



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**Calidad del agua de las lagunas y ríos del  
Municipio de Paraíso, Tabasco, en el año 2001**

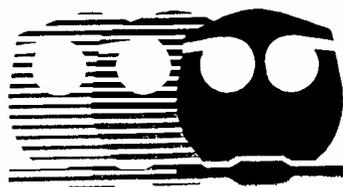
**T E S I S**

Que para obtener el Grado de

**QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO**

P R E S E N T A

**ANGEL RAFAEL CASTIZO RAMÍREZ**



México, D. F.

2007



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

<b>Presidente:</b>	RODOLFO TORRES BARRERA.
<b>Vocal:</b>	VICTOR MANUEL LUNA PABELLO.
<b>Secretario:</b>	FELIPE VÁZQUEZ GUTIÉRREZ.
<b>1er. Suplente:</b>	GLORIA GARCÍA RAMÍREZ.
<b>2do. Suplente:</b>	OLIVIA ZAMORA MARTÍNEZ.

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, UNAM.

**Asesor del tema**

---

Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez

**Sustentante**

---

Angel Rafael Castizo Ramírez

## DEDICATORIAS

*A mi madre, que siempre ha estado ahí, en las buenas y en las malas, y su apoyo ha sido totalmente incondicional.*

*A mi padre, que a pesar de estar distanciados y muy lejos nunca se ha olvidado de mi.*

*A mi abuela, por el amor y la educación que me dio, y que sin saberlo le debo todo lo que soy.*

*A mi hermana, por ser mi cómplice y siempre apoyarme en todos y cada uno de los aspectos de esta vida.*

*A mis tíos, Marco y Paty, por todo el apoyo recibido al inicio de esta etapa tan importante de mi vida.*

*A ti "Pecas", por ser mi motor, y por tantas cosas más..., sabes que sin ti no lo hubiera logrado.*

*... Gracias por todo.*

## AGRADECIMIENTOS

*A todos los que algún día compartieron conmigo una pequeña parte de su vida:*

*A mis amigos, “Pelón”, “Wera”, “Toño”, “Rulo”, “Chou”, “Memo”, “Fer”, “Rafota”, “Fax” e “Iván Helsing”, que siempre han tenido, cada quien en su forma, la capacidad para ponerme los pies en la tierra.*

*A mis amigas, “Iara”, “Su”, Mitzi, “Nea” y Norma, que quien sabe como, siempre estuvieron ahí para darme ánimos y esperanza.*

*A mis primos y tíos por todas las experiencias vividas y los momentos inolvidables.*

*A los inges, por todas las locuras pasadas y por cobijarme en etapas muy difíciles de mi vida.*

*A mis compañeros del ICMYL, “Toño”, “Macho Gus” y “Hectorin”, por todos sus consejos, su apoyo y contribución para la realización de esta tesis y mi formación académica.*

*A mis amigos del básquet, “Angelote”, “Mamer”, “Negro”, “Lucas”, “Merc”, Macías, “Fanny” y todos los anexos, por enseñarme que la vida es mas que la escuela.*

*A la UNAM y a mis profesores, por la invaluable formación y nueva visión dadas a su servidor.*

*A todas las personas que no nombro por falta de tiempo, pero saben que están en mis recuerdos...*

*...A todos, mil gracias.*

## RECONOCIMIENTOS

Esta tesis se realizó gracias al apoyo otorgado por PEMEX EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN-Región Marina Suroeste y el Laboratorio de Físicoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

## ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	5
ANTECEDENTES	6
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ZONIFICACIÓN	8
METODOLOGÍA	14
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	16
TEMPERATURA	16
OXÍGENO DISUELTO	18
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	20
TURBIEDAD	22
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	24
SALINIDAD	26
NITRITOS	28
NITRATOS	30
AMONIO	32
ORTOFOSFATOS	34
SILICATOS	36
NORMATIVIDAD INTERNACIONAL	38
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	43

## RESUMEN

Se desarrolló un estudio hidrológico en las lagunas y ríos principales del municipio de Paraíso, Tabasco, durante 3 épocas climáticas en el año 2001: un muestreo se realizó en temporada de secas o estiaje, otro en lluvias y el último en época de nortes. En las tres temporadas se determinaron parámetros fisicoquímicos como pH, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos; también se cuantificaron nutrientes como nitritos, nitratos, amonio, ortofosfatos y silicatos.

El número total de estaciones de muestreo para este trabajo fue de 31, y comprende las principales lagunas y ríos de esta región.

Este estudio se realizó con la finalidad de generar datos con los cuales se pueda determinar el estado de estos cuerpos de agua en el año 2001, es decir, la calidad de agua, ya que esta región es un sitio importante en cuanto a la producción ostrícola, la agricultura y la industria, la petrolera principalmente.

Los parámetros estudiados se compararon con los lineamientos de calidad de agua publicados en el Diario Oficial el 31 de diciembre de 1998, en los cuales se establecen los criterios acerca de la cantidad de dichos parámetros para la protección de la vida acuática en aguas costeras y estuarios. También se compararon con algunas normatividades internacionales como son las de Canadá y Estados Unidos.

Los resultados fisicoquímicos obtenidos *in situ* se encuentran dentro de los valores permisibles, y por lo tanto no ponen en riesgo la calidad del agua ni la vida acuática en estos cuerpos de agua.

Los valores obtenidos de nutrientes determinados en el laboratorio se encuentran por arriba de los límites permisibles pero no de manera considerable, a excepción de la concentración de ortofosfatos, la cual si los excede en toda la zona de estudio.

Para todos los nutrientes con excepción de los ortofosfatos, podemos decir que los cuerpos de agua estudiados se encontraron en un estado mesotrófico. Para los ortofosfatos decimos que estuvieron en un estado hipertrófico, el cual se tiene que prever.

Los resultados mostraron que las condiciones fueron en general propicias para la protección de estos ecosistemas, sin embargo, se necesita de otro tipo de datos para asegurar que estos cuerpos de agua tienen o no riesgo de eutroficación.

Los valores obtenidos en este estudio son similares a los reportados en otras lagunas costeras de la zona en el mismo año, como lo es la Laguna de Mecoacán.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para los ecosistemas y la vida humana. La reducción en la cantidad y calidad del recurso provoca efectos negativos en los ecosistemas y en la población, por lo que resulta fundamental preservar la calidad de este líquido insustituible. La calidad del agua dulce se ve reducida por los desechos que constantemente son arrojados a las aguas receptoras, entre los cuales se encuentran residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas.

Las costas son una fuente importante de alimentos y recursos económicos, entre los que destacan pesquerías, extracción de petróleo y zonas de playa ampliamente aprovechadas por el turismo. Entre las áreas marinas más dañadas en el mundo se encuentran las aguas y litorales del Golfo de México y Océano Pacífico, consideradas como zonas de contaminación persistente.

En el estado de Tabasco desde hace más de cuatro décadas, los sistemas naturales tanto terrestres como acuáticos se han visto modificados a diferente escala por los asentamientos humanos irregulares, las descargas de aguas residuales (las cuales, en general carecen de tratamiento), la expansión de las actividades agropecuarias, la caza furtiva, la industrialización, destacando la petrolera, la falta de una cultura ambiental, el deterioro del hábitat por el acelerado crecimiento urbano, o la imposibilidad de aplicar políticas eficaces por parte del sector público, entre otros muchos.

Los diversos cuerpos de agua de Tabasco, ríos, lagunas, estuarios y zonas costeras adyacentes son reservas naturales y sin embargo se acumulan numerosos contaminantes en el sedimento, disueltos en el agua o adheridos a partículas en suspensión, provocando así la introducción y distribución de sustancias tóxicas en la red alimenticia, que finalmente afecta la riqueza pesquera de la región y la salud humana.

Por todo lo anterior, es de gran importancia determinar la calidad del agua al paso del tiempo, para así saber lo que propician algunos fenómenos (tanto humanos como naturales) que afectan el equilibrio, y así preservar estos ecosistemas lo mejor posible en todas las zonas.

La calidad del agua se puede determinar de diferentes formas y con diferentes parámetros, dependiendo de cual sea el uso que se le va a dar al agua, la preocupación y el enfoque del estudio.

Para el caso que nos compete, la calidad del agua de la zona de estudio tiene que permitir y no poner en riesgo la vida acuática de estos ecosistemas. Los lineamientos a este respecto se pueden observar en la Tabla 1.

Para determinar si estos cuerpos de agua tienen o no dicha calidad, es necesario obtener datos de parámetros fisicoquímicos del agua y compararlos con criterios de calidad del agua para preservación de vida acuática.

**TABLA 1. Lineamientos de Calidad del Agua.** Publicados en el Diario Oficial el 31 de diciembre de 1998. Comisión Nacional del Agua.

Parámetros (expresados en mg/L si no se especifican otras unidades)	Usos (protección de la vida acuática en aguas costeras y estuarios)
Fósforo Total	0.01
Nitritos	0.01
Nitratos	0.04
Nitrógeno amoniacal	0.01
Oxígeno disuelto	5.0 (valor mínimo admisible)
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.0-9.0
Temperatura (° C)	C.N. + 1.5
Sólidos suspendidos totales	30.0
Turbiedad (UTN)	---

La importancia de los parámetros determinados en este estudio se cita a continuación:

**Temperatura:** Una vez que el agua ha absorbido calor por su utilización en algún proceso industrial y es desechada, puede duplicar la actividad microbiana, aumentar la solubilidad de sales y analitos, disminuir la solubilidad del oxígeno, la demanda de oxígeno aumenta y la oferta disminuye; esto lleva a un déficit de oxígeno en el agua y, dependiendo de la cantidad de materia orgánica presente, se puede llegar a condiciones de putrefacción, con la consecuente generación de metano y ácido sulfhídrico (4).

**Oxígeno disuelto:** Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida (1).

**pH:** Puede afectar a la vida acuática ya que existe un rango para el desarrollo adecuado de microorganismos y peces, y fuera de estos límites el agua deja de ser un medio propicio para el desarrollo de la vida (4).

**Sólidos suspendidos totales y turbiedad:** Partículas como arcillas, limo y otras, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Estas partículas dificultan la entrada de luz solar a los cuerpos de agua provocando una disminución en la actividad fotosintética (1).

**Salinidad:** En este tipo de ecosistemas es fundamental saber la fluctuación de este parámetro, debido a que existe una gran cantidad de organismos que requieren de rangos de salinidad específicos, y de la cual la industria obtiene grandes beneficios, como lo es la industria ostrícola.

**Nutrientes:** Varios compuestos como el nitrógeno y el fósforo son nutrientes esenciales. Su presencia en exceso en aguas (junto con otros factores) es causa de eutroficación, la cual provoca el envejecimiento prematuro de los cuerpos de agua y la eventual extinción del mismo (1).

El nitrógeno se presenta en diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. Niveles altos de nitratos indican contaminación agrícola. Niveles altos de nitritos indican actividad bacteriológica. Niveles altos de amonio indican contaminación con fertilizantes y heces fecales (1).

El fósforo total incluye distintos compuestos como ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico (1).

Existen otros nutrientes como son los silicatos, los cuales son indispensables para organismos como radiolarios y diatomeas (3).

Con este tipo de estudios también se pueden implementar medidas de prevención y conservación de estos cuerpos de agua de una manera más adecuada y efectiva, observando el comportamiento que tienen los parámetros determinados.

## **OBJETIVOS**

- **OBJETIVO GENERAL**

Establecer estacionalmente la calidad del agua de las lagunas del municipio de Paraíso, Tabasco, y zonas aledañas durante tres épocas climáticas del año 2001 por medio de la medición de sus parámetros fisicoquímicos.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Evaluar parámetros fisicoquímicos como son la temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad para determinar la calidad del agua de estos ecosistemas.

Determinar la concentración de nutrientes (nitritos, nitratos, amonio, ortofosfatos y silicatos), así como los sólidos suspendidos para establecer la calidad del agua.

Comparar los resultados obtenidos con los límites permisibles en cuanto a la protección de la vida acuática, publicados en el Diario Oficial el 31 de diciembre de 1998.

Comparar los resultados obtenidos con algunos criterios internacionales como son, Estados Unidos y Canadá.

## ANTECEDENTES

La llanura costera del sureste del Golfo de México cuenta con una saturada red de escurrimientos, llanuras deltáicas, sistemas lagunares, esteros y marismas, que se extienden a lo largo del litoral a una distancia de más de 160 km. Entre los ríos Tonalá, San Pedro y San Pablo, donde se encuentran ubicados además tres de los ríos más importantes del país, el Mezcalapa, el Grijalva y el Usumacinta, así como los sistemas lagunares: Carmen-Pajonal-Machona y Mecoacán.

En la zona costera del estado de Tabasco, se localiza la llanura costera compuesta por las llanuras aluviales de los ríos Mezcalapa y Grijalva-Usumacinta y por pequeños lomeríos suavemente inclinados hacia el Golfo de México; esta compuesta por sedimentos del pleistoceno y por depósitos aluviales y lagunares del reciente. Su anchura aproximada es de 200 millas y era la zona de mayor depositación de sedimentos en la llanura costera del Golfo de México. La laguna aluvial del río Mezcalapa es un delta en arco limitado al Norte por el Golfo de México, al Sur y al Oeste por terrazas pleistocénicas y al Este por el delta del río Usumacinta. El delta está situado en una zona donde la energía del oleaje es relativamente alta.

Asimismo, las tierras bajas inundables y seminundables del sureste, constituyen la mayor extensión de planicies costeras de México, la cual está constituida por los deltas del sistema Grijalva-Usumacinta, cuyo gasto anual se estima en  $95 \times 10^3 \text{ m}^3$ , lo cual equivale al 23% del flujo total del país.

El sistema lagunar Mecoacán, pertenece a la región hidrológica 30, subcuenca hidrológica W1097 y se encuentra asociado a otros Cuerpos de agua superficiales como el Río González, las lagunas Tinaja, Eslabón, Troncón, Pomposú, la Negrita, la Tilapa, Manatí y Arrastradero; en estos cuerpos de agua se mantienen diversas interacciones biológicas y ecológicas, lo cual hace de esta zona un área con alto valor ecológico, cultural y socioeconómico que justifican plenamente llevar a cabo programas de desarrollo sustentables para su conservación y aprovechamiento, asimismo, poder enfrentar los problemas que las actividades antropogénicas puedan provocar.

El sistema lagunar Carmen–Pajonal-Machona en Tabasco ha sido ampliamente estudiado debido a la problemática social presentada después de la apertura de la Boca de Panteones (1975) y también es la zona en donde diversas entidades gubernamentales han invertido una gran cantidad de recursos económicos (Gómez y Reséndez, 1986; Granados y Ramos, 1993; Jiménez, 1987; Jiménez *et al*, 1987).

Algunas de las causas que han contribuido a que estos ecosistemas se vean amenazados son los derrames petroleros por la perforación de pozos, (Zavala, 1988), así como la extracción de productos forestales y de fauna silvestre, además de una creciente penetración cultural debida a una – Modernización- eventual en el estado.

Otra es, y muy importante, las aguas residuales. Los nutrientes nitrógeno y fósforo generados por estas fuentes pueden acrecentar el desarrollo del proceso de eutroficación, el cual es el aceleramiento del crecimiento natural de organismos fotosintéticos como las algas y plantas acuáticas, lo que provoca el envejecimiento prematuro y la extinción de los cuerpos de agua (Luna, P. y Ramírez H., 2004).

En México, sólo 20% del agua recibe tratamiento, lo que significa que una inmensa cantidad de agua se vierte a ríos, lagos o lagunas sin ningún tratamiento previo, ocasionando la contaminación y reducción del agua disponible para su uso. La Comisión Nacional de Agua realiza la medición de la calidad del agua a través de la Red Nacional de Monitoreo, conformada de 964 sitios y 357 estaciones de monitoreo a nivel nacional. (INEGI, 2006). Cabe mencionar que estos monitoreos aún no son suficientes debido a la alta contaminación y gran número de ecosistemas que existe.

En el Estado de Tabasco, existen 59 plantas de tratamiento de aguas residuales en operación; en el Municipio de Paraíso, Tabasco sólo existen 2 plantas, las cuales llevan su proceso por medio de filtros biológicos. Una tiene capacidad de tratar 75 L/s, mientras que la otra trata 10 L/s y sus cuerpos receptores son el Río Seco y Río el Limoncito, respectivamente (CNA, 2005).

Aunque a la fecha las costas de Tabasco han sido estudiadas extensamente en diferentes especialidades, tales como la geología, geofísica, suelos, vegetación, hidrología, contaminación, calidad del agua (Signoret *et al.*, 1981, Flores, 1984, Antoli y García-Cubas, 1985, entre otros), dichos trabajos han sido desarrollados en forma aislada y no analizados de forma integral.

Las diferentes zonas ecológicas acuáticas, semiacuáticas y terrestres presentes en el área, cuentan con una gran biodiversidad y productividad biológica (Lot, *et. al.*, 1975), por lo que es fundamental proteger la calidad del agua que llega a los estuarios, lagunas costeras y aguas marinas del Golfo de México (Gutiérrez y Galavíz, 1983; Galavíz *et. al.*, 1987).

Uno de los esfuerzos implementados ha sido la creación de espacios para el resguardo de recursos naturales, los cuales por muchos años en México estuvieron catalogados como Parques Nacionales o simplemente Reservas Ecológicas, creados principalmente en la zona templada del País y operadas con un espíritu conservacionista donde el aprovechamiento de los bienes y servicios eran casi imposibles. Esta situación en ocasiones provocaba confusiones en cuanto a la tenencia de la tierra o bien aceleraba procesos de deterioro de los recursos naturales que en un principio se pretendía proteger y de forma conjunta se suscitaban mayores rasgos de marginación hacia los pobladores o poseedores del recurso. Por ello, los estudios deben ser enfocados a su manejo sustentable (Bezaury-Creel, 2005).

## DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ZONIFICACIÓN

El área de estudio para este trabajo comprendió una escala física, con base a criterios hidrológicos, a saber:

- **Microcuenca:** Laguna Tilapa, Laguna la Negrita, Laguna Tinaja, Laguna el Eslabón, Laguna de las Flores (Arrastradero), la desembocadura del Río González, lagunas Pomposú, el Troncón y el Naranja, y rada portuaria de la Terminal Marítima Dos Bocas.

Físicamente las microcuencas se encuentran inmersas en la Región Hidrológica RH30 Grijalva-Usumacinta, dentro de la cuneca Tonal-Coatzacoalcos, que colinda con la cuenca Bajo Grijalva-Planicie (Fig. 1). Socioeconómicamente la microcuenca Laguna de las Flores (Arrastradero), así como la rada del Terminal Marítima Dos Bocas, se encuentran dentro del municipio de Paraíso; la desembocadura del Río González se localiza en el linde de los municipios de Paraíso y Centla; el sistema lagunar Pomposú, el Troncón y el Naranja quedan comprendidas dentro de los municipios de Jalpa de Méndez y Centla, todo dentro del Estado de Tabasco.

Laguna de las Flores (Arrastradero), se localiza entre las coordenadas 18°20' a 18°30' de Latitud Norte y 93°04' a 93°10' de Longitud Oeste, el cuerpo principal de forma irregular presenta una superficie aproximada de 7984937.1 m<sup>2</sup>, se encuentra rodeada por pantanos y se encuentra conectada a un sistema de lagunas costeras por el canal denominado El Corcho.

Rada portuaria de la Terminal Marítima Dos Bocas, se localiza entre las coordenadas 18°25'52" a 18°27'11" de Latitud Norte y 93°11'01" a 93°12'50" de Longitud Oeste.

En su parte Norte, próxima a la desembocadura del Río Seco y la Barra de Dos Bocas, se localiza la Isla Morelos; al Sur de ella el cuerpo lagunar sufre un estrechamiento llamado Boca Grande, formado por una barra de bellote y un grupo de pequeños islotes que forman parte del sistema lagunar y asociados a la laguna principal se localizan dos cuerpos de agua pequeños denominados lagunas Tilapa y La Negrita.

El Sistema de lagunas Pomposú, el Troncón y el Río Naranja, se localiza entre las coordenadas 18°19'17" a 18°20'30" de Latitud Norte y 93°01' a 93°02' de Longitud Oeste. El sistema se encuentra rodeado por pantanos.

La superficie estudiada de la desembocadura del Río González, se localiza entre las coordenadas 18°24' a 18°26' de Latitud Norte y 93°00' a 93°05' de Longitud Oeste.



FIGURA 1. Distribución de estaciones en el área de estudio.

### **Características hidrológicas de la Zona I.**

Se compone por seis estaciones de muestreo (1-6), distribuidas en la Laguna de Las Flores (Arrastradero) (Fig. 2).



FIGURA 2. Zona I.

### **Características hidrológicas de la Zona II.**

Se constituye por cinco estaciones de muestreo (7-11), distribuidas en la Escollera Oeste, la Dársena y el Canal de Dos Bocas (Fig. 3).



FIGURA 3. Zona II.

### **Características hidrológicas de la Zona III.**

Esta compuesta por doce estaciones (12-23), distribuidas en las lagunas Tilapa, Negrita, Eslabón y Tinaja; Río Seco y Arroyo Hondo (Fig. 4).



FIGURA 4. Zona III.

### **Características hidrológicas de la Zona IV.**

Esta zona se compone de las lagunas de Enmedio, Troncón y Pomposú (24-26) (Fig. 5).



FIGURA 5. Zona IV.

### **Características hidrológicas de la Zona V.**

Esta zona esta compuesta por cinco estaciones (27-31), distribuidas a lo largo del Río González (Fig. 6).



FIGURA 6. Zona V.

Delimitar zonas nos sirve para que en caso que se requiera, poder detectar de manera rápida y puntual alguna anomalía, que la ocasiona, y a su vez, encontrar la solución a ésta.

### **Clima**

El clima es cálido-húmedo, con abundantes lluvias en verano, presenta cambios térmicos en los meses de noviembre, diciembre y enero. Mayo es el mes más caluroso y la temperatura máxima promedio es de 30.5°C, y la mínima se registra en el mes de enero y es de 22°C; la temperatura media anual es de 26°C, la máximo y la mínima absolutas alcanzan los 44°C y los 12°C respectivamente (1).

Las mayores velocidades de viento se concentran en los meses de octubre, noviembre y diciembre, con velocidades que alcanzan los 30 k/h., presentándose en mayo y junio las menores, con velocidad de 21 km. por hora (1).

La precipitación pluvial promedio anual es de 1,751.4 mm (1).

## **Flora**

La vegetación es de selva secundaria media perennifolia de 15 a 30 metros de altura; sin embargo, muchas de estas áreas han sido perturbadas, originándose otros tipos de vegetación más bajas e inestables; hay manglares en las zonas bajas e inundables (1).

Dentro de la flora destacan los árboles frutales como la naranja dulce y agria, limón, limón real, toronja, lima, macuilí, guayacán, bejuco, cacao, pataste, guásimo, achiote, ceiba, pochote, zapote de agua, tumbilí, ciricote, palo mulato, pita, piñuela y nopal (1).

## **Fauna**

Con respecto a la fauna, hay garzas, chocolateras, martín pescador, gaviotas, calandria, cenizote, zanate, pea, golondrinas, zopilotes, pericos, pájaros carpinteros, mico de noche, zorro, tortugas de mar y de río, hicoitea, guao, y chiquigao y gran cantidad de pequeños reptiles (1).

## **Recursos Naturales**

Se explotan yacimientos petroleros en dos campos: el Puerto Ceiba Mesozoico con dos pozos, y el Puerto Ceiba Terciario con dos pozos; tienen una producción diaria de 2,117 barriles; y un volumen de producción diaria de gas natural de 1.2 millones de pies cúbicos (1).



FOTOGRAFÍA 1. Ejemplo de flora e hidrología en el Municipio de Paraíso, Tabasco.

## METODOLOGÍA

Se llevaron a cabo 3 muestreos en diferentes estaciones del año 2001. El primer muestreo se realizó en el mes de Mayo, en la temporada de secas o estiaje; el segundo en el mes de Julio, en la temporada de lluvias, y el tercero se hizo en el mes de Noviembre, en temporada de nortes.

Para el estudio se eligieron 31 estaciones de muestreos distribuidas en toda el área de interés y en cada una de las estaciones se tomaron 2 tipos de muestra: superficie y fondo, recolectadas en botellas de plástico de 1000 mL nuevas y previamente etiquetadas con la estación y el nivel correspondiente, para posteriormente determinar la concentración de nutrientes, así como los sólidos suspendidos.

Se realizó una zonificación del área de estudio, esto con el fin de detectar de manera rápida y puntual (si es que es el caso), zonas de mala calidad de agua que pudieran poner en riesgo estos ecosistemas.

Las determinación de salinidad, temperatura, pH y oxígeno disuelto se midieron *in situ* con equipo multisensor Hydrolab Surveyor-Data Sonde 3, el cual se compone de sensores de conductividad, termopar, electrodo combinado, sensor de turbiedad y electrodo de oxígeno disuelto, calibrados con soluciones estándar de Hach.

Para la determinación de nutrientes se realizó un tratamiento previo de las muestras al momento de tomarlas; primero se filtro un volumen de 25 mL para cada nutriente con ayuda de un sistema de filtración a base de un portafiltros de 5 cm. de diámetro Swinnex-47 Millipore, con un filtro de membrana de nitrocelulosa Millipore con poro de 0.45  $\mu\text{m}$  de diámetro. También se utilizó una jeringa de 50 mL.

Las muestras filtradas se recolectaron en recipientes de plástico de 25 mL limpios y previamente etiquetados con el analito, la estación y el nivel correspondiente.

Después se añadió de 2 a 3 gotas de azida de sodio al 5% a la muestra filtrada destinada para la determinación de ortofosfatos, y 2 a 3 gotas de fenol al 10% para la muestra filtrada de amonio.

La conservación y transportación de las muestras para determinar nutrientes, se llevó a cabo a una temperatura de 4°C a excepción de las muestras para silicatos, las cuáles se conservaron a temperatura ambiente. Las muestras para sólidos suspendidos se conservaron en una cámara fría a 4°C durante toda la parte experimental.

La determinación de la concentración de nutrientes se llevó a cabo mediante técnicas colorimétricas (APHA, 1992).

**Nitritos:** El nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) se determina por la formación de un colorante azo púrpura rojizo, producido a pH 2.0 a 2.5 por acoplamiento de sulfanilamida diazotizada con diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina (diclorhidrato de NED). La absorbancia máxima es a una longitud de onda de 543 nm.

**Nitratos:** El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) se reduce casi cuantitativamente a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) en presencia de cadmio (Cd). Este método utiliza Cd comercial en gránulos tratado con sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) y como relleno de una columna de vidrio. El nitrito formado se determina como se describió anteriormente.

**Amonio:** En la reacción del amoníaco con hipoclorito de sodio y fenol en medio citrato-alcalino, en presencia de una sal manganosa, la cual actúa como catalizador, se forma indofenol, un compuesto azul intenso. El color azul del indofenol formado con el amonio es cuantificado a una longitud de onda de 640 nm.

**Ortofosfatos:** Se realiza un pretratamiento de la muestra y después se forma ácido molibdofosfórico que se reduce con cloruro estagnoso a azul de molibdeno de color intenso. Esta coloración se mide al cabo de 10 minutos pero antes de los 12 a una longitud de onda de 690 nm para soluciones acuosas.

**Silicatos:** A pH aproximado de 1.2, el molibdato amónico reacciona con sílice y cualquier fosfato presente en la muestra para producir heteropoliácidos. El ácido oxálico se adiciona para destruir el ácido molibdofosfórico, pero no el molibdosilísico. La intensidad del color amarillo es proporcional a la concentración de sílice. Se lee a una longitud de onda de 410 nm.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos, así como su análisis y discusión, de acuerdo a la zonificación establecida, la profundidad del muestreo y la temporada en que se realizó. Al final de esta sección se realiza un análisis comparativo con respecto a los criterios ecológicos de calidad del agua de la comisión nacional del agua (CNA), publicados en el Diario Oficial de la Federación del 31 de diciembre de 1998 (Tabla 1).

- Zona I. Laguna de las Flores, (Laguna Arrastradero).
- Zona II. Dársena Dos Bocas, Escollera Oeste y Canal de Dos Bocas.
- Zona III. Río Seco, Laguna Tilapa, Laguna Negrita, Arroyo Hondo, Laguna Eslabón y Laguna Tinaja.
- Zona IV. Laguna de Enmedio, Laguna Troncón y Laguna Pomposú.
- Zona V. Río González.

Todos los resultados se graficaron continuos y de acuerdo con el orden de las zonas de estudio, debido a que en este trabajo se trata observar la calidad del agua y sus interacciones biológicas con el medio que lo rodea de manera integral.

### Temperatura.

La temperatura afecta a los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los cuerpos de agua, en consecuencia las reacciones metabólicas, la salinidad, entre otros, así como la solubilidad de los gases, tales como el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub>.

Las temperaturas fluctúan estacionalmente con un mínimo durante el invierno (nortes) y un máximo en el verano. El área de estudio se encuentra en una zona tropical con temperaturas relativamente altas (Fig. 7).

La temperatura fluctuó de 22.72 °C a 33.38 °C. En general los valores promedio fueron mayores tanto a nivel superficie como de fondo durante la época de lluvias; mientras que durante la época de nortes se encontraron, tanto en superficie como en fondo los menores valores promedio, a excepción de la Zona II, donde se registraron durante el primer muestreo (época de estiaje) (Fig. 7).

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua sólo especifican que para la protección de la vida acuática, la temperatura no debe exceder en +1.5 °C los valores registrados en condiciones naturales del cuerpo de agua. Teniendo como base los valores reportados con anterioridad para la zona como condiciones naturales, se puede señalar que este parámetro se encuentra dentro de los límites de los criterios ecológicos del aprovechamiento y uso del agua (Díaz, 2002).

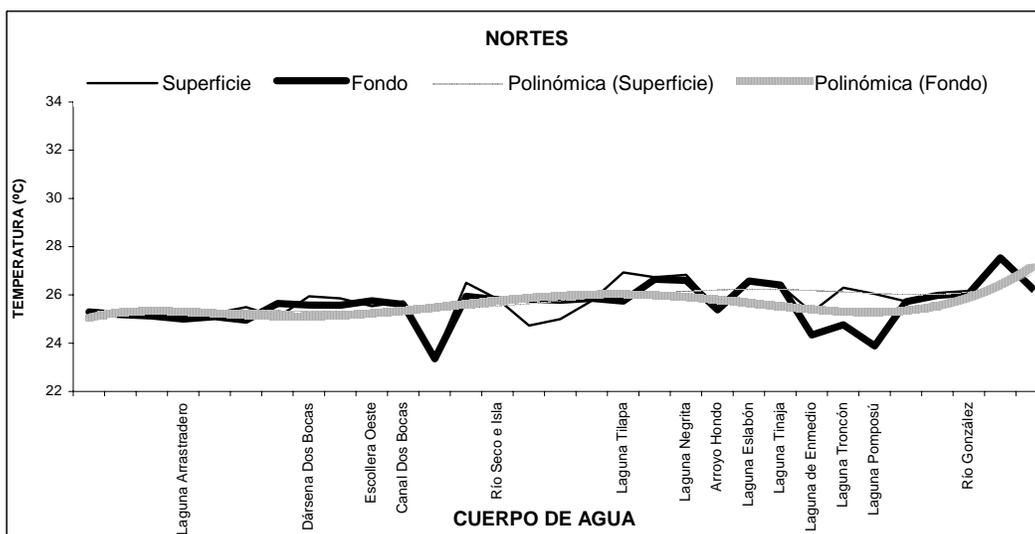
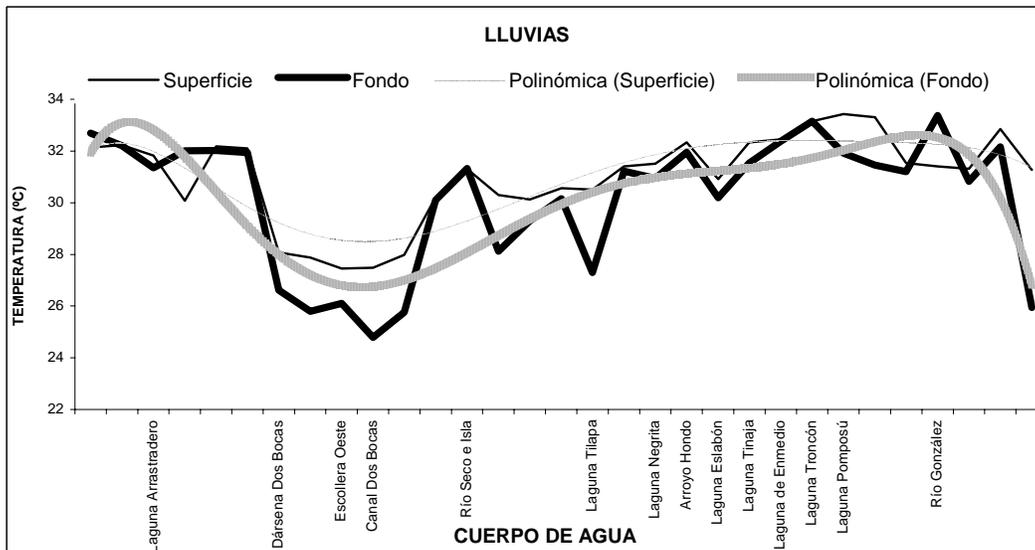
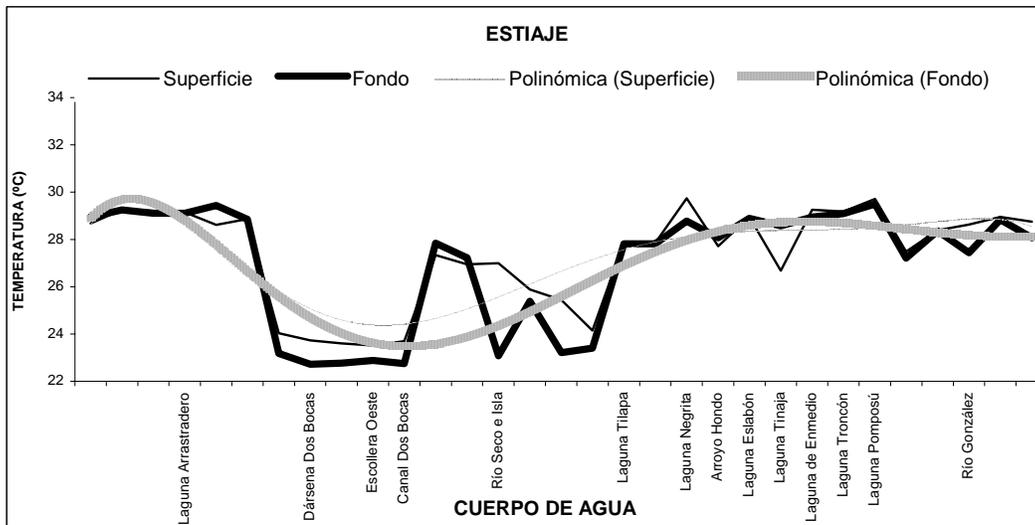


FIGURA 7. Distribución de temperatura por estación, nivel y época climática.

## **Oxígeno Disuelto.**

La solubilidad del oxígeno disminuye cuando se incrementan la salinidad y la temperatura. La concentración de oxígeno en aguas no contaminadas generalmente es igual a su solubilidad, en agua de mar (5.6 mg/L; Millero, 2006) o agua dulce (7.1 mg/L; Margalef, 1986); las variaciones en el contenido de oxígeno, se dan estacionalmente y sobre períodos de 24 horas, en relación con la salinidad, la temperatura y la actividad biológica (Chapman y Kimstach, 1992).

Los valores de este parámetro se encontraron generalmente por arriba del límite de 5.0 mg/L establecido por los criterios ecológicos de calidad del agua para la protección de la vida acuática (CNA, 1998); excepto durante el segundo muestreo (época de lluvias), donde en algunas estaciones los valores disminuyen a límites anóxicos (<2 mg/L), principalmente en las zonas I y III; los valores promedio de fondo de la Zona II y la Zona III, están por debajo del límite, pero no representan riesgo para la biota acuática (Fig. 8).

Se observa claramente que los valores son ligeramente más elevados en la superficie (Fig. 8), y esto es gracias al intercambio de O<sub>2</sub> que existe entre la capa superficial de los cuerpos de agua con el aire del entorno (atmósfera). La disminución de oxígeno disuelto en el fondo se debe principalmente a que no existe este intercambio y a que los procesos biológicos son mayores y requieren de mayor cantidad de oxígeno.

Durante la época de nortes, los valores fueron superiores al nivel mínimo para la supervivencia de la biota debido a la gran actividad biológica del fitoplancton y probablemente por el efecto de los vientos, los cuales incrementan la mezcla en la columna de agua y también disminuyen la temperatura, aumentando la solubilidad del oxígeno (Fig. 8).

Los valores mínimos anuales se observan en la época de lluvias, en la cual la temperatura es más elevada, haciendo al oxígeno menos soluble y acelerando el metabolismo de los peces, lo que termina en una disminución de oxígeno disuelto disponible (Fig. 8). Además, cuando hay muchas bacterias o minerales acuáticos en el agua, forman una sobrepoblación, usando el oxígeno disuelto en grandes cantidades.

Los niveles de oxígeno también pueden ser reducidos a través de la sobrefertilización de las plantas; los fertilizantes contienen nitratos y fosfatos (ingredientes de los fertilizantes). En estas condiciones, el número y el tamaño de las plantas acuáticas aumentan. Entonces, si el agua llega a estar turbia por días, la respiración de la plantas utiliza mucho oxígeno disuelto. Cuando las plantas mueren, son comidas por bacterias, las cuales tienen alta multiplicación y usan grandes cantidades de oxígeno.

Con frecuencia aparecen desviaciones en las concentraciones de oxígeno, sobre todo en forma de una ligera sobreproducción producida por un exceso de actividad fotosintética con respecto a las pérdidas hacia la atmósfera, restableciéndose después el equilibrio (Wetzel, 1995).

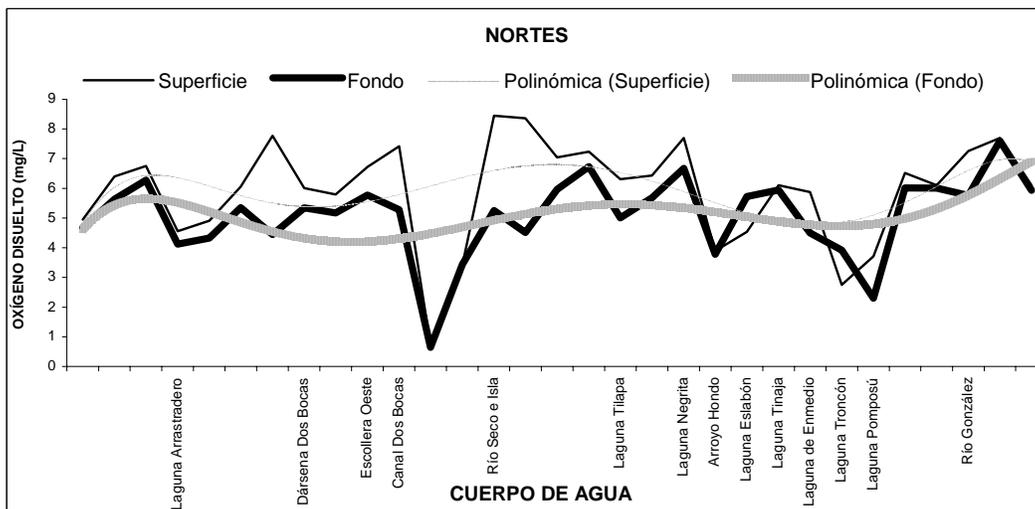
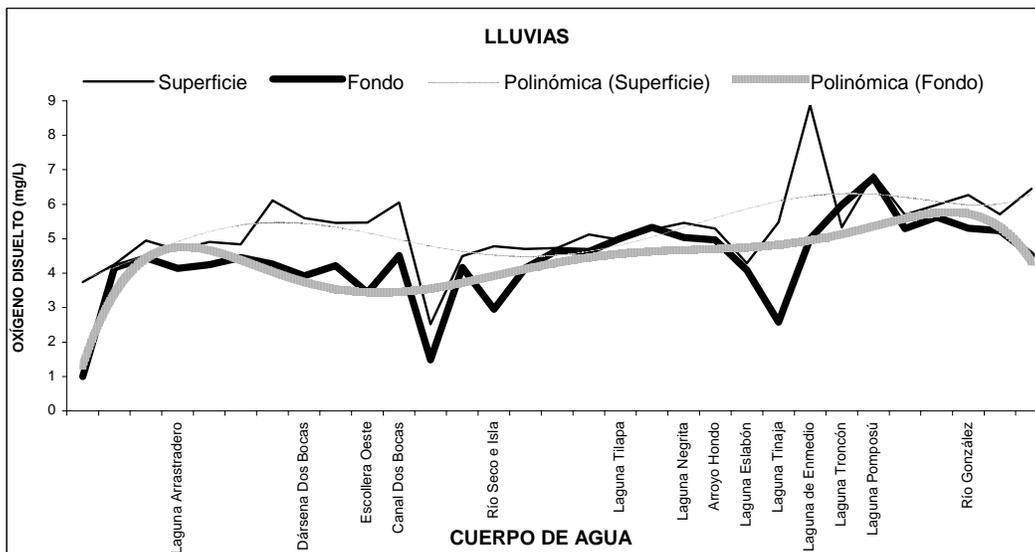
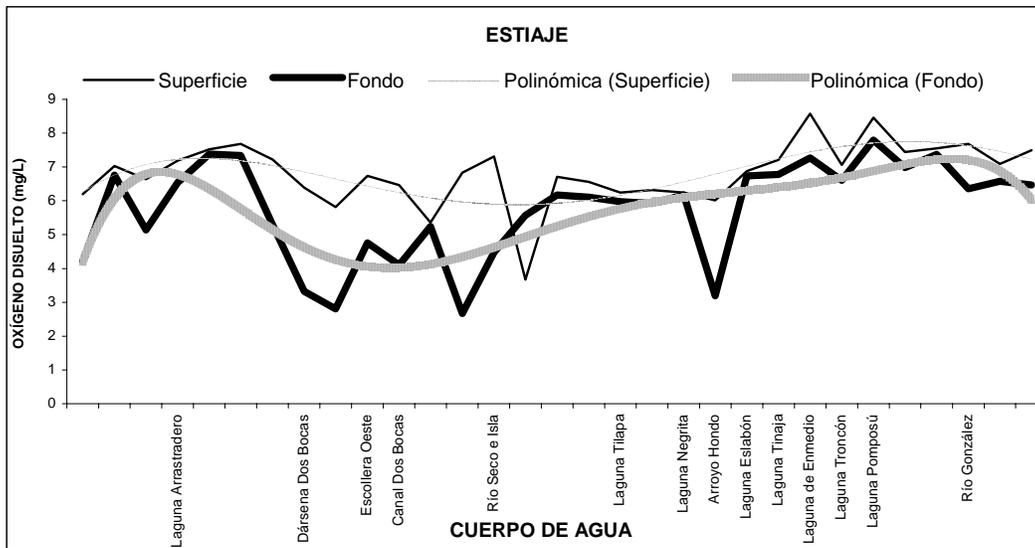


FIGURA 8. Distribución de oxígeno disuelto por estación, nivel y época climática.

## pH.

El pH en aguas estuarinas no contaminadas es de 6.8 a 9.25, éste último se encuentra en aguas superficiales de estuarios altamente estratificados. En agua de mar varía de 7.5 a 8.4 en promedio dependiendo de la profundidad (Kenish, 1986; Millero, 2006).

Los valores obtenidos fluctúan entre 6.66 y 9.27, quedando fuera del límite máximo establecido como guía para protección de la vida acuática (CNA, 1998). Tanto en superficie como fondo, el tercer muestreo (época de nortes) cuenta con valores promedio bajos, principalmente para las Zonas III, IV y V. El primer muestreo presentó los máximos valores promedio en superficie y fondo, siendo mayores los de las Zonas III, IV y V. El segundo muestreo registro los valores más bajos tanto en superficie como en fondo en la Zona I (Fig. 9).

La zona II (agua predominantemente marina) tiene únicamente valores dentro de especificación en temporada de lluvias, posiblemente porque existe un mayor equilibrio entre el agua “dulce” y la de mar (Fig. 9).

En cuanto a la variación debido a la época climática, se observa que el comportamiento del pH es directamente proporcional a la temperatura. Esto explica porque en época de nortes el pH sea menor y en época de estiaje sea elevado (Fig. 9).

Se observa que en época de lluvias el pH es menor que en época de estiaje y mayor que en época de nortes; a pesar de que existe una mayor temperatura, también existe una mayor cantidad de agua “dulce”, la cual es de pH menor y es la que disminuye el pH. Por esto existe un equilibrio más estable (Fig. 9).

En relación a la distribución de pH con la profundidad del muestreo, se ve claramente que no existe ninguna relación, salvo algunos puntos en donde se aprecia una diferencia entre superficie y fondo (Fig. 9). Esto muy probablemente se debe a que estos cuerpos de agua son muy someros, lo que ayuda mucho a una mejor mezcla entre el agua superficial y la de fondo.

En general se observa que el pH fue mayor en las lagunas que no tienen contacto alguno con agua marina; y por el contrario, se observó que el pH menor se tuvo en las zonas que tienen mezcla con agua marina (Fig. 9). Esto es porque el agua marina tiene un pH mas bajo que el agua “dulce”, debido a la composición misma del agua “dulce”, la cual alcaliniza un poco el medio. También existen factores exógenos al medio como los desechos del hombre, los cuales alteran de manera significativa este y otros parámetros.

El agua marina, al ser mayor en volumen y tener una mayor circulación, no altera sus condiciones tan significativamente, por lo que se mantiene más estable en su pH y en otros parámetros, como por ejemplo la salinidad, temperatura, etc.

Existen mas procesos que influyen en este parámetro, como la respiración, la fotosíntesis y la actividad microbiana, los cuales son en proporción, mayores en aguas epicontinentales que en aguas marinas (Millero, 2006).

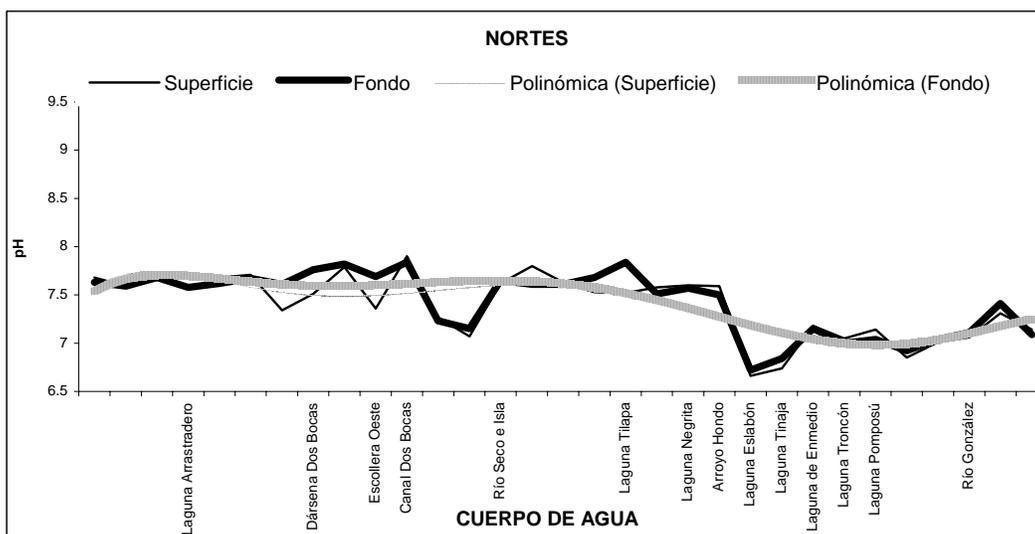
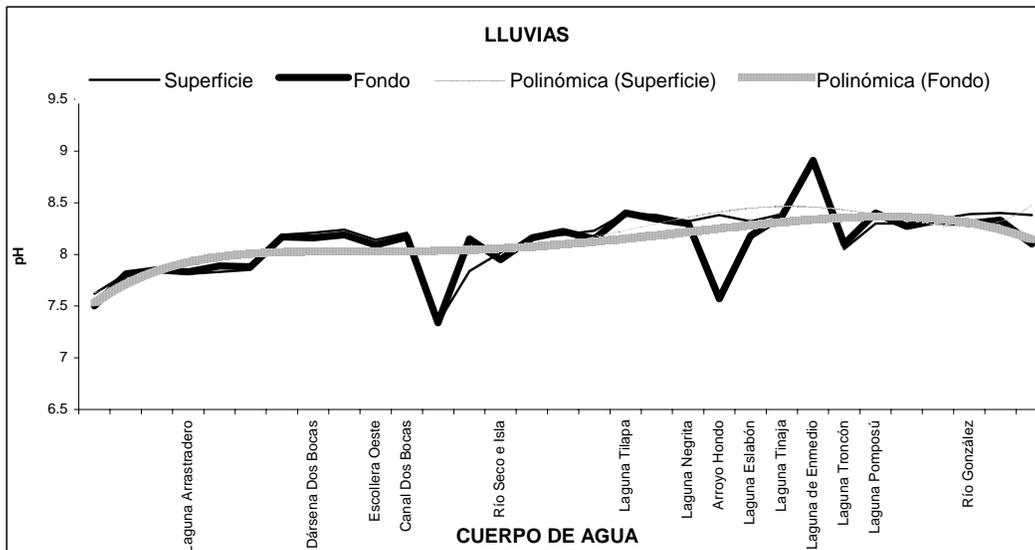
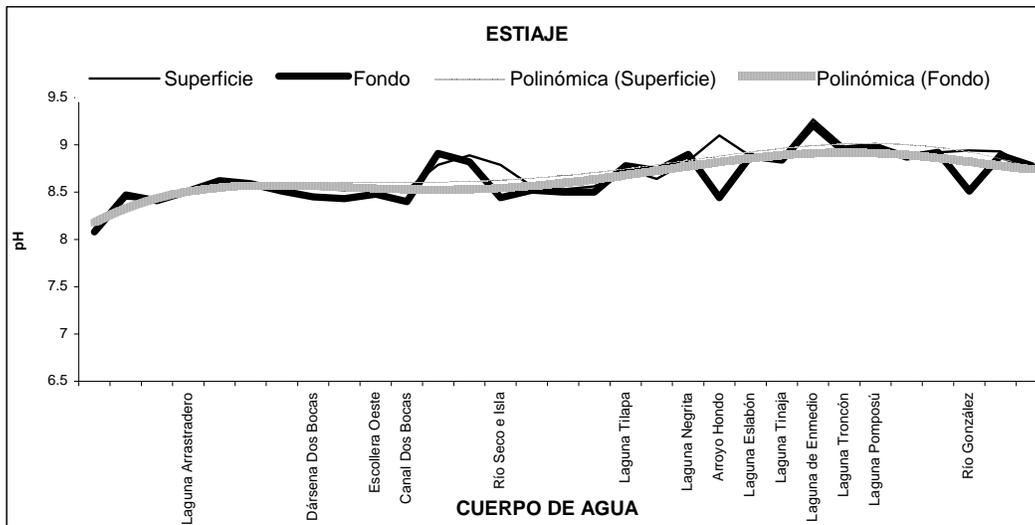


FIGURA 9. Distribución de potencial de hidrógeno por estación, nivel y época climática.

## **Turbiedad.**

Es el resultado de la dispersión y absorción de luz que incide en las partículas y la transparencia es el límite de la visibilidad en el agua. Ambas pueden variar estacionalmente de acuerdo a la actividad biológica en la columna de agua y el material acarreado por las corrientes fluviales (Chapman y Kimstach, 1992).

Los criterios ecológicos de la calidad del agua señalan que los sólidos suspendidos en combinación con el color no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural y que este parámetro no debe de exceder las CN  $\pm 1.5$ .

No se tienen datos de este parámetro reportados en la literatura, por lo cual es difícil señalar su variación respecto a los criterios ecológicos. Como fue señalado en el párrafo anterior, se deberá de tener en cuenta que la turbidez esta en función de los sólidos suspendidos (orgánicos e inorgánicos) y éstos varían de una época a otra, por lo tanto se deberá de establecer un valor natural para las tres épocas características de la zona: secas, lluvias y nortes.

Con base a lo anteriormente señalado y al comparar los datos de turbidez obtenidos en los diversos cuerpos de agua estudiados, durante éstas dos épocas se tiene que:

- i) Para la época de secas (dominada por temperaturas altas y poco viento) este parámetro presentó un intervalo de 5 a 130 NTU (Fig. 10).
- ii) Para la época de lluvias (cabe mencionar que llovió poco) este parámetro presentó un intervalo de 3 a 103 NTU (Fig. 10).
- iii) Para la época de nortes (dominada por fuertes vientos) este parámetro fluctuó de 1 a 93 NTU (Fig. 10).

En este punto es necesario señalar que las condiciones naturales de este parámetro no guardan una homogeneidad (Fig. 10), como en el caso de la temperatura, pH, etc., ya que este parámetro depende de diversas variables como los escurrimientos, la cantidad de materia orgánica, el tipo de sedimento, la vegetación, etc. por tal motivo y como en la zona se encuentran diversos organismos acuáticos se puede decir que este parámetro se encuentra dentro de los valores reportados en sus condiciones ambientales y que esta permitiendo el desarrollo de la vida acuática.

El grado de turbidez depende de la finura de las partículas y de su concentración la intensidad y carácter del enturbamiento dependerá del tipo de suelo sobre el que el agua haya circulado y de la velocidad de la misma.

La determinación de la turbiedad es importante, entre otras, por las siguientes razones:

- La turbiedad excesiva reduce la penetración de la luz. Al disminuir ésta, se afecta la producción de oxígeno por fotosíntesis.
- Cuando los valores de turbiedad llegan a 200 o más unidades se pone en peligro el sistema ecológico (Castro, H., 2003).

Este parámetro es muy útil si se utiliza junto con otros parámetros para determinar ciertas características de un cuerpo de agua y así poder decidir si esta en peligro su ecosistema.

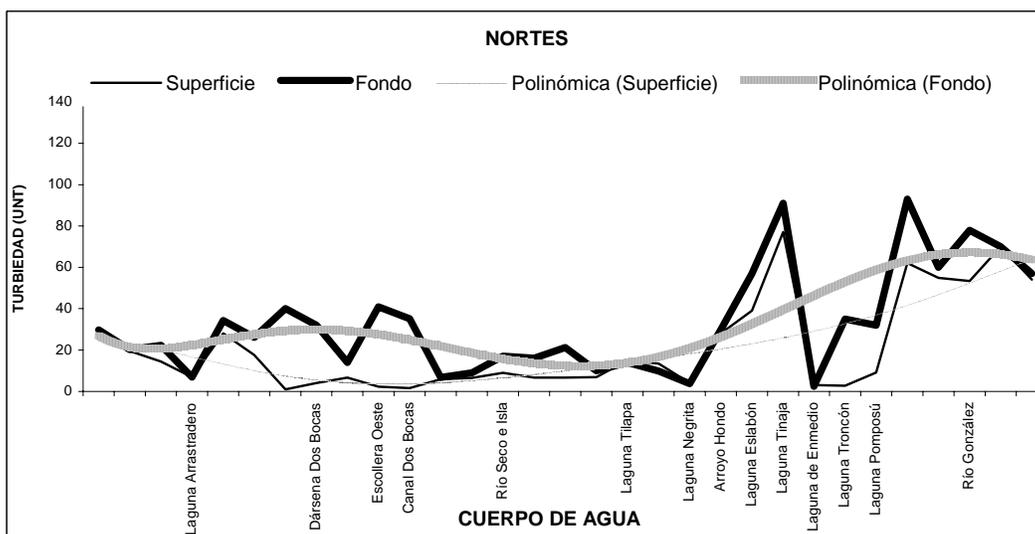
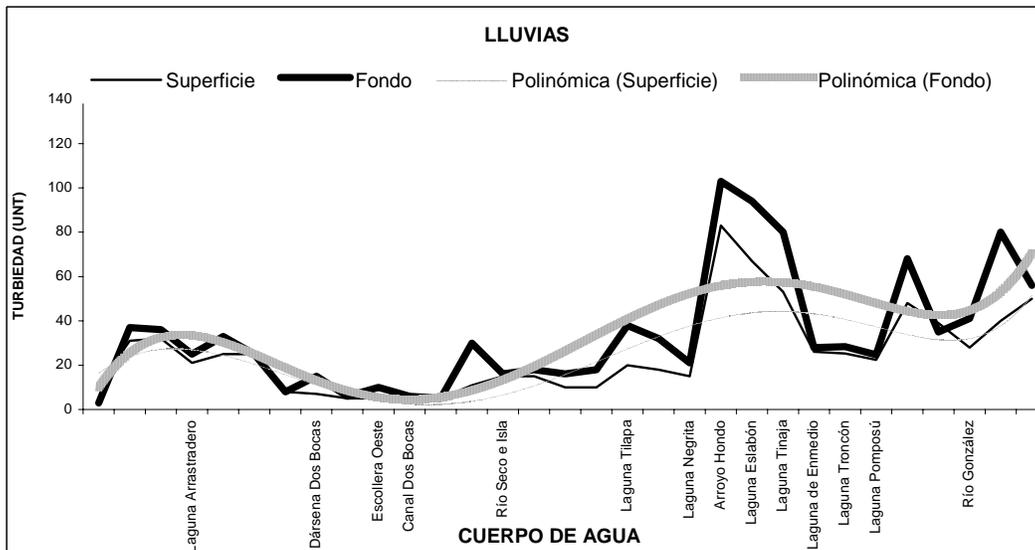
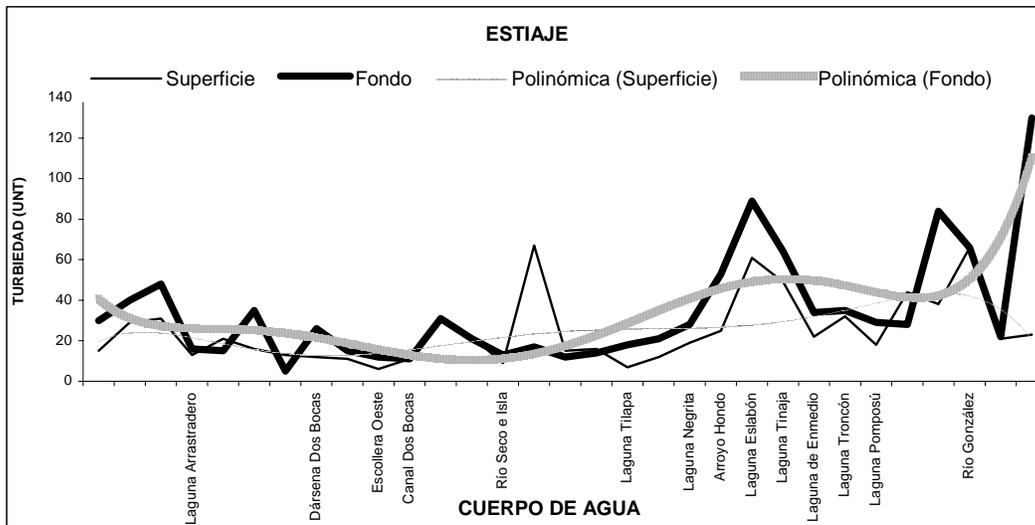


FIGURA 10. Distribución de turbiedad por estación, nivel y época climática.

## **Sólidos Suspendidos.**

Al igual que para la turbiedad los criterios ecológicos de la calidad del agua señalan que los sólidos suspendidos en combinación con el color no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural; no existen valores anteriores para establecer las condiciones naturales y además, también se tiene que tomar en cuenta que varía con la estación climática.

Con base a lo anteriormente señalado y al comparar los datos de los sólidos suspendidos obtenidos en los diversos cuerpos de agua estudiados durante éstas dos épocas, se tiene que:

- Durante la época de secas o estiaje este parámetro se encontró en el intervalo de 10 a 106 mg/L (Fig. 11).
- Durante la época de lluvias se registraron valores entre 4.4 mg/L y 105.6 mg/L (Fig. 11).
- Durante la época de nortes este parámetro fluctuó de 4 a 52 mg/L, en el nivel superficial y de 8 a 61.0 mg/L en el nivel de fondo (Fig. 11).

Al igual que la turbiedad, para los sólidos suspendidos es necesario señalar que las condiciones naturales de este parámetro no guardan una homogeneidad (Fig. 11), como en el caso de la temperatura, pH, etc., ya que este parámetro depende de diversas variables como los escurrimientos, la cantidad de materia orgánica, el tipo de sedimento, la vegetación, etc. por tal motivo y como en la zona se encuentran diversos organismos acuáticos se puede decir que este parámetro se encuentra dentro de los valores reportados en sus condiciones ambientales y que esta permitiendo el desarrollo de la vida acuática.

En esta determinación lo que si se aprecia es que en el fondo es en donde se obtienen los valores más elevados casi en su mayoría (Fig. 11). Esto se debe a que existe un arrastre natural por parte de las corrientes de agua, lo que ocasiona un desprendimiento de partículas desde el sedimento. Otra causa de valores elevados en el fondo puede ser un mal muestreo, en el cual se llegase al fondo del cuerpo sin saberlo y obtener agua con exceso de sedimento; o simplemente que la velocidad con que se hace el muestreo sea suficiente como para desprender partículas del sedimento.

Este parámetro es también importante puesto que si en el agua existe una gran cantidad de partículas suspendidas, es mas difícil que la luz penetre hasta donde debe, produciendo un decaimiento en procesos importantes como es la fotosíntesis. Además, entre más sólidos suspendidos existan en el cuerpo de agua, se dificulta más la supervivencia de especies de peces de respiración branquial y éxito pesquero. (SEDESPA, 2006).

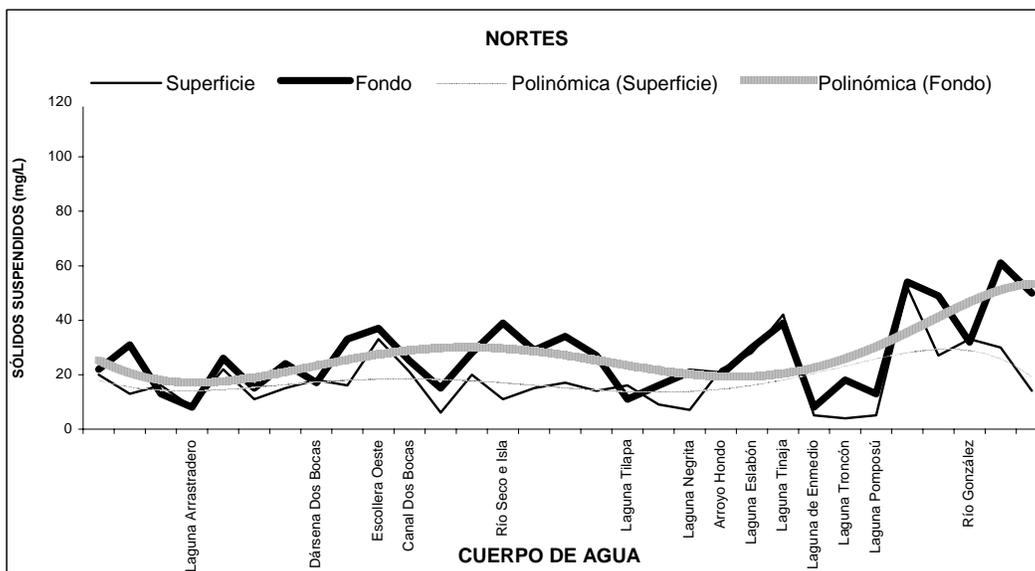
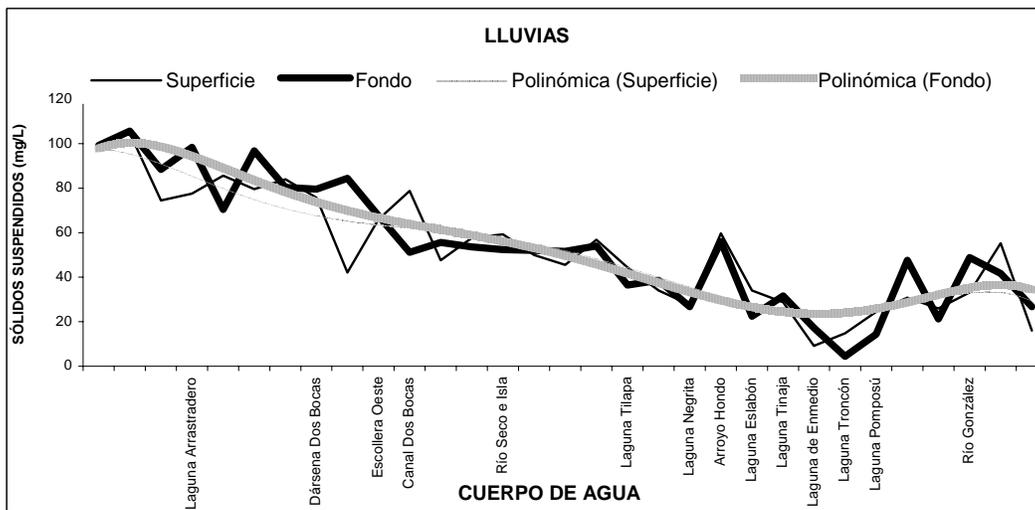
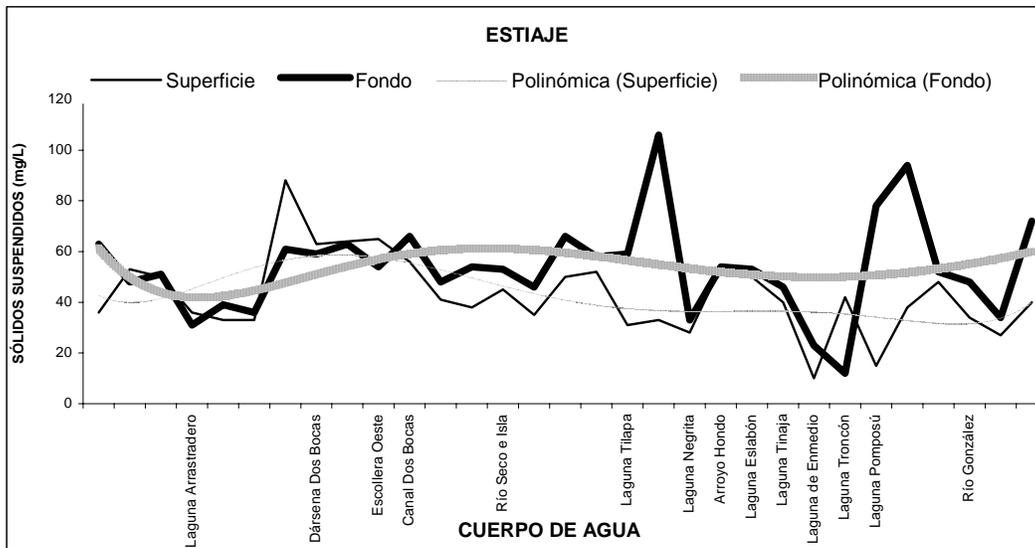


FIGURA 11. Distribución de sólidos suspendidos por estación, nivel y época climática.

## **Salinidad.**

Los cuerpos acuáticos costeros poseen la característica de una mezcla de agua de diferente origen. Esta característica es fundamental en el comportamiento ecológico, ya que varía en el espacio y en el tiempo (Contreras y Zabalegui, 1988), reflejando los patrones de salinidad una gran influencia de la marea, la descarga de los ríos y la acción de los vientos dominantes como agentes primarios de cambio.

La salinidad fluctuó de 0.2 UPS a 36.9 UPS. En general los valores promedio fueron mayores tanto a nivel superficie como de fondo durante la época de lluvias; mientras que durante la época de nortes se encontraron, tanto en superficie como en fondo los menores valores promedio, a excepción de la Zona II, donde se registraron durante el primer muestreo (época de estiaje) (Fig. 12).

Se registraron valores máximos en fondo, en las cinco zonas (Fig. 12). Esto se debe a que la densidad del agua es directamente proporcional a su salinidad. Esto explica valores mayores incluso en ríos, puesto que existe entrada de agua marina por debajo y salida de agua dulce por arriba, creándose después una mezcla entre ambos tipos de agua.

En cuanto a zonas, los valores máximos se registraron en la zona II, puesto que es en donde predomina el agua de mar, la cual registra un valor de salinidad promedio de 35 UPS. Los valores más bajos se obtuvieron en las zonas IV y V, debido a que prácticamente no existe intercambio con agua de mar, y por lo tanto predomina un ambiente dulce (Fig. 12).

Se observa claramente que la zona I es la única que no tiene una homogeneidad de salinidad ni siquiera en dos de los tres muestreos (Fig. 12). Esto se debe a la oscilación de la marea, la cual puede estar en bajamar o en pleamar. En caso de ser bajamar, el mar tiende a salir de los cuerpos de agua costeros, lo que ocasiona que el agua "dulce" tenga menor resistencia y salga. Entonces existe una mayor cantidad de agua dulce y poca de origen salino. En cambio en pleamar, el nivel del mar aumenta y entra a los cuerpos costeros por debajo del agua "dulce" debido a su densidad mayor.

Los valores promedio más bajos se observaron en el tercer muestreo (nortes) y los valores más elevados en el segundo muestreo (lluvias), pero éstos últimos no se alejan mucho de los obtenidos en el primer muestreo (secas) (Fig. 12). La lógica nos dice que los valores más altos debieron obtenerse en la época de secas, puesto que al haber una mayor evaporación de agua y pocas lluvias, el agua se concentra en todos sus componentes, entre ellos las sales. Esto se puede explicar diciendo que en este año no llovió mucho en esta región, pero si hubo una elevada evaporación de agua debido a la elevada temperatura en el verano; además que las corrientes de agua en algunos momentos son arbitrarias.

Este parámetro tiene gran importancia, ya que es uno de los factores que limitan el desarrollo de los cultivos de ostión en la zona, así como las condiciones propicias de vida de diferentes organismos adaptados a aguas salobres (ni dulces ni saladas).

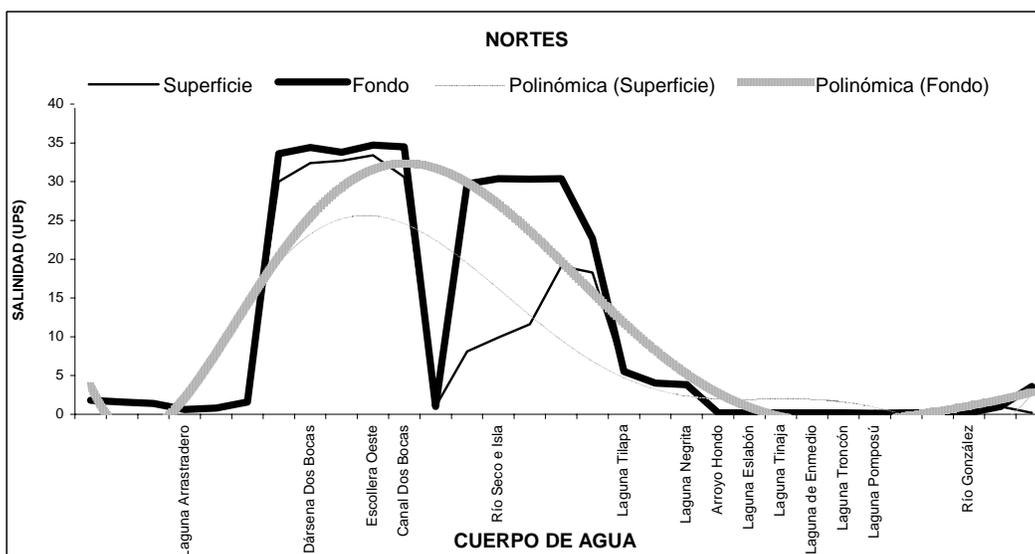
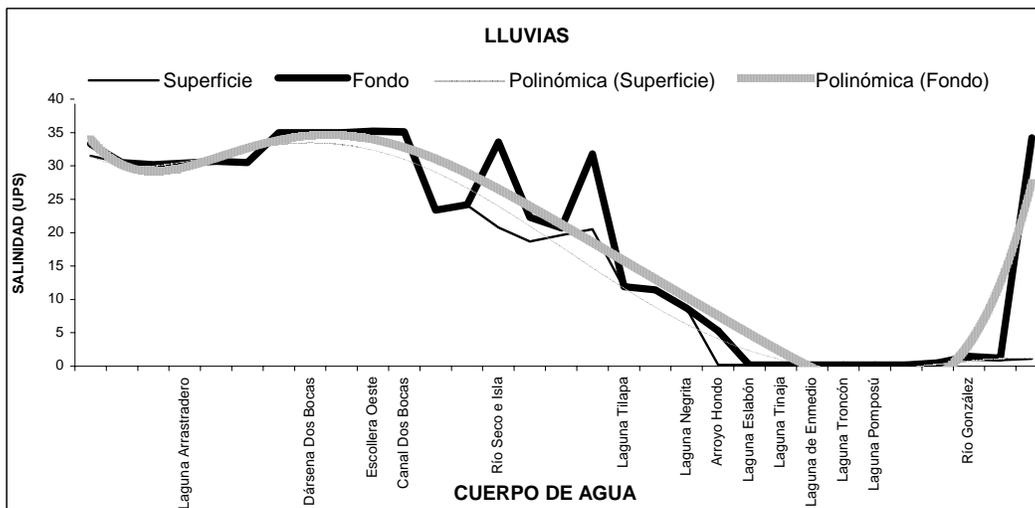
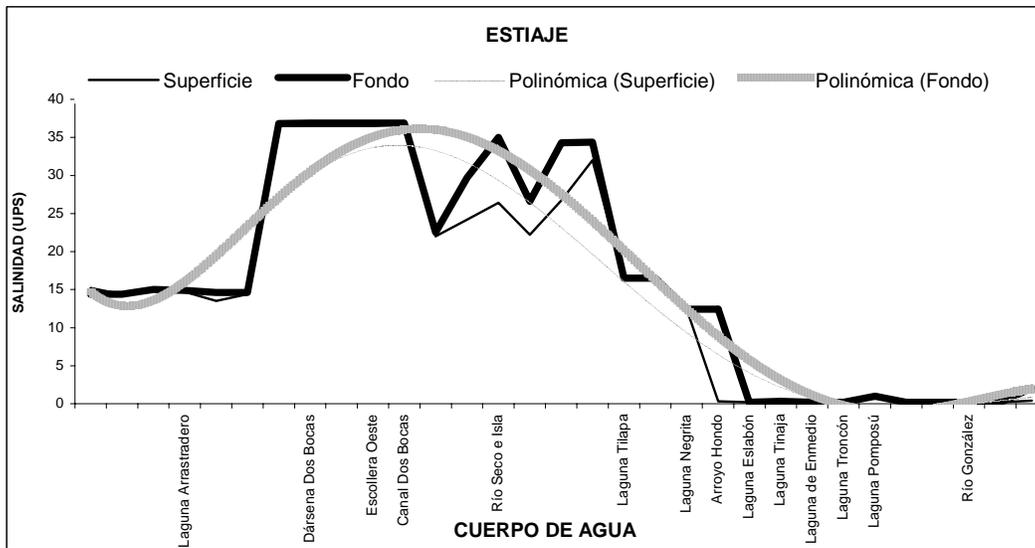


FIGURA 12. Distribución de salinidad por estación, nivel y época climática.

## **Nitritos.**

El ciclo del nitrógeno en los cuerpos de agua costeros está determinado fundamentalmente por procesos biológicos y sedimentológicos (Presley y Trefry, 1980).

El nivel de nitrógeno en forma de nitritos ( $(\text{N-NO}_2^-)$ ) de los lagos es generalmente bajo, del orden de 0 a 0.01 mg/L, aunque se ha visto que a cierta profundidad de sedimento (> 90 cm.) las aguas intersticiales presentan valores de más de 1 mg/L (Wetzel, 1995).

El límite permisible para la protección de la vida acuática reportado para el agua marina es de 0.002 mg/L de nitrógeno de nitritos ( $\text{N-NO}_2^-$ ). Para aguas costeras y estuarios, el límite permisible es de 0.01 mg/L.

En el presente estudio los valores de este parámetro fluctuaron entre valores de 0.001 mg/L y 0.025 mg/L de  $\text{N-NO}_2^-$ , salvo algunas excepciones, en general se encontraron dentro del límite mencionado (Fig. 13).

Con respecto a la profundidad en que se obtiene la muestra, se observa que las muestras de fondo tienen una mayor concentración que las de superficie, y esto se debe al aporte que se obtiene del sedimento (Fig. 13).

En cuanto a las zonas, se aprecia que los valores más elevados se obtuvieron en la zona III (Río seco e Isla) en los tres muestreos realizados. No se obtuvieron en la misma estación ni en el mismo nivel de muestreo (Fig. 13). Esto se explica diciendo que en este cuerpo de agua se desecha la mayor parte de las aguas residuales domésticas provenientes de las ciudades de Heroica Cárdenas, Comalcalco y Paraíso.

En el muestreo en estiaje se observa que los valores para las zonas IV y V disminuyeron significativamente (Fig. 13). Esto se debe quizá a un fuerte poder oxidante en estos cuerpos de agua.

Al observar el comportamiento con respecto a la época climática se aprecia claramente que los valores son mayores en época de lluvias y menores en época de estiaje; esto se debe al aporte fluvial de los ríos, el cual es directamente proporcional a la concentración de nutrientes debido a la contaminación que existe de las poblaciones aledañas y al aporte elevado de nutrientes nitrogenados y fosfatados de las aguas residuales (Fig. 13).

Tomando este punto, es necesario decir que la normatividad en México es muy flexible, al permitir que exista una cantidad muy elevada de este y otro tipo de nutrientes en descargas de aguas residuales tanto domésticas como industriales aún tratadas. La NOM-001-SEMARNAT-1996 es la que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Se tienen muy pocas plantas de tratamiento de aguas residuales en esta zona, algunas ni siquiera están en operación, o bien, no satisfacen las necesidades de depuración de contaminantes (CNA, 2005). A este problema gubernamental, se le añade que cada vez existe un mayor número de asentamientos urbanos y las poblaciones aumentan en tamaño.

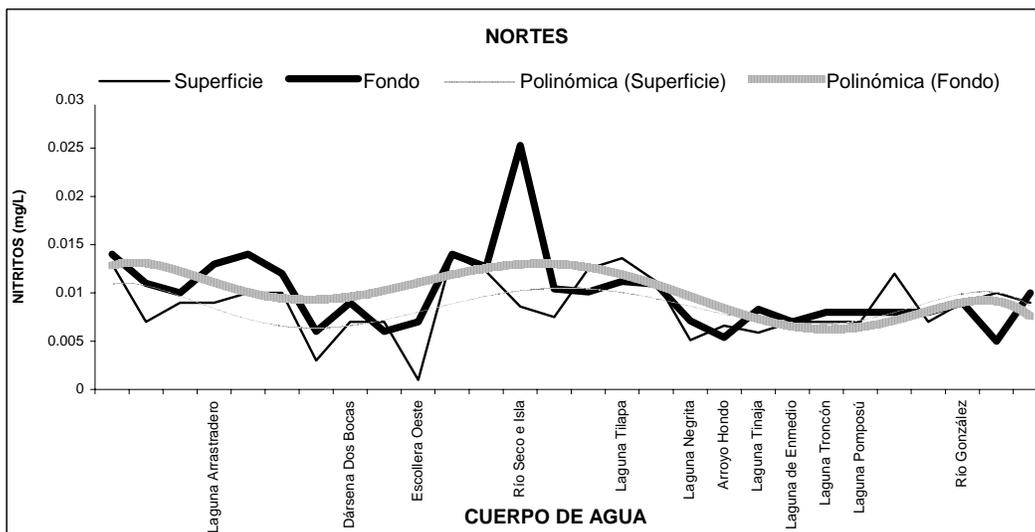
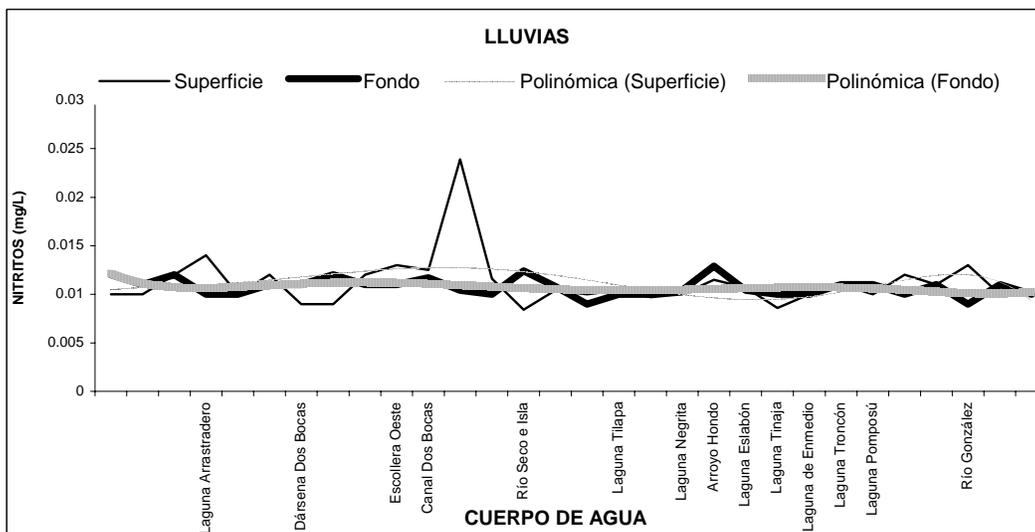
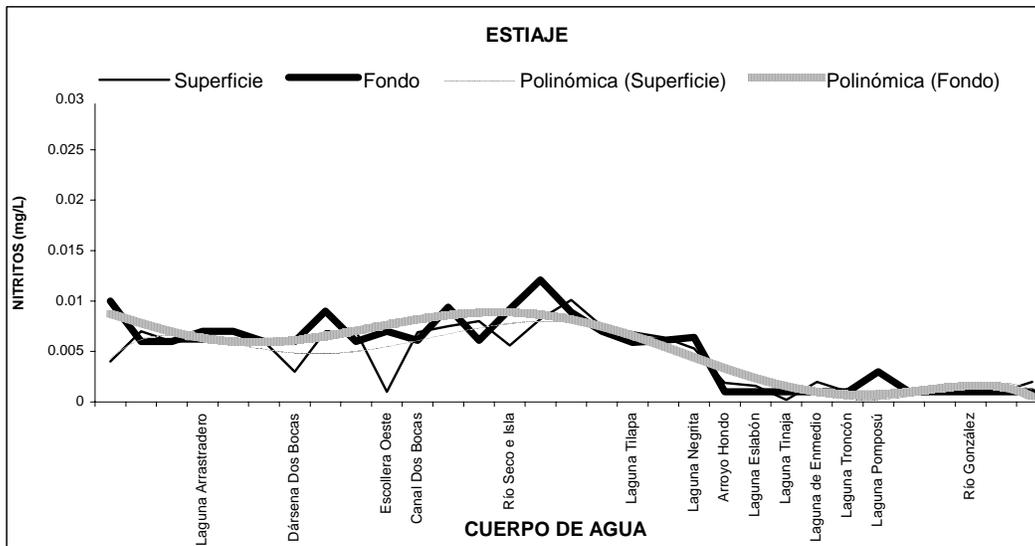


FIGURA 13. Distribución de nitritos por estación, nivel y época climática.

## **Nitratos.**

El nitrógeno también se encuentra en el agua como nitratos, compuesto orgánico, el cual su distribución varía con el tiempo y espacio. La variación en la concentración se debe principalmente a procesos de fijación y desnitrificación por algas y bacterias, asimilación, materia orgánica en descomposición, nitrificación por parte de bacterias y hongos.

El límite máximo permisible para protección de la vida acuática de este nutriente en aguas costeras y estuarios es de 0.040 mg/L de nitrógeno de nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ );

En el presente estudio los valores de este parámetro fluctuaron entre valores de 0.004 mg/L y 0.22 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  como valor máximo, aunque en general la mayor parte de los datos se encuentran por debajo del límite (Fig. 14).

Los valores mayores del  $\text{N-NO}_3^-$  respecto al límite, se deben a la oxidación de la materia orgánica, los aportes y escurrimientos fluviales que reciben los cuerpos de agua, ya que la fuente original del nitrógeno y fósforo de las lagunas costeras y estuarios, en general, proviene de la intemperización de la roca y del lixiviado de suelos terrestres, siendo transportado por los ríos (Kennish, 1986). En el nivel superficial como en el fondo se presentan los valores promedio de 0.059 y 0.051 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ , respectivamente.

Los valores fueron muy elevados en este estudio para este parámetro en general, sin embargo no son la mayoría, esto quizá se deba a la elevada producción primaria que se presenta debido al aporte fluvial y de aguas residuales, así como de las mismas aguas costeras (Day 1988).

En cuanto a la profundidad del muestreo, no se observa un comportamiento definido; se esperaría que los valores más elevados se obtuvieran en el fondo; esto quizá se deba a que los organismos fotosintéticos prefieren este compuesto como fuente principal de nitrógeno y equilibre la concentración de este parámetro en la columna, además de que estos cuerpos de agua en realidad son muy someros (Fig. 14).

En los gráficos se observan picos muy pronunciados en la Dársena de Dos Bocas, lo cual es comprensible debido a que existe una pobre circulación de agua y prácticamente ahí se acumulan muchos contaminantes puesto que es en donde se encuentra el puerto de PEMEX. Otros picos se observan en las lagunas Eslabón y de En medio. La razón es la misma, muy poca circulación del agua y por lo mismo concentración de nutrientes (Fig. 14).

También se observan picos pronunciados en la zona III (Río seco e Isla), y esto se debe a que a este río es a donde van a parar la mayoría de los desechos y aguas residuales de la ciudad de Paraíso. Tanto en época de estiaje como en lluvias se observa a pesar de los picos, un comportamiento más homogéneo que en la época de nortes, en donde se observan valores muy dispersos (Fig. 14). Esto puede deberse a que en esta época se tienen las velocidades de viento mayores, lo que provoca mayor entrada de agua y mayor mezcla de la columna de agua.

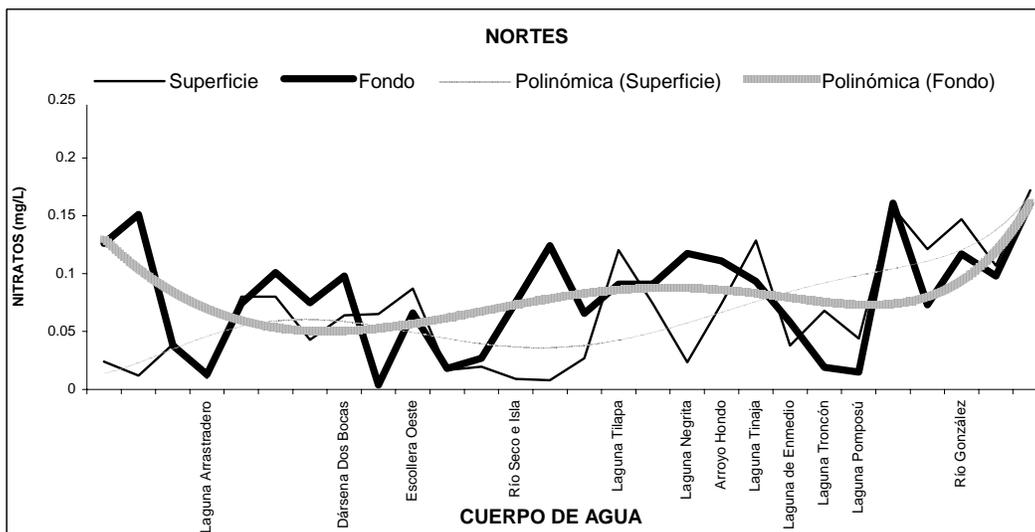
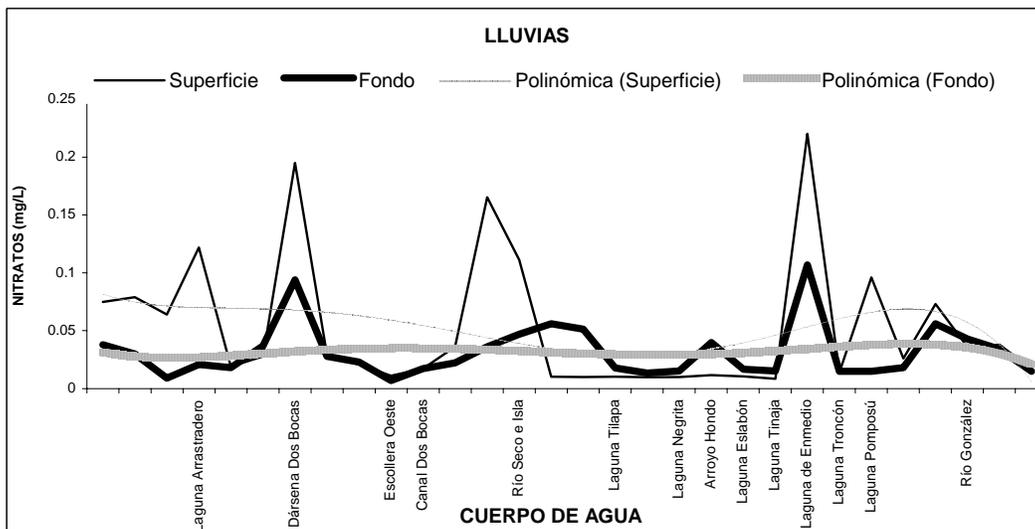
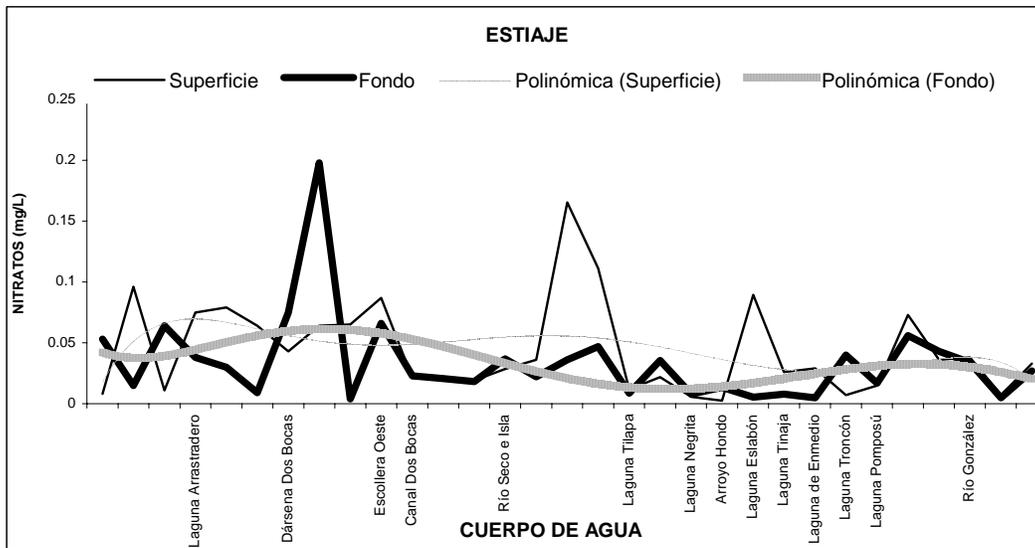


FIGURA 14. Distribución de nitratos por estación, nivel y época climática.

## **Amonio.**

Los valores alcalinos de pH y altas concentraciones de amonio son tóxicos para la vida acuática, provocando un deterioro ecológico de los cuerpos de agua (Chapman y Kimstach, 1992).

El límite permisible para la protección de la vida acuática es de 0.01 mg/L de nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ ) para el agua costera y estuarios (CNA, 2005).

En este estudio, este nutriente varió de 0.002 a 0.056 mg/L de  $\text{N-NH}_3$  en la zona de estudio (Fig. 15). Los valores en general se encuentran dentro de especificaciones de acuerdo a la CNA.

Uno de los valores encontrados en este estudio supera el límite hasta por tres veces en la temporada de estiaje, el cual se encuentra en el canal de dos bocas (estación 11), sin embargo dado que los máximos valores promedio no coinciden con los valores de pH alcalinos, no se considera que el contenido de nitrógeno amoniacal ponga en peligro el balance ecológico de esta área de estudio.

En la Laguna Negrita (estación 20) en la época de nortes, tanto en superficie como en fondo se supera el límite permisible según los lineamientos para la preservación de la vida acuática hasta por 6 veces (Fig. 15). Esto se debe como se ha explicado anteriormente, a la poca circulación de estas lagunas, ya que tienen casi nulo contacto con otros cuerpos de agua importantes debido a su situación geográfica (Fig. 1).

En este estudio, el nivel de muestreo no tiene una tendencia definida en cuanto a si los valores son mayores en el fondo o en la superficie, es decir, se encuentran muy homogéneos en los dos niveles de muestreo (Fig. 15). Esto se explica diciendo que estos cuerpos de agua son muy someros y suele no haber diferencia significativa en el nivel en algunas determinaciones.

En cuanto a la época climática se observa que tampoco existe una tendencia o diferencia significativa entre una y otra época. Sabemos que la presencia de este analito se debe principalmente a desechos de fertilizantes y de heces fecales. Es posible que este tipo de contaminantes se mantenga muy constante espacial y temporalmente (Fig. 15).

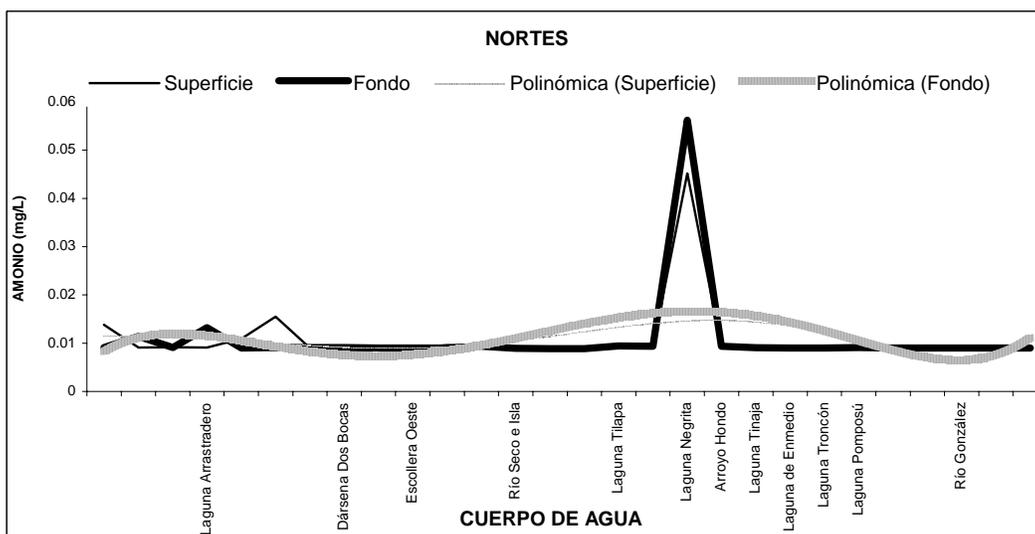
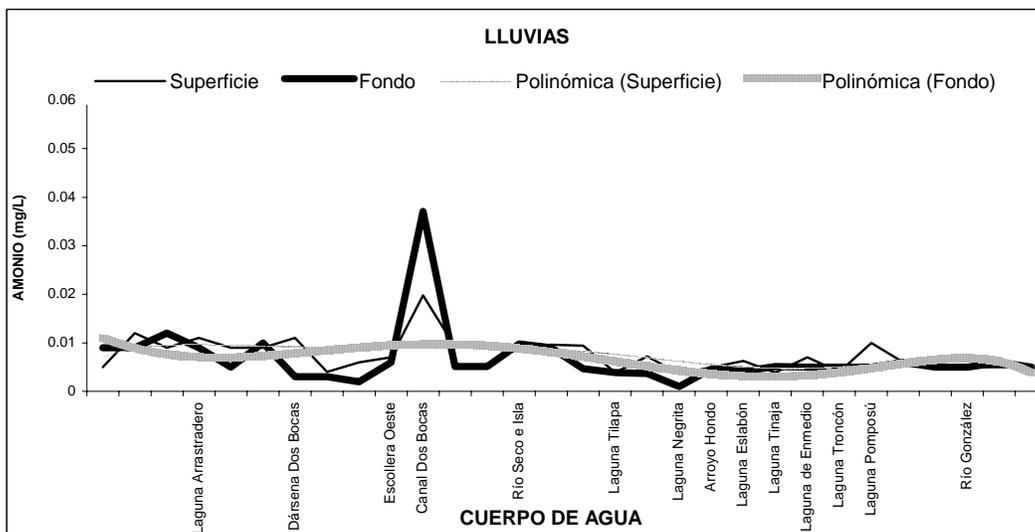
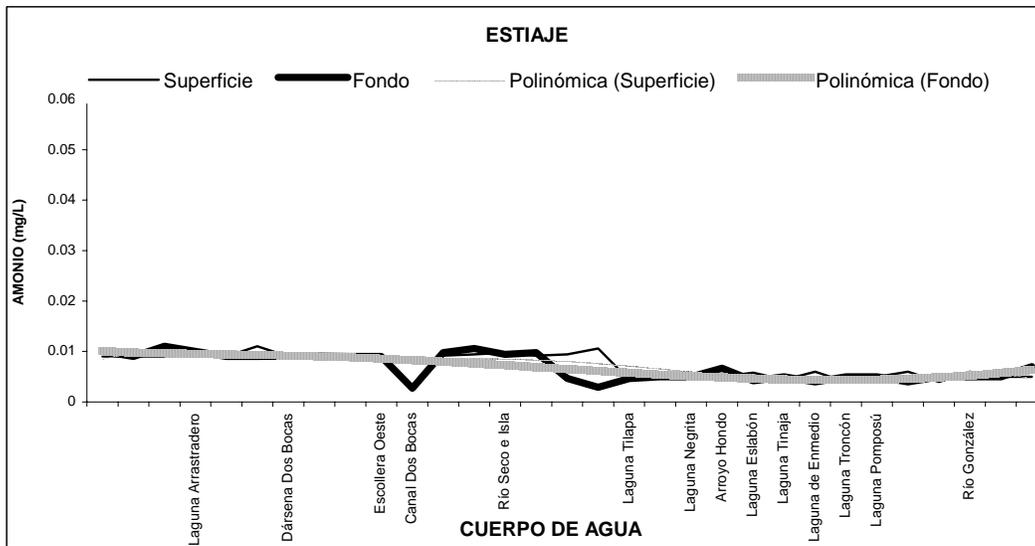


FIGURA 15. Distribución de amonio por estación, nivel y época climática.

## **Ortofosfatos.**

Este parámetro es importante debido a que los nutrientes principales son las formas fosfatadas y las nitrogenadas. Las lagunas costeras reciben un aporte continuo de ellos por conducto de los ríos, las lluvias o el reciclamiento que se lleva a cabo en la interfase sedimento-agua. Los nutrientes son considerados como los principales limitantes en los procesos fotosintéticos (Contreras y Zabalegui, 1988).

El fósforo elemental no se encuentra habitualmente en el medio natural, siendo los ortofosfatos, pirofosfatos, metafosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicamente unidos, los que se detectan en aguas naturales y residuales. El fósforo es considerado como un macronutriente esencial, siendo acumulado por una gran variedad de organismos vivos (Castro, 2003).

Los límites permisibles de fósforo de fosfatos para la protección de la vida acuática son de 0.002 mg/L para aguas marinas costeras, 0.05 para influentes de embalses, 0.059 mg/L para embalses y 0.1 mg/L para ríos. Cabe señalar que en este estudio sólo se determinaron los ortofosfatos como ortofosfatos.

En este estudio los valores de ortofosfatos fluctuaron desde 0.023 mg/L hasta 0.552 mg/L. Para poder discernir en si los valores de ortofosfatos son o no elevados, tuvimos que respaldarnos en trabajos anteriores como referencia.

Los valores obtenidos, aunque un poco más elevados, son parecidos con los valores de la Laguna de Mecoacán obtenidos en el mismo año (Díaz, 2002). Esto quizá se deba a que esta laguna es de mayores dimensiones que las de este trabajo, y además tiene una mayor circulación, lo que ayuda a que los nutrientes no se concentren en esta área.

Los valores más elevados se encontraron en las Zonas I (Laguna de Las Flores) y Zona V (Río González), debido probablemente a descargas residuales de origen urbano y agrícola, principalmente detergentes y fertilizantes (Fig. 16).

Los resultados en este estudio nos dicen que la distribución de este nutriente en la columna de agua no tiene un comportamiento definido. Lo que se puede apreciar es que en los cuerpos de agua con menor circulación y alejados de contacto con agua marina, existe mayor cantidad de fosfatos en el fondo que en la superficie (Fig. 16).

En cambio en las zonas en contacto con agua salina y de mayor circulación, existen fenómenos de gradiente de densidad que hacen que el agua marina corra o este por debajo del agua dulce, lo que nos invierte totalmente los valores esperados (Fig. 16).

En cuanto a la variación en las épocas climáticas se observa que los valores menores se obtienen en época de nortes y los valores más elevados en época de estiaje y lluvias; esto es debido a que el aporte de ríos para este nutriente es muy importante en época de lluvias; lo que sucede en época de estiaje se debe a la concentración que tienen algunos nutrientes, ya sea por la elevada evaporación de agua o por la ineficaz circulación del agua en algunas lagunas (Fig. 16).

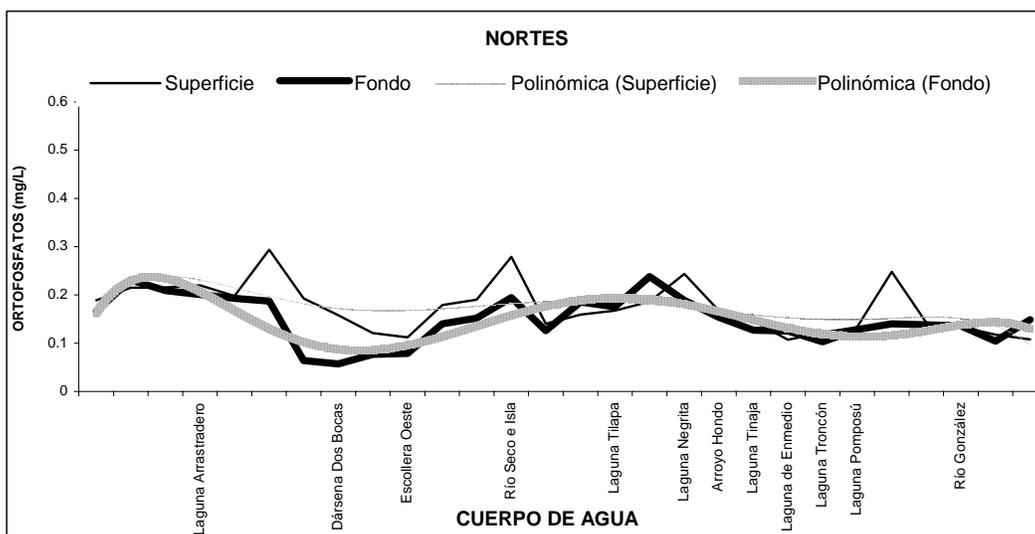
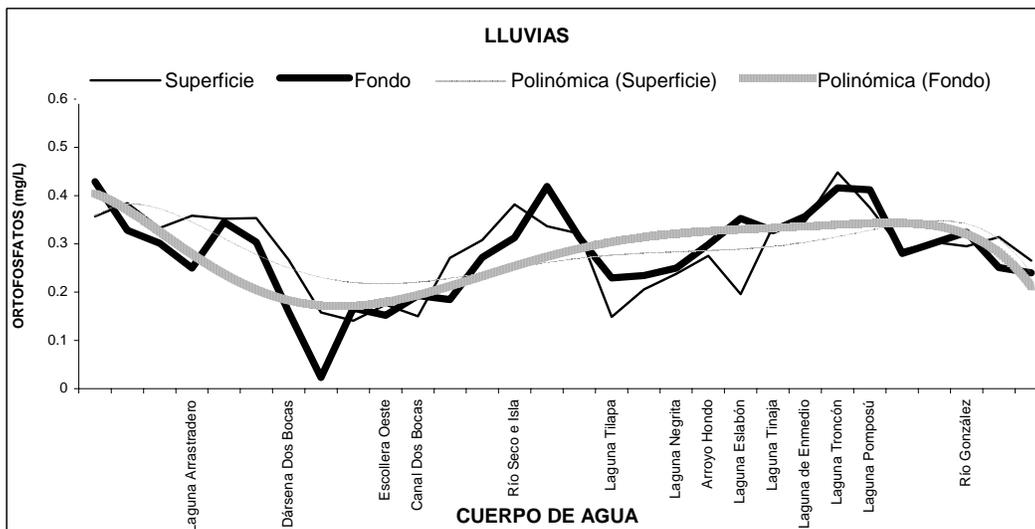
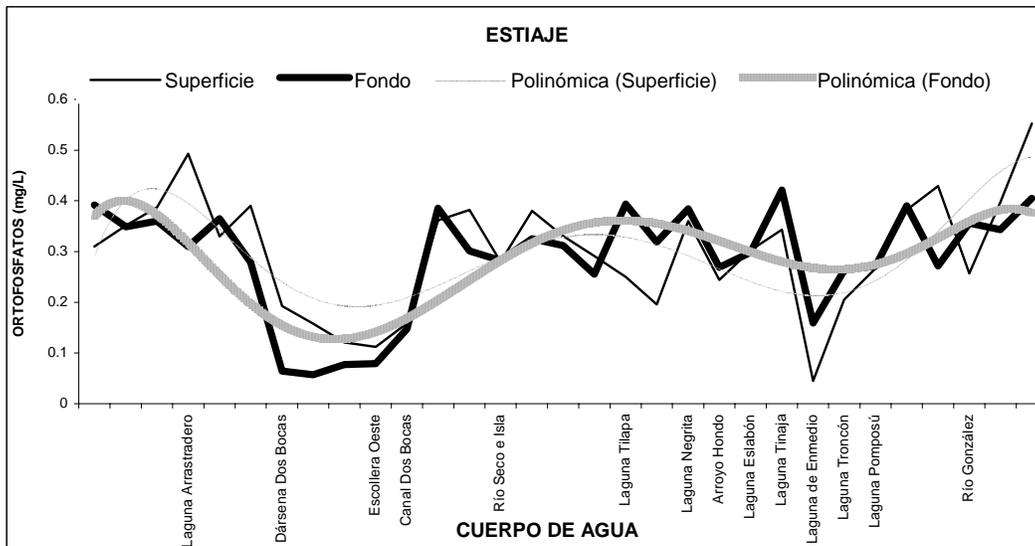


FIGURA 16. Distribución de ortofosfatos por estación, nivel y época climática.

## **Silicatos.**

El silicio se encuentra presente en aguas naturales tanto particulado como disuelto en forma de ácido silícico, es fundamental para organismos como diatomeas y radiolarios, ya que constituye el esqueleto de los mismos. La principal fuente de silicatos procede de la intemperización de las rocas y el escurrimiento de tierras y en consecuencia son mayores en aguas fluviales y menores en salobres y marinas (De la Lanza, 1994).

La concentración del silicio en aguas interiores varía entre 0.1 y 4,000 mg/L. En ríos y lagos particularmente, la concentración del silicio, medida como sílice ( $\text{SiO}_2$ ), oscila entre 0.2 y 60 mg/L. Estos valores podrían aumentar con el aporte de sílice y silicatos ( $\text{SiO}_4^{4-}$  y  $\text{SiO}_3^{2-}$ ) provenientes de descargas industriales y domésticas. Ambos derivados del silicio se añaden al agua con varios propósitos. Estos forman parte de inhibidores de corrosión y de detergentes. Por otro lado, el silicio es un nutriente escaso en el ambiente marino, promediando valores alrededor de 5 mg/L. El alto consumo del silicio por radiolarios, silicoflagelados, esponjas silíceas y diatomeas parece explicar su baja concentración en agua de mar. En ambientes salobres y en los salitrales se registran concentraciones de sílice mayores a 1000 mg/L. La solubilidad de la sílice aumenta con la temperatura, razón por la cual se registran concentraciones más altas de este nutriente en manantiales termales y en los géiser (3).

Los valores más elevados se encuentran en las zonas I, IV y V (Fig. 17). Esto se explica diciendo que la circulación del agua en estos cuerpos de agua es muy escasa, por lo tanto los nutrientes tienden a concentrarse. Los valores elevados en la zona V (Río González), se explican debido al aporte que tiene procedente de la intemperización de rocas y escurrimiento de tierras.

La zona II es la que registra los valores más bajos (Fig. 17), y esto se debe a que en esta zona predomina el agua marina (Fig. 3), hay mayor circulación en comparación con las demás zonas que son más aisladas e influyen más factores.

La zona III no es homogénea debido a que parte de ella tiene contacto directo con el mar y la otra no (Fig. 4). Por ello existe en una parte un intercambio mayor de agua mientras que en la otra se concentran los nutrientes.

En las demás estaciones se presenta una tendencia muy parecida, con un valor promedio de alrededor de 4.6 mg/L tanto en estiaje como en lluvias, no así en temporada de nortes, en donde el valor promedio se eleva hasta aproximadamente 8 mg/L (Fig. 17).

En cuanto al nivel de muestreo se observa que la concentración de silicatos es ligeramente mayor en el fondo que en la superficie en estiaje y en lluvias, no así en época de nortes, y esto quizá se deba a que existe una homogenización debido a la mezcla que se obtiene por el efecto de los vientos (Fig. 17).

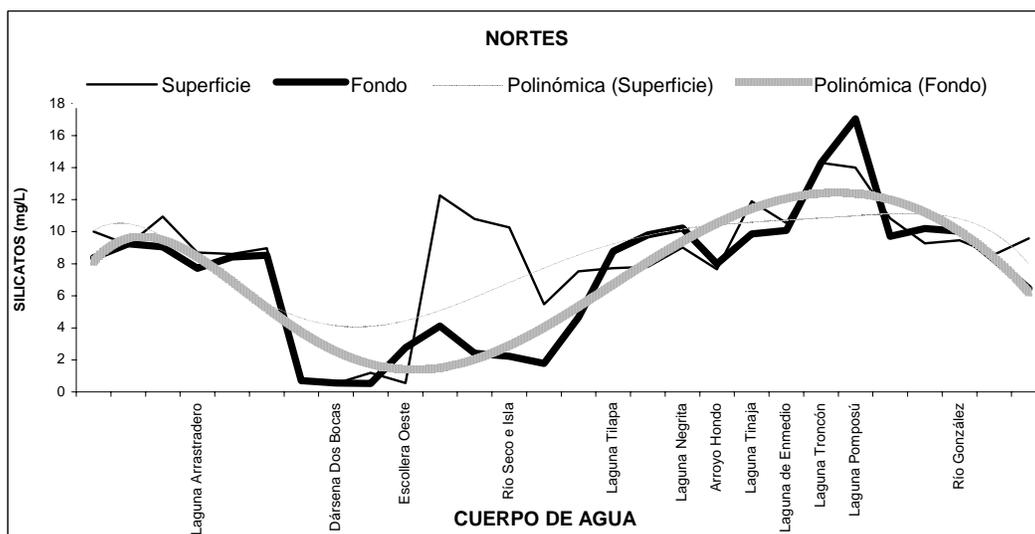
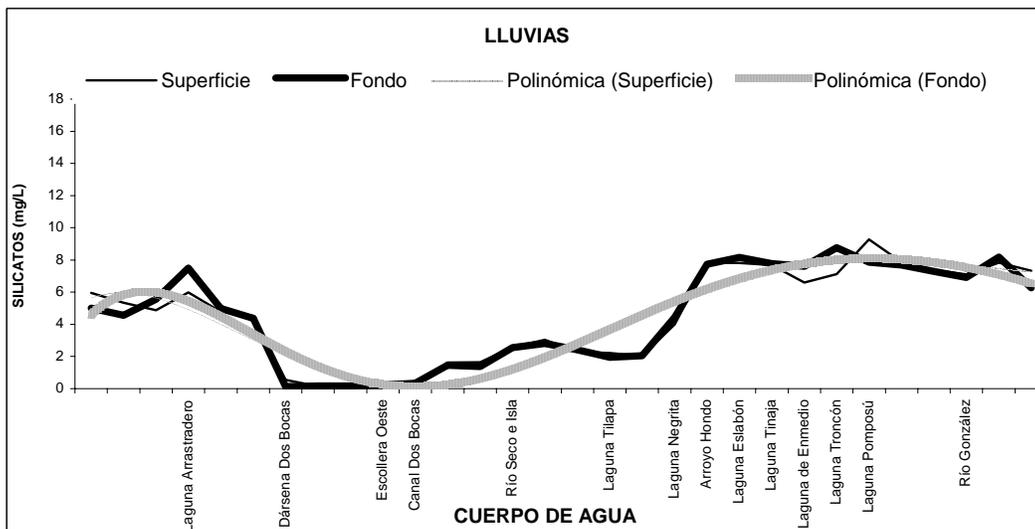
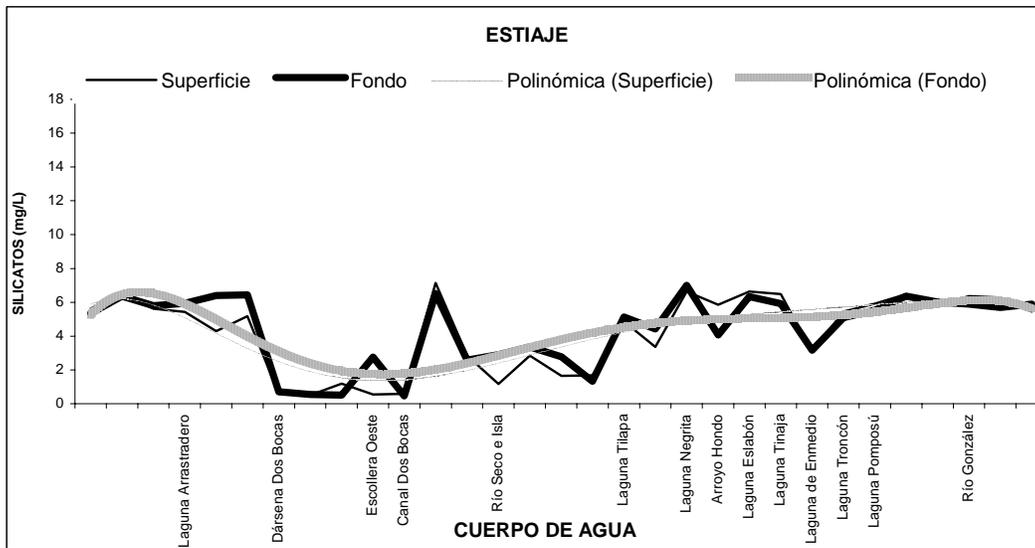


FIGURA 17. Distribución de silicatos por estación, nivel y época climática.

## **Comparación con la Normatividad Internacional.**

En la Tabla 2, se presentan los límites de los criterios de la calidad del agua para el desarrollo de la vida acuática establecidos para Canadá y los Estados Unidos.

Se puede observar que los datos obtenidos de la calidad del agua en las lagunas del Municipio de Paraíso, Tabasco, y zonas aledañas, en general se encuentran dentro de los límites establecidos por las diferentes normatividades internacionales en cuanto a la protección de la vida acuática.

Principalmente los elementos nutrientes se encuentran por arriba de los valores límites debido a la oxidación de la materia orgánica proveniente de la vegetación circundante (por ejemplo: mangle), el detritus biológico y las descargas residuales.

Es importante señalar que los criterios establecidos por la CNA en el país son más estrictos que los internacionales, sin embargo sólo son criterios y no están legalizados; es decir, no funge como Norma. Además, la vigilancia de su cumplimiento no se realiza en forma adecuada, ni sistemática.

Las diferencias que existen entre los criterios internacionales con los de nuestro país, son básicamente a que se encuentran en otras latitudes y por ello los fenómenos que ocurren son distintos. En Canadá, la cantidad de luz solar no es la misma que en nuestro país. Por esta razón los procesos de fotosíntesis son más lentos y los diferentes analitos son utilizados en otra forma.

Además de lo anterior, también influyen de manera relevante las cuestiones políticas. Estos países al tener diferentes tipos de infraestructura, industria, agricultura, etc., tienen políticas de calidad muy diferentes a las de nuestro país.

En cuanto a los criterios de calidad del agua para protección de la vida acuática en Estados Unidos, la Environmental Protection Agency (EPA) tiene para cada Estado, incluso a nivel Municipio tienen sus propios criterios; es decir, no tiene un solo criterio para todos sus tipos de aguas y cuerpos de agua. Este país cuenta con la infraestructura, la economía y la organización necesaria para poder determinar criterios por separado de sus aguas y ecosistemas.

Algunos criterios si están definidos, otros definitivamente no (Tabla 2). Esto es porque no se puede determinar de manera inflexible o puntual un valor característico, ya que existen diversas características para un solo cuerpo de agua, como son: su clima, su vegetación, su fauna, su temperatura, las actividades en su entorno, entre otras.

Para llegar a criterios definidos, se tienen que realizar más estudios, semanales, mensuales y estacionales de cada una de las zonas de interés, puesto que cada zona es característica. Obviamente no es sencillo, debido al elevado costo de estos estudios y al desinterés de algunas autoridades.

En nuestro país existen diversas instituciones enfocadas a la calidad del ambiente y no se ponen de acuerdo entre ellas para obtener mejores resultados en cuanto a la preservación de nuestros ecosistemas debido a sus diversos intereses.

Esto nos lleva a mirar hacia las industrias, las cuales son las principales causantes de tanta contaminación en nuestros ecosistemas, además de las aguas residuales domésticas colindantes con estos cuerpos de agua, ya que por lo general todo este tipo de desechos (industriales y domésticos) no son tratados, y si lo son, no están tratados como deberían.

Aparentemente, tanto las instituciones como la gente de la industria y nosotros mismos, no nos damos cuenta de todo el daño que le ocasionamos a los diversos ecosistemas que nos rodean, o bien, nos conviene no darnos cuenta, para así no gastar tiempo, dinero y esfuerzo con el cuidado y tratamiento correspondiente de nuestras aguas residuales.

**TABLA 2.** Comparación de los valores promedio con los límites de la Normatividad Internacional. Valores en mg/L si no se especifica otra unidad.

Parámetro	Canadá (British Columbia)	EPA	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V
Ortofosfatos	-----	-----	0.318	0.158	0.253	0.228	0.282
			0.289	0.100	0.262	0.248	0.255
Nitrógeno Amoniacal	***	0.27 a pH de 8.0 y Temperatura de 30°C.	0.044	0.055	0.044	0.034	0.034
			0.040	0.056	0.045	0.033	0.034
Nitrógeno Nitratos	40	***	0.059	0.058	0.046	0.059	0.072
			0.053	0.063	0.043	0.032	0.063
Nitrógeno Nitritos	0.06 – 0.6	***	0.010	0.007	0.009	0.006	0.007
			0.010	0.008	0.009	0.007	0.006
Oxígeno Disuelto	5.0 – 9.0	4.0 – 8.0	5.74	6.34	5.63	6.39	6.74
			5.01	4.44	4.82	5.57	6.07
pH (unidades estándar)	6.5 – 9.0	6.5 – 9.0	7.97	8.10	8.10	8.21	8.11
			7.96	8.12	8.06	8.19	8.06
Sólidos Suspendidos Totales	Incremento de 10%	CN No mayor al 10% de la profundidad del nivel de compensación	47	55	35	14	34
			52	56	43	21	49
Temperatura (°C)	CN ± 1.0	***	28.67	25.70	28.04	29.52	28.80
			28.75	24.77	27.63	28.56	28.34

\*\*\* No definido.

----- No existe.

## CONCLUSIONES

La temperatura presentó los valores más altos en la época de lluvias y fue ligeramente mayor en la superficie que en el fondo.

El oxígeno disuelto se tuvo en cantidad más elevada en época de estiajes y fue mayor en la superficie que en el fondo.

Los valores de pH más bajos se obtuvieron en la época de nortes, y los más altos en la época de estiaje y no se observó un patrón de distribución en cuanto a la zona de estudio y el nivel de muestreo.

La turbiedad mayor se obtuvo en la zona V y en general no presentó patrón alguno de distribución.

La cantidad de sólidos suspendidos no presentó patrón alguno de distribución.

La salinidad se observó más elevada en época de estiaje, en cuanto a su distribución los valores más altos se encontraron en la desembocadura al mar, y en cuanto al nivel, fue mayor en el fondo.

Los valores más elevados de nitritos se obtuvieron en la época de lluvias y no existió un patrón de distribución en cuanto a zona y nivel.

Los nitratos se encontraron en mayor cantidad en la época de nortes, no existiendo patrón alguno en cuanto a zona y nivel.

La cantidad de amonio más alta se presentó en la época de nortes, en cuanto a su distribución, fueron mayores en la desembocadura al mar. No hubo patrón de distribución en relación al nivel de muestreo.

La mayor cantidad de ortofosfatos se encontró en la época de lluvias y en las zonas con mayor proporción de agua dulce, y no se observó patrón de distribución en cuanto al nivel de muestreo.

Los valores de silicatos más altos se observaron en la época de nortes y en las zonas con mayor proporción de agua dulce. No existió patrón de distribución en cuanto al nivel de estudio.

Con los parámetros manejados en este estudio, no se puede decir con certeza que estos cuerpos de agua tienen o no riesgo de eutroficación. Es necesario realizar otro tipo de estudios, principalmente biológicos, como lo es la determinación de la producción primaria, entre otros.

En relación con los parámetros determinados en este estudio, en general, la calidad del agua de las lagunas y ríos del municipio de Paraíso, Tabasco, fue buena durante todo el año 2001 en cuanto a la preservación de la vida acuática, de acuerdo a los límites establecidos por la CNA en el año 1998.

En cuanto a la Normatividad internacional para la preservación de la vida acuática de estos ecosistemas, los valores obtenidos en el año 2001 están dentro de los límites permitidos, lo que nos dice que la calidad del agua de estos cuerpos acuáticos en ese año no puso en riesgo la biota de los mismos.

## **RECOMENDACIONES**

Debido a la importancia que tienen estos ecosistemas como recurso natural, es de gran relevancia implementar un tratamiento efectivo para controlar la contaminación proveniente de aguas residuales como la agricultura y ganadería, así como la industria, principalmente la petrolera, ya que pone en gran riesgo la conservación de los mismos.

Es imperioso concienciar a las personas, tanto a nivel individual como a nivel institucional y empresarial, sobre la importancia que tiene el mantener libre de contaminación este tipo de ecosistemas, ya que si estos comienzan a alterarse, también se altera nuestra forma de vida, desde los asentamientos poblacionales, hasta las fuentes de empleo y alimentación.

Es necesario realizar más estudios como este y más completos para generar datos suficientes de los cuales podamos llegar a criterios de calidad de agua más adecuados, menos flexibles y de acuerdo con zonas específicas.

## REFERENCIAS

ANTOLI, F. V. Y GARCÍA-CUBAS, 1985. "Sistemática y ecología de moluscos en las lagunas costeras Carmen y Machona, Tabasco, México", An. Inst. Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 12 (1): 145-198

APHA, AWWA y WPCF, 1992. "Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales", España, Ediciones Díaz de Santos.

BC Approved Water Quality Guidelines (Criteria), 2001.  
[www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/approv\\_wq\\_guide/approved\\_5.html](http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/approv_wq_guide/approved_5.html)  
[ilmbwww.gov.bc.ca/risc/pubs/aquatic/interp/interp-01.htm](http://ilmbwww.gov.bc.ca/risc/pubs/aquatic/interp/interp-01.htm)

BEZAURY-CREEL, 2005. "Protected areas and coastal and ocean management in México", Ocean and Coastal Management. 48: 1016-1046.

CASTRO, H., 2003. "Diagnóstico para la conformación del plan maestro de acueducto y alcantarillado del municipio de Ocea-Arauca". Análisis de calidad de agua. República de Colombia.

CHAPMAN, D. y KIMSTACH, V., 1992. "The selection of water quality variables", Pp. 51-119 In: *Water quality assessments. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. D. Chapman (ed.), UNESCO/WHO/UNEP, Chapman and Hall, NY.

CNA, 2005. "Resumen del inventario nacional de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación".

CONTRERAS, E. F. Y ZABALEGUI, M. L., 1988. "El aprovechamiento del litoral mexicano", México, Centro de Ecodesarrollo de la Secretaría de Pesca, 128 pp.

DAY, J. R. y A. YAÑEZ-ARANCIBIA, 1988. "Ecology of coastal ecosystems in the southern gulf of Mexico: The Terminos Lagoon Region". Consideraciones ambientales y fundamentos ecológicos para el manejo de la Región de Terminos, sus habitats y recursos pesqueros. Cap 23. Editorial Universitaria. ICMyL, UNAM. Ocean Ecol. Inst. L.SU. Mexico, D.F. 453-482.

DE LA LANZA, G. Y CÁCERES, C., 1994. "Lagunas costeras y el litoral mexicano", México, UABCS.

DIARIO OFICIAL. Jueves 31 de diciembre de 1998. "Lineamientos de Calidad de Agua". Segunda sección.

DÍAZ, T. E., 2002. "Evaluación de los parámetros fisicoquímicos durante el estiaje y lluvias del 2001 de la Laguna de Mecoacán, Tabasco". (Tesis profesional), Fac. de Química de la UNAM. 44 pp.

EPA, 2007. Criteria Water Quality. [www.epa.gov/waterscience/criteria](http://www.epa.gov/waterscience/criteria)

FLORES, M. M., 1984. "Meroplancton de crustáceos en las lagunas costeras El Carmen – La Machona, Tabasco (1977-1978)". (Tesis profesional). Fac. Ciencias. UNAM. 43 p.

GALAVÍZ *ET. AL.*, 1987; "Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas Dos Bocas y Mecoacán, Tabasco", México, An. Inst. Ciencias del Mar y Limnología., 14: 109-124.

GOMEZ-AGUIRRE S. y A. RESENDEZ M., 1986. "Notas sobre la hidrología del sistema de lagunas costeras Carmen-Machona-Redonda, Tabasco, 1976-1980". Univ. Y Cienc. 3 (6): 5-10.

GRANADOS B., A. A. y J. L. RAMOS P., 1993. Comportamiento de la salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y pH superficial de un sistema lagunar costero del estado de Tabasco México. Res. V Congr. Latinoamer. De Cienc. Del Mar. 247.

GUTIERREZ-ESTRADA M. y A. GALAVIZ-SOLIS, 1983. "Morfología y sedimentos recientes de las lagunas El Carmen, Pajonal y La Machona, Tabasco". México. An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. 10 (1): 249-270.

INEGI, 2006. "Estadísticas a propósito del día mundial del medio ambiente" Datos nacionales.

JIMENEZ I., A. R., 1987. "Modelo hidrodinámico numérico del sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona, Tabasco". Res. II Reunión Indicativa de Actividades Regionales Relacionadas con la Oceanografía (Golfo de México y Mar Caribe Mexicanos. 41.

JIMENEZ I., A., M. OBESO y R. OCAMPO, 1987. "Simulación hidrodinámica del sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona, Tabasco", México. Res. VII Congr. Nal. Oceanog. 313.

KENNISH, M.J. 1986. "Ecology of estuaries". Vol. II. Biological aspects. CRC Press, Boca Raton. 391 p.

LOT H., A.; C. VÁZQUEZ Y. Y F. MENÉNDEZ L. 1975. Physiognomic and floristic changes near the northern limit of mangroves in the Gulf Coast of Mexico. In: G.E. Walsh; S.C. Snedaker y H.J. Teas, eds. Proceedings of International Symposium on Biology and Management of Mangroves. Vol. 1:8-11 October 1974. East-West Centre, Honolulu, Hawaii. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, Gainesville, Florida. EUA. Pp:52-61.

LUNA, P. Y RAMÍREZ, H. 2004. "Medios de soporte alternativos para la remoción de fósforo en humedades artificiales". Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 20 (1). Fac. de Química de la UNAM. pp. 31-38.

MARGALEF, R., 1986. "Ecología". Ediciones Omega. Barcelona, España.

MILLERO, F., J., 2006. "Chemical Oceanography". N. W., Florida.

NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

PRESLEY, B. J., TREFRY, J. H., 1980. "Sediment-water interactions and the geochemistry of interstitial waters". In: Olausson E, Cato I (eds) Chemistry and biogeochemistry of estuaries. Wiley, New Ocea.

SEDESPA, 2006. "Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Tabasco".

SIGNORET M., J. L. CASTRO AGUIRRE y H. SANTOYO, 1981. "Análisis multifactorial de la producción planctónica de tres lagunas costeras de México". Resúmenes VII Simp. Latinoamer. Oceanog.. Biol. 42.

WETZEL, R. G., 1995. "Death, detritus and energy flow in aquatic Ecosystems". *Freshwater Biol., Oxford*, 33: 83-89.

ZAVALA C., J., 1988. "Regionalización natural de la zona petrolera de Tabasco". Casos de estudios. INEREB-Div. Reg. Tabasco, Gob. Edo. De Tabasco, México.

(1) "Contaminación del agua" Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Libro electrónico. Universidad de Navarra. Pamplona, España. [www.esi.unav.es](http://www.esi.unav.es)

(2) Enciclopedia de los Municipios de México, 2005. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Tabasco. [www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/tabasco/pres.htm](http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/tabasco/pres.htm)

(3) MASSOL, A. Manual de ecología microbiana. Universidad de Puerto Rico. Departamento de Biología. [www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-silica.pdf](http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-silica.pdf)

(4) Tomasini-Ortíz, A. C. "Serie autodidáctica en materia de normas técnicas relacionadas con la inspección y verificación". Unidad didáctica para la aplicación de la NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. [www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)