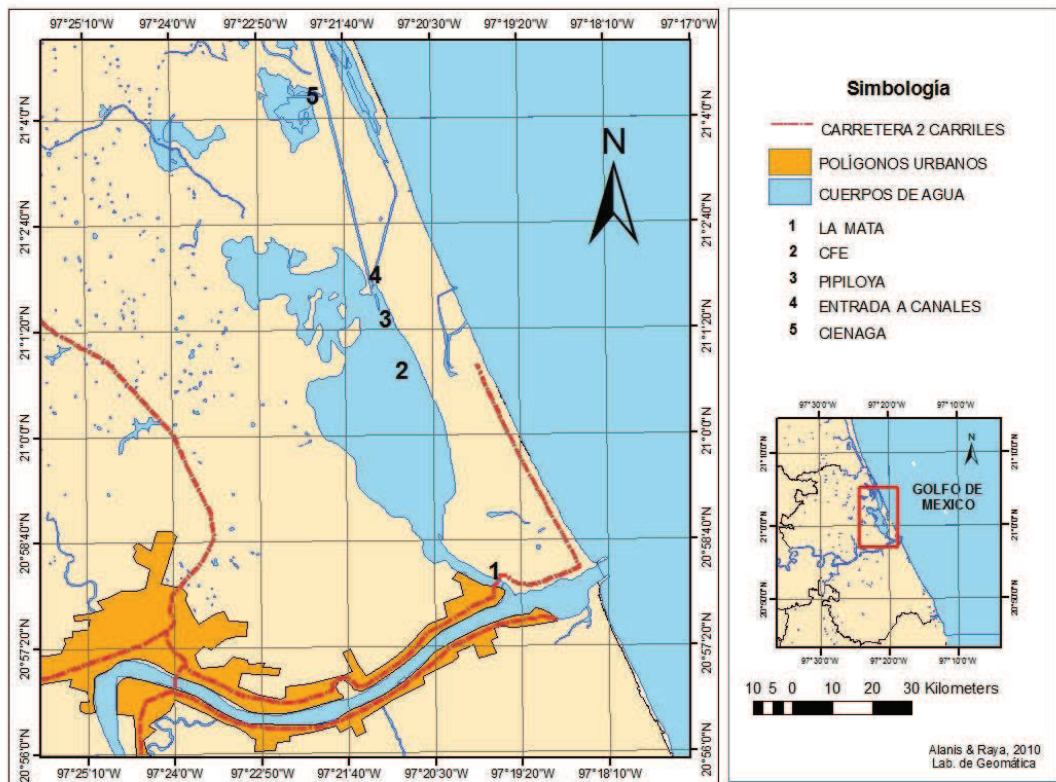


Figura 1. Localización del área de estudio (Fuente: Laboratorio de Geomática, 2010).

El clima de la región es de tipo AW₂ (García, 1986), que corresponde a un clima cálido húmedo con una época de estiaje muy marcada en el invierno que se alarga hasta la primavera y otra corta en verano. En ocasiones durante el invierno, se presentan chubascos repentinos o lluvia fría y pertinaz debida al efecto de los llamados “nortes” que son característicos en esta región y que se presentan de noviembre a febrero (Sánchez, 1994). La temperatura oscila entre 7°C y 14°C, con un promedio anual de 24.6°C. La precipitación pluvial promedio es de 1322 mm (Centro Meteorológico de Tuxpan, 2005).

Características hidrológicas y fisiográficas

La extensión aproximada de la laguna es de 1500 ha con un volumen de agua de $3.69 \times 10^6 \text{ m}^3$. Cuenta con dos canales de navegación que tienen la misma posición de inicio, uno denominado “Canal Antiguo” y otro denominado “Canal Nuevo”, este último es el que actualmente se usa como medio navegable (Fig. 2).

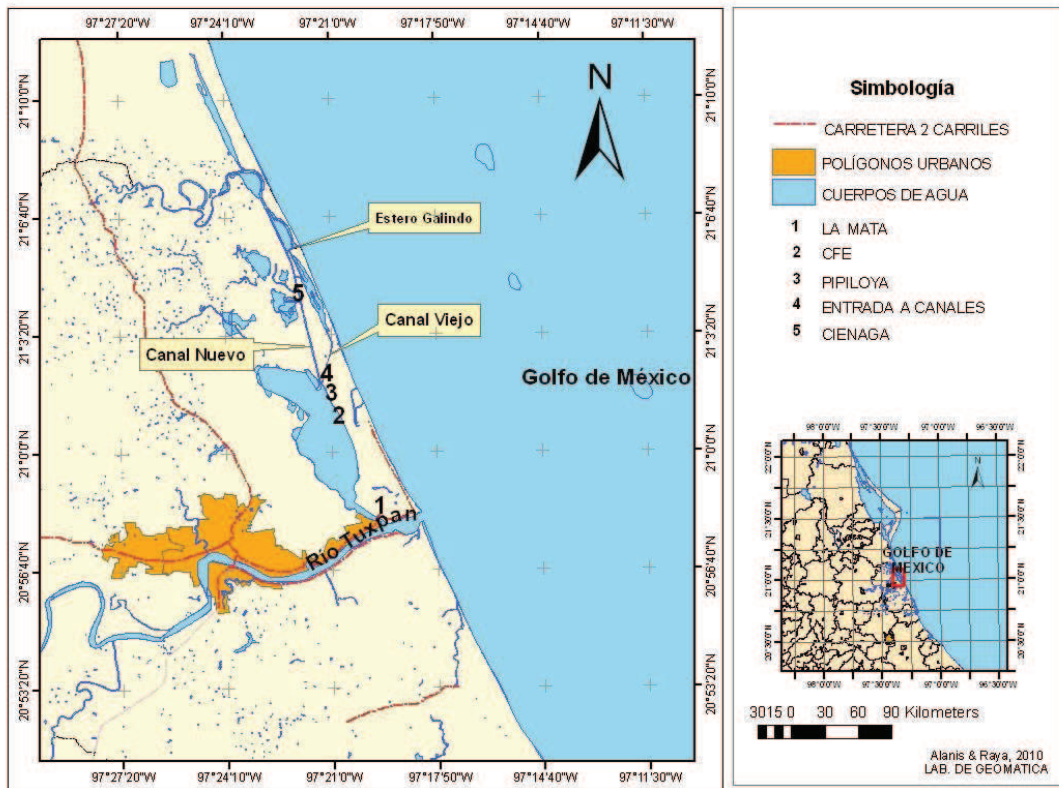


Figura 2. Localización del área de estudio. Se muestran algunas características fisiográficas, (Fuente: Laboratorio de Geomática, 2010).

El eje mayor de la laguna está orientado de norte a sur y mide aproximadamente 8 km de longitud; de la boca del canal nuevo a la desembocadura del río Tuxpan; su ancho máximo es de 3.5 km. El “Canal Nuevo” tiene una profundidad de 3 m, y se prolonga hasta la Laguna de Tamiahua. Al Noroeste de la Laguna de Tampamachoco y aproximadamente a 11 km de donde inician los canales se encuentra el estero Galindo (que en algunas épocas desemboca de modo artificial al mar en la llamada boca de Galindo (Bulit *et al.*, 1989 y Bedia-Sánchez, 1990).

Hacia la parte sur, la laguna se conecta con el río Tuxpan a través del estero de Tampamachoco, ubicado a 2 km de la desembocadura en el mar, por lo que su comunicación con éste es casi directa. El río Tuxpan, conocido también como Pantepec, es el principal sistema fluvial de la zona y junto con otros pequeños arroyos de menor caudal, suministran la mayor cantidad de agua dulce durante el período de lluvias (Castro-Aguirre, 1986).

La Laguna de Tampamachoco no tiene aporte de otros ríos, solamente cauces secundarios, principalmente el estero "El Angosto" que se inicia sobre el canal nuevo y que se ubica hacia el Noroeste y el estero del "Corral", localizado al Noroeste a la barra de Galindo, que esta en comunicación directa al Golfo de México artificialmente desde 1979 (SEDAP, 1997).

Esta laguna tiene una marcada influencia de la marea debido a que generan velocidades de flujo y reflujos en la boca hasta de 3.04 m/seg, por lo anterior es una laguna de características hidrológicas marinas con influencia de agua dulce proveniente del río Tuxpan (Contreras, 1985).

Características físico-químicas del agua

La temperatura promedio es de 27.7 °C, salinidad 27.4 ups, oxígeno disuelto de 5.03 mg/l y el pH de 8. La salinidad superficial disminuye en la temporada de lluvias (julio a septiembre), alcanzando valores de 15 ups y el resto del año se mantiene en 35 ups.

En general, la parte norte de la laguna, donde se ubica el Canal Nuevo, presenta valores de salinidad de 34.5 y 35.5 ups, y la porción sur comparte características típicamente estuarinas (Contreras y Castañeda, 1995).

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de datos

Se establecieron cinco sitios de muestreo en la laguna, se tomaron en cuenta los rasgos batimétricos, la influencia de actividades antropogénicas y la comunicación con el estuario del río Tuxpan. Se geoposicionaron los sitios de muestreo y éstos se identificaron como: sitio 1 (La Mata), sitio 2 (CFE), sitio 3 (Pipiloya), sitio 4 (Entrada a canales) y sitio 5 (Ciénaga) (Fig. 1).

En cada sitio se colectaron mensualmente muestras de agua superficial, desde enero de 2009 a abril de 2010. Se realizó *in situ* el registro de ocho parámetros físico-químicos (temperatura, salinidad, pH, sólidos disueltos totales, porcentaje de saturación de oxígeno y el oxígeno disuelto), utilizando un medidor multiparamétrico modelo HI 9828 (marca Hanna Instruments), la transparencia se determinó a través del uso de disco de Secchi de 30 cm de diámetro.

La colecta y análisis de las muestras de agua se realizaron considerando las técnicas de Strickland y Parsons (1972) y APHA (1998). Se obtuvieron muestras de agua superficial mediante una cubeta de plástico. En cada sitio se vació y filtró un volumen aproximado de un litro de agua; las muestras para cuantificación de

clorofila-a se filtraron *in situ* para evitar el consumo del fitoplancton por el zooplancton. Asimismo se obtuvieron muestras de agua con aproximadamente 1.5 litros para el análisis de los nutrientes, estas no se filtraron.

La concentración de NO_2 en agua fue determinada mensualmente mediante el método de la Sulfanilamida Clorhidrato de N-1 Naftil-etilendiamina, como se cita en la NMX-AA-099-SCFI-2006; los nitratos fueron determinados por el método de sulfato de brucina que es referido en la NMX-AA-079-SCFI-2001; el fósforo (fosfatos) fue determinado a través del método del Ácido Vanadomolibdofósforico descrito en la NMX-AA-029-SCFI-2001.

Para cada estación de muestreo se filtraron 500 ml de agua a través de un equipo de filtración (Millipore). El extracto de clorofilas obtenido se colocó en un mortero de porcelana, se le agregaron con 5 ml de acetona al 90% y se trituró con el pistilo. Posteriormente se adicionaron otros 5 ml de acetona al filtrado y se repartió equitativamente el líquido a 2 tubos de centrifuga, se colocó un tapón de hule a los tubos de centrifuga y se dejó reposar a los 2 tubos durante 30 minutos.

Se centrifugó durante 5 minutos (a velocidad 6) y se decantó el extracto verde de acetona en una cubeta para espectrofotómetro.

Utilizando un espectrofotómetro de luz ultravioleta (Thermo Spectronic Modelo Genesys 20) se determinó la absorbancia para la clorofila-a a 665 nm. Después, se determinó la absorbancia del blanco a 730 nm, en esta segunda lectura se

determinó la absorbancia del extracto de la acetona, dado que los pigmentos no absorben a esta longitud de onda.

Posteriormente se determinó la absorbancia del extracto total (A_p), es decir, la lectura de la absorbancia de la muestra a 665 nm menos la lectura de la absorbancia del blanco a 730 nm.

Enseguida se obtuvo otra lectura de absorbancia en la muestra a 430 nm con la cual se determinó la absorbancia de carotenoides, restándole la lectura del blanco del extracto leído a 730 nm.

Dado que la absorbancia para la clorofila-a a 665 μm puede incluir las absorbancias para las feofitinas, pigmentos resultantes de la degradación de la clorofila y encontrada en las algas muertas o en materia orgánica suspendida. Por lo tanto fue necesario corregir la presencia de la feofitina, transfiriendo la muestra contenida en la celda del espectrofotómetro, a un tubo de prueba y se tapó. Inmediatamente se agregó 0.1 ml de HCl 4N, mezclándose y centrifugándose por 30 segundos. Este tratamiento con el ácido removió el magnesio del anillo de porfirina a la molécula de clorofila para que no absorbiera a 665 nm, no afectándose las absorbancias de las feofitinas.

Posterior al centrifugado, se colocó la muestra tratada con el ácido en la celda del espectrofotómetro y se determinó su absorbancia a 665 nm (A_a). También se determinó la absorbancia del extracto con ácido como blanco a 730 nm restándose este valor a la absorbancia determinada en la muestra tratada con

ácido a 665 nm. Este valor refleja la concentración de feofitinas; substrayéndolo de la absorbancia de la muestra no tratada con ácido conteniendo ambas la clorofila-a y las feofitinas (A_p) se obtiene la absorbancia de la clorofila únicamente.

Con los valores determinados en laboratorio y utilizando la ecuación 1.

$$C = (11.0) (2.43) (A_p - A_a) (V_p/V_o) / d \quad (1)$$

Donde:

11.0 es el coeficiente de absorción de la clorofila-a

2.43 es el factor de corrección

A_p , es la absorbancia de la clorofila a y feofitinas en la muestra preparada

A_a es la absorbancia de la muestra tratada con ácido

V_p el volumen del extracto de acetona

V_o el volumen de la muestra original

d la distancia del patrón de luz (el diámetro del tubo del espectrofotómetro)

Se determinó la concentración del pigmento de clorofila-a en mg por m^3 de agua.

Los valores de A_p y A_a fueron corregidos primero a través de la diferencia de cada absorbancia con su respectivo blanco medido a 730 nm.

Análisis de datos

Todos los análisis de los datos obtenidos fueron realizados con los paquetes estadísticos Statistica versión 7 y con SPSS (StatSoft, Inc.2004).

Para comparar los resultados entre los sitios de muestreo se hicieron gráficos de la media y error estándar. Se realizaron análisis de varianza de una vía para determinar si existían diferencias significativas entre los sitios de muestreo y entre meses. La prueba *a posteriori* de Tukey (Zar, 1996) se realizó para establecer que sitios y que meses resultaron diferentes.

Para detectar alguna posible correlación entre las variables medidas y la cantidad de clorofila-a se realizó un análisis de correlación de Spearman (Zar, 1996). Es importante señalar que se analizaron los valores de parámetros físico-químicos y clorofila-a correspondientes a 16 meses (enero de 2009 a abril de 2010), mientras que el análisis de los nutrientes se realizó únicamente para seis meses (noviembre de 2009 a abril de 2010) dado que el nivel de detección de la técnica empleada resultó insuficiente para determinar las concentraciones existentes en la laguna en el período de mayo a octubre de 2009. Por lo anteriormente mencionado hubo que concentrar y fortalecer las muestras para obtener los datos correspondientes, esto impidió obtener datos en temporada de lluvias.

RESULTADOS

El análisis estadístico de los parámetros físico-químicos en el espacio (ANEXO A) y en tiempo (ANEXO B) condujeron a los resultados que se describen a continuación:

Temperatura

En el espacio, la temperatura mostró una tendencia de incremento en sus valores promedio desde la Mata hasta la Ciénaga (Fig. 3).

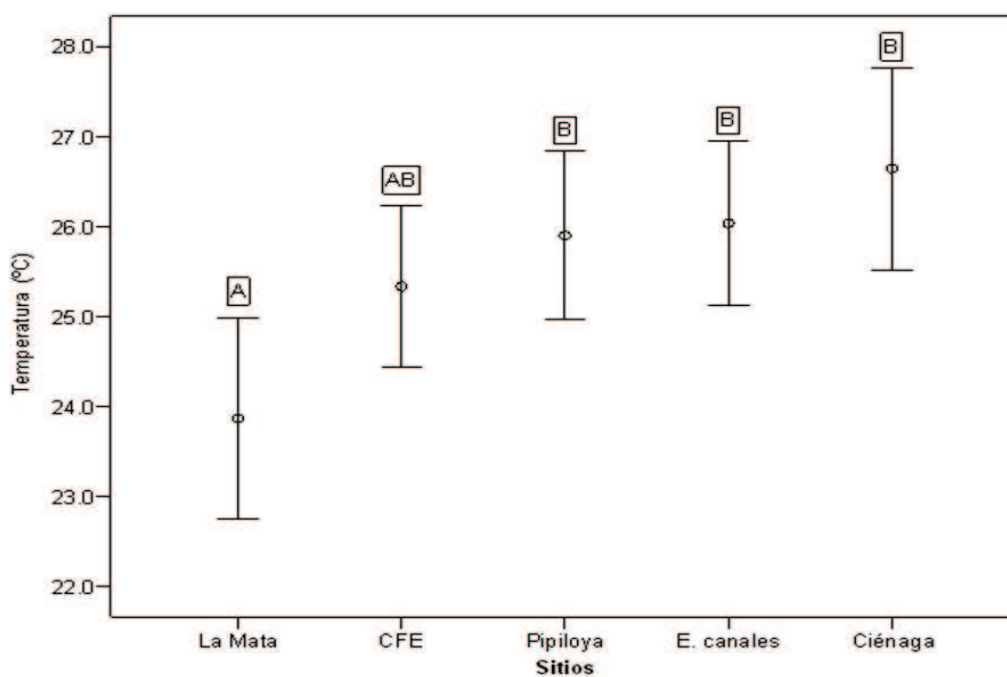


Figura 3. Variación espacial de la temperatura superficial del agua en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias registradas en la temperatura entre sitios fueron significativas ($F_{4,60} = 7.8, P < 0.001$).

El sitio la Mata resultó diferente a los otros 4 sitios muestreados.

En el tiempo, la temperatura más alta fue en junio de 2009 (30.57 ± 1.06 ° C), y la más baja en Febrero de 2010 con 17.76 ± 0.22 °C (Fig. 4).

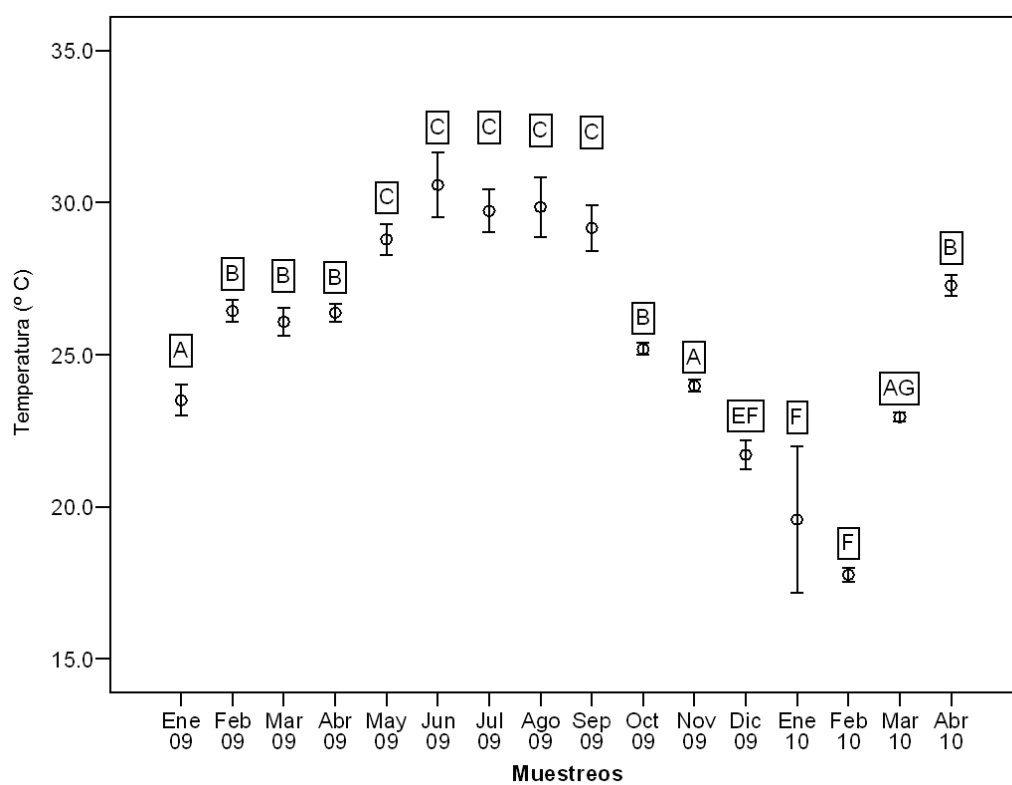


Figura.4 Variación mensual de la temperatura superficial del agua en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias registradas en la temperatura fueron significativas entre los meses de muestreo; ($F_{15,60} = 31.5, P < 0.001$).

En el 2009, la temperatura de enero (nortes) resultó diferente con la registrada en marzo-abril (secas) y con la registrada en el conjunto que forman los meses desde mayo hasta septiembre (lluvias).

Salinidad

La salinidad mostró un incremento en sus valores desde la Mata hacia la Ciénaga.

En el sitio la Mata se registró el valor más bajo de salinidad (Fig. 5).

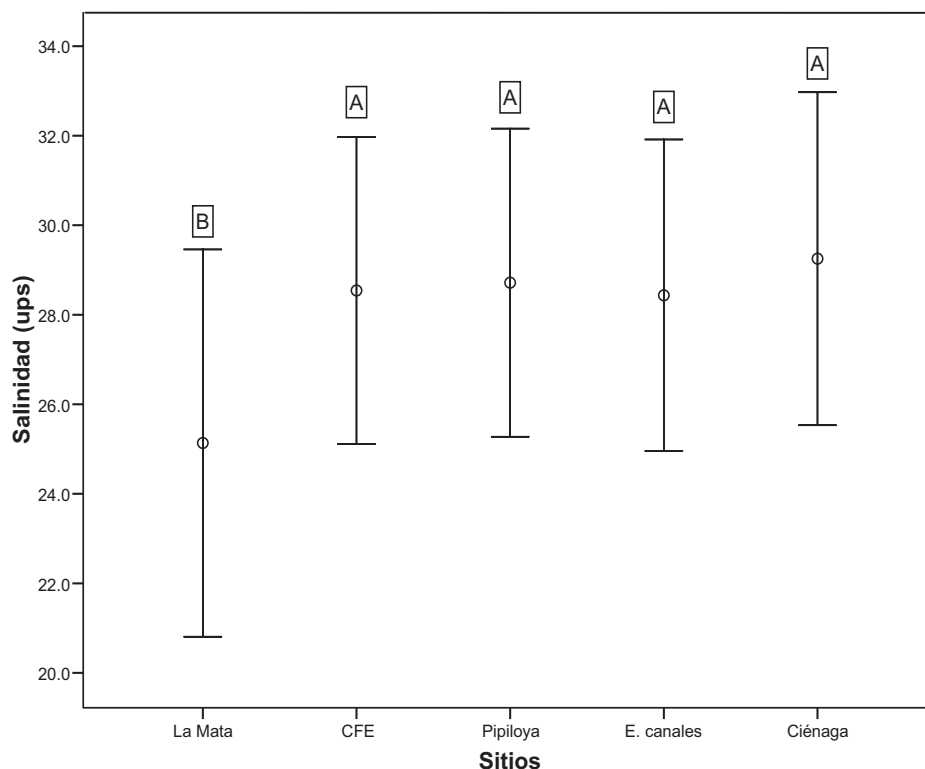


Figura 5. Variación espacial de la salinidad del agua en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$, ANDEVA de una vía).

Las diferencias encontradas en la salinidad entre la Mata y los otros sitios fueron significativas ($F_{4, 60} = 7.22, P < 0.001$).

Espacialmente, el sitio la Mata fue diferente en salinidad a los otros 4 sitios de muestreo ($\bar{X} = 25.13$ vs $28.54, 28.71, 28.43$ y $29.25, P = 0.04$).

La salinidad en el tiempo, también tiene un marcado ciclo estacional, y posiblemente esta relacionada con las lluvias (Fig.6).

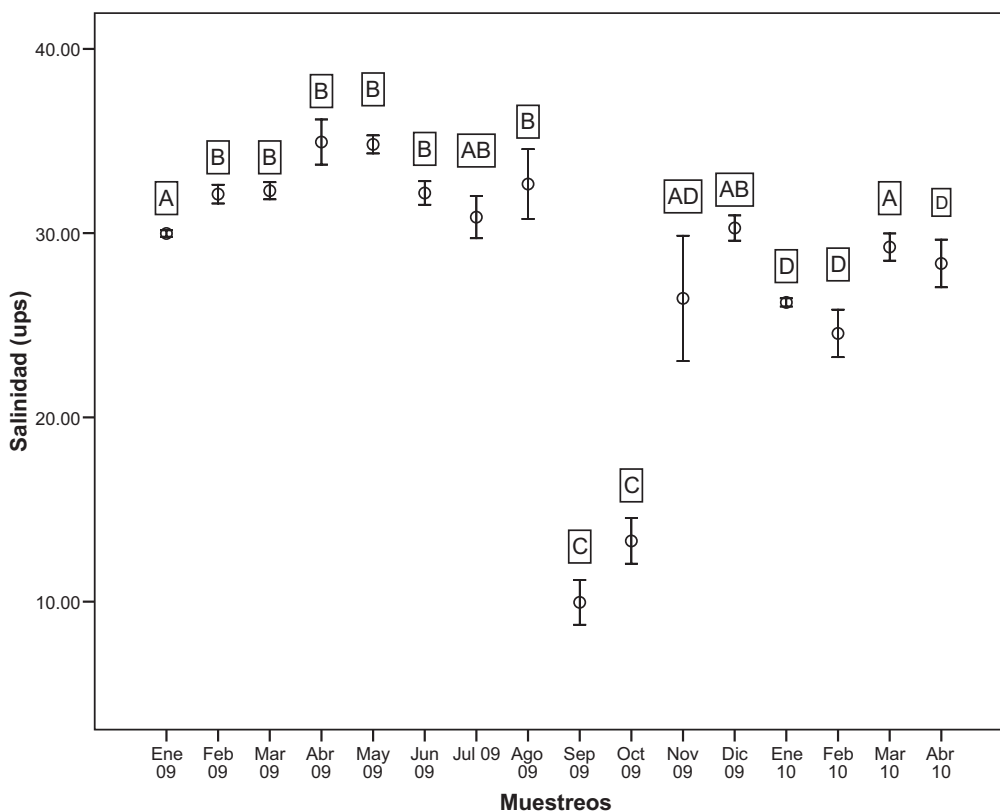


Figura 6. Variación mensual de la salinidad del agua en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias fueron significativas entre los meses de muestreo ($F_{15,60} = 41.74$, $P < 0.001$).

El mes de septiembre fue significativamente diferente en salinidad a los primeros ocho meses de muestreo del año 2009 ($P < 0.001$), asimismo septiembre fue diferente a los meses del periodo noviembre de 2009 a abril de 2010 ($P = 0.04$).

pH

En el pH las lecturas mostraron tendencia a decrecer en dirección de la Mata hacia la Ciénaga (Fig. 7).

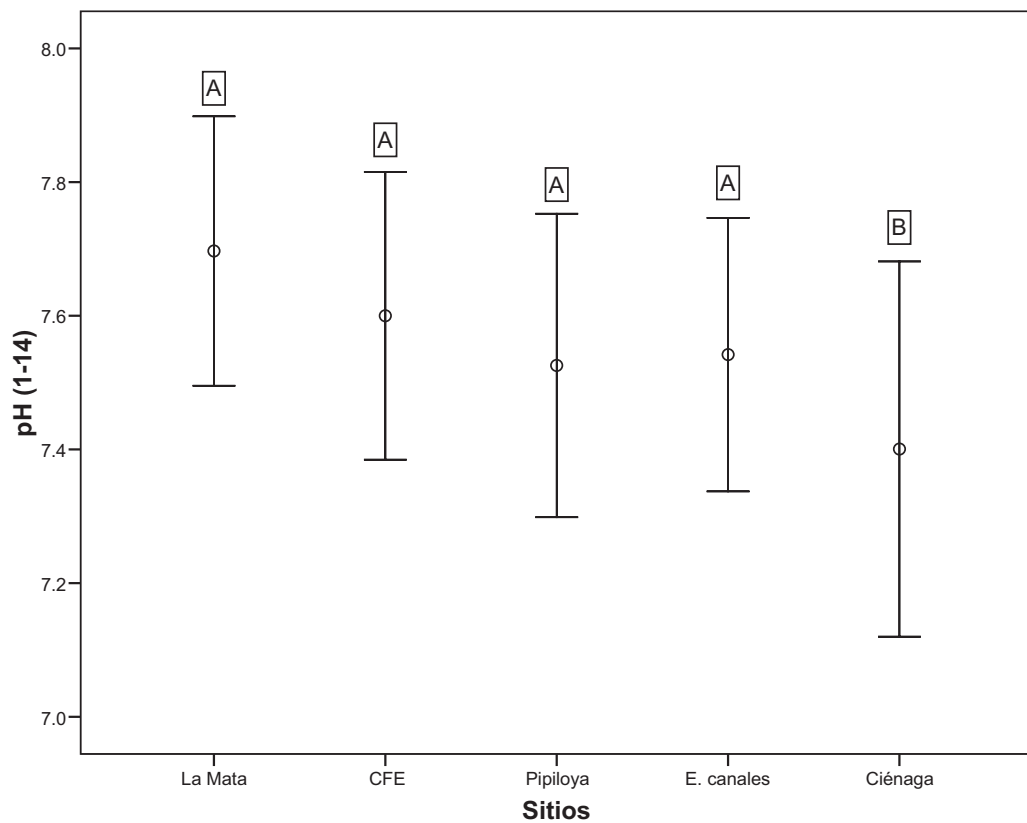


Figura 7. Variación espacial del pH del agua en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$)

Las diferencias registradas entre los valores promedio del pH entre los sitios de muestreo fueron significativas ($F_{4,60} = 3.63$, $P = 0.01$).

Los sitios 1 (La Mata) y 5 (Ciénaga) resultaron diferentes respecto a la media de pH ($\bar{X} = 7.69$ vs 7.40 , $P = 0.004$).

Los valores de pH tendieron a ser alcalinos entre los meses de enero a septiembre de 2010 y diciembre de 2009 a abril de 2010. En octubre y noviembre de 2009 se registraron valores de pH ligeramente ácidos.

El promedio más alto de pH fue 7.96 ± 0.07 , se registró marzo de 2009 y en abril de 2010 con 7.96 ± 0.02 . El pH descendió entre los meses de agosto (7.43 \pm 0.22) a octubre de 2009 (6.56 \pm 0.10) y tendió a incrementar desde enero (7.16 \pm 0.16) de 2010 hasta abril (7.96 \pm 0.02) del mismo año (Fig. 8).

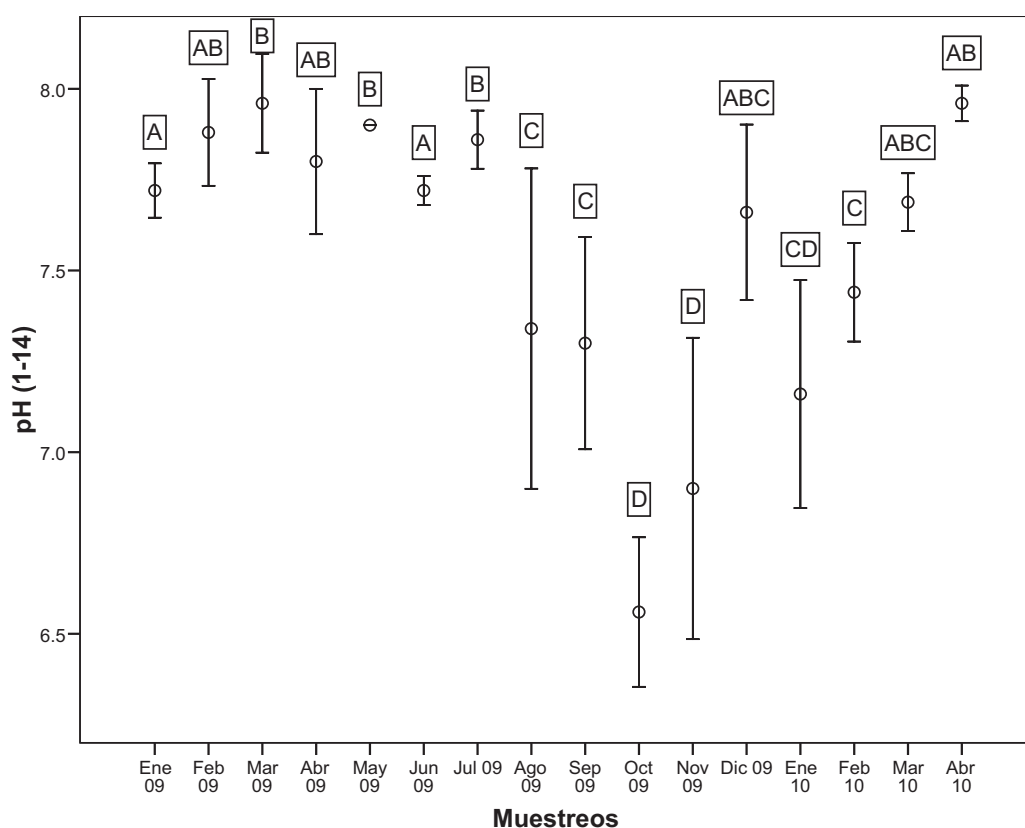


Figura 8. Variación mensual del pH del agua en la Laguna de Tampamachoco. (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias registradas entre meses de muestreo fueron significativas ($F_{15,60} = 16.02, P < 0.001$).

El pH de enero 2009 fue diferente al registrado en agosto, septiembre, octubre y noviembre de ese mismo año (Tukey, $P < 0.001$), también fue diferente con el pH registrado en enero y febrero de 2010 (Tukey, $P < 0.0001$).

Sólidos disueltos totales

Por otra parte, los valores de los sólidos disueltos totales variaron entre los sitios de muestreo, el promedio más bajo se registró en la Mata y ascendió en dirección a la Ciénaga (Fig. 9).

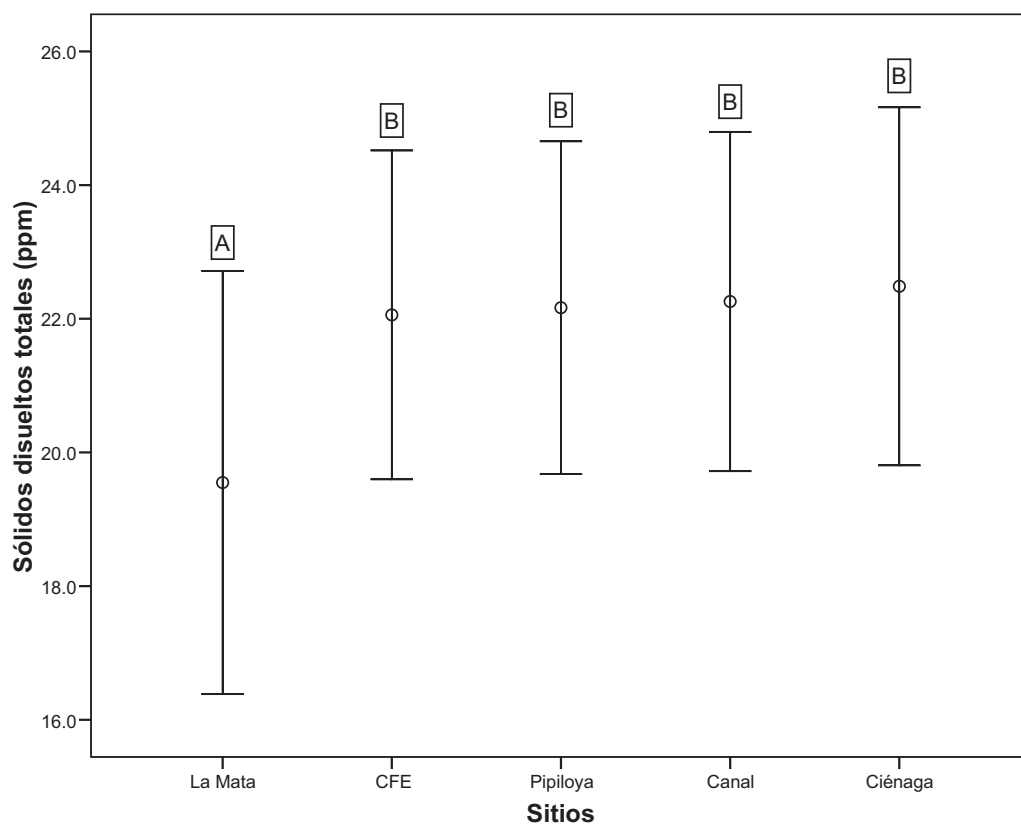


Figura 9. Variación espacial de los sólidos disueltos totales en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias calculadas para los valores promedio de los sólidos disueltos totales entre sitios de muestreo fueron significativas ($F_{4,60} = 9.17$, $P < 0.001$).

El sitio La Mata fue diferente a los otros sitios de colecta ($\bar{X} = 19.55$ vs 22.06, 22.17, 22.26 y 22.49, $P < 0.01$). Los sólidos disueltos totales mostraron su valor promedio más alto en el mes de abril de 2009 (26.62 ± 0.76 ppm) y el valor más bajo para el mes de septiembre del mismo año (8.46 ± 0.96 ppm).

Posterior al mes de septiembre, se elevaron sus valores hasta alcanzar su máximo en el mes de diciembre (23.24 ± 0.46 ppm) (Fig. 10).

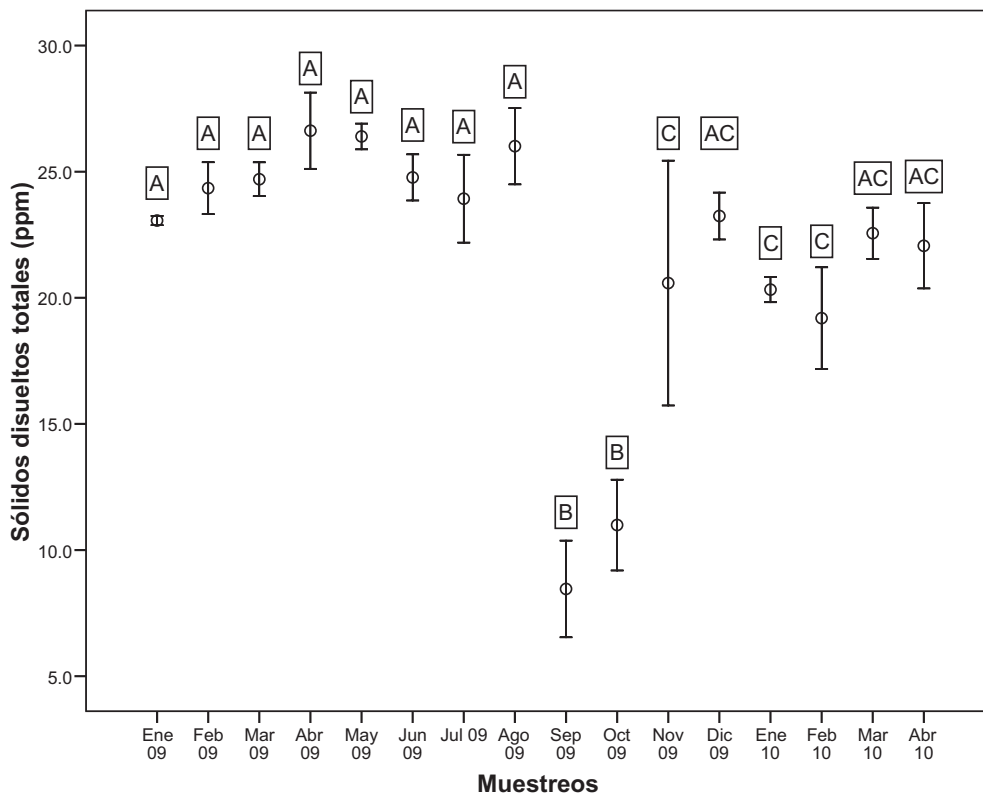


Figura 10. Variación mensual de los sólidos disueltos totales en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias temporales registradas en los sólidos disueltos totales fueron significativas ($F_{15,60} = 16.023$, $P < 0.001$).

Los meses de septiembre y octubre de 2009 fueron significativamente diferentes respecto de los otros 14 meses, excepto entre ellos mismos.

Porcentaje de saturación de oxígeno

El porcentaje de saturación de oxígeno varió en el espacio, su valor promedio más alto fue en la Mata. El porcentaje más bajo se registró en el sitio Pipiloya (Fig. 11).

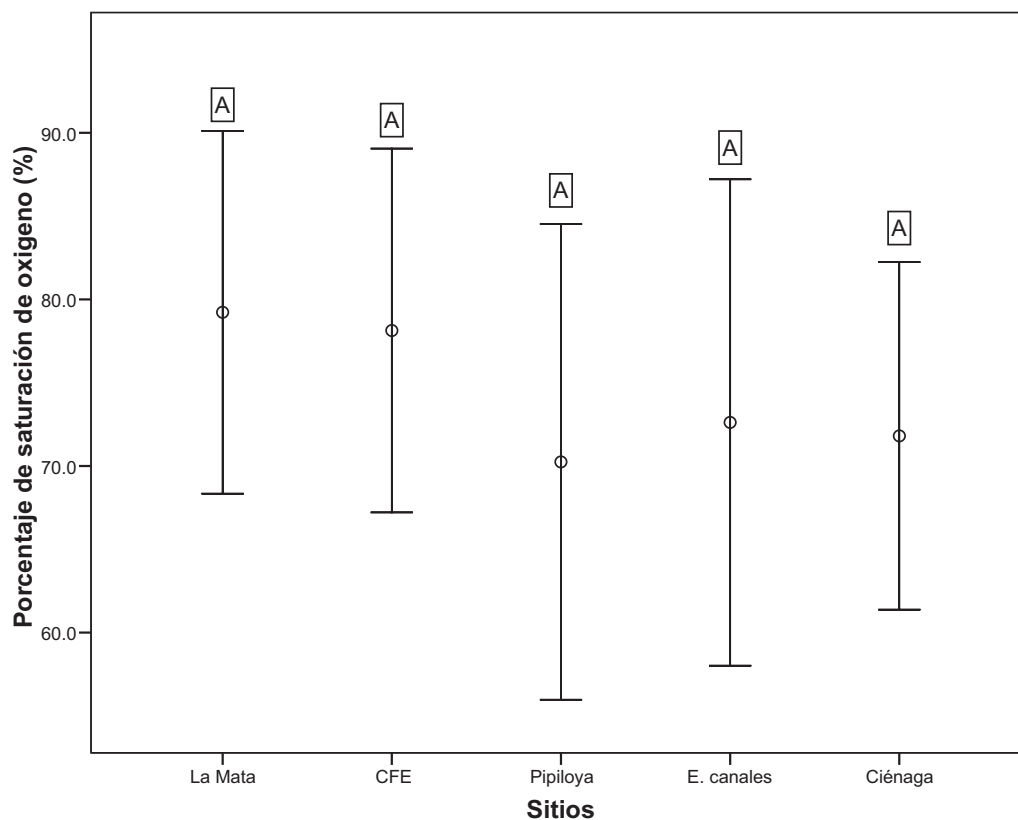


Figura 11. Variación espacial del porcentaje de saturación de oxígeno en la Laguna de Tampamachoco. (Media \pm error estándar) Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias entre los sitios no fueron estadísticamente significativas para este parámetro.

El máximo en porcentaje de saturación de oxígeno fue 153.37 % en abril de 2010 y el mínimo se presentó en septiembre de 2009 con 1.7 %.

El promedio más alto correspondió a abril de 2010 con 140.45 ± 5.45 % y el promedio más bajo fue 37.50 ± 14.89 en septiembre de 2009.

El porcentaje de saturación de oxígeno descendió de enero (94.52 ± 5.68 %) a julio de 2009 (62.04 ± 3.68 %), alcanzó su valor más bajo en septiembre del mismo año (37.5 ± 14.89 %) después de este mes se mantuvo en un intervalo de estabilidad entre octubre de 2009 a marzo 2010, en abril se incrementó notablemente hasta un valor de 140.45 ± 5.45 % (Fig. 12).

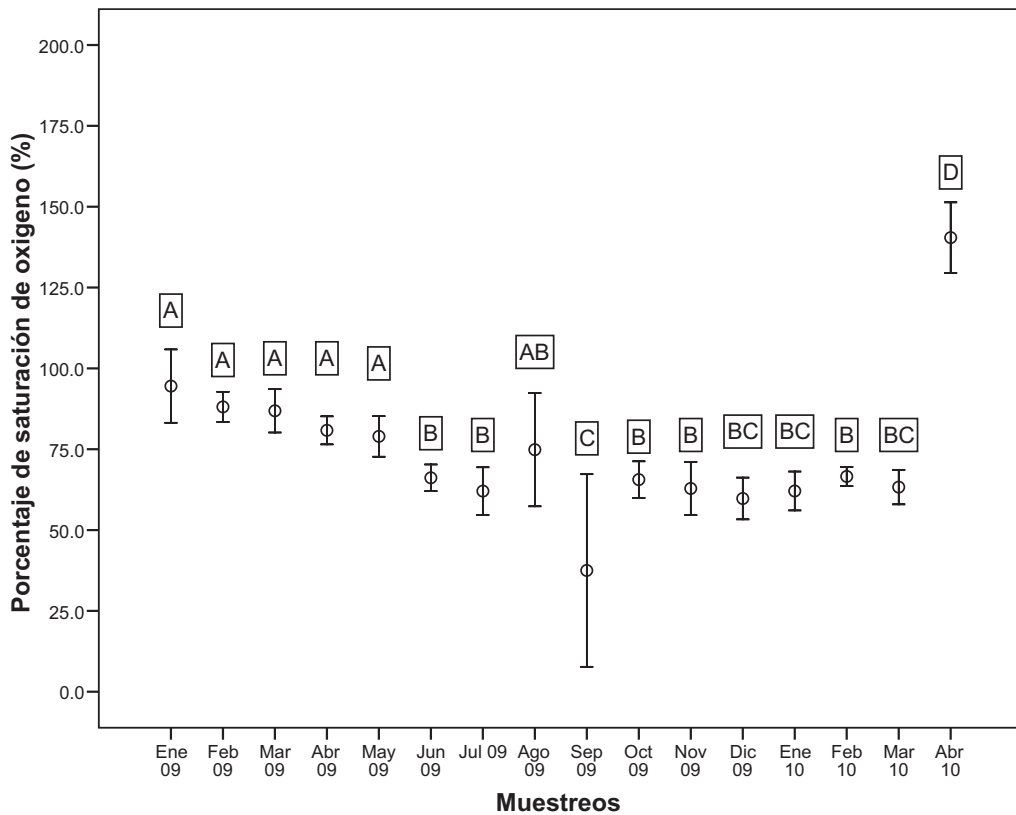


Figura 12. Variación mensual del porcentaje de saturación de oxígeno en la Laguna de Tampamachoco. (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Los valores de porcentaje de saturación de oxígeno presentaron diferencias significativas entre meses ($F_{15,60} = 18.26$, $P < 0.001$).

Los meses de septiembre de 2009 y abril de 2010 mostraron diferencias significativas entre sí, siendo el mes de abril de 2010 significativamente diferente ($P < 0.001$) a los demás meses en que se realizó el muestreo.

Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno resultó más alta (5.84 ± 0.38 mg/l) en la Mata, y la concentración más baja (4.86 ± 0.47 mg/l) fue en Pipiloya (Fig. 13). Se observan diferencias entre las medias de los 5 sitios.

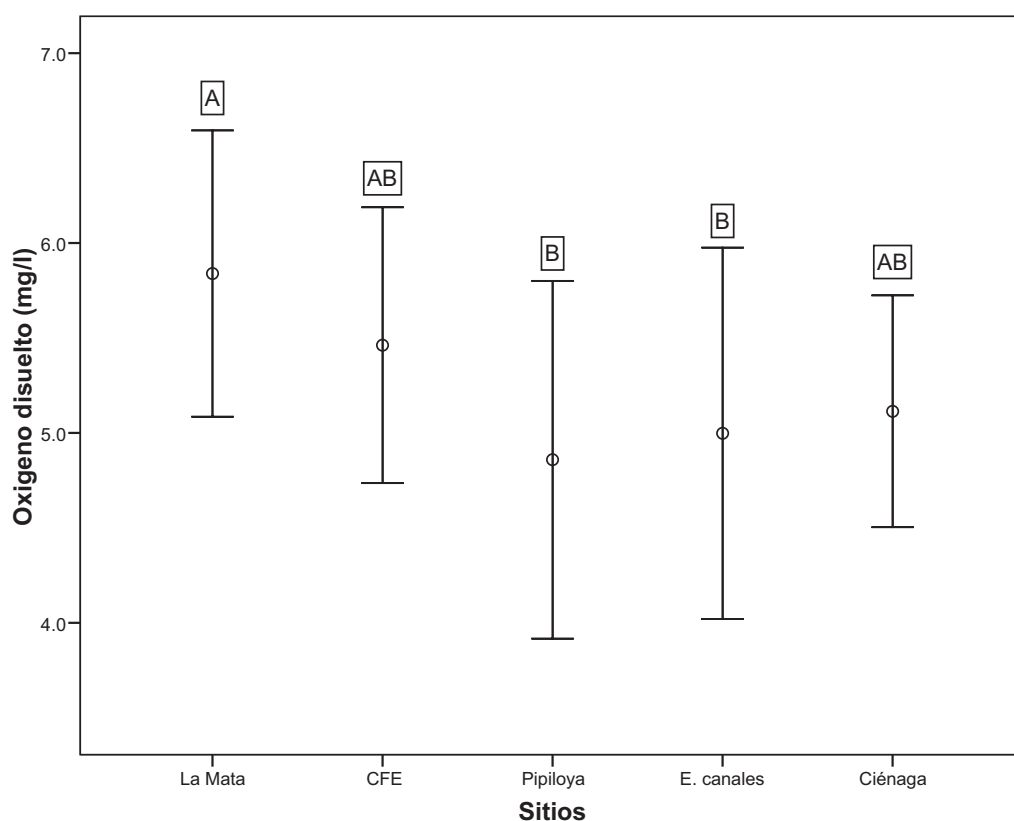


Figura 13. Variación espacial de oxígeno disuelto en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias de las variaciones espaciales en el oxígeno disuelto y entre sus medias fueron significativas ($F_{4,60} = 3.97$, $P=0.006$).

Los sitios Pipiloya y Entrada a canales resultaron diferentes al sitio la Mata, respecto a la concentración de oxígeno disuelto (Tukey, $P < 0.01$).

Los valores de oxígeno disuelto se mantuvieron la mayor parte del tiempo entre valores de 4.06 ± 0.21 mg/l y 5.9 ± 0.21 mg/l.

El oxígeno disuelto en el agua registró su valor promedio más elevado en abril de 2010 con 9.55 ± 0.47 mg/l, su promedio más bajo en septiembre de 2009 con 2.82 ± 1.12 mg/l. Mostró una tendencia descendente de enero a julio de 2009.

Para la concentración de oxígeno disuelto, enero de 2009 fue diferente a abril septiembre y octubre de 2009 y a enero de 2010. Abril de 2010 resultó diferente en concentración de oxígeno disuelto con respecto a los otros 15 meses de muestreo (Fig. 14).

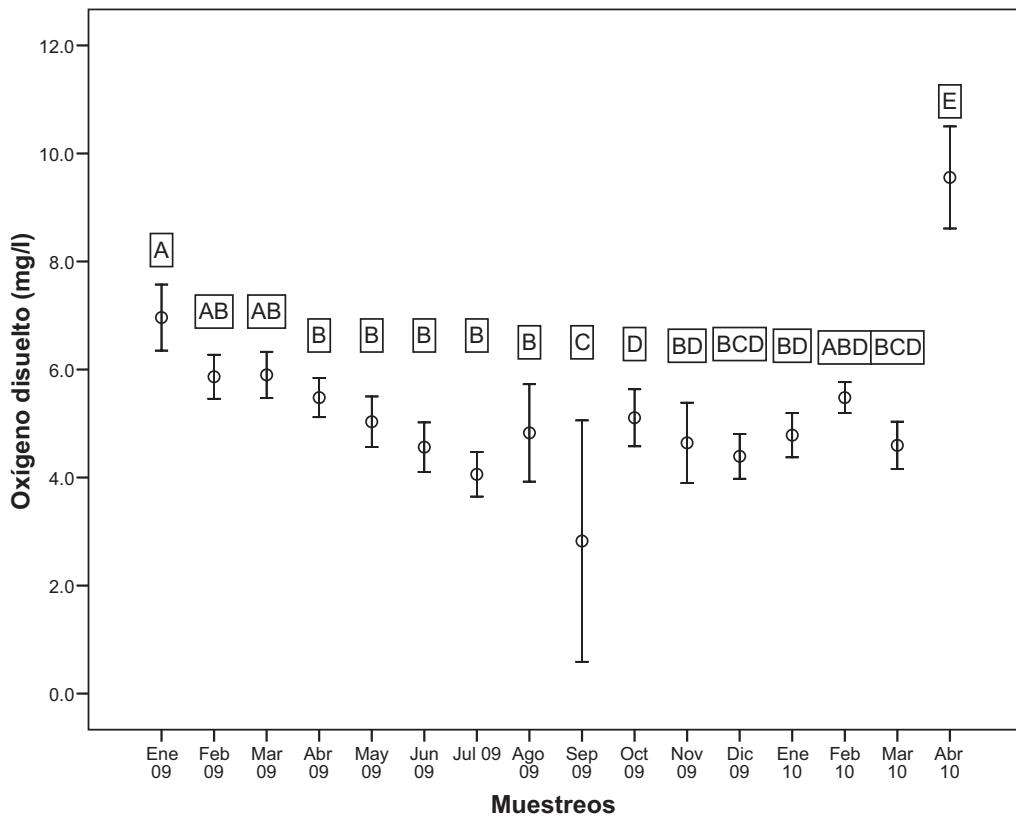


Figura 14. Variación mensual de oxígeno disuelto en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias registradas en el oxígeno disuelto entre los meses de muestreo fueron significativas ($F_{15,60} = 16.94$, $P < 0.001$).

Transparencia

La transparencia del agua se presentó con un gradiente descendente en dirección hacia el sitio la Ciénaga. El valor más alto fue en el sitio la Mata y el más bajo en la Ciénaga. (Fig. 15).

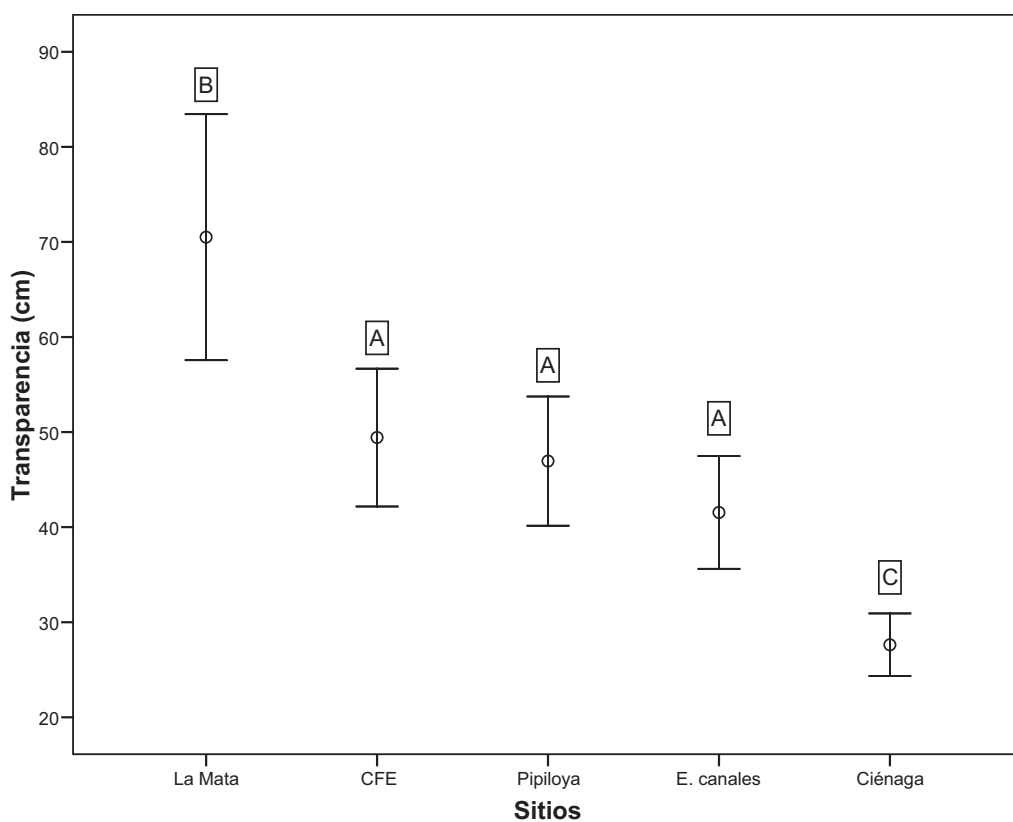


Figura 15 Variación espacial de la transparencia en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias registradas en la transparencia del agua entre sitios de muestro fueron significativas ($F_{4,60} = 17.75$, $P < 0.001$).

La Mata fue diferente a los otros cuatro sitios de colecta ($\bar{X} = 27.62$ vs 49.43, 46.95, y 41.54, $P < 0.001$). El sitio CFE fue diferente a la Mata y Ciénaga ($\bar{X} = 49.43$ vs 27.62, $P < 0.001$). Pipiloya fue diferente a la Mata y Ciénaga ($\bar{X} = 46.95$ vs. 70.50, 27.62, $P < 0.001$). El sitio Entrada a canales fue diferente a la Mata ($\bar{X} = 41.54$ vs 70.50, $P < 0.001$) y a la Ciénaga. ($\bar{X} = 41.54$ vs 70.50, $P < 0.001$).

En los meses de muestreo la máxima transparencia del agua coincidió en los meses de junio de 2009 y abril de 2010 con un registro de 108 cm. En tanto que la transparencia mínima se presentó en diciembre de 2009 con 14 cm.

La lectura promedio más alta fue 64.2 ± 6.88 cm en febrero de 2010, mientras que el promedio más bajo de transparencia se presentó en septiembre de 2009 con 29.68 ± 3.96 cm (Fig. 16).

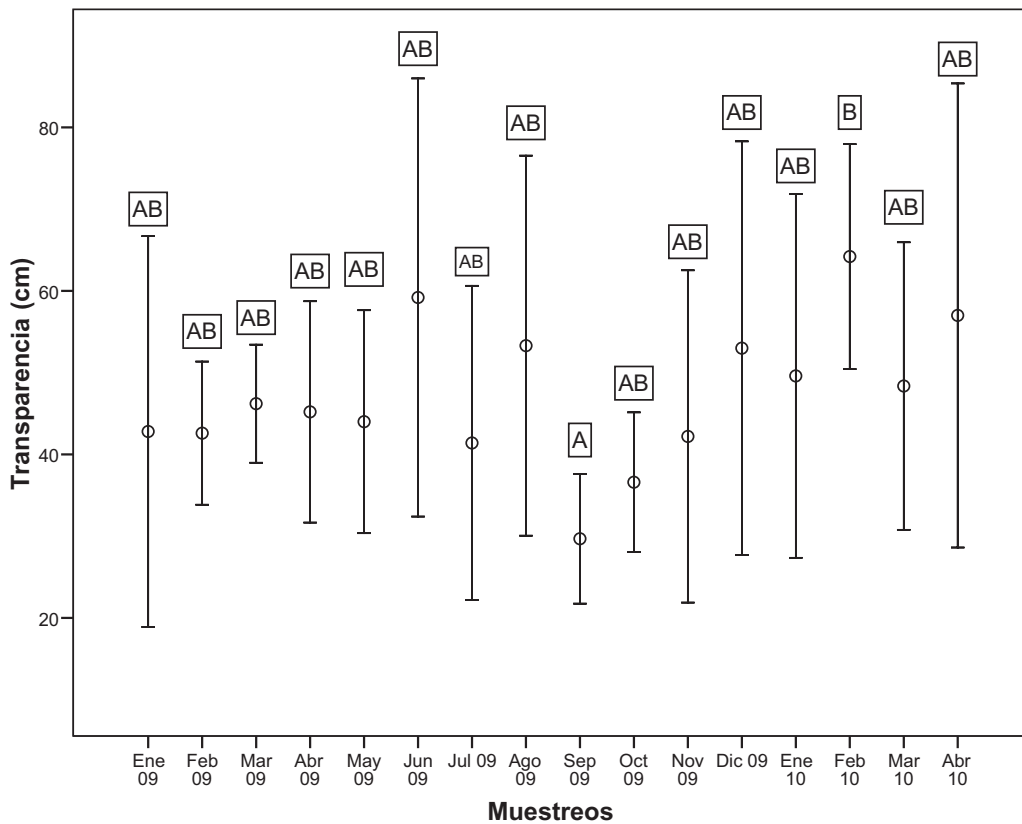


Figura 16. Variación mensual de la transparencia en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias registradas en la transparencia del agua entre meses de muestreo no fueron significativas ($F_{15,160} = 1.75$, $P = 0.06$).

Clorofila-a

El promedio más alto de clorofila-a fue en la Ciénaga y el promedio más bajo en el sitio CFE. El máximo se registró en la Mata, el mínimo se registró en la Ciénaga.

La concentración de clorofila-a no mostró diferencias significativas entre sitios (Fig. 17).

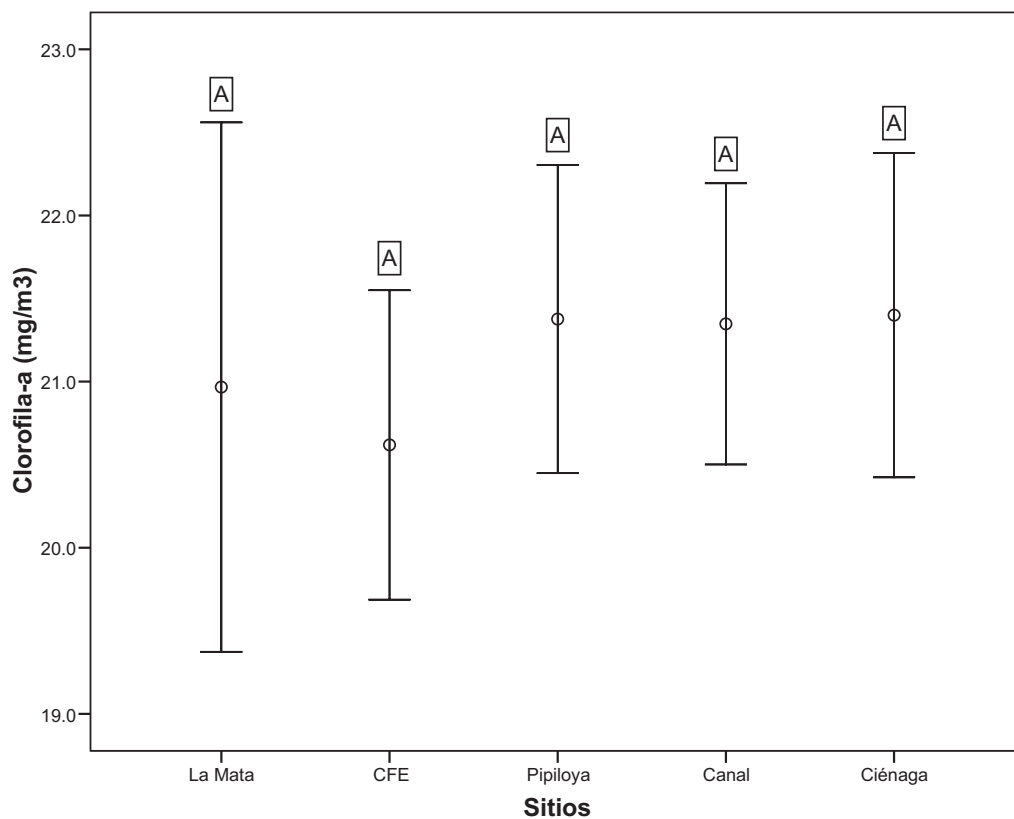


Figura 17. Variación espacial de la clorofila-a en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las concentraciones más bajas de clorofila-a se presentaron entre los meses de enero a abril de 2009, y las más altas fueron en mayo y en septiembre de 2009, coincidiendo con la época de lluvias (Fig.18).

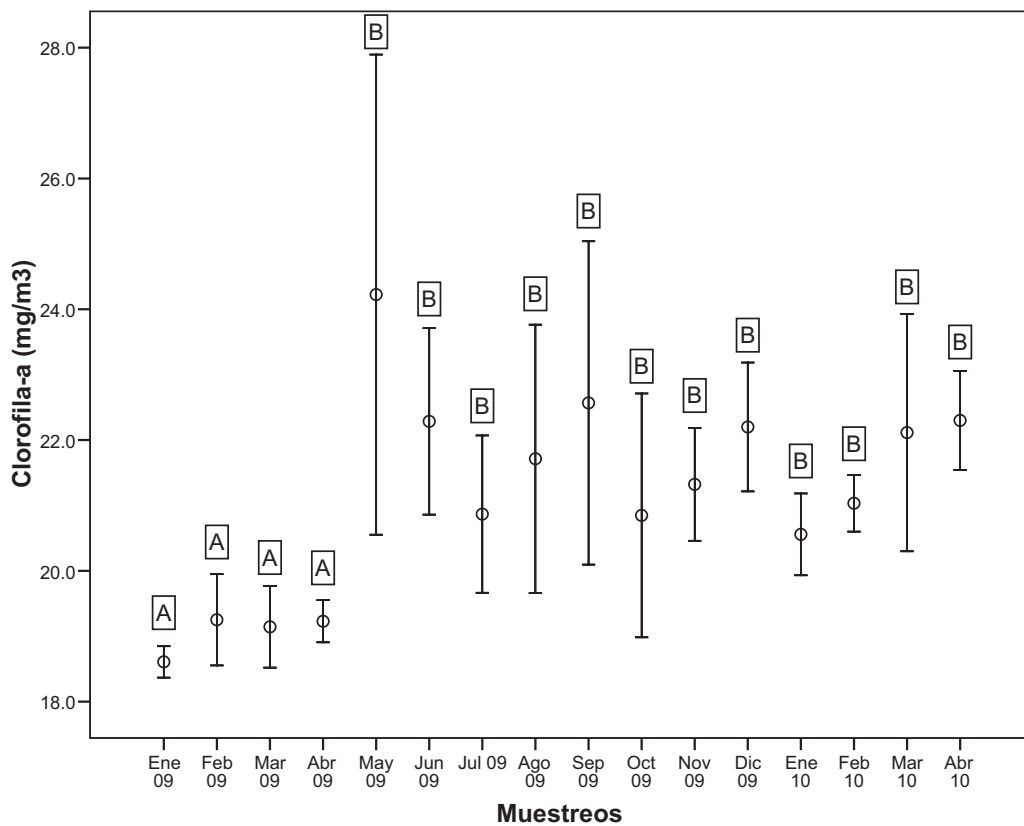


Figura 18. Variación mensual de la clorofila-a en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Existen diferencias significativas entre los meses respecto a las concentraciones de clorofila-a ($F_{15,60} = 3.81$, $P < 0.001$).

Las concentraciones de enero, febrero, marzo y abril de 2009 fueron diferentes a las de los restantes 14 meses (Tukey, $P < 0.001$)

Nutrientes: NO₂, NO₃ y PO₄

El promedio más alto de NO₂ fue para el sitio la Mata con 0.014 ± 0.003 mg/l, en tanto que el promedio más bajo se cuantificó para los sitios de Pipiloya y Entrada a canales (0.007 ± 0.003 mg/l).

Espacialmente, la concentración promedio más alta de NO₃ se presentó en el sitio CFE (0.387 ± 0.158 mg/l), mientras que la concentración más baja la exhibió Pipiloya (0.108 ± 0.037 mg/l).

La concentración más alta de PO₄ fue 0.09 ± 0.033 mg/l en la Ciénaga, mientras que la más baja fue registrada en la Mata con 0.07 ± 0.023 mg/l. Entre sitios de muestreo, la concentración de este nutriente se incrementó desde la Mata (0.07 ± 0.023 mg/l) hacia CFE (0.09 ± 0.017 mg/l) y Pipiloya (0.09 ± 0.023 mg/l), mostró un descenso en Entrada a Canales (0.08 ± 0.036 mg/l) y alcanzó su valor más alto en la Ciénaga (Fig. 19).

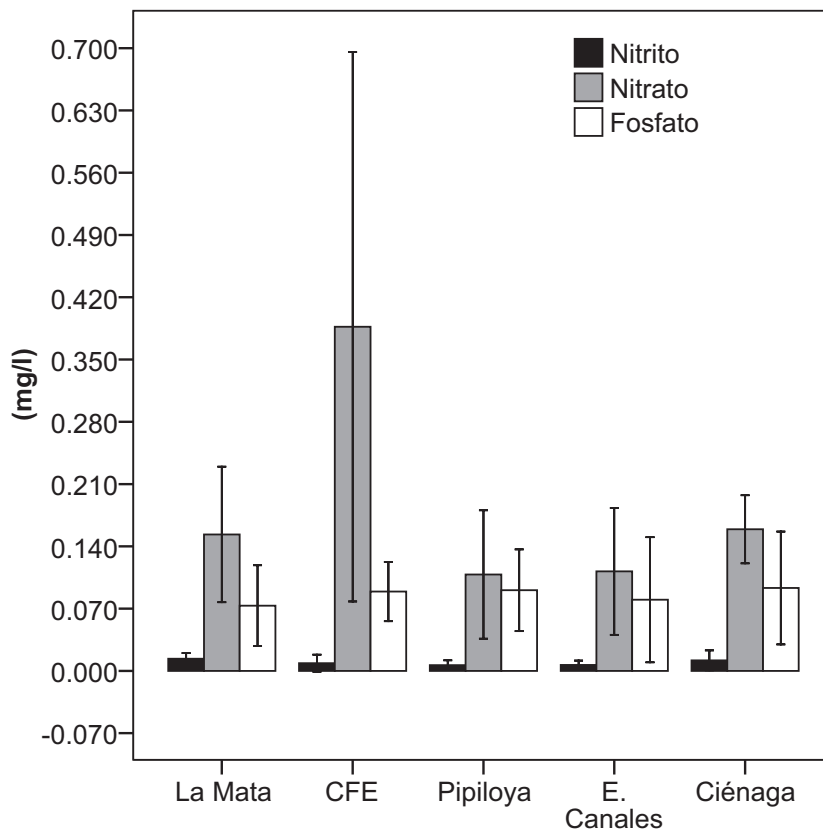


Figura 19. Variaciones espaciales (Media \pm error estándar) de NO_2 , NO_3 y PO_4 en la Laguna de Tampamachoco.

En el período de muestreo los NO_2 presentaron su mayor valor promedio de concentración en abril de 2010 (0.027 ± 0.004) y el promedio más bajo se calculó en marzo del mismo año (0.003 ± 0.001).

El promedio mensual más alto para NO_3 fue 0.32 ± 0.12 mg/l en noviembre de 2009 y el más bajo en marzo de 2010 con 0.04 ± 0.01 . Los nitratos exhibieron sus concentraciones más altas entre los meses de Noviembre de 2009 y enero de

2010. La concentración de nitratos descendió hacia los meses de febrero, marzo y abril de 2010.

La concentración más baja de PO_4 ($0.02 \pm 0.005 \text{ mg/l}$) fue registrada en noviembre de 2009, enseguida mostró un ascenso hacia enero de 2010 (0.08 ± 0.019); entre este mes y febrero de 2010 ($0.07 \pm 0.008 \text{ mg/l}$) no se presentaron diferencias significativas. Posteriormente el PO_4 se incrementó hacia abril de 2010 ($0.18 \pm 0.02 \text{ mg/l}$) (Fig.20).

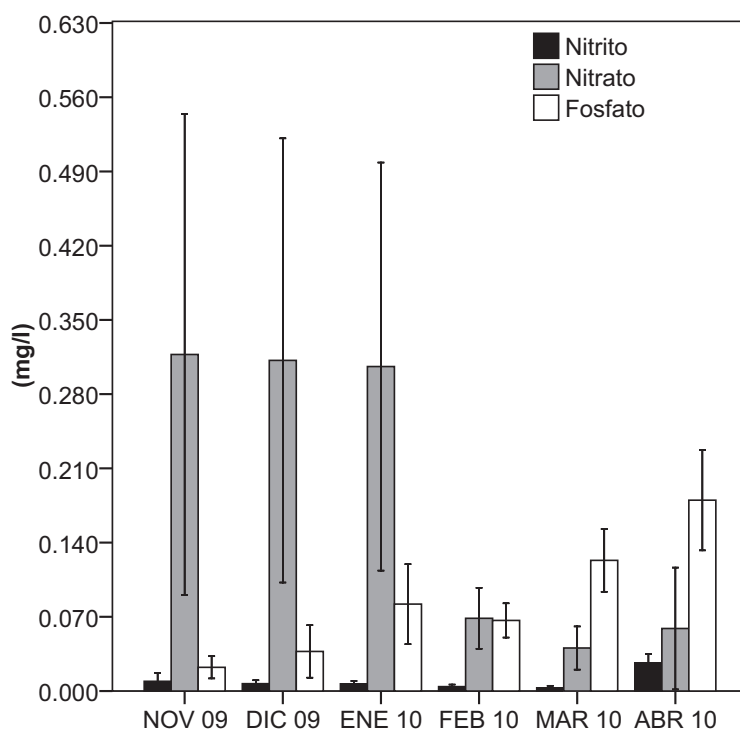


Figura 20. Variaciones mensuales (Media \pm error estándar) de NO_2 , NO_3 y PO_4 en la Laguna de Tampamachoco.

Los sitios Pipiloya y Entrada a canales mostraron diferencias en sus promedios para la concentración de NO_2 (Fig. 21).

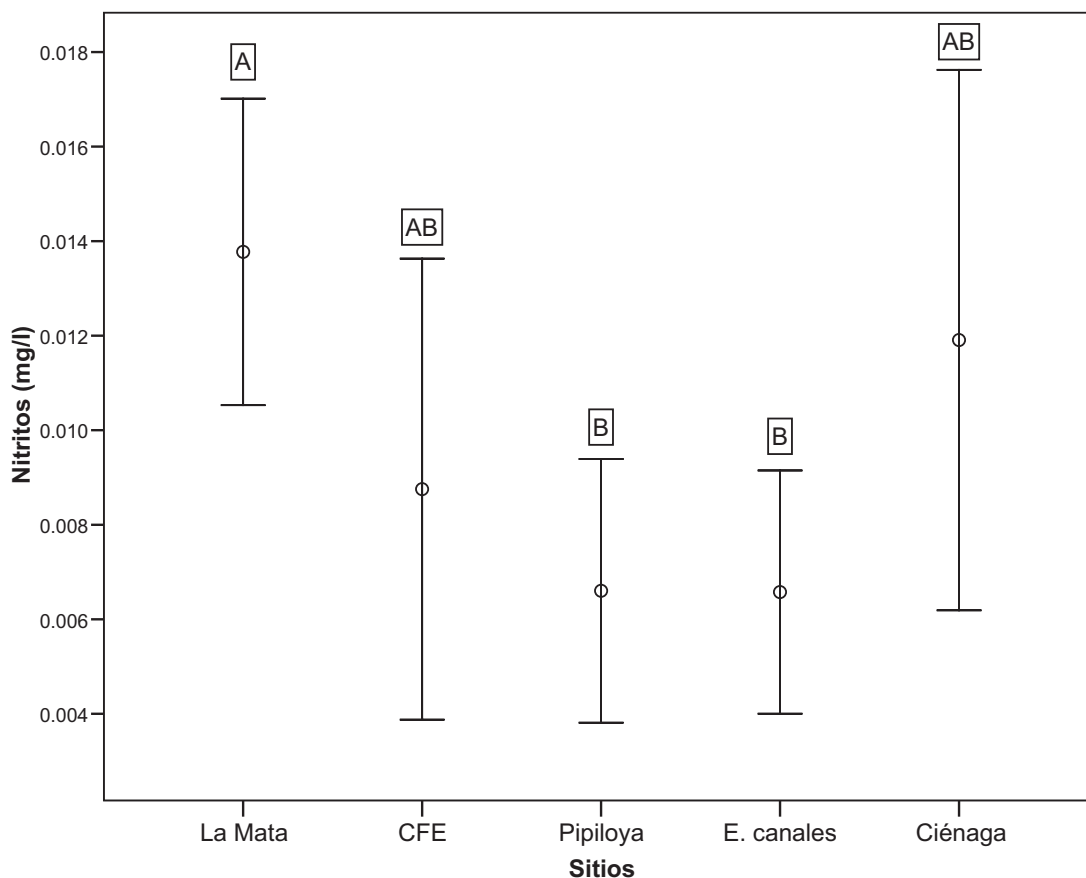


Figura 21 .Variación espacial de NO_2 en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias registradas en la concentración de nitritos resultaron significativas entre los meses ($F_{5, 20} = 13.15$, $P < 0.001$).

Abril de 2010 fue significativamente diferente a los otros 5 meses en que se realizó el muestreo (Tukey, $P < 0.001$) (Fig. 22).

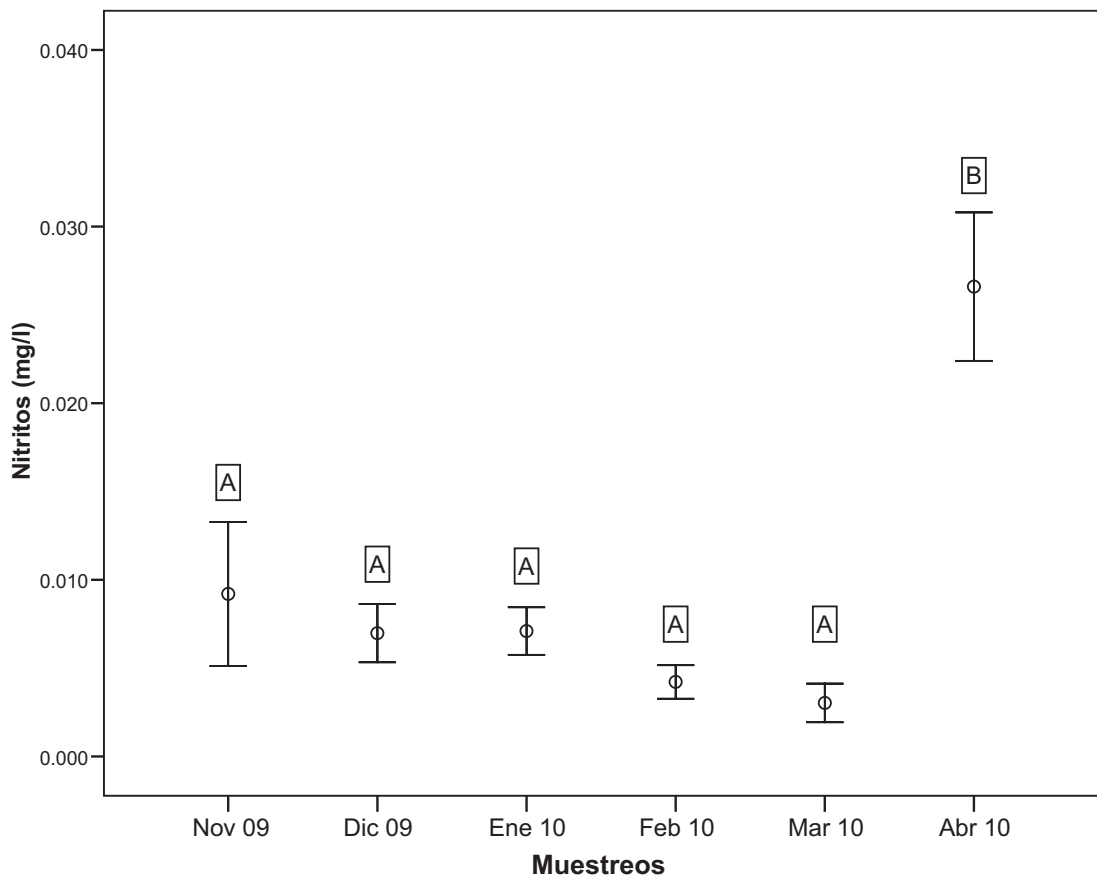


Figura 22. Variación mensual de NO₂ en la Laguna de Tampamachoco (Media ± error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, P < 0.05).

Nitratos

Las diferencias registradas en la concentración de nitratos fueron significativas entre los sitios ($F_{4,20} = 4.04$, $P = 0.014$).

La concentración de nitratos en el sitio CFE fue diferente con la de Pipiloya y Entrada a canales (Tukey $P=0.02$) (Fig.23).

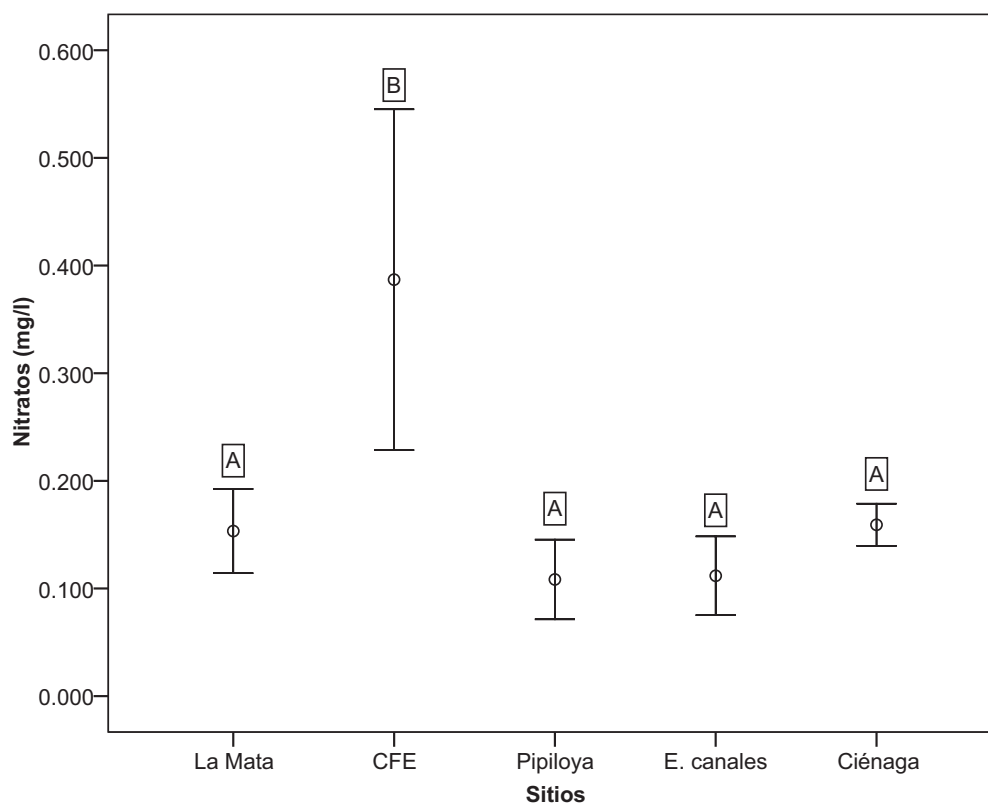


Figura 23. Variación espacial de NO_3 (Media \pm error estándar). Las letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Las diferencias registradas en la concentración de nitratos fueron significativas entre los meses de muestreo ($F_{5,20} = 4.94, P < 0.005$).

Sin embargo, estadísticamente no existieron diferencias entre los meses para la concentración de NO_3 (Fig.24).

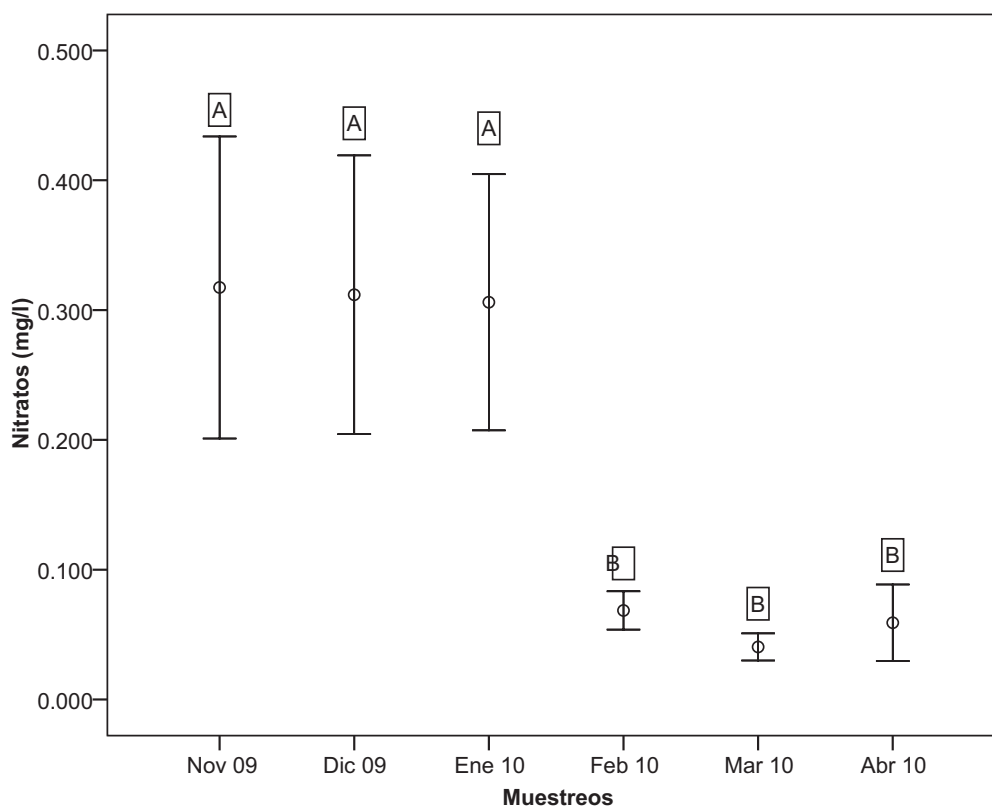


Figura 24. Variación mensual de NO_3 en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Fosfatos

No existieron diferencias significativas en la concentración de fosfatos entre sitios (Fig.25).

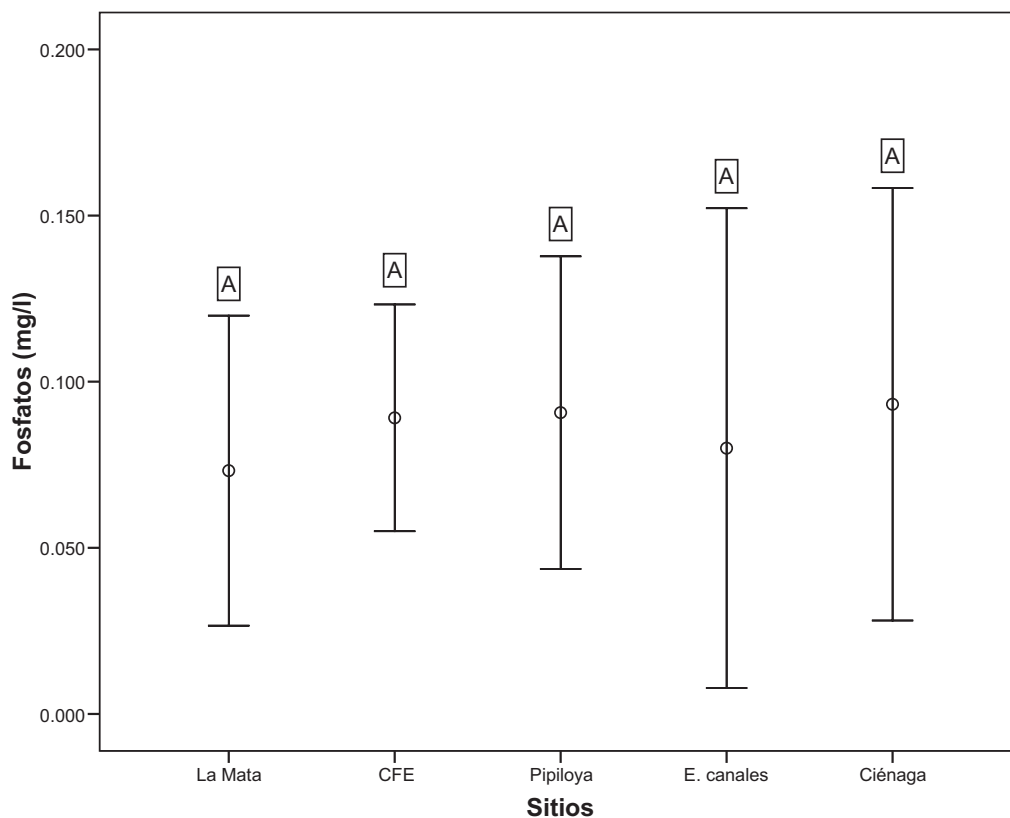


Figura 25. Variación espacial de PO_4 en la Laguna de Tampamachoco (Media \pm error estándar). Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

En tanto que por temporalidad, los PO_4 incrementaron en su concentración desde registrada en noviembre de 2009 hasta la cuantificada en enero, descendió en febrero y tendió a incrementarse hasta alcanzar el valor más alto en abril de 2010.

Para este nutriente existieron diferencias significativas temporales ($F_{5,20} = 12.41$, $P < 0.001$). Los meses diferentes en cuanto a PO_4 fueron marzo de 2010 con respecto de noviembre de 2009 ($P < 0.005$), marzo de 2010 con diciembre de 2009 (Tukey, $P=0.01$), abril de 2010 con noviembre y diciembre de 2009 ($P < 0.001$), abril con enero de 2010 ($P=0.005$) y con febrero de 2010 ($P=0.001$) (Fig.26).

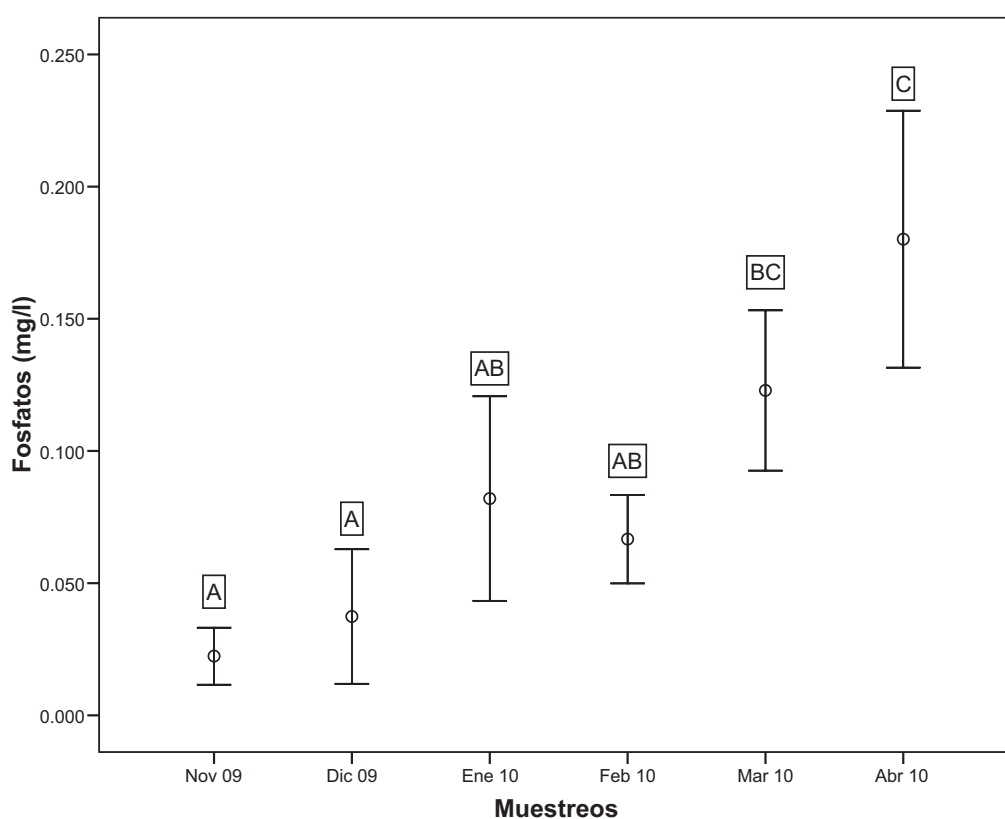


Figura 26. Variación mensual de la concentración de PO_4 en la Laguna de Tampamachoco. Letras distintas indican diferencias significativas (ANDEVA de una vía, $P < 0.05$).

Correlación

La clorofila-a no presentó relación positiva y significativa con ningún parámetro físico-químico; tampoco resultó relacionada con los nutrientes estudiados. El análisis de correlación con los nutrientes indicó, sin ser causa-efecto, que los nitritos y los fosfatos mostraron relación positiva con los valores de porcentaje de saturación de oxígeno y con el oxígeno disuelto.

Los nitritos y el porcentaje de saturación de oxígeno exhibieron una relación significativa positiva con $r = 0.78$; $P < 0.0001$) (Fig.27).

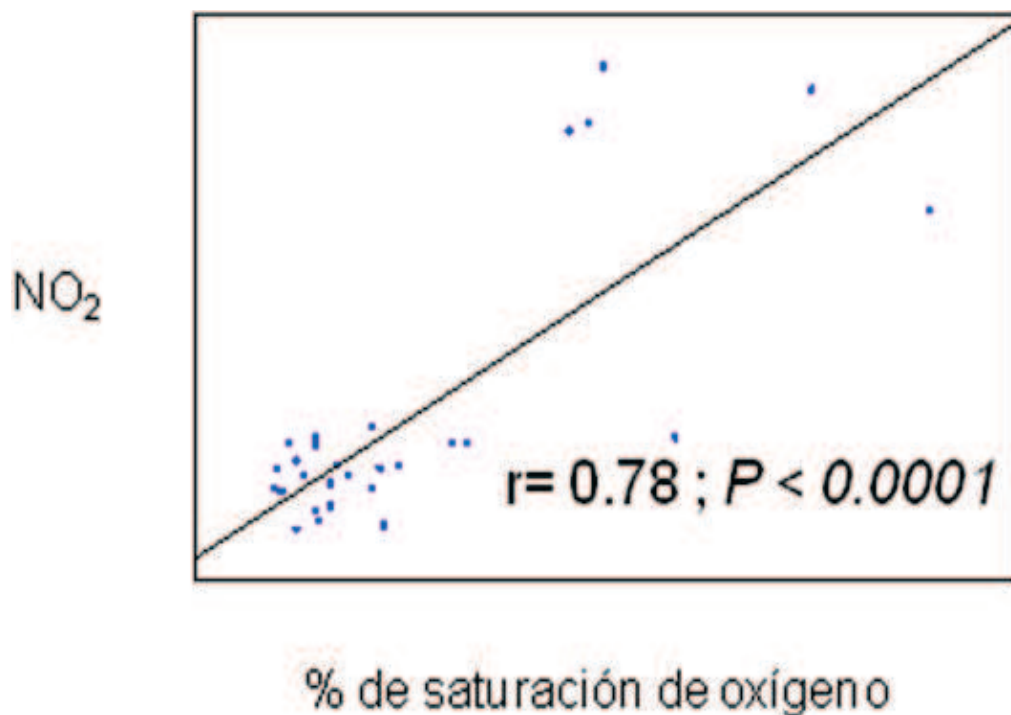


Figura 27. Relación entre NO₂ y el porcentaje de saturación de oxígeno en la Laguna de Tampamachoco.

Estos mismos nutrientes mostraron relación significativa positiva con el oxígeno disuelto en el agua: $r = 0.77$; $P < 0.0001$ (Fig.28).

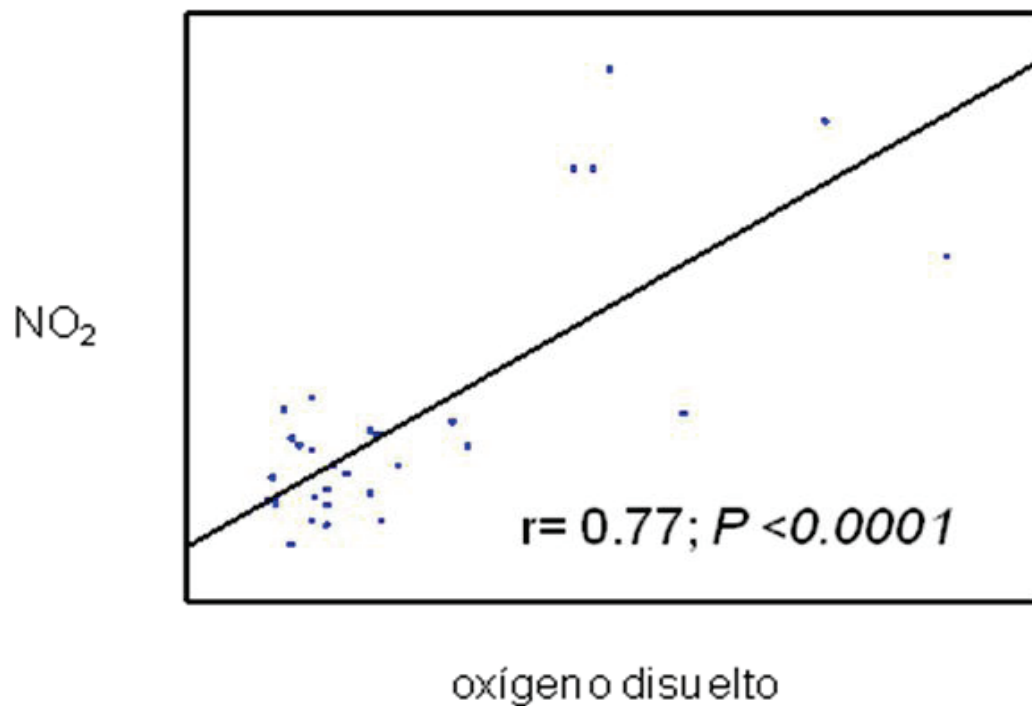


Figura 28. Relación entre NO₂ y el oxígeno disuelto en la Laguna de Tampamachoco.

Los fosfatos mostraron relación significativa positiva con el porcentaje de saturación de oxígeno: $r = 0.65$; $P = 0.0001$ (Fig. 29).

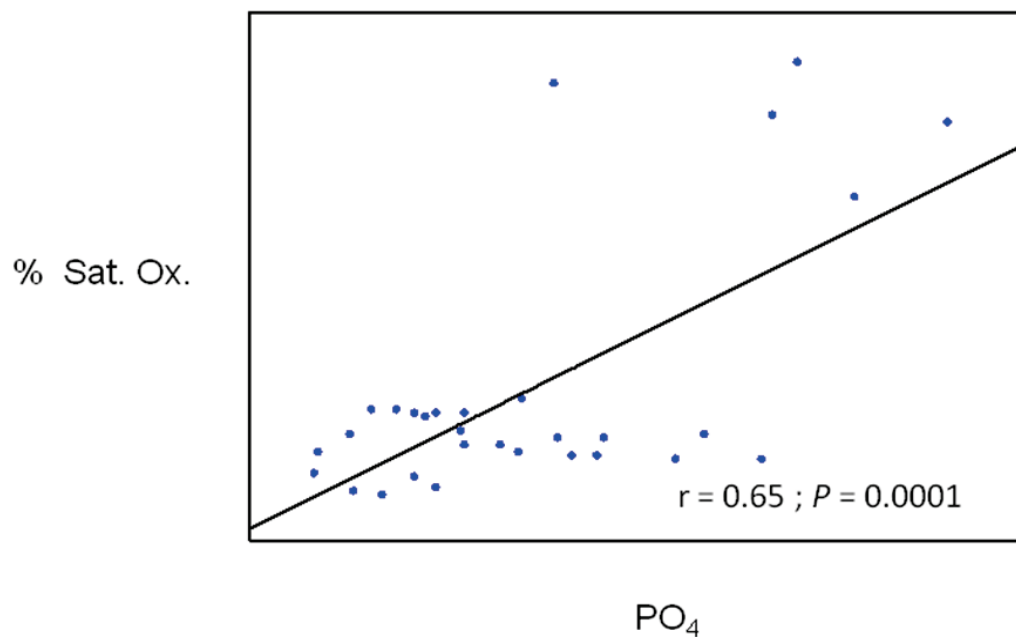


Figura 29. Relación entre PO₄ y el porcentaje de saturación de oxígeno en la Laguna de Tampamachoco.

Asimismo, los fosfatos mostraron relación positiva con el oxígeno disuelto: $r = 0.61$; $P = 0.0003$ (Fig.30).

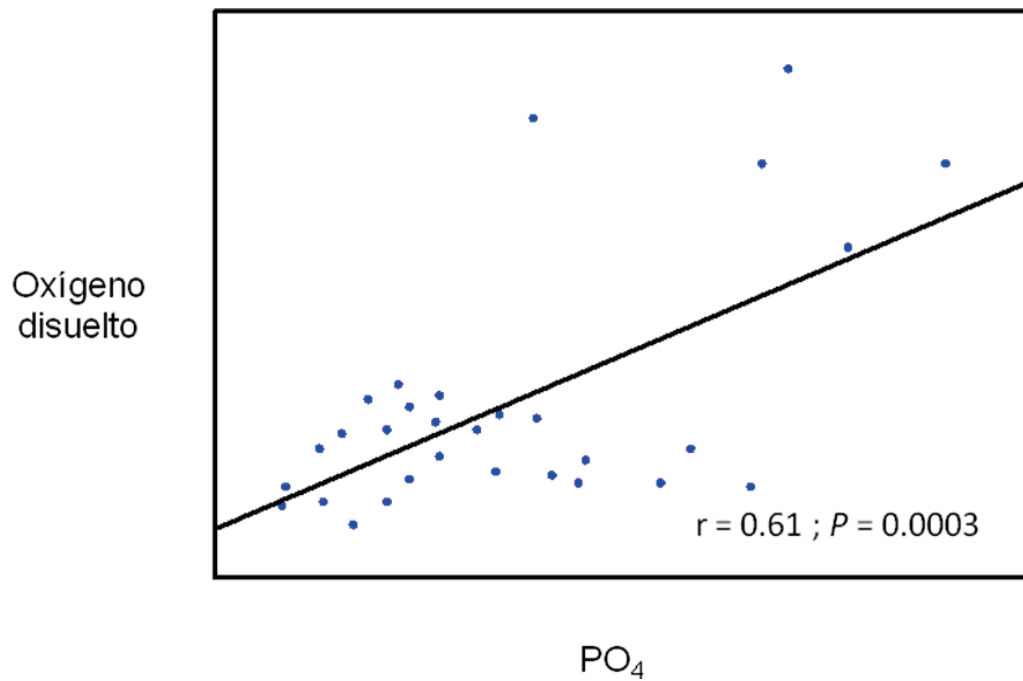


Figura 30. Relación entre PO₄ y el oxígeno disuelto en la Laguna de Tampamachoco.

DISCUSIÓN

Es bien conocido que la variación de los parámetros hidrológicos y nutrientes es especialmente marcada en sistema lagunares. Ésta es controlada por varios factores, entre otros la dinámica en la circulación de la laguna es afectada por las mareas, los vientos y la escasa profundidad (Morán-Silva *et al.*, 2005).

Diferencias estacionales en salinidad han sido registradas previamente en otras lagunas mexicanas, tales como en Laguna de Celestum (Herrera-Silveira y Comin, 1995), Laguna de Tampamachoco (De la Lanza *et al.*, 1998), y Laguna de Alvarado (Morán-Silva *et al.*, 1996). En este estudio, la variación temporal de la temperatura y la salinidad, mostró concordancia con la época climática. Esto coincide con lo reportado por Contreras (2001). El menor valor de salinidad registrado en el sitio la Mata (localizada en la boca de la laguna y en comunicación directa con el estuario del Río Tuxpan), permiten suponer que aun y con la influencia mareal, el aporte de agua dulce del río ocasiona dilución del agua de manera puntual en este sitio. Es probable que la presencia de precipitaciones intensas ocurridas en septiembre de 2009 (414.2 mm) (CNA, 2010), que incorporaron agua dulce al sistema hayan disminuido los valores de salinidad en este mes (ANEXO G).

Respecto al pH, este estudio reporta un promedio de 7.55, resultó menor al reportado por Contreras-Espinosa y Warner (2004) quienes en 3 ciclos de muestreo en la laguna de Tampamachoco (años: 80-81, 90-91 y 94-95) registraron pH promedio de 8.0, 8.1 y 8.2 respectivamente.

Los valores de pH en las lagunas fluctúan en un intervalo de 7.0-8.2, el agua de origen continental tiene un pH de 7.0 y el del agua de mar es de 8.2; se ha mencionado que valores menores de 7.0 se deben principalmente a procesos de descomposición de materia orgánica (De la Lanza-Espino, 1998) en zonas de manglares y liberación de ácidos húmicos (Contreras, 1993), y/o a un aislamiento con una circulación deficiente y por la actividad biológica de algunos organismos (Contreras, 1993).

La variación espacial de este parámetro en la Laguna de Tampamachoco sugiere influencia del ambiente marino en el sitio la Mata (pH alcalino), en tanto que el pH ácido en las otras estaciones apunta a una posible relación con reacciones de descomposición de la materia orgánica aportada por la vegetación de manglar (Contreras, 2001).

En éste estudio, el mayor valor de oxígeno (9.55 ± 0.47 mg/l) y del porcentaje de saturación de oxígeno fue en abril (secas) con 140.45 ± 5.45 % y el menor valor para estos mismos parámetros fue en septiembre (lluvias), con 2.82 ± 1.12 mg/l y 37.50 ± 14.89 %. Tales concentraciones corresponden al final de la época de lluvias, cuando existe un incremento en materia orgánica suspendida. Cuando la materia orgánica es resuspendida los microorganismos comienzan la descomposición, sustituyendo el oxígeno desde la columna de agua (Kennish, 1986). Para la Laguna de Tampamachoco, ésta concentración se atribuye a la precipitación abundante que se presentó en la fecha de muestreo y durante 3 días consecutivos. En siete muestreos la cantidad de oxígeno fluctuó entre 3 y 4.82 ± 0.45 , valores que se consideran óptimos para el desarrollo de los

organismos. En el 50% de los muestreos el oxígeno disuelto superó los 5 mg/l. Las concentraciones de oxígeno disuelto superiores a 5 mg/l son característicos de aguas productivas (De la Lanza, 2001).

Este estudio difiere con la investigación de De la Lanza *et al.*, (1998), estos autores reportan que el oxígeno disuelto presentó marcadas diferencias temporales y espaciales; con máximos niveles en junio (lluvias). En tanto que en la Laguna de Tampamachoco, aunque se registraron también variaciones espacio-temporales, los valores más elevados para este parámetro se presentaron en abril (secas).

La concentración de clorofila-a registrada en este estudio (21.1 mg/m³) al compararla con los valores reportados para la Laguna de Tampamachoco (Contreras-Espinosa y Warner, 2004), resultó superior a la del ciclo 79-80 (5.3 (0.3-16.1 mg/m³), pero fue inferior a los ciclos 90-91 (21.9 (0.0-105 mg/m³) y 94-95 (23.0 (0.0-254 mg/m³)).

La coincidencia en la variación espacial de NO₂ y NO₃ en La Mata y CFE, con variación del porcentaje de saturación de oxígeno y oxígeno disuelto, sugiere que en estos sitios están ocurriendo procesos aeróbicos en los que el amonio (NH₄⁺) se está oxidando a estas formas nitrogenadas (nitrificación). Siendo el amonio un indicador de aguas residuales asociado a cercanía de asentamientos humanos a las lagunas costeras (Contreras, 2001, Herrera-Silveira, 2006), por lo tanto tales variaciones probablemente sean inducidas por actividad humana.

Por otra parte, la mayor concentración de NO_2 en abril (secas), sugiere que las bacterias nitrificantes prefieren temperaturas más cálidas que frías, tal y como lo sostiene Avault (1993).

Respecto a PO_4 , en este estudio la concentración más alta fue en abril con 0.18 ± 0.02 mg/l, la ausencia de datos para los meses de la época de lluvia impidió precisar el comportamiento de este nutriente durante esa época. Sin embargo, otros autores (De la Lanza *et al.*, 1998) citan que en la época de lluvias (junio a octubre) registraron los máximos de PO_4 en la Laguna de Tampamachoco, señalan que los fosfatos estuvieron relacionados con la lluvia que se presenta en la época de secas en el área intermedia y en el área de las lagunetas, mencionan que en esta temporada se incrementa la tasa de evaporación.

La concentración de PO_4 del presente estudio (0.08 mg/l), resultó mayor a la del ciclo 79-80, cuyo valor fue 0.019 (0.004–0.043 mg/l), y menor a la de los ciclos 90-91, con 0.269 (0.004–1.152 mg/l) y 94-95, con 0.136 (0.037-0.434mg/l) reportados por Contreras-Espinosa y Warner (2004).

Las relaciones positivas de nitritos y fosfatos con los valores de porcentaje de saturación de oxígeno y oxígeno disuelto registradas en este estudio difieren de lo señalado por Contreras (2001), quien para esta misma laguna calculó una correlación positiva entre la clorofila-a y la precipitación ($r = 0.52$; $P < 0.05$) y una correlación negativa de la precipitación con la salinidad ($r = -0.54$, $P < 0.05$), en referencia a este último valor citado, el autor afirma que la escasa dimensión del sistema son determinantes en este hecho.

La concentración de oxígeno está dada en función de la intensidad de la productividad primaria, en tanto que la concentración de NO_2 varía con el ritmo de oxidación del amonio (NH_4^+). La oxidación del NH_4^+ mediante proceso de nitrificación produce NO_2 , esto sugiere que, sin ser causa-efecto, los NO_2 varían con las concentraciones de oxígeno disuelto y del porcentaje de saturación de oxígeno.

Por otro lado, la productividad primaria y, concretamente, la clorofila-a está relacionada positivamente con el PO_4 (Vollenweider y Kerekes 1982, Contreras y Kerekes 1992, Contreras, 1994), así, dado que la concentración de oxígeno está en función de la intensidad de la productividad primaria, lo anterior sugiere que, sin ser causa efecto, el porcentaje de saturación de oxígeno y el oxígeno disuelto varían con la concentración del PO_4 .

CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS DEL TRABAJO

La temperatura y la salinidad mostraron un comportamiento estacional; aguas cálidas se presentaron de mayo a septiembre (a finales de la primavera y durante todo el verano), las aguas más frías se presentaron en invierno.

Durante el periodo de estudio, la temperatura y la salinidad del agua superficial exhibieron variación espacio-temporal.

Espacialmente, los valores de pH fueron mayores en el sitio la Mata, por influencia del agua marina proveniente del Golfo de México.

Las concentraciones de clorofila-a y PO_4 fueron más altas en la parte más interna de la Laguna de Tampamachoco, en el sitio la Ciénaga.

La mayor concentración de clorofila-a registrada para este parámetro fue en mayo y en septiembre de 2009, coincidiendo con la época de lluvias, en la que se incrementa el aporte de agua del Río Tuxpan hacia la Laguna de Tampamachoco.

Actualmente (2009 -2010) la concentración de clorofila-a es menor a la registrada en los ciclos 1990-1991 y 1994-1995; esto indica que en los últimos 20 años no ha variado la condición eutrófica en la Laguna de Tampamachoco.

La mayor concentración de NO_2 se presentó en el sitio La Mata. En tanto que los NO_3 exhibieron mayor concentración en el sitio CFE.

Los muestreos de este estudio coincidieron con el dragado que se realiza actualmente en la Laguna de Tampamachoco; éste resuspende el sedimento y

puede estar contribuyendo con nutrientes y ser una potencial fuente de eutroficación en esta laguna.

Durante el período de este estudio, la clorofila-a no mostró relación positiva con los parámetros físico-químicos, ni con los nutrientes. Uno de los factores con el que ésta ha mostrado relación en la Laguna de Tampamachoco, es con la precipitación (Contreras, 2001).

Los NO_2 y los PO_4 se correlacionaron positivamente con el porcentaje de saturación de oxígeno y con el oxígeno disuelto. Ambos nutrientes variaron en razón directa a la variación del porcentaje de saturación y del oxígeno disuelto.

La relación positiva de NO_2 con el porcentaje de saturación de oxígeno y con el oxígeno disuelto sugiere que el NH_4^+ se está oxidando hacia NO_2 ,

Dado que las lagunas costeras representan un sistema hidrológico producto del encuentro de dos sistemas acuáticos distintos, y a que representan el mejor índice de la calidad de la cuenca; por lo tanto, el estudio de las variables hidrológicas ofrece claves valiosas para el manejo de las cuencas y los ecosistemas costeros. Asimismo la generación de bases de datos sobre parámetros físico-químicos y parámetros biológicos en las lagunas costeras es imprescindible para establecer índices en el monitoreo y control de la salud de dichos sistemas.

En particular, en la laguna de Tampamachoco, la determinación de las variaciones espacio-temporales de parámetros físico-químicos, concentraciones de clorofila-a, el análisis conjunto con la concentración de los nutrientes y la estimación de la

productividad primaria suministra elementos de decisión para regular el aprovechamiento sustentable de las pesquerías de ostión, camarón y especies de escama que en ella se realizan. Aporta datos esenciales de monitoreo previo a la ejecución de proyectos de acuacultura en esta. Aún más, éste estudio tiene aplicación práctica, pues permite evaluar el estado trófico del sistema a través de la variabilidad de los principales nutrientes y clorofila-a. La presente investigación aunada a la determinación del tiempo de residencia del agua (que resulta indispensable disponer en esta laguna), sirven de base para conocer el grado de eutroficación y en consecuencia de la salud que presenta actualmente este ecosistema costero.

Los datos recabados y la información presentada en este estudio presentan relevancia, pues los muestreos se efectuaron justo en el período en el que se efectuaba el dragado más reciente en la Laguna de Tampamachoco. Así pues, el comportamiento mostrado por los parámetros físico-químicos, la clorofila-a y los nutrientes conducirán a obtener conclusiones sobre el impacto ambiental directo de esta obra, así como el impacto ambiental secundario causado por el rebosamiento de las tarquinas (estructuras empleadas para la contención de los materiales obtenidos en el dragado), que derivará en la reincorporación de los sedimentos al ecosistema causando la resuspensión de estos y de sus nutrientes, contribuyendo al fenómeno de eutroficación.

Del mismo modo, resulta interesante relacionar estas variaciones de los parámetros físico-químicos, la clorofila-a y los nutrientes con la producción de

osti3n, camar3n y especies de escama en esta laguna para realizar un manejo adecuado de las pesquer3as. Esta informaci3n aportada y la que derive de un monitoreo sistematizado permitir3 en corto plazo el planear las acciones para la gesti3n ambiental de la laguna de Tampamachoco.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA, American Public Health Association, American Waterworks, Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF). 1998. Standard Methods for Examination of Water and Sewage and Wastewater. 20a. Ed. New York.
- Avault, J.W. 1993. Aquaculture:environmental and conservation considerations. Research Report. 19(1):64-67.
- Bedia-Sánchez, C. M. 1990. Aspectos ecológicos del ictioplancton del sistema estuarino de Tuxpan, Veracruz. México. Tesis de Licenciatura. UNAM-ENEP Iztacala.México.
- Bulit, C, M. Signoret y A. Esquivel, 1992. Caracterización ambiental de la laguna de Tampamachoco, Ver. Res. IX Congr. Nal. Oceanogr. 141.
- Bulit, C, M. Signoret y R. Pérez. 1995. Estrategias metodológicas para estimar la biomasa fitoplanctónica por medio de la concentración pigmentaria. *Memorias del VI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar*. Mar del Plata, Argentina.p.41.
- Bulit, G. C .E, Girón–Botello, N. Sánchez. y M. Signoret. P. 1989. Producción primaria fitoplanctonica en la laguna de Tampamachoco en un ciclo anual. Reporte del proyecto Estudios Hidrobiológicos en la región estuarino-lagunar

- de Tuxpan-Tampamachoco, Ver. y zona noroccidental del Golfo de México.
CONACYT-UAM-I. Distrito Federal. 200 pp.
- Caffrey, J.M. y J.W. Day Jr. 1986 Estuaries Control of the variability of nutrients and suspended sediments in a Gulf Coast Estuary by climatic forcing and spring discharge of the Atchafalaya River. 9 (4a): 295-300.
- Carlson, R. E., Limnol. Oceanogr. A trophic state index of lakes. 1977. 22 (2).
361-368.
- Castillo, S. F. S, E. Flores. Z y F. Contreras. E. 1996. Comparación hidrológica de tres lagunas costeras del norte del estado de Veracruz: Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco. Res. X. Congr. Nal. Oceanogr.
- Castro-Aguirre.J. L. 1986. Estudios Sistemáticos y Ecológicos de la Ictiofauna del sistema estuarino-lagunar Tuxpan-Tampamachoco, Ver. México. Tesis Doctoral. UAM. México.
- Castro-Aguirre.J. L. 1987. Estudios hidrobiológicos del sistema estuarino-lagunar Tuxpan-Tampamachoco, Veracruz. Zona noroccidental del Golfo de México. UAM-X(ed). Distrito Federal.227 pp.
- Centro Meteorológico de Tuxpan. 2005. Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Tuxpan-Ver, México.

- Cloern, J. E. 1996. Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: A review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Reviews of Geophysics* 34 (2): 127-168.
- Contreras, E. F. 1983. Variaciones en la hidrología y concentraciones de nutrientes en el área estuarino-lagunar de Tuxpan-Tampamachoco, Ver, México. *Biótica* 8 (2): 201-213.
- Contreras, E.F. 1985. *Las Lagunas Costeras Mexicanas*. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca. 2ª Ed. México. p. 263.
- Contreras, E.F. 1993. *Ecosistemas Costeros Mexicanos*. CONABIO-UAMI. México. 415 p.
- Contreras, E. F. 1996. Comparación hidrológica de tres lagunas costeras del estado de Veracruz, México. *Universidad y Ciencia*. 2 (3): 47-56.
- Contreras, E. F. 2001. *Caracterización de lagunas costeras a través de variables ecológicas seleccionadas*. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. México. 95 p.
- Contreras E., F., A. García N. y O. Castañeda. L. 1992. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en el sistema lagunar-estuarino de Carretas-Pereyra, Chiapas, México. *Universidad y Ciencia* 9 (17): 43-52.

- Contreras E. F. y F. Gutiérrez. 1989. Hidrología, Nutrientes y productividad primaria en Lagunas Costeras. In De la Rosa, V.J. y F.F.González (eds).Temas de Oceanografía biológica en México. UABC. Cap. 3:57-78 pp.
- Contreras, E. F., J.A. García-Nagaya y M. A. Pérez. H. 1992. Cambios hidrológicos en la laguna de Tampamachoco, Veracruz. Mex. Res. IX Congr.Nal. Oceanogr. p.121.
- Contreras-Espinoza.F., N.E.Rivera-Guzmán y R.Segura-Aguilar. 2005. Nutrientes y productividad primaria fitoplanctónica en una laguna costera tropical intermitente (La Mancha, Ver) del Golfo de México. *Hidrobiológica* 15(3): 299-310.
- Contreras, E.F, O. L. Castañeda, R. Torres-Alvarado & F. Gutiérrez. 1996. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Revista de Biología Tropical* 44(2):417-425.
- Contreras E., F. y J. Kerekes. 1992. Total phosphorus-chloropyll relationships in tropical coastal lagoons in Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25: 448-451.
- Contreras E. F. y O. Castañeda. L. 1995. Los ecosistemas costeros del estado de Veracruz. Dirección General de Pesca. Sec. De Des. Agrop.Forestal y Pesq. México, D.F. 144 pp.

- Contreras-Espinosa y Warner, B. G. 2004. Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hidrobiología*. 511: 233–245
- Dawes, J. C. 1986. *Botánica Marina*. Limusa, México. 673 p.
- De la Lanza, E. G, N.2001. In: Abarca F. y M. Herzig (Eds.). *Manual para el manejo y la conservación de los humedales en México*. sws/ufw/semarnat/dumac/ pronatura/ nawcc/ramsar.
- De la Lanza E, G, N. Sánchez S. y A. Esquivel H. 1998. Análisis temporal y espacial físico-químico de una laguna tropical a través del análisis multivariado. *Hidrobiológica* 8 (2): 89-96.
- De la Lanza. E.G.N. Sánchez. S.y Rúa Sánchez. T. 1995. Influencia del clima sobre la distribución de temperatura, salinidad y clorofila “a” en una laguna al NW del Golfo de México y su interpretación a través del manejo estadístico. *Res.VI Congr.Latinoamer. de Ciencias del Mar*. p.212.
- De la Lanza, G. y C. Cáceres 1994. *Lagunas costeras del litoral mexicano*. U.A. de Baja California Sur. 525. P
- Flores, B .A .F .Gutiérrez, M y F. Contreras .E. 1990. Patrones de circulación a lo largo de un ciclo anual en el estuario del río Tuxpan, Ver. Méx. *Res. VIII Congr. Nal. Oceanog*. p.15.

- García, M. E. 1986. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 155 pp.
- Gregor, J., B. Marsálek. 2004. Freshwater Phytoplankton Quantification by Chlorophyll a: A Comparative Study of *in vitro*, *in vivo* and *in situ* .Methods. Water Res.38:517-522.
- Herrera-Silveira, J.A. 1994. Spatial and temporal patterns in a tropical coastal lagoon with groundwater discharges. Journal of Coastal Research. 10(3):738-746.
- Herrera-Silveira, J.A. y Comin, F.A. 1995. Nutrients fluxes in a tropical coastal lagoon. Ophelia.42:127-146.
- Kaldy, J. E., C. P. Onuf, P. M. Eldridge & L. A. Cifuentes I. 2002. Carbon budget for a subtropical seagrass dominated coastal lagoon: How important are seagrasses to total ecosystem net primary production? Estuaries 25 (4a): 528-539.
- Kennish, M.J. 1986. Ecology of Estuaries: aspectos físicos y químicos. CRC Press. Boca Ratón, FL, U.S.A. 254 P.
- Kjerfve, B. 1994. Coastal Lagoons. In: Coastal Lagoon Processes. Elsevier Oceanography series, 60, Elsevier Science Publishers. pp.1-8.

- Klump, J.V. & C.S. Martens.1981.Biochemical cycling in an organic-rich coastline marine basin 2. Nutrient sediment-water exchanges processes. *Geochemical Cosmochemical Acta*, 45: 101-121.
- Knoppers, B.1994. Aquatic primary production in coastal lagoons 243-286.In: Knoppers B. y B. Kjerfve.1999. Coastal lagoons of southeastern Brazil: Physical and biochemical characteristics 35-66.
- Knoppers, B, B .Kjerve y J .P. Carmouze. 1991. Trophics state and water turn-over time in six chooked coastal lagoons in Brazil. *Biogeochemistry* 14:149-166.
- Knoppers, B .E .D .Bidone y J .J .Abrad. (EDS).1999.Environmental geochemistry of coastal lagoon systems of Rio de Janeiro, Brazil. UFF-FINEP.pp.210.
- Lankford, R.R.1977. Coastal lagoon of Mexico. Their origin and classification. En: Wiley M. (eds). *Estuarine processes*. Academic Press.182-215.
- Morán-Silva , A.. Franco-López,J, Chávez-López,R, Altamiranao, A.T..y De Sucre, M.A.1996.Aspectos generales del comportamiento hidrológico del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México. *Revista de Zoología*.Número ESPECIAL 2:1-16.
- Morán-Silva, A. Martínez F, L.A , Chávez-López, R, Franco-López,J, Bedia-Sánchez, Contreras-Espinosa, F, Gutiérrez-Mendieta, F, Brown-Peterson N,J. y Peterson, M.S. 2005. Seasonal and spatial patterns in salinity,

nutrients, and Chlorophyll-a in the Alvarado Lagoon System, Veracruz, México. *Gulf and Caribbean Research*. (17), 133-143.

Moreno-Casasola, P. López, H. & S. Garza. 2001. La vegetación de los humedales mexicanos Capítulo. 7. In: Abarca F. y M. Herzig (Eds.). *Manual para el manejo y la conservación de los humedales en México*. sws/ufw/semarnat/dumac/pronatura/nawcc/ramsar.

Nixon, S.W. 1981. Freshwater inputs and estuarine productivity. In: Cross, R.D & D. L. Williams (EDS). *Proceedings of the National Symposium on Freshwater inflow to Estuaries*. U.S. Fish and Wildlife Service, pp.31-57.

Painchaud, J. & J. C. Therriault. 1989. Relationships between bacteria, phytoplankton and particulate organic carbon in the upper St. Lawrence Estuary. *Marine Ecology Progress Series* 56:301-311.

Pinto A, Von Sperling E, Moreira R. 2001. Chlorophyll-a Determination via Continuous Measurement of Plankton Fluorescence: Methodology Development. *Water Res.* 35(16):3977-3981.

Ringwood, A. H. y CH. J. Keppler. 2002. Water quality variation and clam growth: Is pH really a non –issue in Estuarine? *Estuaries* 25(5):901-907.

Sánchez. N. L. 1994. Influencia cualitativa y cuantitativa de los factores climáticos que inciden en la salinidad y temperatura del agua de la laguna de

- Tampamachoco, Veracruz (1979-1986). Tesis de Maestría. UNAM. México.110p.
- SCOR-UNESCO 1980. Determination of chlorophyll in Seawater. UNESCO Technical papers in marine science. France. 35p.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero (SEDAP).1997. Plan Estratégico para el desarrollo de la acuicultura en el estado de Veracruz. Dirección General de Pesca. Veracruz, México. Síntesis Ejecutiva.10 pp.
- SEMARNAT-INE. 2004. Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Compiladores. Margarita Caso, Irene Pisanty y Exequiel Ezcurra. 2004 Tomos I y. II.
- SPSS, Inc. 2006. SPSS 15.0 para Windows. Versión 15.0.1.
- StatSoft, Inc. 2004. STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Strickland, J. H. D. and Parsons, T. R .1972. A practical Handbook of Seawater Analysis. Bull. Fish. Res. Board of Canada, Ottawa, Canada. 310 p.
- Tovilla-Hernández, C. 1994. Manglares. In: De la Lanza, E., G. & C. Cáceres M. (EDS.). Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur, pp. 371-423.
- Tovilla H, C y De la Lanza E, G. 2001. Balance Hidrológico y de Nutrientes en un Humedal Costero del Pacífico Sur de México. Hidrobiológica.11 (2)

Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa Distrito Federal, México pp.
133-140.

Vollenweider, R. A. y J. Kerekes. 1982. Eutrophication of waters, monitoring,
assesment and control. Final report. OECD Coperative program on
monitoring of inland waters (Eutrophication control), Environment Directorate,
OECD. Paris. 154p.

Zar, J.H. 1996. Biostatistical analysis. 4th Ed. Prentice Hall. Englewoods California.
U.S.A. 718 P.

Zimmerman, J. T. F. 1981. The flushing of well-mixed tidal lagoons and its
seasonal fluctuations: 15-26. In Coastal lagoon research. Present and Future.
UNESCO, Paris.

ANEXOS

ANEXO A

Cuadro 1.- Media, error estándar, máximo y mínimo de ocho parámetros físico-químicos, por sitio de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Sitio	Estadist.	Temp (° C)	Sal (ups)	pH (1-14)	SDT (ppm)	CE (mS/cm)	%S.O (%)	O D (mg/l)	Transp (cm)
La Mata	Media±e.e	23.87±1.12	25.13±2.16	7.70±0.10	19.55±1.58	44.72±4.26	79.23±5.44	5.84±0.38	70.5±6.47
	Máx.-Min.	27.41-10.09	34.79-5.45	8.1-6.6	26.4-4.9	96.5-16.96	153.37-58.8	10.9-4.28	108-20
CFE	Media±e.e	25.34±0.90	28.54±1.71	7.6±0.11	22.06±1.23	44.11±2.46	78.13±5.46	5.46±0.36	49.4±3.62
	Máx.-Min.	30.46-16.92	35.48-11.4	8.1-6.5	26.9-9.6	53.7-19.3	148-55.8	10.1-3.52	76-30
Pipiloya	Media±e.e	25.90±0.93	28.72±1.72	7.53±0.11	22.17±1.24	44.30±2.49	70.24±7.14	4.86±0.47	47±3.39
	Máx.-Min.	31.54-17.85	35.72-11.81	8.0-6.5	27.0-9.8	53.9-19.44	140.8-1.7	9.36-0.23	79-32.2
Entrada a canales	Media±e.e	26.04±0.91	28.43±1.74	7.54±0.10	22.26±1.27	44.46±2.53	72.61±7.30	4.99±0.49	41.5±2.96
	Máx.-Min.	31.27-17.87	35.92-11.78	7.9-6.7	27.17-9.94	54.4-19.88	138.8-4.3	9.38-0.34	68-25
Ciénaga	Media±e.e	26.65±1.12	29.25±1.86	7.4±0.14	22.49±1.34	45.0±2.66	71.81±5.22	5.11±0.30	27.6±1.65
	Máx.-Min.	33.37-18.24	38.28-9.36	8.0-6.2	28.99-8.07	57.97-16.16	121.27-43	8.04-3.01	40-14

Simbología: Estadist.=Estadístico, Temp.=Temperatura, Sal=Salinidad, SDT=Sólidos disueltos totales, CE=Conductividad eléctrica, %S.O=Porcentaje de saturación de oxígeno, O.D=Oxígeno disuelto, Transp.=Transparencia, e.e = error estándar. Máx.=Valor máximo. Min.=valor mínimo.

ANEXO B

Cuadro 2.-Media, error estándar, máximo y mínimo de ocho parámetros físico-químicos, Laguna de Tampamachoco (enero 2009- abril 2010).

MES	Estadístico	Temperatura °C	Salinidad (ups)	pH (1-14)	Sólidos disueltos totales(ppm)	Conductividad (mS/cm)	% saturación de oxígeno (%)	Oxígeno disuelto(mg/l)	Transparencia (cm)
ene-09	Media .e.e	23.5±0.51	29.98±0.17	7.72±0.03	23.06±0.09	46.08±0.16	94.52±5.67	6.96±0.30	42.8±11.95
	Máx.-Min.	25.15-22.33	30.51-29.6	7.8-7.6	23.29-22.82	46.51-45.63	113.9-81.7	7.9-6.01	90-25
feb-09	Media .e.e	26.43±0.37	32.11±0.50	7.88±0.07	24.34±0.51	49.0±0.78	88.1±2.32	5.86±0.20	42.6±4.37
	Máx.-Min.	27.36-25.08	33.1-30.51	8.1-7.7	25.28-22.78	50.45-46.89	96.8-83.9	6.36-5.23	58-32
mar-09	Media .e.e	26.08±0.44	32.3±0.46	7.96±0.06	24.7±0.33	49.3±0.66	86.88±3.35	5.9±0.21	46.2±3.61
	Máx.-Min.	27.3-25	33.1-30.5	8.1-7.8	25.2-23.4	50.4-46.8	98.5-80.4	6.3-5.2	58-38
abr-09	Media .e.e	26.37±0.28	34.94±1.22	7.8±0.1	26.62±0.75	53.2±1.44	80.84±2.17	5.48±0.18	45.2±6.77
	Máx.-Min	27.41-25.87	37.37-30.23	7.9-7.4	28.31-23.78	56.3-47.71	86.6-74.3	5.9-4.92	66-30
may-09	Media .e.e	28.79±0.50	34.81±0.48	7.9±0	26.39±0.25	52.76±0.51	78.96±3.14	5.03±0.23	44±6.81
	Máx.-Min	30.13-27.16	36.7-34.01	7.9-7.9	27.37-25.95	54.76-51.88	86.5-68.6	5.54-4.24	62-21
jun-09	Media .e.e	30.57±1.05	32.17±0.63	7.72±0.01	24.77±0.45	49.49±0.85	66.15±2.06	4.56±0.22	59.2±13.39
	Máx.-Min	33.9-30.07	33.9-30.07	7.8-7.7	26.1-23.3	51.81-46.6	71.2-60.39	5.31-4.01	108-26
jul-09	Media .e.e	29.72±0.71	30.86±1.14	7.86 ± 0.04	23.92±0.87	47.88±1.67	62.04±3.68	4.06±0.20	41.4±9.61
	Máx.-Min	30.95-26.93	32.81-26.42	8.0-7.8	25.74-20.64	51.37-41.58	76.5-55.8	4.72-3.52	79-26
ago-09	Media .e.e	29.85 ± 0.98	32.66±1.89	7.34±0.22	26.01±0.75	51.85±1.551	74.86±8.75	4.82±0.45	53.3±11.62
	Máx.-Min.	33.26 - 27.41	38.28-26.36	7.7-6.5	28.99-24.78	57.97-49.57	109.4-61.6	6.59-4.15	89-25.5
sep-09	Media .e.e	29.16 ± 0.75	9.96±1.21	7.3±0.14	8.46±0.95	34.24±15.56	37.5±14.89	2.82±1.11	29.68±3.96
	Máx.-Min.	31.14-26.48	11.81-5.45	7.72-6.86	9.94-4.87	96.45-16.16	70.9-1.7	5.44-0.23	43.3-20
oct-09	Media ± e.e	25.18±0.19	13.29±1.23	6.56±0.10	10.99±0.89	21.85±1.99	65.6±2.83	5.10±0.26	36.6±4.27
	Máx.-Min.	25.79-24.61	17.95-10.56	6.8-6.2	14.33-8.90	29.14-16.96	72.3-55.2	5.55-4.1	49-23
nov-09	Media ± e.e	23.97±0.19	26.45±3.4	6.9±0.20	20.58±2.42	41.15±4.83	62.86±4.11	4.64±0.37	42.2±10.16
	Máx.-Min.	24.51-23.57	30.23-12.87	7.5-6.3	23.27-10.89	46.54-21.81	71.3-51	5.66-3.64	80-23
dic-09	Media ± e.e	21.7±0.47	30.27±0.68	7.66±0.12	23.24±0.46	46.45±0.90	59.76±3.22	4.39±0.20	53±12.64
	Máx.-Min.	22.47-19.9	31.79-28.17	8.0-7.4	24.3-21.79	48.59-43.6	70.3-51.4	5.15-4.03	76-14
ene-10	Media .e.e	19.57±2.39	26.23±0.22	7.16±0.15	20.32±0.24	40.64±0.49	62.08±3.00	4.78±0.20	49.6±11.12
	Máx.-Min.	23.28-10.09	26.74-25.62	7.5-6.6	20.81-19.49	41.61-38.98	70.5-52.3	5.51-4.36	91-31
feb-10	Media .e.e	17.76±0.22	24.55±1.28	7.44±0.06	19.19±1.00	38.73±1.77	66.57±1.48	5.48±0.14	64.2±6.88
	Máx.-Min	18.24-116.92	26.55-19.9	7.7-7.3	20.81-15.5	41.62-32.44	70.6 -62.7	5.91-5.17	79-40

mar-10	Media ± e.e	22.94±0.14	29.25±0.73	7.68±0.03	22.56±0.50	45.49±0.56	63.28±2.66	4.59±0.21	48.36±8.79
	Máx-Min.	23.41-22.62	31.43-26.79	7.83-7.59	24.08-20.88	47.58-44.2	73.25-59	5.42-4.25	78-30.3
	Media ± e.e	27.27±0.35	28.35±1.29	7.96±0.02	22.06±0.84	44.06±1.70	140.45±5.45	9.55±0.47	57±14.19
abr-10	Máx-Min.	28.52-26.35	30.12-23.25	8.0-7.9	23.22-18.73	46.41-37.35	153.37-121.27	10.9-8.04	108-25.7

Simbología: Media±e.e. =Media±error estándar. Máx.-Min. = Máximo-Mínimo.

ANEXO C

Cuadro 3. Media, error estándar, máximo y mínimo de clorofila-a por sitio de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Sitio	Estadístico	Clorofila-a (mg/m³)
La Mata	Media ± error estándar	20.97±0.80
	Máximo –Mínimo	31.39-18.46
CFE	Media ± error estándar	20.62±0.47
	Máximo –Mínimo	26.14-18.37
Pipiloya	Media ± error estándar	21.38±0.04
	Máximo –Mínimo	24.45-18.75
Entrada a canales	Media ± error estándar	21.35±0.42
	Máximo –Mínimo	23.86-18.32
Ciénaga	Media ± error estándar	21.4±0.49
	Máximo –Mínimo	24.98-18.17

ANEXO D

Cuadro 4. Media, error estándar, máximo y mínimo de los nutrientes, por sitio en Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Sitio	Estadístico	Nitritos (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)
La Mata	Media ± error estándar	0.014±0.003	0.153±0.039	0.07±0.023
	Máximo –Mínimo	0.025-0.004	0.250-0.043	0.18-0.035
CFE	Media ± error estándar	0.009±0.004	0.387±0.158	0.09±0.017
	Máximo –Mínimo	0.033-0.002	0.780-0.016	0.15-0.025
Pipiloya	Media ± error estándar	0.007±0.003	0.108±0.037	0.09±0.023
	Máximo –Mínimo	0.020-0.002	0.200 0.007	0.17-0.03
Entrada a canales	Media ± error estándar	0.007±0.003	0.112±0.037	0.08±0.036
	Máximo –Mínimo	0.019-0.002	0.200-0.020	0.24-0.004
Ciénaga	Media ± error estándar	0.012±0.006	0.159±0.020	0.09±0.033
	Máximo –Mínimo	0.040-0.002	0.200-0.080	0.21-0.018

Cuadro 5. Media, error estándar, máximo y mínimo mensual de los nutrientes en laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Mes	Estadístico	Nitritos (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)
nov-09	Media ± error estándar	0.009±0.004	0.32±0.12	0.02±0.005
	Máximo –Mínimo	0.025-0.003	0.78-0.18	0.035-0.00
dic-09	Media ± error estándar	0.007±0.002	0.31±0.11	0.04±0.013
	Máximo –Mínimo	0.013-0.004	0.74-0.19	0.08-0.005
ene-10	Media ± error estándar	0.007±0.001	0.31±0.10	0.08±0.019
	Máximo –Mínimo	0.012-0.004	0.70-0.20	0.15-0.05
feb-10	Media ± error estándar	0.004±0.0009	0.07±0.01	0.07±0.008
	Máximo –Mínimo	0.008-0.003	0.13-0.05	0.1-0.05
mar-10	Media ± error estándar	0.003±0.001	0.04±0.01	0.12±0.015
	Máximo –Mínimo	0.007-0.002	0.08-0.02	0.17-0.08
abr-10	Media ± error estándar	0.027±0.004	0.06±0.03	0.18±0.02
	Máximo –Mínimo	0.040-0.019	0.16-0.07	0.24-0.09

ANEXO E

Cuadro 6. Comparación de valores de Parámetros Físico- químicos de algunas lagunas costeras con los reportados para este estudio de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Sistema Lagunar	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	pH 1-14	Oxígeno disuelto (mg/l)	Autor
Laguna de Alvarado	21.8-29	3.7-18			De la Lanza-Lozano (1999)
Laguna de Términos	25-33	5-38		2.9-9.6	De la Lanza-Lozano (1999)
21 Lagunas	14.6-36.8	0-63	5.1-9.5	0.3-12.7	Contreras (2001)
Laguna de Tamiahua (1994-1995)	-	14.4-37.5	8-9.4	2.1-11.7	Contreras y Warner (2004)
Laguna de la Mancha (2002)	22-36.5	2-35.0	6.8-8	0.3-5.6	Contreras y Castañeda (2004)
Laguna de Tampamachoco (1994-1995)		11-38.4	7.9-8.5	1.8-8.2	Contreras y Warner (2004)
Laguna de Tampamachoco	25.6	28.01	7.55	5.25	(este estudio)

ANEXO F

Cuadro 7. Comparación de valores de clorofila-a y fosfatos de algunas lagunas costeras del Golfo de México con los valores reportados para este estudio de la laguna de Tampamachoco.

Sistema Lagunar	Clorofila-a (mg/m ³)	Fosfatos (mg/l)	Autor
Laguna de Alvarado.	-	0-9.7	De la Lanza–Lozano (1999)
Laguna de Términos.	-	0.1-7.2	De a Lanza -Lozano (1999)
21 Lagunas	0.01 -174.5	0.01-37.3	Contreras (2001).
Laguna de Tamiahua. (1994-1995)	15.3 (0-170)	0.06-7.5	Contreras y Warner (2004).
Laguna de Tampamachoco (1994-1995)	23 (0-254)	0.136 (0.037-0.434)	Contreras y Warner (2004).
Laguna de Tampamachoco (2009- 2010)	21.1	0.08	(este estudio).

ANEXO G.

Cuadro 8. Promedios de temperatura ambiente y precipitación registrados en el período enero 2009-febrero 2010.

	Temp. Amb.		Precipitación	
	(°C)	Max.	Min.	(mm).
Enero	19.8	28.4	11.8	61.9
Febrero	21.9	30	14	11.7
Marzo	23.1	34	10.4	21.8
Abril	26.4	35.2	15.2	38.1
Mayo	27.9	36.2	18.6	10.8
Junio	28.8	36.2	21.5	67.7
Julio	28.9	36	23	203.7
Agosto	28.8	35.8	23	76.8
Septiembre	27.3	35.6	21	414.2
Octubre	26.1	34.6	16.8	202
Noviembre	21.8	30	14.2	46.7
Diciembre	19.2	30.5	9.6	94.8
Enero	17.1	30	3.4	65.8
Febrero	16.7	26.6	6.2	93.4

Fuente: Estación meteorológica de la CNA en Tuxpan, Veracruz (2010).