



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

---

**División de Desarrollo Sustentable**

**Caracterización Físico-Química y Producción  
Primaria de la Laguna Colombia, Cozumel, Quintana  
Roo, México.**

**TESIS**

**Que para obtener el grado de  
LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS  
NATURALES**

**Presenta**

**Irma Guadalupe Ortiz Borges**

**Director de Tesis**

**Dr. Adrián Cervantes Martínez**

Cozumel, Q. Roo, México, marzo de 2010.

Ø59973

# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

---

División de Ciencias y Humanidades

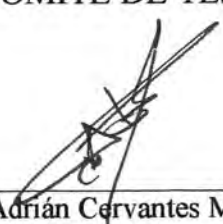


Tesis elaborada bajo la supervisión del comité de Tesis del programa de Licenciatura y aprobada como requisito para obtener el grado de:

LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

## COMITÉ DE TESIS


Director: \_\_\_\_\_

  
Dr. Adrián Cervantes Martínez

Asesor: \_\_\_\_\_

  
Dra. Martha Angélica Gutiérrez Aguirre

Asesor: \_\_\_\_\_

  
Dr. Luis Manuel Mejía Ortiz

Cozumel, Quintana Roo, México, marzo de 2010

## DEDICATORIA

A mi familia, en particular a mi amiga y madre Ileana Borges de Ortiz por su motivación y apoyo incondicional en todos los años de mi vida y más en especial en esta etapa.

A mi papá Julio C. Ortiz Yeladaquí por su mano firme para guiar mi camino, por su apoyo y esfuerzo para realizar este sueño.

A mis hermanos Paulo y Julio por cuidarme y aconsejarme en este largo camino que se llama vida.

...“Todo es cuestión de actitud y disposición”.

Igob.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Fundación de Parques y Museos de la Isla de Cozumel por la facilidad brindada para la elaboración de este proyecto, en especial al Lic. Eduardo Novelo Presidente de la Fundación.

A los Biólogos Héctor González Cortéz y Orlando Toledo Hernández por el apoyo brindado en el trabajo de campo en la Laguna Colombia.

A la Universidad de Quintana Roo por cobijarme estos 5 años de carrera y por haberme otorgado las facilidades para la realización de este trabajo.

A mi director de Tesis Dr. Adrián Cervantes Martínez por su enseñanza y sabiduría compartida, por su sugerencia para la realización de este trabajo, así como su motivación, tiempo y esfuerzo empleados.

A la Dra. Martha A. Gutiérrez Aguirre por todos sus conocimientos compartidos, por su impulso para seguir creciendo profesionalmente y por las mejores horas de clases que tuve en la Unidad Cozumel.

Al Dr. Luis M. Mejía Ortiz, por sus valiosas observaciones que permitieron enriquecer este documento.

A mis padres Ileana y Julio y a mis hermanos Paulo y Julio.

Al Sr. Emiliano Novelo y a la Sra. Elba Villanueva de Novelo por su amistad y apoyo incondicional brindados a mí y a mi familia.

A la Sra. Ana Lilia Martín Ortiz por su amistad incomparable, por todo su apoyo y por hacer más divertida esta etapa de mi vida en la isla.

A todos mis compañeros que me apoyaron en campo: Arturo, Georgina, Santiago, Aarón y Coral, gracias chicos.

A mis amigas Lupita, Diana y Andrea que están en casa y que tanto quiero, también va por ustedes.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
ANTECEDENTES.....	13
JUSTIFICACIÓN.....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
OBJETIVOS.....	18
ÁREA DE ESTUDIO.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
RESULTADOS.....	26
VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS	
Profundidad.....	26
Transparencia.....	29
Temperatura.....	32
Salinidad.....	35
pH.....	38
Oxígeno disuelto.....	41

Saturación de oxígeno.....	44
Clorofila "a".....	47
DISCUSIÓN.....	51
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES.....	58
LITERATURA CITADA.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estaciones de muestreo consideradas en Laguna Colombia (junio 2008- mayo 2009).....	23
Figura 2A-L. Profundidad de la columna de agua mensual por estación de muestreo.....	27
Figura 3. Promedio mensual de la profundidad de la columna de agua.....	28
Figura 4A-L. Transparencia mensual por estación de muestreo.....	30
Figura 5. Promedio mensual de transparencia.....	31
Figura 6A-L. Temperatura del agua mensual por estación de muestreo.....	33
Figura 7. Promedio mensual de la temperatura del agua.....	34
Figura 8A-L. Salinidad mensual por estación de muestreo.....	36
Figura 9. Promedio mensual de salinidad.....	37
Figura 10A-L. pH mensual por estación de muestreo.....	39
Figura 11. Promedio mensual de pH.....	40
Figura 12A-L. Oxígeno disuelto mensual por estación de muestreo.....	42
Figura 13. Promedio mensual de oxígeno disuelto.....	43
Figura 14A-L. Saturación de oxígeno mensual por estación de muestreo.....	45
Figura 15. Promedio mensual de saturación de oxígeno.....	46

Figura 16A-L. Clorofila "a" mensual por estación de muestreo.....	48
Figura 17. Promedio mensual de clorofila "a".....	49
Figura 18. Promedio mensual de precipitación (2008-2009) de Cozumel.....	50
Figura 19. Promedio mensual de temperatura ambiental (2008-2009) de Cozumel .....	50



---

**RESUMEN**

La isla de Cozumel, alberga numerosos ecosistemas, como es el caso de las lagunas costeras, las cuales se ven influenciadas por factores naturales, humanos y estocásticos. Dentro de las lagunas costeras de la isla se encuentra la Laguna Colombia, la cual hasta hoy carece de estudios ambientales que nos pronostiquen la dinámica limnológica de la misma. Bajo este contexto, se caracterizó de forma físico-química y se estableció el estado trófico del sistema, por medio de la medición de clorofila "a", como un indicador de la producción primaria. El estudio comprendió un ciclo anual a partir del mes de junio de 2008 al mes de mayo de 2009, abarcando las tres temporadas climáticas reportadas para el trópico húmedo mexicano (secas, lluvias y nortes). La obtención de datos físico-químicos (temperatura del agua, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, pH, salinidad) se realizó *in situ* utilizando una sonda multiparamétrica Data-Sonde 5. La transparencia y profundidad se midió con la ayuda de un disco de Secchi. La producción primaria se obtuvo a partir de métodos espectrofotométricos. Se determinaron 18 estaciones de muestreo y se obtuvieron un total de 432 muestras con su respectiva réplica. De este estudio, se derivan las características ambientales que dominan en la Laguna Colombia, clasificado como un sistema somero (0.85 m) con aguas transparentes la mayor parte del año, cálidas (28 °C) hiperhalinas (53 ppm), con pH básico (8.32) y aguas bien oxigenadas (4.33 mg/L). Los valores de clorofila "a" indican un sistema de tipo oligotrófico con una descarga baja de nutrientes. La variabilidad de los parámetros se asoció con los patrones climáticos de acuerdo a las diferentes temporadas estudiadas. Esta variabilidad se reflejó marcadamente en los valores de salinidad de 20.05 ppm (lluvias) hasta los 70.74 ppm (secas). Al parecer la laguna Colombia, es un sistema con buen estado de salud y con una baja presión antrópica. Finalmente, los datos generados pueden ser útiles para desarrollar planes de manejo en este importante ecosistema.

Palabras clave: Clorofila "a", Cozumel, estado trófico, laguna costera, producción primaria.

## INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras constituyen cerca del 13% del litoral oceánico. Distribuidas en todos los continentes excepto la Antártica, están definidas como depresiones someras paralelas a la costa, separadas del mar por una barrera física, pero conectadas a él temporal o permanentemente por uno o más canales. Son diferentes de los estuarios, cuerpos de agua semicerrados, perpendiculares a la costa y conectados con el mar por un río. Sin embargo, es frecuente encontrar ecosistemas que incluyen los dos tipos de ambientes interconectados, los sistemas lagunar-estuarino. Algunas características ecológicas de las lagunas costeras, como la alta productividad, la dinámica de nutrientes y la diversidad de hábitats, proveen una serie de servicios ambientales que han impulsado su uso o abuso. El turismo en sus playas arenosas, del lado del océano, o el ecoturístico en manglares y pastos marinos, además de la acuicultura y la pesca, promueven el desarrollo de estructuras, como puentes y caminos, que modifican los modelos de circulación del agua y hacen que las lagunas sean receptoras de aguas contaminadas que favorecen la sedimentación y eutrofización (proceso de enriquecimiento en nutrientes que ocasiona la proliferación de algas y la disminución del contenido de oxígeno). Muchas lagunas costeras han pasado de áreas de recreación y pesca muy productivas, a estanques contaminados que ya no producen bienes y servicios para sus comunidades (Herrera-Silveira, 1996, Herrera-Silveira, 2006 y Herrera-Silveira y Cortés-Balam, 2007).

La zona costera se ha alterado desde la década de 1950, al incrementarse la densidad demográfica, donde se considera que por lo menos se ha establecido el 60 % de la población mundial, por ejemplo, los países que comparten la costa del mar Mediterráneo como España, Francia, Grecia, entre otros, suman más de 100 millones de habitantes, de los cuales el 50% vive en la zona costera.

En los últimos 20 años, científicos, gestores y autoridades públicas, han reconocido que los ecosistemas costeros sufren diferentes problemas ambientales, que son consecuencia de una compleja cadena de eventos que varían de un sitio a otro, y que pueden en parte, ser atribuidos al enriquecimiento de los nutrientes, nitrógeno y fósforo, que provienen de las descargas de agua dulce contaminada.

## INTRODUCCIÓN

---

Las costas de México se han estado poblando a una tasa más alta, en comparación al promedio nacional, por ejemplo en Quintana Roo la población ha crecido en un 350 % en los últimos 20 años (AzuzAdeath y Rivera-Arriaga, 2004). La concentración de la población humana en la zona costera provoca el deterioro del medio ambiente, al requerir de mayores recursos de energía y materia, que sumado a la inapropiada gestión y manejo de los desechos, (éstos ingresan al mar en cantidades mayores) cambian negativamente la salud del ecosistema; esta alteración se ha manifestado con la disminución de la calidad de agua en los sistemas acuáticos de la región (Aranda-Cirerol, 2004).

Localizada en el sureste de México, la Península de Yucatán tiene un litoral de 1, 250 kilómetros (km) de largo. Es una terraza cárstica (terreno calizo con numerosas grietas y cavernas) en más del 90% de sus 400 mil km<sup>2</sup>, su topografía es relativamente plana y con escasos accidentes orográficos. Aunque en el norte el clima es cálido-árido con poca precipitación anual, en el resto de la península el clima es cálido y la lluvia abundante. La principal fuente de agua dulce que descarga a la zona costera proviene de las aguas subterráneas en forma de manantiales, los cuales influyen en el régimen hidrológico de los ecosistemas costeros, cuyo funcionamiento ecológico está relacionado con fuerzas regionales (corriente de Yucatán, afloramiento de Cabo Catoche, descargas de agua subterránea), así como con eventos en pulsos (huracanes, frentes). Entre los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, las lagunas son un rasgo fisiográfico característico que ocupa una superficie aproximada de 3900 km<sup>2</sup> (Herrera-Silveira y Cortés-Balam, 2007).

Las interacciones entre diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos de un sistema varían de acuerdo con los cambios en las condiciones ambientales globales, lo cual favorece la presencia, abundancia y distribución de organismos. Con frecuencia las relaciones que hay entre los parámetros hidrobiológicos de sistemas costeros no son tan evidentes, sin embargo, son importantes en la dinámica del sistema (Herrera-Silveira, 1994).

En este mismo sentido, las oscilaciones espacio temporales de la producción primaria permiten tener un panorama general en cuanto a la dinámica ambiental del sistema y de su comportamiento trófico.

## INTRODUCCIÓN

---

El sistema laguna Colombia es una región natural ubicada al Sur de la isla de Cozumel y en vista de la importancia de los ecosistemas que posee, el 9 de marzo de 1987, se publicó en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado, la Declaratoria de usos, destinos y reservas del municipio donde se establece para la región denominada "Laguna Colombia" un destino de conservación ecológica, zona núcleo, pantanos, manglares y reserva ecológica con usos alternos, es así como el 15 de julio de 1996 por la misma vía se dio a conocer el decreto por el cual se declara Área Natural Protegida, con la categoría de zona sujeta a conservación ecológica, refugio estatal del flora y fauna, la región denominada "Laguna Colombia" con una superficie total de 734.59 Ha (Anónimo, 2009).

La actividad primordial de conservación que determina las acciones en esta zona, es motivada por la necesidad de preservar los ecosistemas costeros que en ella ocurren, como dunas costeras y humedales, los cuales son sumamente frágiles al impacto de las actividades humanas, así como la de proteger a la rica diversidad de especies silvestres representativas del sistema costero insular del Caribe Mexicano que en ella habitan. Es por lo anterior, que las actividades humanas que se realicen en Laguna Colombia ante todo deben procurar la conservación de los atributos ambientales naturales que en conjunto hacen posible la permanencia de las especies destacándose la importancia de la conservación de aquellas especies endémicas amenazadas o en peligro de extinción (Anónimo, 2009).

El propósito del proyecto es realizar por primera vez una caracterización físico-química del sistema lagunar conocido como Laguna Colombia, ubicada con las coordenadas 20° 18' 24" latitud Norte y 87° 00' 21" longitud Oeste dentro de la Reserva del Parque Punta Sur que a su vez se encuentra en el interior de los límites del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, considerada como una laguna costera de gran importancia ecológica (Anónimo, 1998a). De igual manera se pretende evaluar la concentración de clorofila "a", como un indicador del estado trófico del sistema.

## ANTECEDENTES

Estudios científicos realizados en los ecosistemas lagunares costeros de otras partes del mundo, han demostrado la importancia de contar con el conocimiento de las características ecológicas de estos sistemas para determinar los diferentes tipos e intensidades de uso. La falta de estos conocimientos ha provocado efectos negativos en estos ambientes, con consecuencias económicas importantes. Por ello es fundamental identificar los factores y procesos, que permitan orientar las estrategias de conservación, mitigación de impactos y uso sustentable de sus recursos naturales (Zaldivar-Jiménez *et al.*, 2006).

Se han realizado estudios en lagunas costeras de México, en particular en la Península de Yucatán, desde 1994 para conocer el estado actual por medio de diversas variables ambientales y en algunos casos para generar estrategias de conservación (Herrera-Silveira, 1994).

Por otra parte Herrera-Silveira y Comin (2000) mencionan que los ecosistemas acuáticos como cavernas, cenotes, petenes, aguadas y lagunas costeras son útiles para indicar el grado de degradación ambiental en la Península de Yucatán y su estudio puede proveer directrices para el futuro uso de la tierra y su conservación.

Por lo tanto, el objetivo del manejo de la zona costera de la Península de Yucatán, debe contemplar en algunos casos, el mantenimiento de la calidad de sus recursos naturales, en especial en las áreas protegidas, mientras que en otros será la de mejorar su calidad, esencialmente recuperar estructura y función de las zonas degradadas, así como amortiguar o mitigar los abusos de las actividades humanas y enfocar el manejo en las funciones ecológicas que proveen los servicios ambientales y recursos, que al final se traduce en beneficios económicos (Herrera-Silveira *et al.*, 2004).

En la Península de Yucatán se han analizado alrededor de 9 lagunas costeras. Los estudios realizados en estos sistemas han comprendido el análisis *in situ* de diversas variables: profundidad, transparencia, temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad, nitratos, nitritos, materia orgánica, pastos marinos, riqueza específica de fitoplancton,

## ANTECEDENTES

---

concentración de clorofila "a", productividad primaria fitoplanctónica, entre otros (Herrera-Silveira, 1996; Herrera-Silveira, 2006).

La producción primaria en los ecosistemas costeros es intrínsecamente un proceso dinámico, cuya variabilidad espacio-temporal es consecuencia de las condiciones físico-ambientales. El intervalo de dichos cambios debe ser determinado con el fin de establecer un marco de referencia que permite la advertencia de la extrema variación de las condiciones naturales y también proporciona un enfoque idóneo para la emergente detección de disturbios en los ecosistemas (Medina-Gómez y Herrera-Silveira, 2006).

Contreras-Espinoza *et al.* (1994) estudió la clorofila "a" como base para un índice trófico en 33 lagunas costeras de México (18 localizadas en el Golfo de México comprendiendo los estados de Veracruz, Tabasco y Yucatán y 15 ubicadas en el Pacífico Sur abarcando los estados de Oaxaca y Chiapas) mencionando que una de las técnicas más comunes para cuantificar, aunque indirectamente, la biomasa fitoplanctónica es la determinación de la clorofila en el agua; la cual además, está estrechamente asociada al proceso de la productividad primaria.

Lara-Lara y Bazán-Guzmán (2004) mencionan que existen pocas estimaciones de producción primaria y biomasa de fitoplancton (contenido de clorofila "a") para las aguas costeras a lo largo de la región Sur de México. En dicho trabajo se presentan por primera vez, estimaciones sobre la distribución de la biomasa y producción del fitoplancton por clases de tamaño para un transecto entre la boca del Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec. El objetivo principal fue entender la variabilidad espacial de la biomasa y la producción del fitoplancton en una región del Pacífico costero mexicano que ha sido pobremente estudiada.

Aranda-Cirerol *et al.* (2006) realizaron un trabajo sobre el inicio de un programa de monitoreo de la calidad de aguas costeras para establecer una línea de base para la implementación de un manejo integrado de zonas costeras de la Península de Yucatán. La calidad de las aguas costeras es afectada por el incremento del desarrollo económico. Esta área no cuenta con ríos debido a su geomorfología cárstica y las zonas costeras de agua dulce provienen de manantiales o por medio de la filtración.

## ANTECEDENTES

---

El presente estudio constituye el primer trabajo de descripción y análisis del comportamiento espacio-temporal de variables ambientales y estado trófico de Laguna Colombia Quintana Roo.

## JUSTIFICACIÓN

Las lagunas costeras son un rasgo fisiográfico muy importante de las costas de la Península de Yucatán (SE, México), donde se desarrollan diferentes actividades impulsadas por su productividad, atractivo escénico y biodiversidad. Sin embargo, los servicios ambientales de algunas de ellas se han reducido a consecuencia del incremento en descargas de aguas residuales, modificaciones hidrológicas y cambios de uso de la tierra (Herrera-Silveira, 2006).

La Laguna Colombia se encuentra en la Reserva Parque Punta Sur localizada dentro los límites del Parque Marino Arrecifes de Cozumel por lo tanto, de acuerdo con Anónimo (1998a) la problemática al interior del Parque se centra actualmente en la degradación de las estructuras coralinas, reducción de la biodiversidad, sobreexplotación pesquera de algunas especies, contaminación del agua, pérdida de hábitat y modificación del paisaje natural en la línea de costa, entre otros. El origen de tales problemas radica, por un lado, en la elevada afluencia de turistas, lo cual ha generado un desmedido crecimiento en prestadores de servicios acuático-recreativos, así como el desarrollo de infraestructura turística y de apoyo (hoteles, restaurantes, embarcaderos).

La falta de educación ambiental y de mecanismos que regulen las actividades de los prestadores de servicios son, por otro lado, las razones de que tales problemas se acentúen. En particular el acelerado desarrollo de infraestructura turística y urbana a lo largo de la costa, combinado con el escaso cumplimiento a la normatividad ambiental existente, representa actualmente la mayor fuente potencial de deterioro para los ecosistemas arrecifales, acuáticos y el entorno natural en general (Anónimo, 1998a).

Por otro lado es imperante (para facilitar su manejo) aportar información acerca del conocimiento de las condiciones básicas de los sistemas acuáticos localizados dentro del Área Natural Protegida en Quintana Roo. Actualmente se desconocen las condiciones ambientales de la Laguna Colombia, ya que no hay estudios previos que describan y analicen el comportamiento físico y químico de este sistema a lo largo de un ciclo anual, sin embargo se sabe que este ecosistema se encuentra fuertemente influenciado por factores externos como huracanes, nortes, entre otros.



**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Cómo es el comportamiento espacio-temporal en un ciclo anual de variables ambientales básicas (profundidad, transparencia, temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y clorofila) en la Laguna Colombia?

De acuerdo con el análisis de la concentración de clorofila "a" ¿Cuál es el estado trófico del sitio de estudio a escala espacial y temporal?

## OBJETIVOS

---

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento espacio-temporal de una laguna costera (Laguna Colombia) por medio de variables físico-químicas [profundidad (m), transparencia (m), temperatura (°C), salinidad (ppm), pH, oxígeno disuelto (mg/L), saturación de oxígeno (%)] y establecer el estado trófico mediante la determinación de clorofila "a" (mg/m<sup>3</sup>) como un indicador de la producción primaria durante un ciclo anual.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el comportamiento espacio temporal de la laguna Colombia por medio de variables físico-químicas completando un ciclo anual 2008-2009.
- Evaluar el estado trófico de la laguna a partir de la medición espacio temporal de clorofila "a" como un indicador de la producción primaria del sitio de estudio durante un ciclo anual (2008-2009).

## ÁREA DE ESTUDIO

Éste trabajo fue realizado en la Laguna Colombia (Fig. 1) que se encuentra dentro de la Reserva Punta Sur, ubicada dentro de los límites del Parque Marino "Arrecifes de Cozumel" con las coordenadas 20° 18' 24" latitud Norte y 87° 00' 21" longitud Oeste.

El Parque Marino está en el Municipio de Cozumel, Quintana Roo, aproximadamente a 16.5 km al este de la Península de Yucatán, en la zona del Caribe Noroccidental. Dentro la Provincia Caribeña, abarcando parte de la costa SO, S y SE de la Isla de Cozumel, con una superficie marítimo terrestre total de 11,987 Ha (Anónimo, 1998b).

## COZUMEL

### Geografía física

Cozumel tiene una extensión de 647.33 km<sup>2</sup>, es una isla del Caribe Mexicano que se localiza a 20 km aproximadamente del estado de Quintana Roo. La isla está rodeada por aguas cálidas del mar Caribe o mar de las Antillas, las que eventualmente forman en la porción norte del estado de Quintana Roo, la corriente del canal de Yucatán, génesis de la Corriente del Golfo (Orellana *et al.*, 2008).

La localización geográfica de la Península de Yucatán al igual que la de la isla da como resultado la prevalescencia de las altas presiones por la influencia de la celda anticiclónica Bermuda-Azores que afecta sobre todo al Norte peninsular y más aún al Noreste. Durante lluvias, los vientos alisios arrastran suficiente nubosidad en su trayectoria, de tal manera que depositan a su paso una cantidad considerable de precipitación, más que la que se recibe en la costa quintanarroense, debido probablemente a la condición insular de Cozumel.

Durante esta temporada, la isla es atravesada constante mente por las ondas del este u ondas tropicales, perturbaciones que se generan en el cinturón de los vientos alisios. Son líneas de flujo onduladas superpuestas a los vientos del este. Apuntan la baja presión hacia el norte y tienen una dirección de este a oeste; estas perturbaciones ocasionan lluvias torrenciales (Orellana *et al.*, 2008).

Así mismo, el mar Caribe y el Atlántico Oriental frente a las costas de África Oriental sufren un sobrecalentamiento de una lente de agua, lo que ocasiona que se forme en las masas de agua superficiales, una disminución de la presión atmosférica. A finales de la temporada lluviosa la zona está altamente influenciada por los frentes fríos (nortes), dejando una cantidad importante de lluvia invernal. En Cozumel se registran temperaturas entre 26 y 27 °C. En la zona la precipitación anual varía entre 800 y 1500 mm, siendo los meses más secos marzo y abril; septiembre es el mes con mayor lluvia (Orellana *et al.*, 2008).

### **Flora**

La flora de Cozumel representa aproximadamente el 40% de la reportada para todo el Estado. Esto es muy significativo, si se toma en cuenta que la isla representa el 10% del área total del mismo.

Está compuesta por 105 familias de plantas vasculares; de éstas, dos corresponden a las pteridofitas, dos a las gimnospermas y 101 a las angiospermas (21 a las monocotiledóneas y 80 a las dicotiledóneas). Del número total de familias, exclusivamente 15 representan el 57% de la flora, siendo las leguminosas la familia más rica en la flora de la isla (Anónimo, 1998b).

### **Tipos de Vegetación**

La selva mediana subcaducifolia es dominante, está constituida primordialmente por dos estratos arbóreos de entre 8 y 20 m de altura, existe un escaso estrato arbustivo-herbáceo de individuos jóvenes de las especies que dominan los estratos arbóreos.

También hay presencia de selva baja caducifolia compuesta generalmente por un estrato arbóreo principal y otro arbustivo o subarbóreo, sin presentarse un estrato herbáceo, con escasas trepadoras y epifitas, aunque en lugares susceptibles a permanecer inundados una parte del año la composición se halla complementada por otros elementos y existen más epifitas y trepadoras.

En las planicies inundables de la isla, se desarrolla una asociación vegetal denominada Tasistal, sobre suelos inundables no salinos. Los manglares son comunidades vegetales sobre suelos inundables salinos dominadas por especies arbóreas de hojas coriáceas y mecanismos adaptativos que les permiten tolerar la salinidad del sustrato y la falta de oxígeno en las raíces.

Los matorrales costeros se desarrollan fundamentalmente en la barra de la Laguna Colombia, así como en la barra de Celarain sobre suelos arenosos sueltos y dunas fijas (en el caso de la barra de la Laguna Colombia) y sobre areniscas calcáreas consolidadas (en el caso de barra de Celarain). Ambos se clasifican como regosoles (Huntunich, en maya) (Anónimo, 1998b).

### **Fauna**

A pesar de que el Parque incluye en su mayoría la zona marítima, la parte terrestre alberga a cuatro clases de vertebrados (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) que agrupan un total de 136 especies. Las aves son las más diversificadas, con 93 especies, que representan el 68.38% del total de vertebrados de la isla. Las residentes (que viven todo el año en la isla o anidan ahí) suman 73 especies, que significa un 78% del total, cantidad muy significativa para la región.

Como en todas las islas es esperado encontrar dentro del área un alto porcentaje de endemismos. Cozumel cuenta con 26 formas endémicas de vertebrados que representan el 19.11% del total de las especies, de las cuales un 19.23% son endemismos a nivel de especie, mientras que el resto son subespecies (Anónimo, 1998b).

### **Laguna Colombia**

La Laguna Colombia cuenta con un área superficial de 734.59 Ha de forma casi triangular con un eje principal con orientación noroeste-sureste (Fig. 1). Está unida directamente al mar en su parte oeste a través de una boca de unos 4 a 6 m de largo y 1.5 m de ancho, esta abertura también conocida como "bocana" muestra un doble delta (es decir, un área de depósitos deltaicos en el mar y otra área similar dentro de la

## ÁREA DE ESTUDIO

---

laguna), constituye una apertura intermitente que comunica hacia el mar principalmente durante lluvias, mientras que en secas permanece prácticamente bloqueada por una duna (Anónimo, 2009).

Además hacia el sureste de la laguna se encuentra un "canal" el cual se comunica con otro sistema lagunar conocido como "Chunchacaab" (observación personal).

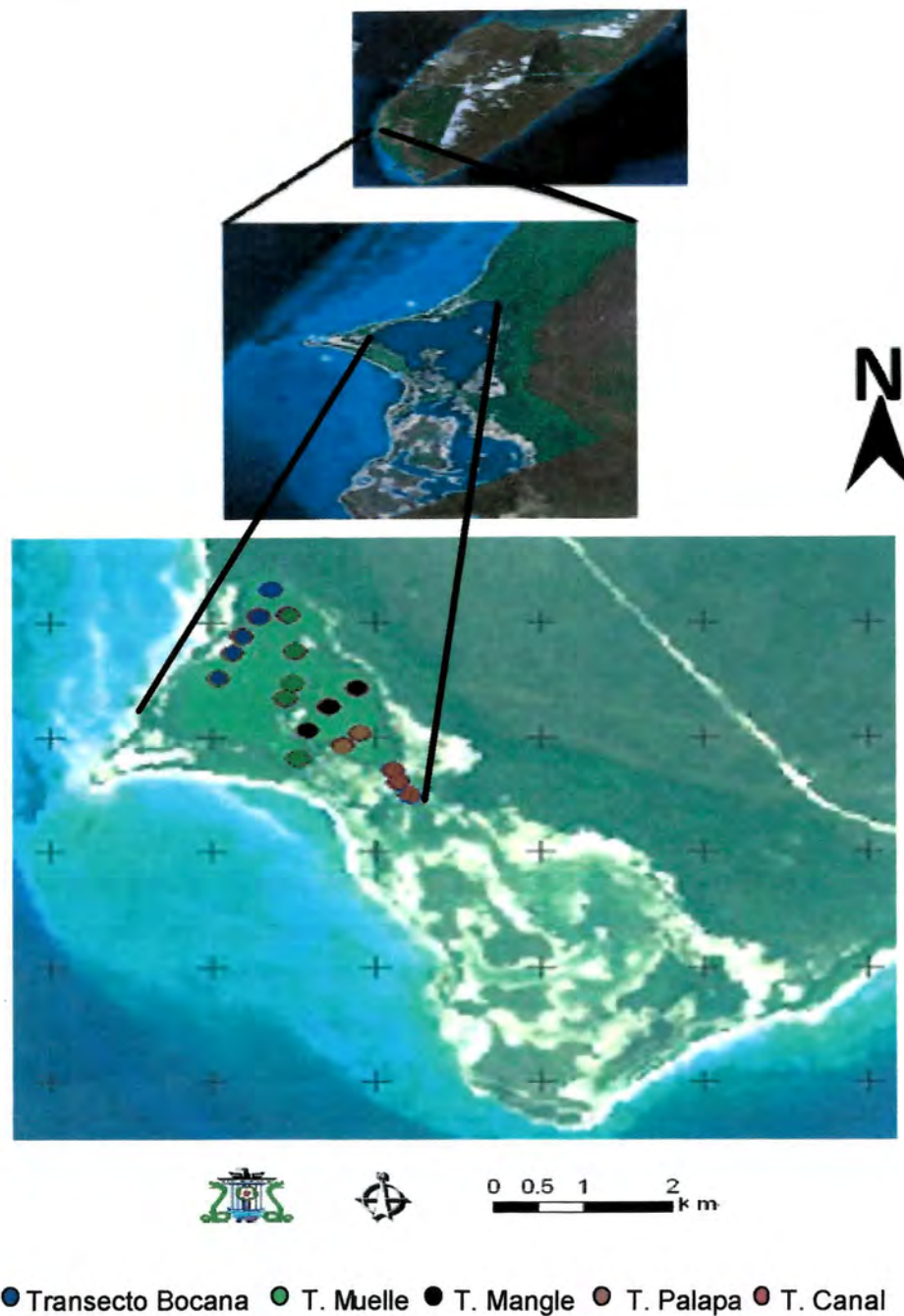


Fig. 1. Estaciones de muestro consideradas en Laguna Colombia (junio 2008- mayo 2009).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el proyecto se efectuaron un total de 12 muestreos (uno cada mes) completando un ciclo desde junio de 2008 hacia mayo de 2009. Considerando la superficie de la laguna, se determinaron 4 transectos aproximadamente paralelos entre sí (siguiendo la línea de costa oeste de la laguna) más un transecto a lo largo del canal, para considerar el posible gradiente de salinidad, generado por la influencia de agua marina y dulce hacia la laguna. En total se estudiaron 18 estaciones de muestreo.

Debido a la forma irregular de la Laguna (Fig. 1) no fue posible asignar el mismo número de estaciones de muestro por transecto; el primer y segundo contaron con un total de 5 estaciones (Muelle 1-5 y Bocana 1-5, respectivamente), el tercero tuvo 3 (Mangle 1-3), el cuarto 2 (Palapa 1-2) y el quinto con 3 (Canal 1-3), todas las estaciones fueron previamente geoposicionadas con un GPS Garmin Etrex, las cuales se ubicaron por navegación, realizando las determinaciones en los mismos puntos a lo largo del estudio.

Para la caracterización fisico-química de Laguna Colombia se tomaron los siguientes parámetros *in situ* con una sonda multiparamétrica, Hydrolab DS5X: profundidad de la columna de agua (m), temperatura (°C), salinidad (ppm), pH, oxígeno disuelto (mg/L) y saturación de oxígeno (%). La transparencia (m) se determinó con un disco de Secchi. En cada estación se colectaron los parámetros mencionados considerando 2 muestras (A y B). En campo, todos los datos fueron registrados en un formato previamente diseñado.

La concentración de clorofila "a" se determinó en cada una de las estaciones de muestreo. Para ello se colectaron 2 litros de agua aproximadamente (muestra y réplica). En total se analizaron 432 muestras en lo que comprendió el ciclo anual, las cuales se guardaron *in situ* en neveras con hielo para su fijación hasta llegar al laboratorio.

En el laboratorio, las muestras de agua se filtraron por medio de un filtro Millipore de 0.45 µm, los pigmentos fueron extraídos usando acetona al 90% dejándolos reposar



## MATERIALES Y MÉTODOS

---

en tubos de ensaye por 24 horas; posteriormente éstos se introdujeron a la centrifuga Solbat G600 a 3000 revoluciones por minuto durante 10 minutos para aislar el pigmento en el solvente.

Se determinó la absorbancia de cada muestra con un espectrofotómetro Thermo Spectronic Genesys 20 a diferentes longitudes de onda (630, 647 y 664 nm respectivamente), para posteriormente, calcular la concentración de clorofila "a" de acuerdo a la técnica de APHA (1986), con la siguiente relación:

$$\text{mgChla/m}^3 = (\text{Ca} \cdot \text{v}) / (\text{V} \cdot 10)$$

$$\text{Donde: Ca} = (11.85 \cdot \text{E}664) - (1.54 \cdot \text{E}647) - (0.08 \cdot \text{E}630)$$

v = Volumen de acetona (10ml)

V = Volumen de la muestra filtrada en litros.

Por otro lado, la precipitación y la temperatura mensual del ambiente fueron consideradas para determinar si existe una relación con las variables analizadas en el estudio así como determinar qué tipo de relación se estableció.

Los datos de estos parámetros ambientales se obtuvieron de la estación meteorológica militar 4 de Cozumel.

## RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de las variables físico-químicas de la Laguna Colombia (LC) durante el ciclo anual estudiado.

De manera general, el sistema presentó variaciones espacio-temporales en todos los parámetros estudiados que se mencionan a continuación.

### VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS

#### Profundidad

La LC presentó una profundidad promedio de  $0.85 \pm 0.194$  m (Fig. 2A-L). Espacialmente, a lo largo del ciclo, la estación que presentó el valor más alto fue Muelle 5 con  $1.43 \pm 0.00$  m en octubre (Fig. 2E), por el contrario Canal 3 fue la estación que presentó el valor mínimo con  $0.24 \pm 0.00$  m en febrero (Fig. 2 I).

En lo que respecta a la temporalidad, se observa que junio, julio, agosto y abril presentaron una profundidad promedio menor que osciló entre  $0.78 \pm 0.155$  a  $0.79 \pm 0.208$  m. Por otro lado entre septiembre y octubre se registraron los valores máximos entre  $0.93 \pm 0.155$  y  $1.06 \pm 0.208$  m (Fig. 3).

## RESULTADOS

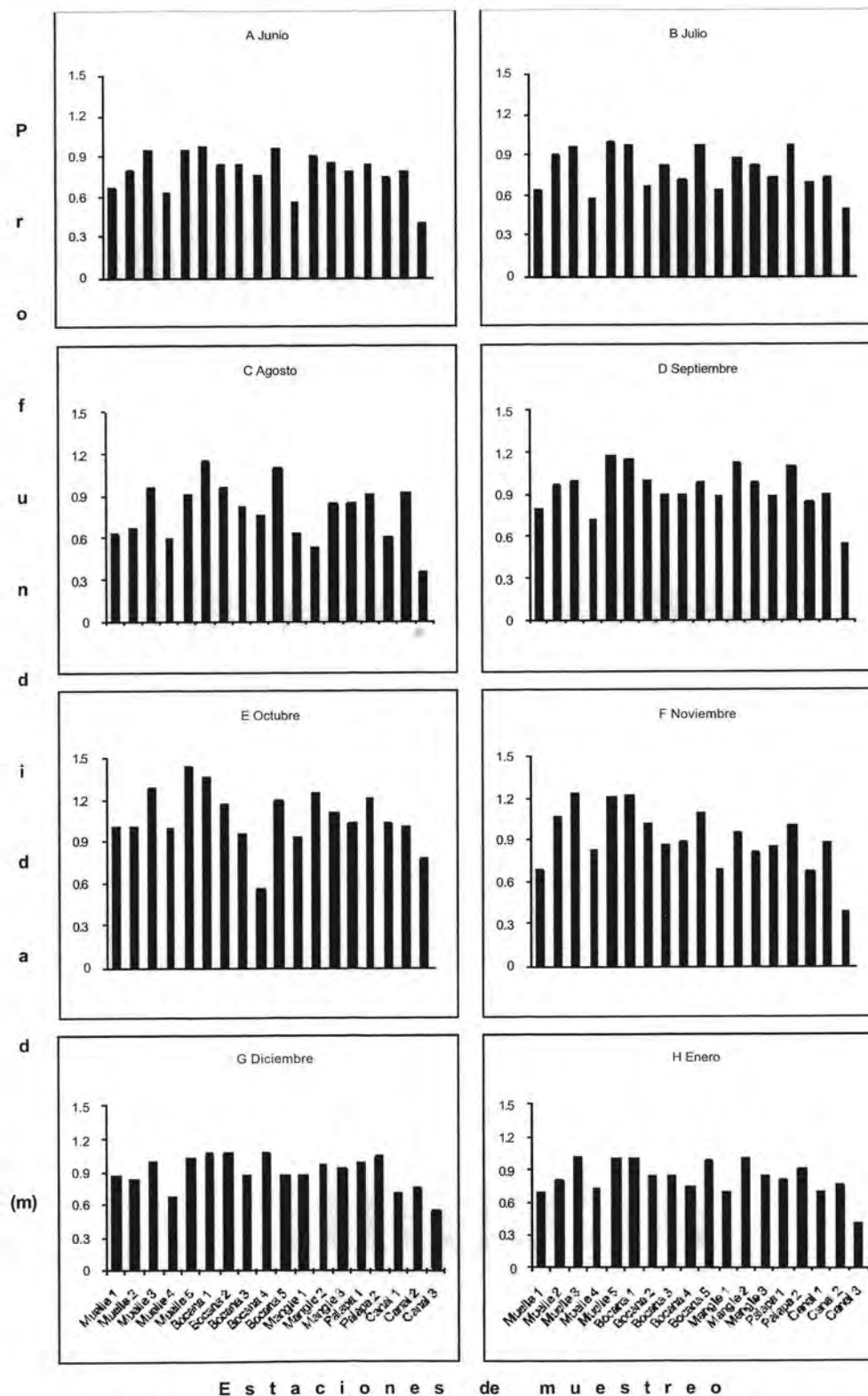


Fig. 2. Profundidad de la columna de agua mensual por estación de muestreo.

## RESULTADOS

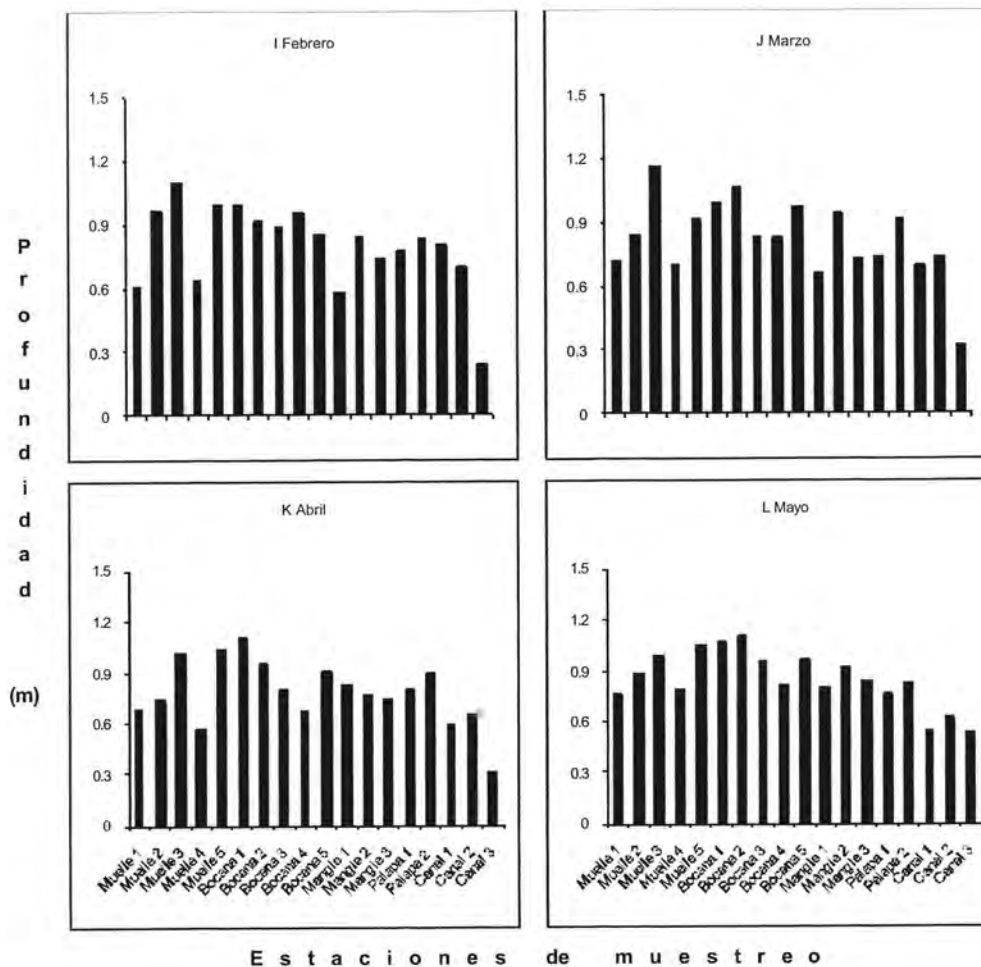


Fig. 2. Continuación.

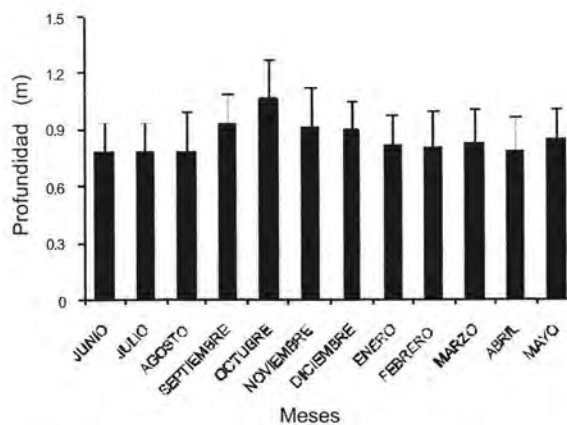


Fig. 3. Promedio mensual de la profundidad de la columna de agua.

## RESULTADOS

---

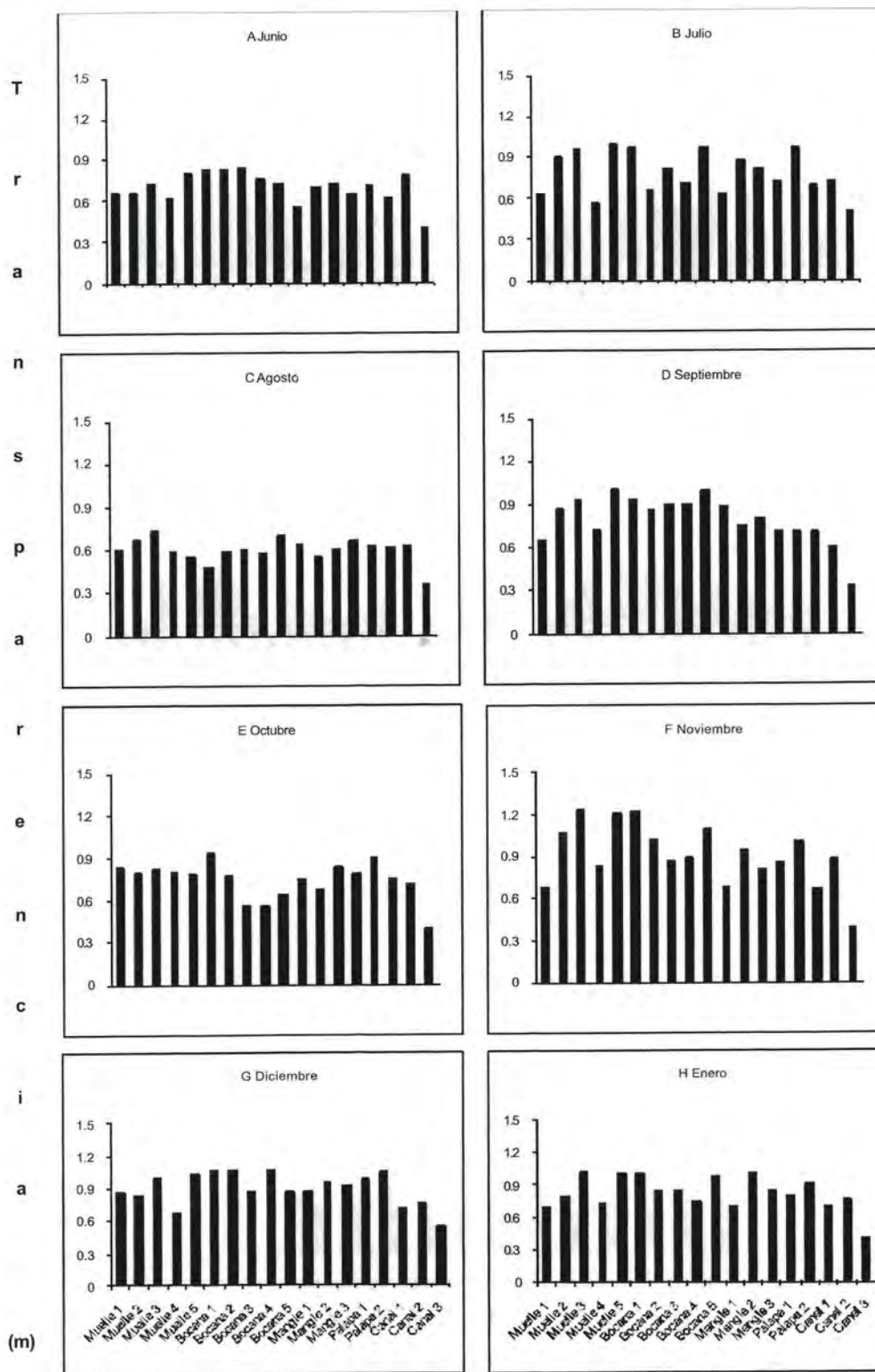
### Transparencia (m)

La transparencia presentó un promedio de  $0.79 \pm 0.179$  m (Fig. 4A-L). Es importante mencionar que a partir de noviembre y hasta mayo, se encontraron transparencias totales en todas las estaciones de muestro, sin embargo los meses anteriores (junio-octubre) presentaron aguas muy cercanas a la transparencia total (Fig. 5).

Espacialmente, la estación que presentó mayor transparencia fue Muelle 3 con  $1.23 \pm 0.00$  m en noviembre (Fig. 4F) y la menor Canal 3 con  $0.24 \pm 0.00$  m en febrero (Fig. 4I).

Por otro lado en el análisis temporal (promedio/mes) se encontró que noviembre presentó el valor más alto con  $0.90 \pm 0.221$  m y el valor más bajo con  $0.59 \pm 0.084$  m en agosto (Fig. 5).

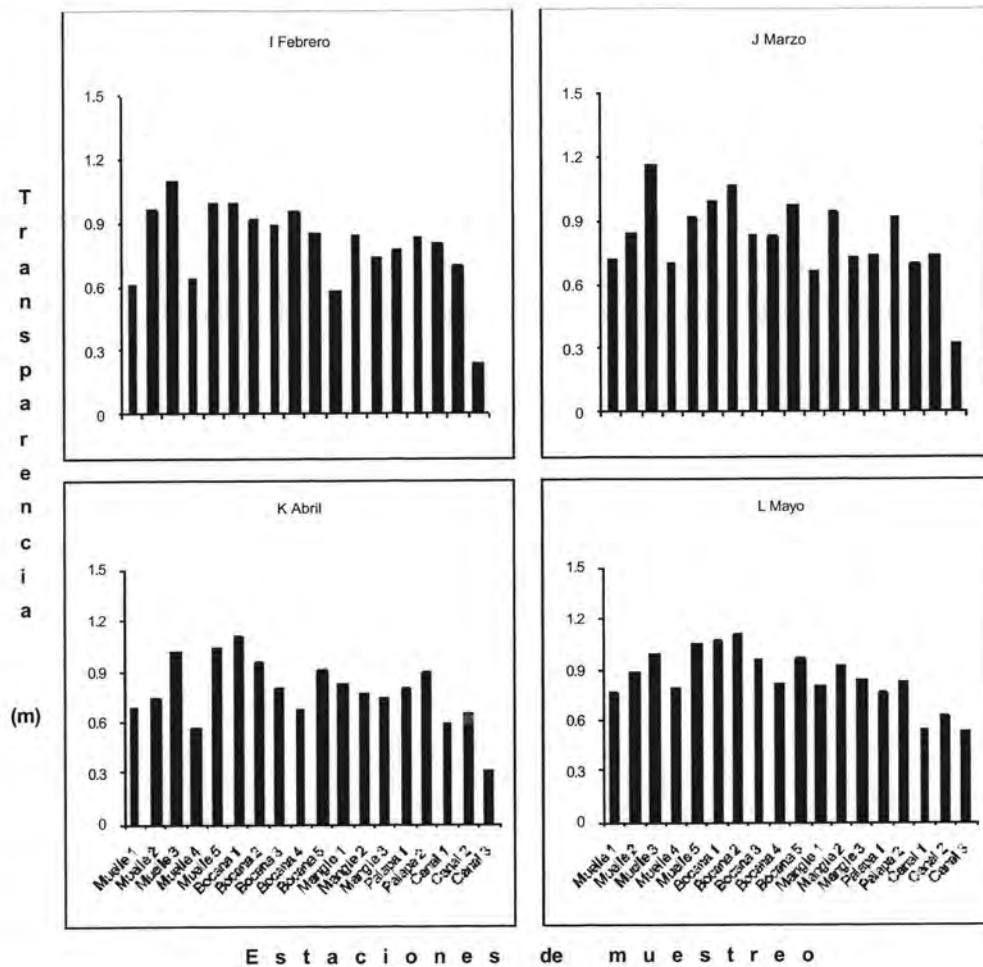
## RESULTADOS



Estaciones de muestreo

Fig. 4. Transparencia mensual por estación de muestreo.

## RESULTADOS



Estaciones de muestreo

Fig. 4. Continuación.

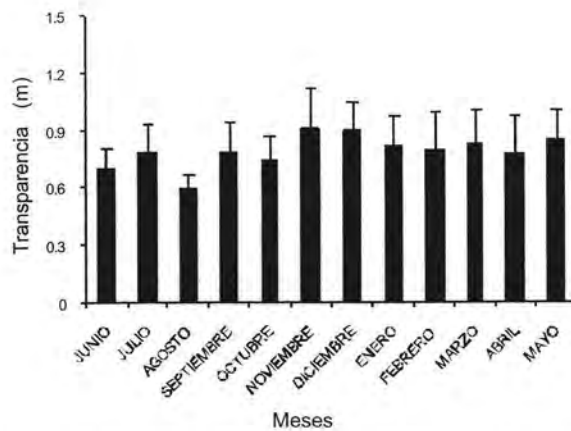


Fig. 5. Promedio mensual de transparencia.

## RESULTADOS

---

### Temperatura (°C)

La temperatura del agua presentó un comportamiento heterogéneo en todas las estaciones de muestreo y en los todos los meses de estudio (Fig. 6A-L). De manera general el promedio anual de temperatura del agua fue de  $28.33 \pm 3.27$  °C. En el análisis espacial se encontró que Canal 2 presentó el valor más alto con  $34.56 \pm 0.05$  °C en julio (Fig. 6B) y Muelle 1 el valor más bajo con  $22.16 \pm 0.01$  °C en enero (Fig. 6H).

De manera temporal, de junio a septiembre se registró la mayor temperatura promedio ( $> 30$ °C); mientras que de noviembre a enero las menores, siendo enero el mes en que se presentó la mínima  $22.52 \pm 0.168$  °C. De febrero a mayo la temperatura del agua incrementó gradualmente de 25 a 30 °C (Fig. 7).



## RESULTADOS

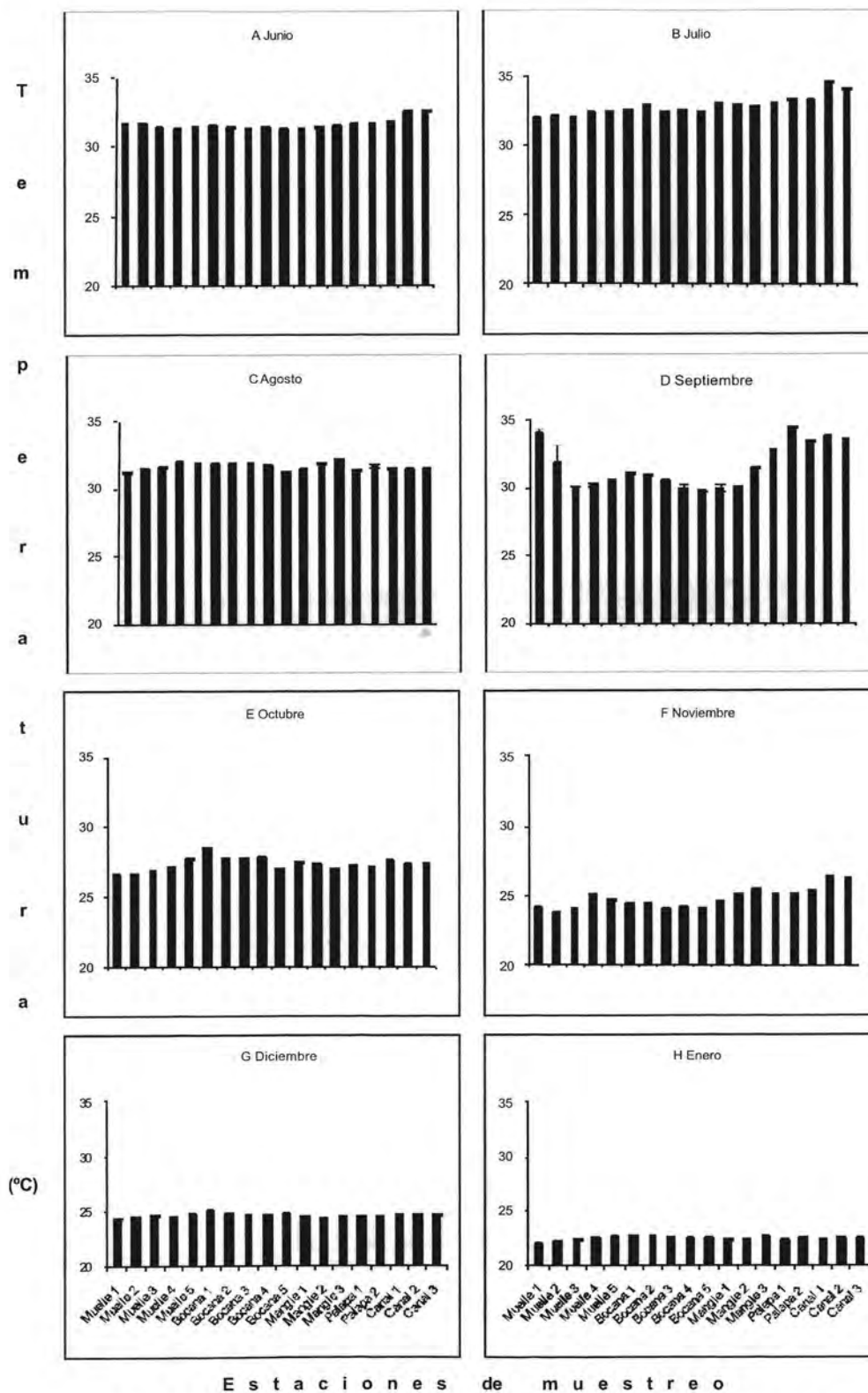


Fig. 6. Temperatura del agua mensual por estación de muestreo.

## RESULTADOS

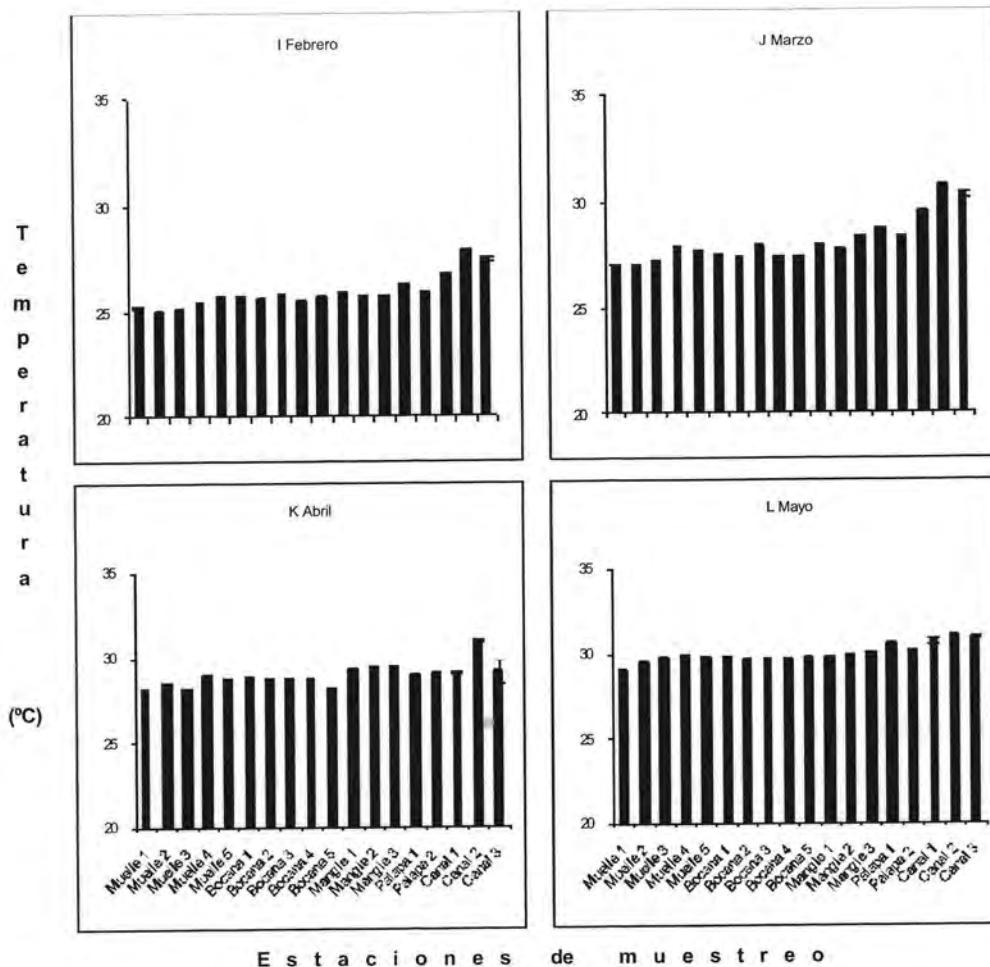


Fig. 6. Continuación.

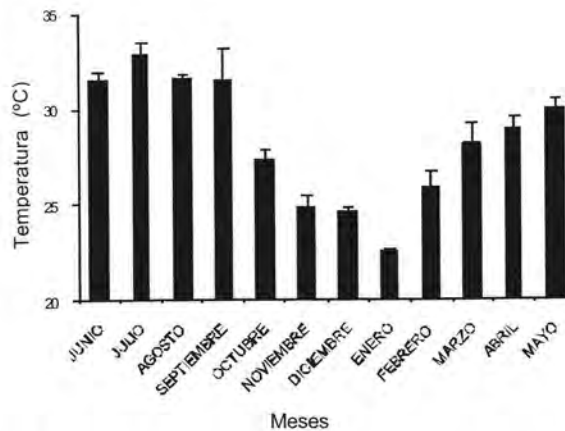


Fig. 7. Promedio mensual de la temperatura del agua.

## RESULTADOS

---

### Salinidad (ppm)

La salinidad presentó un promedio anual de  $53 \pm 17.11$  ppm (Fig. 8A-L). Durante junio, julio, agosto y mayo se presentaron los valores más altos de salinidad con  $70.65 \pm 0.155$  ppm, en estos meses se observó una distribución homogénea de la salinidad en todas las estaciones de muestreo (Fig. 8A-C, L).

Entre septiembre y noviembre se observó poca homogeneidad y disminución en los registros de salinidad en Laguna Colombia, con valores entre 18 a 36 ppm, con una tendencia hacia el decremento (Figs. 8D-E) o incremento (Figs. 8F-L) en la región del canal. Por otro lado, la estación que presentó el valor mínimo fue Muelle 1 con  $18.74 \pm 0.00$  ppm en octubre (Fig. 8E), mientras que los máximos se registraron cuando la laguna fue homogénea en cuanto a su salinidad.

En términos de distribución temporal, las concentraciones de salinidad presentaron un comportamiento heterogéneo, en donde los niveles máximos y mínimos encontrados corresponden a la temporada de lluvias. Al inicio del periodo de nortes, los valores incrementaron considerablemente hasta el final del periodo de secas (Fig. 9).

## RESULTADOS

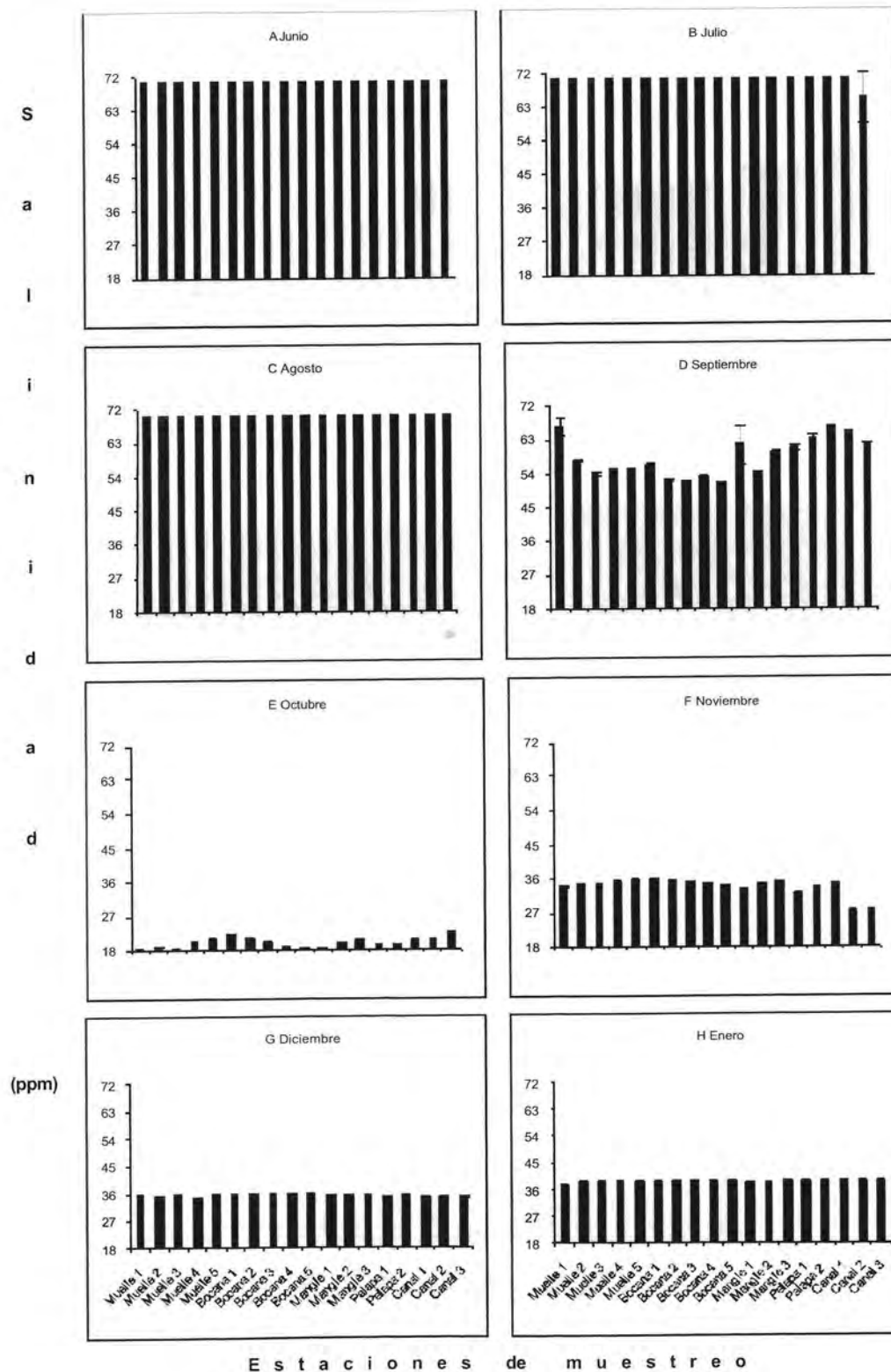


Fig. 8. Salinidad mensual por estación de muestreo.

## RESULTADOS

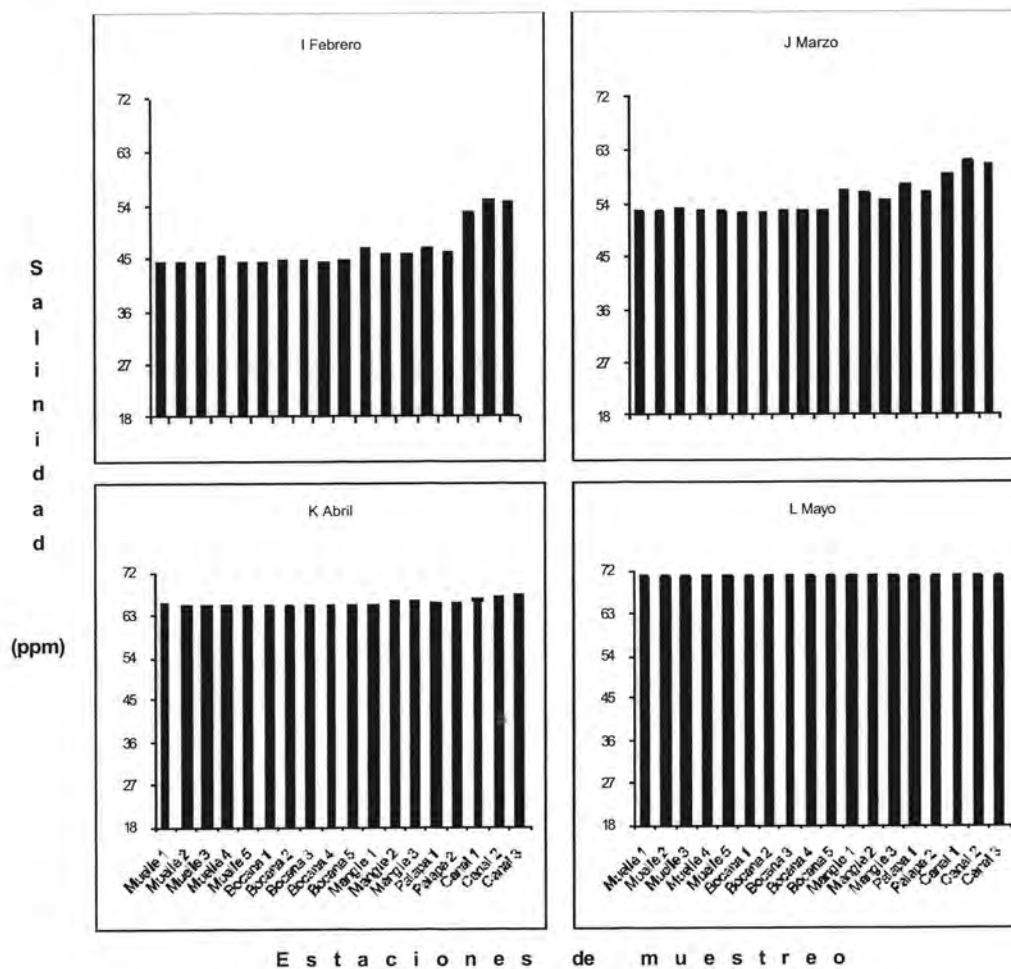


Fig. 8. Continuación.

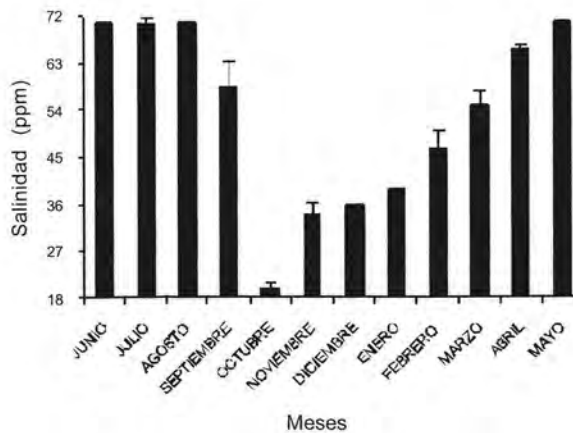


Fig. 9. Promedio mensual de salinidad.

## RESULTADOS

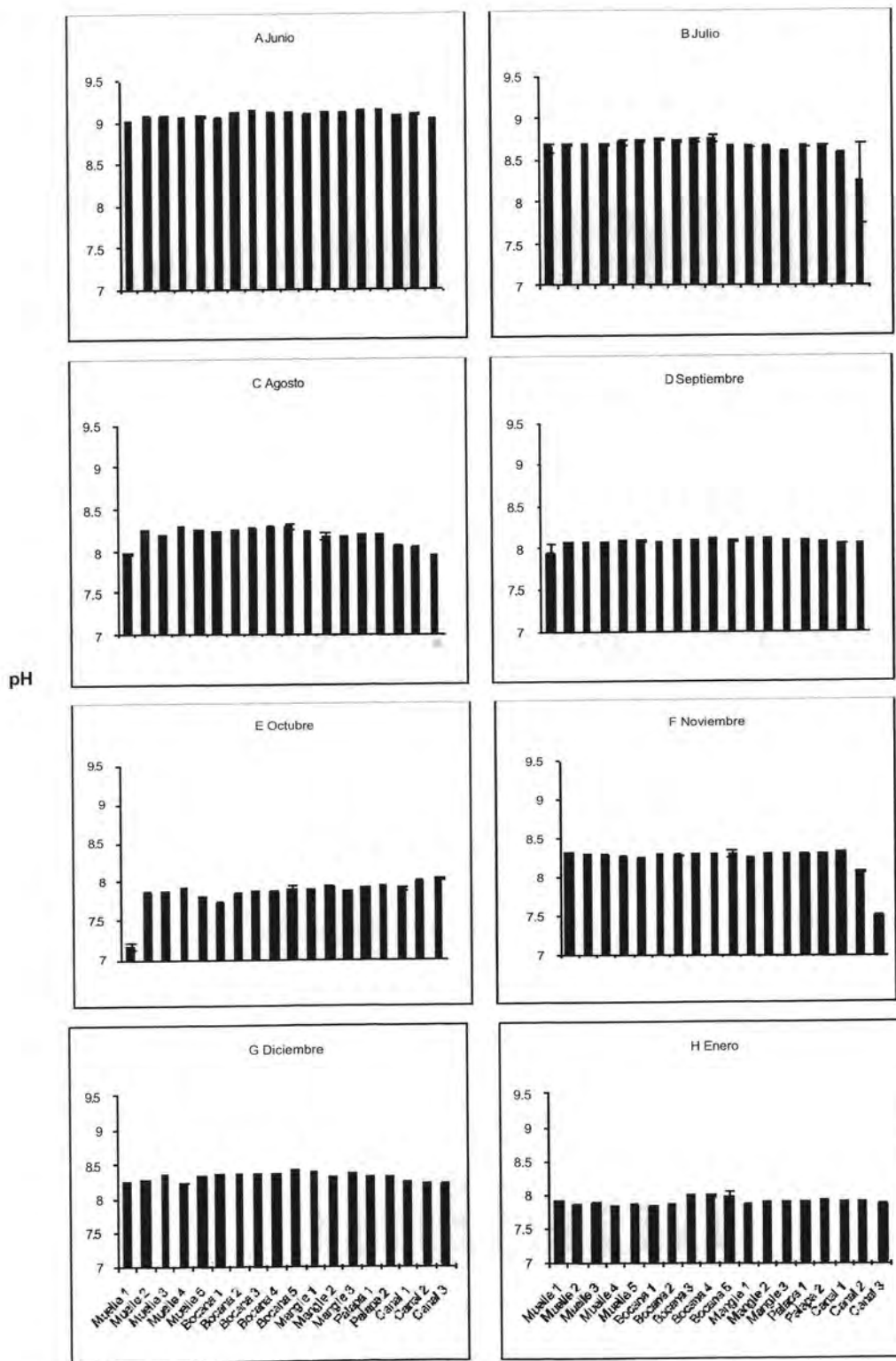
---

### pH

El promedio de esta variable para todo el ciclo anual fue de  $8.32 \pm 0.343$  (Fig. 10A-L). En lo que respecta a las estaciones de muestreo, el valor mínimo encontrado fue en Muelle 1 con  $7.18 \pm 0.04$  en octubre (Fig. 10E) y el valor máximo fue en Palapa 1 con  $9.13 \pm 0.00$  en junio (Fig. 10A).

En cuanto a temporalidad en general, de agosto a octubre las lecturas de pH fueron más homogéneas en la laguna (Fig. 10C-E). Junio fue el mes con el valor más alto con  $9.08 \pm 0.030$  y octubre el más bajo con  $7.85 \pm 0.181$  (Fig.11).

## RESULTADOS



## RESULTADOS

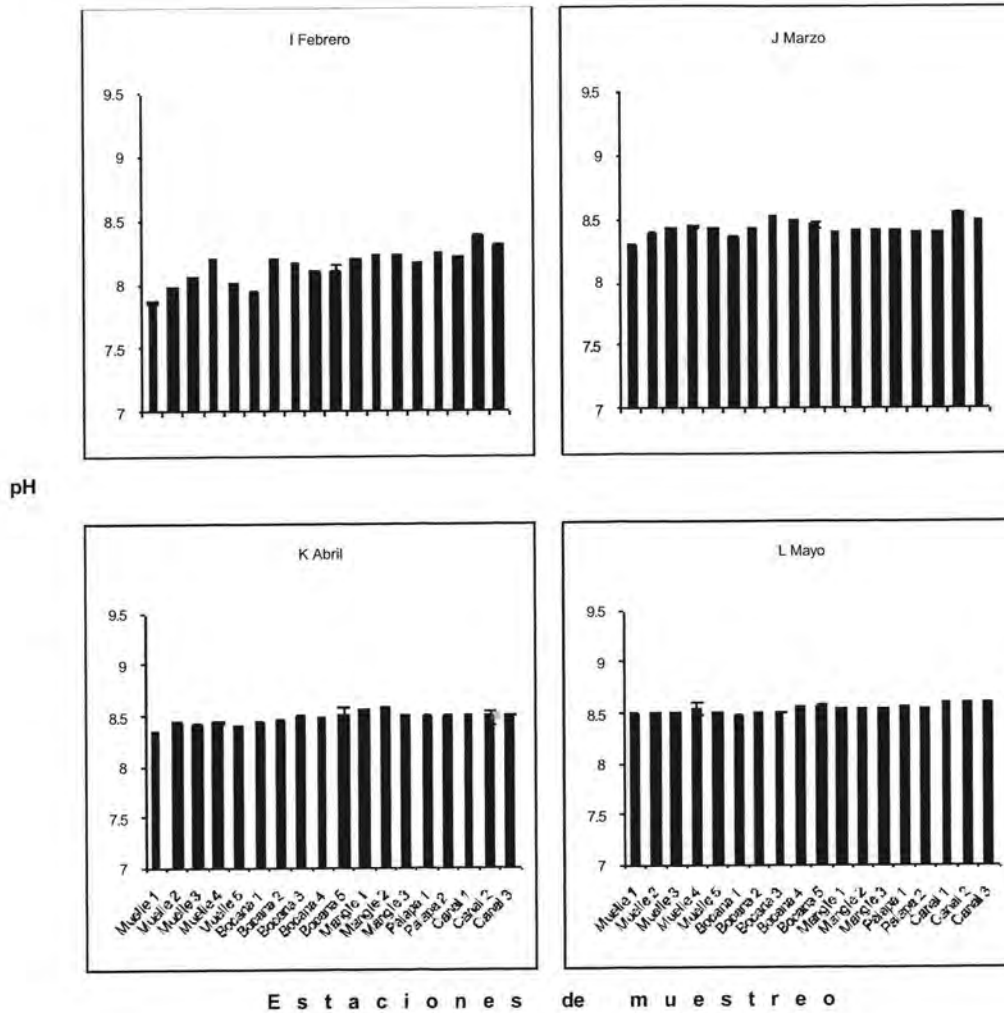


Fig. 10. Continuación.

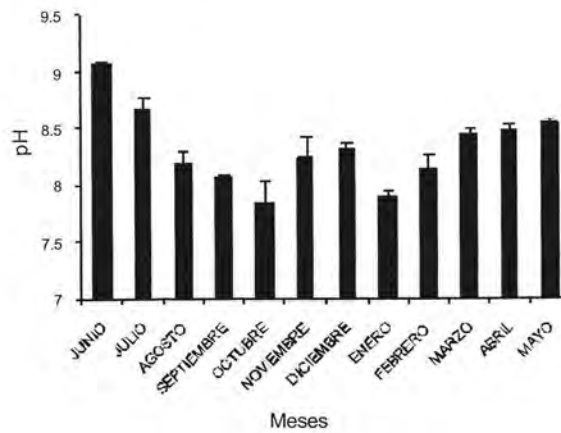


Fig. 11 . Promedio mensual de pH.



## RESULTADOS

---

### **Oxígeno disuelto (mg/L)**

El promedio anual del oxígeno disuelto fue de  $4.33 \pm 1.02$  mg/L. En cuanto a las estaciones de muestreo, el valor mínimo se encontró en Canal 3 con  $0.32 \pm 0.00$  mg/L en noviembre (Fig. 12 F) y el máximo en la estación Bocana 3 con  $6.75 \pm 0.00$  mg/L en marzo (Fig. 12J).

En cuanto a los meses estudiados se observó una tendencia hacia la disminución de la concentración de oxígeno de junio a septiembre (con el promedio mínimo resgitrado en este último mes con  $3.03 \pm 0.920$  mg/L) y los máximos en marzo con  $5.33 \pm 0.737$  mg/L (Fig 13).

## RESULTADOS

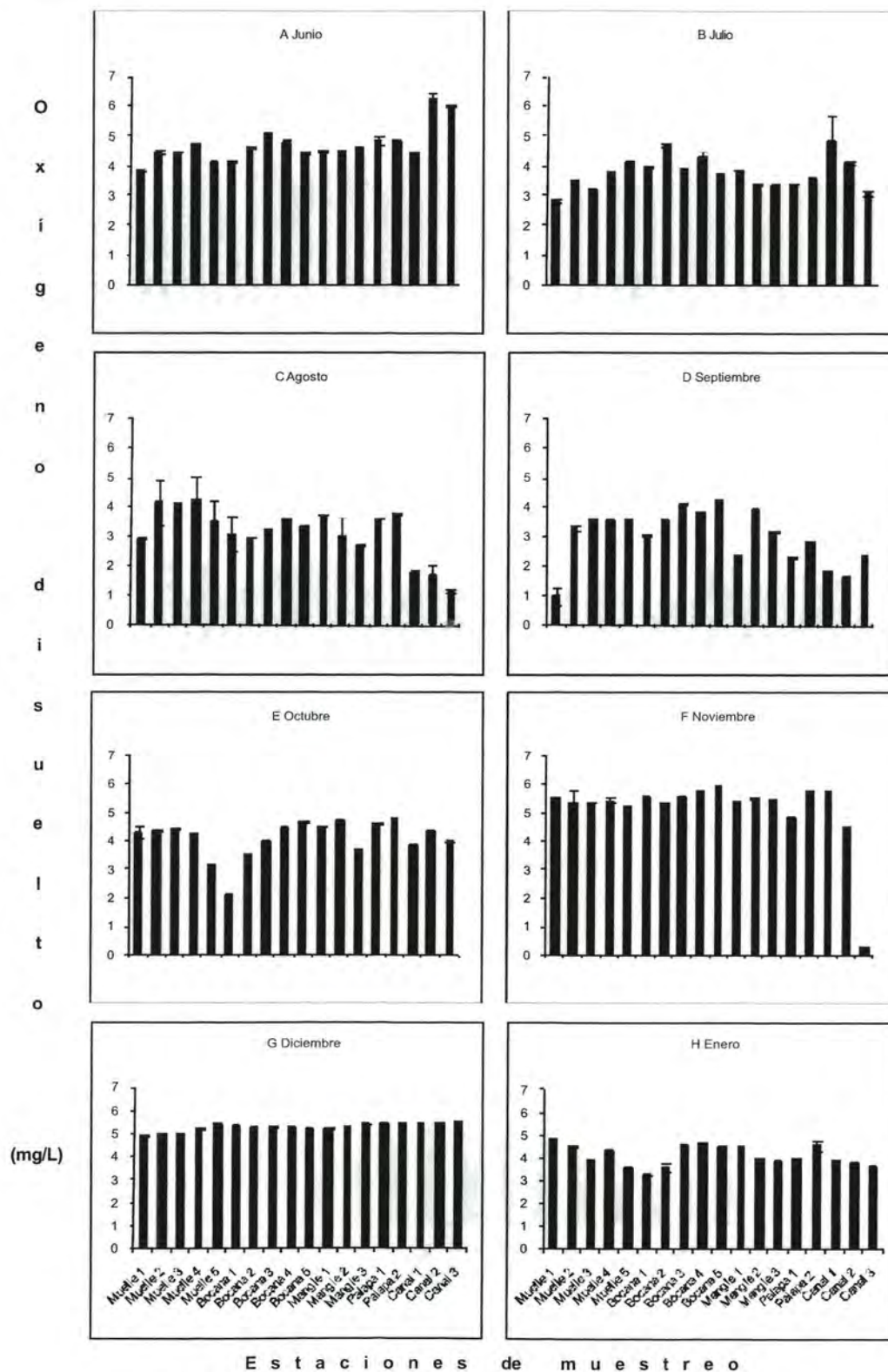


Fig. 12. Oxígeno disuelto mensual por estación de muestreo.

## RESULTADOS

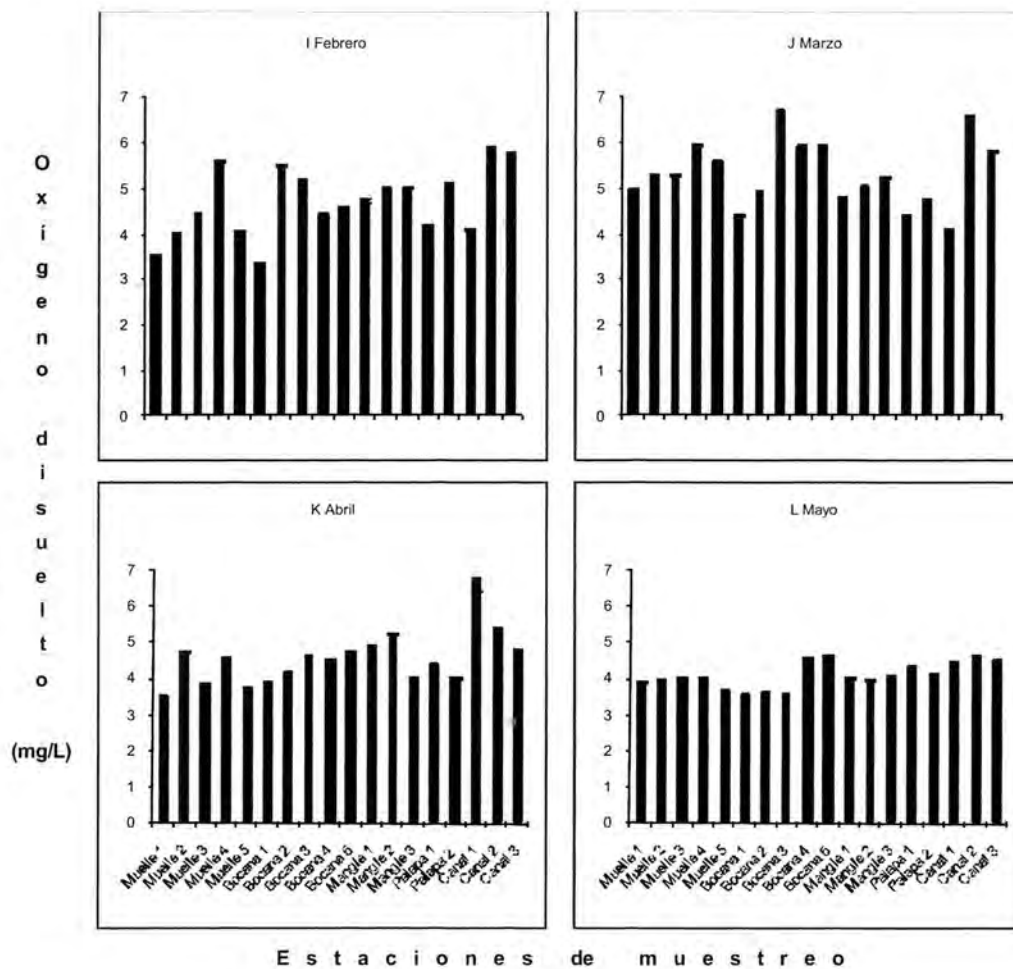


Fig. 12. Continuación.

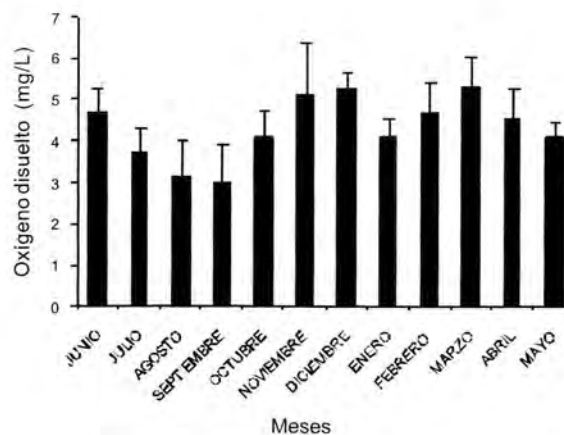


Fig. 13. Promedio mensual de oxígeno disuelto.

## RESULTADOS

---

### Saturación de oxígeno (%)

La saturación de oxígeno presentó un promedio anual de  $88.94 \pm 21.29$  %. Especialmente, Canal 3 presentó el valor mínimo con  $4.8 \pm 0.00$  % en noviembre (Fig. 14F) y Canal 2 fue la estación con el más alto de  $157.25 \pm 0.777$  % en junio (Fig. 14A).

En cuanto a temporalidad, al igual que el oxígeno disuelto, la saturación de oxígeno presentó una tendencia hacia la disminución de junio (el cual tuvo el valor más alto con  $112.42 \pm 20.12$  %) a septiembre (con el más bajo  $66.71 \pm 19.51$  %) (Fig. 15).

## RESULTADOS

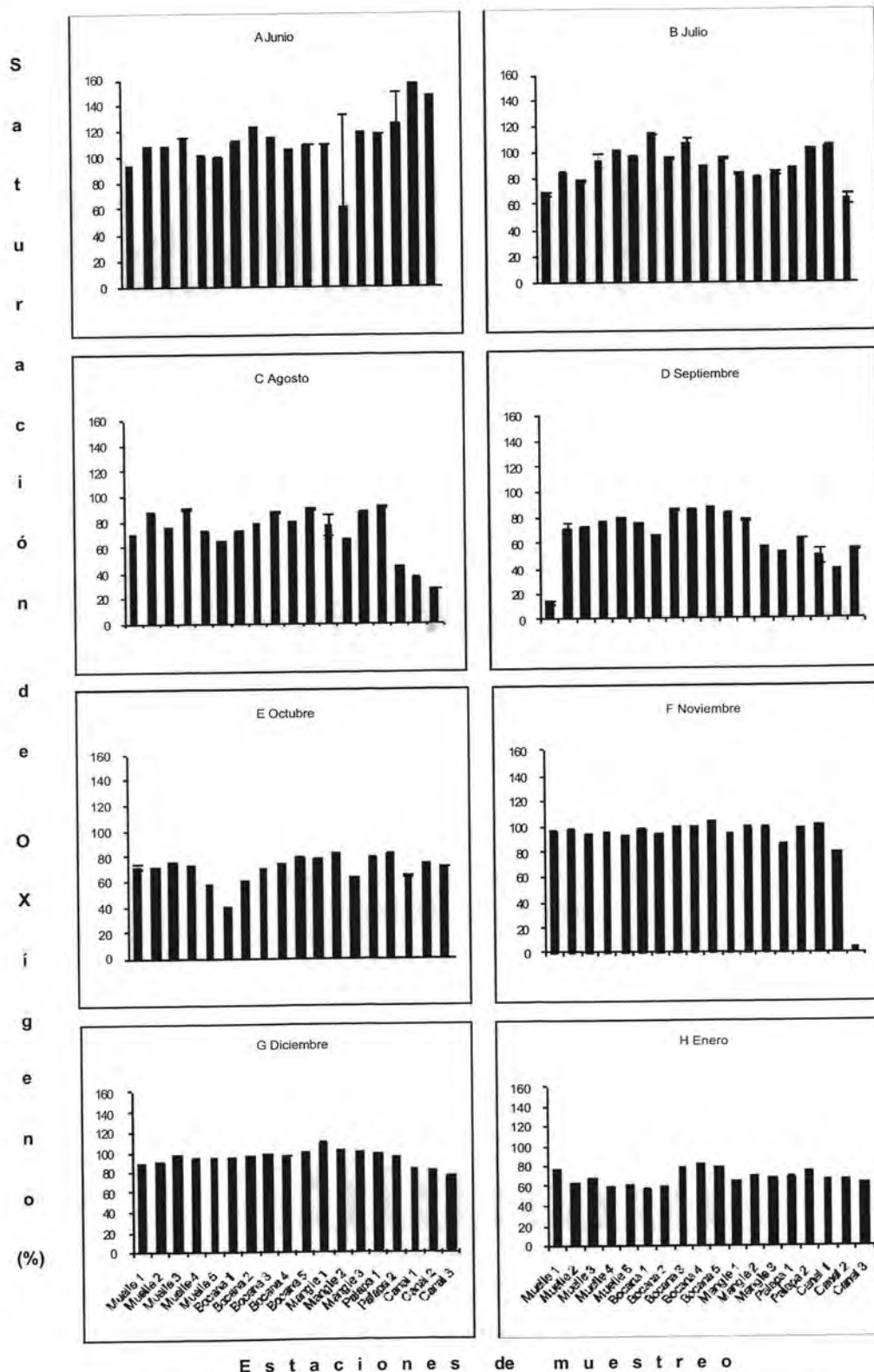


Fig. 14. Saturación de Oxígeno mensual por estación de muestreo.

## RESULTADOS

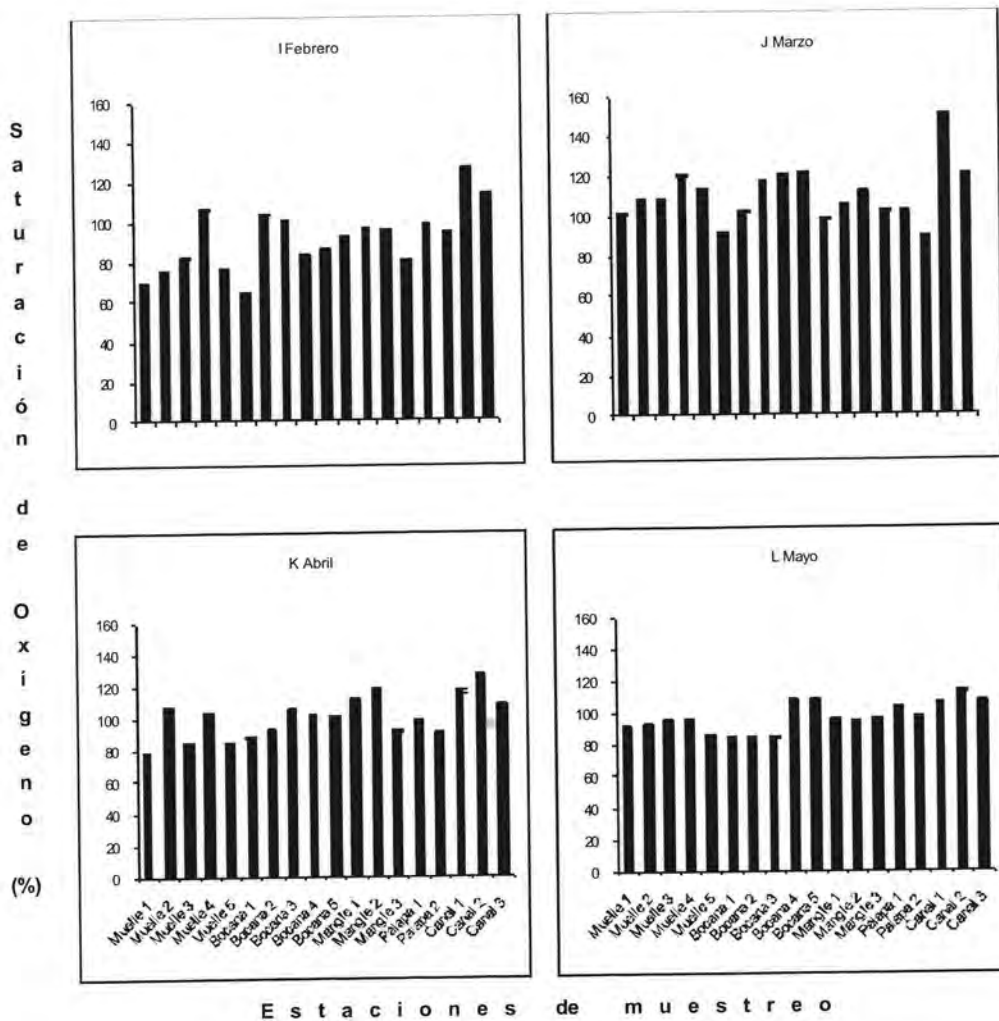


Fig. 14. Continuación.

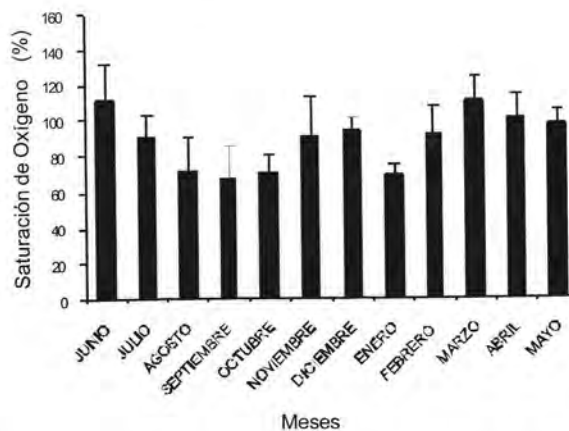


Fig. 15. Promedio mensual de saturación de oxígeno.

## RESULTADOS

---

### Clorofila "a"

La clorofila "a" de la LC presentó un promedio anual de  $0.78 \pm 1.76 \text{ mg/m}^3$ . Para el análisis espacial, la estación de muestreo que presentó mayor concentración de clorofila "a" fue Palapa 2 con  $15.19 \pm 0.00 \text{ mg/m}^3$  en agosto (Fig. 16C) y Bocana 4 el valor más bajo con  $0.03 \pm 0.006 \text{ mg/m}^3$  en abril (Fig. 16K).

El análisis temporal demostró que agosto fue el mes con el valor máximo con  $5.30 \pm 4.01 \text{ mg/m}^3$ . Febrero y marzo fueron los meses que presentaron los valores mínimos con  $0.135 \pm 0.045 \text{ mg/m}^3$  y  $0.135 \pm 0.064 \text{ mg/m}^3$  respectivamente. Es importante hacer énfasis que a excepción de agosto y septiembre, todos los meses así como las estaciones en donde se midió este parámetro, presentaron valores muy bajos de clorofila "a" (menor a  $1 \text{ mg/m}^3$ ) (Fig.17).

## RESULTADOS

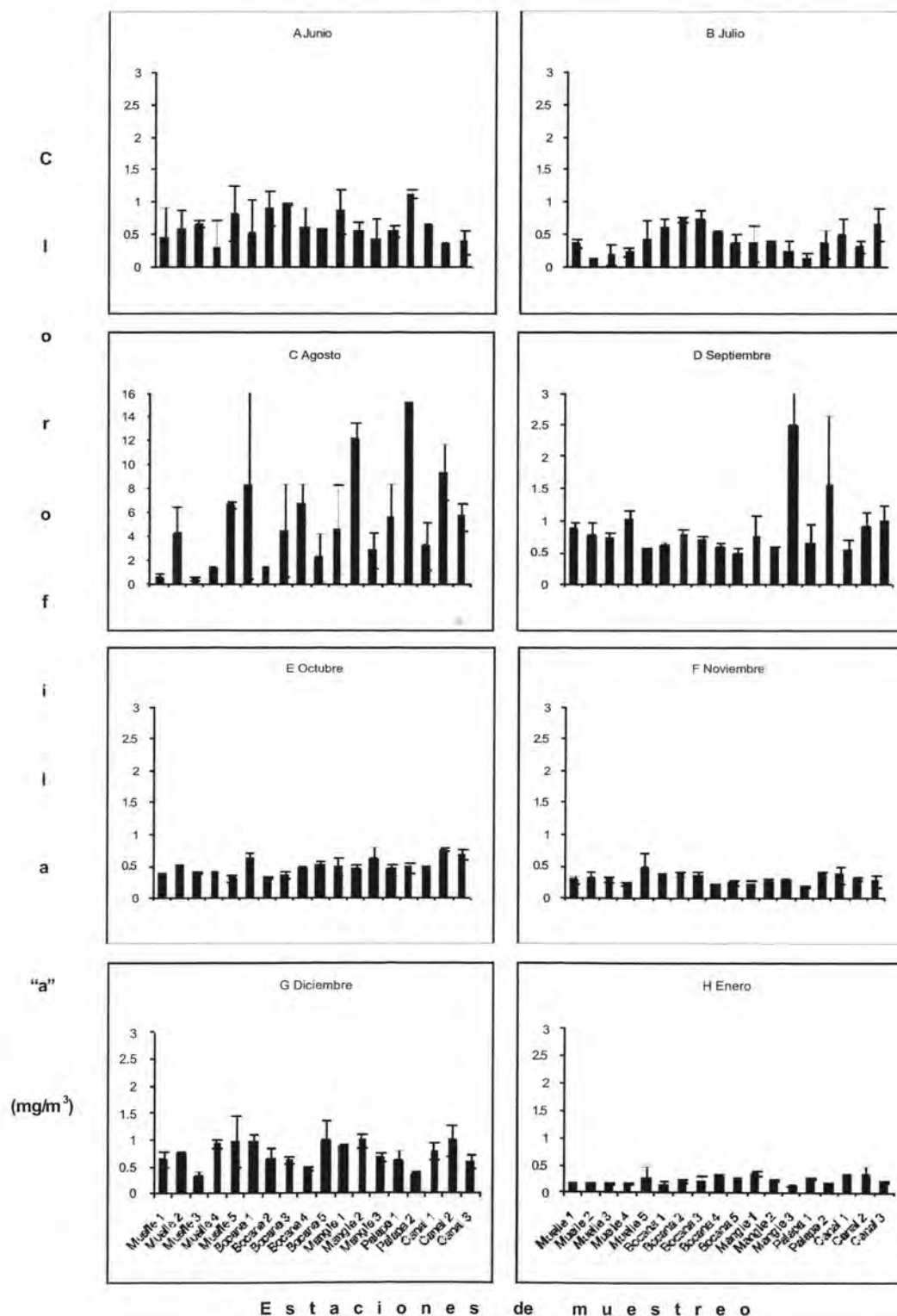


Fig. 16. Clorofila "a" mensual por estación de muestreo. Note que en agosto la escala se ha modificado para una mejor apreciación.



## RESULTADOS

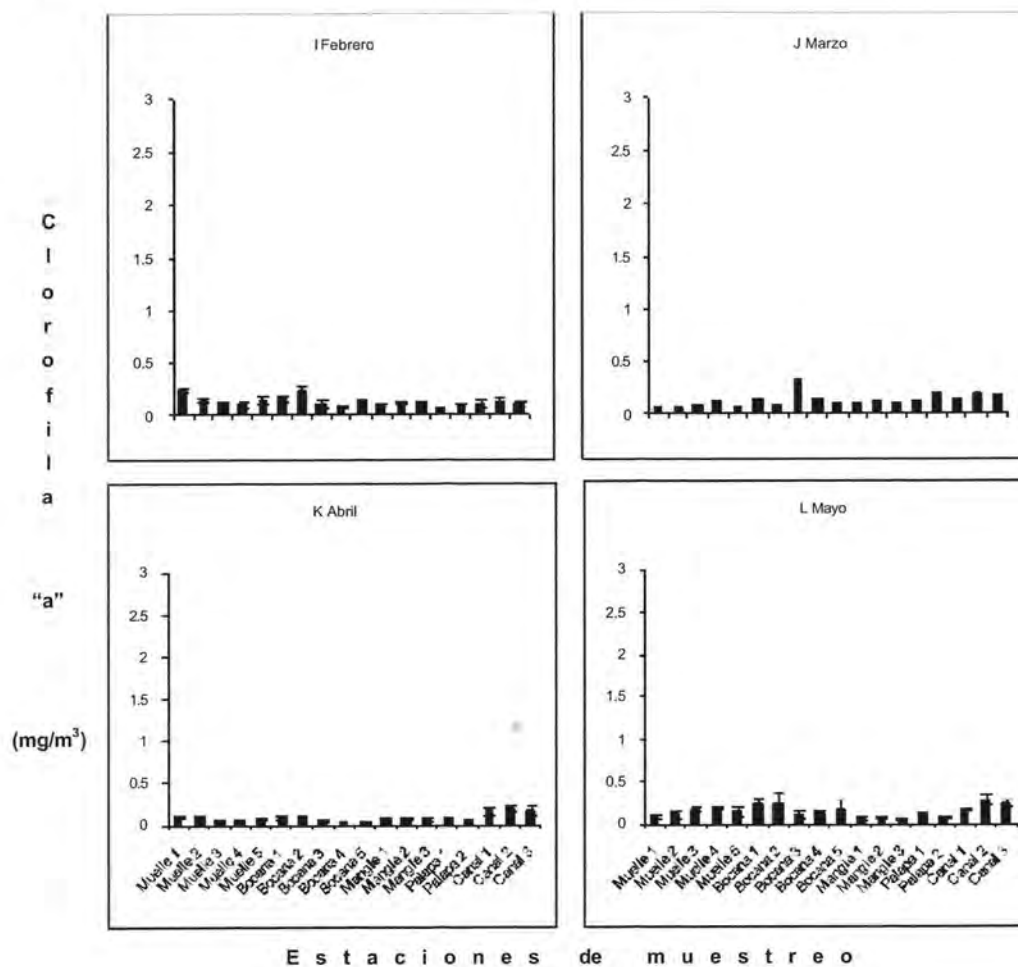


Fig. 16. Continución.

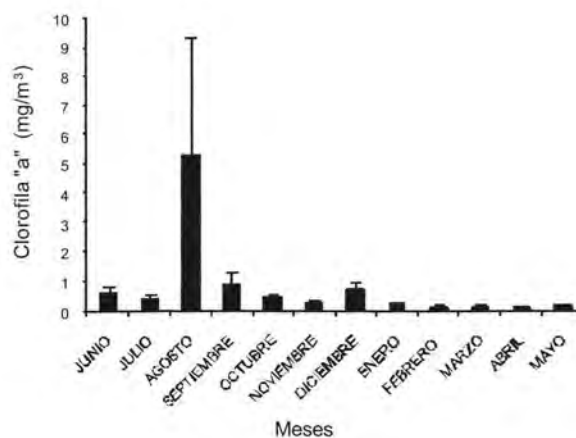


Fig. 17. Promedio mensual de clorofila "a".

## RESULTADOS

### Precipitación y temperatura ambiente mensual promedio

A nivel temporal, los niveles máximos de precipitación se registraron en septiembre y octubre con 173.1 y 166.2 mm respectivamente (lluvias) y los mínimos en abril con 6 mm (secas) (Fig. 18). En cuanto a la temperatura ambiente, en agosto y septiembre se reportaron los niveles máximos con alrededor de 29 °C y los niveles mínimos en noviembre, diciembre y marzo con 25 °C (Fig. 19).

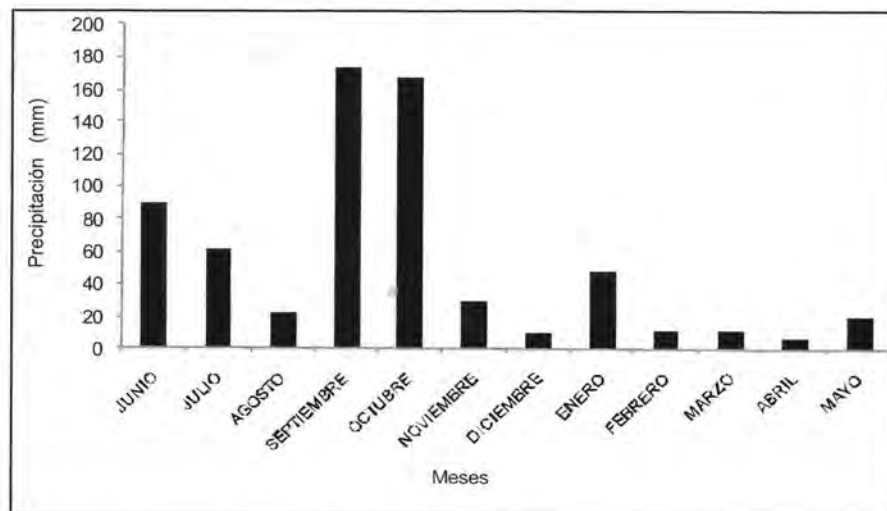


Fig. 18 Promedio mensual de precipitación (2008-2009) de Cozumel (Anónimo, 2010).

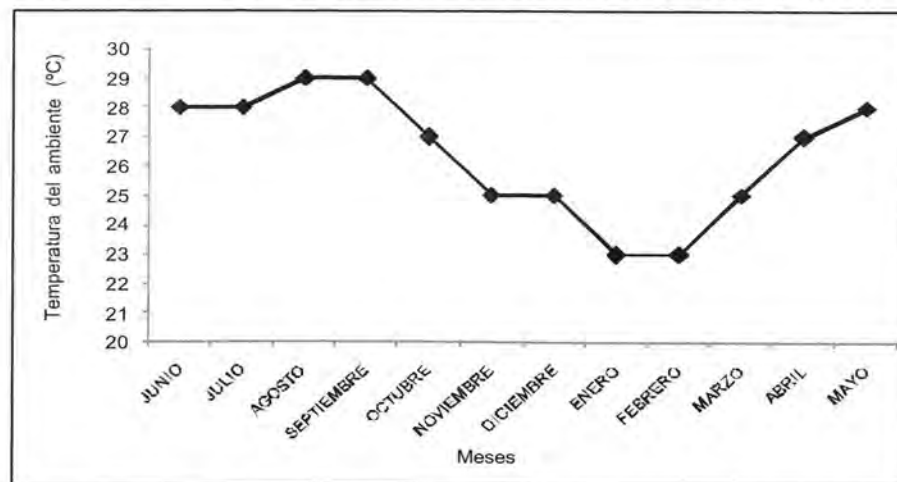


Fig. 19 Promedio mensual de temperatura ambiental (2008-2009) de Cozumel (Anónimo, 2010).

## DISCUSIÓN

### Profundidad (m)

De acuerdo con los resultados analizados se determina que la Laguna Colombia es un sistema somero, al igual que otras lagunas de la Península de Yucatán, por ejemplo Celestún, Chelem y Dzilam, en donde se han reportado profundidades desde los 0.54, hasta 1.98 m (Herrera-Silveira 1996).

Por otro lado a nivel espacial, las diferencias en profundidad en este sistema pueden ser asociadas a la geomorfología de la laguna por ejemplo, se han reportado diferentes profundidades en lagunas costeras de la península de Yucatán asociadas a canales de marea (bocana), canales (zonas de conexión entre lagunas) y/o zonas de entradas a embarcaciones (Herrera-Silveira, 1996).

A nivel temporal se ha reportado para lagunas costeras de la región diferencias en profundidad asociadas a variables climáticas como la precipitación (Herrera-Silveira, 1996). En este estudio este parámetro influyó en la profundidad, generando ligeras variaciones en todo el ciclo anual. En la temporada de lluvias (junio-octubre) se encontraron las mayores profundidades lo cual coincide con los valores más altos de precipitación (102.58 mm) (Fig. 18). Por otro lado, en la temporada de secas (marzo-mayo) se encontraron los niveles más bajos, coincidiendo con los valores más bajos de precipitación (11.57 mm) (Fig. 18).

### Transparencia (m)

La transparencia ha sido discutida en ocasiones anteriores para el caso de lagunas costeras de Yucatán (Herrera-Silveira, 1996), la cual puede ser afectada espacialmente por la ubicación de zonas de canales o interacciones entre la zona de mezcla y la boca que las conecta al mar. Este comportamiento también fue encontrado en este estudio, ya que los valores más bajos de ésta variable se encontraron en las zonas de mezcla y arrastre de sedimento (canal) y los más altos en la zona de la boca.

## DISCUSIÓN

---

Por otro lado, la transparencia presentó variaciones temporales en la época de lluvias donde se observó turbidez en ciertas estaciones; probablemente el arrastre de sedimento hacia la laguna provocado por la precipitación generó la turbidez en el agua. En lagunas costeras de la Península de Yucatán se ha reportado que la materia en suspensión puede provocar turbidez; ya sea por el material de tipo terrígeno o por el sustrato calcáreo cárstico de la región (Herrera-Silveira *et al.*, 2002). De hecho en otras lagunas costeras del país se ha asociado a la época de lluvias con la detección de aguas turbias en estos ambientes costeros (Contreras-Espinoza *et al.*, 1994).

Otro factor que afecta a la transparencia en el sistema es la producción primaria (Clorofila "a") (Contreras-Espinoza *et al.*, 1994). En este estudio, los valores más bajos de transparencia, se encontraron cuando existió mayor producción primaria, sin embargo esto se discutirá más adelante.

### **Temperatura del agua (°C)**

De manera espacial y temporal la temperatura del agua (°C) mostró variaciones durante todo el ciclo anual debido a la diferencia de profundidades en las estaciones de muestreo y por factores climáticos como la temperatura ambiente. Es bien conocido que en los sistemas acuáticos de latitudes tropicales, el exceso de calor ambiental produce un incremento en la temperatura del agua (Cervantes-Martínez, 2005).

De manera temporal, el valor más bajo de la temperatura del agua, se registró en el mes de enero y el valor más alto en julio, lo cual es coincidente, con el comportamiento de la temperatura del ambiente, ya que sus valores mínimos y máximos se reportaron en enero y agosto, con 23 y 29 °C, respectivamente (Anónimo, 2010). Herrera-Silveira (1996) encontró un comportamiento similar, mencionando que la mayor temperatura encontrada en lagunas costeras de Yucatán fue en junio con 28 °C (lluvias) y la menor en febrero con 19°C (nortes). Es evidente que el comportamiento térmico en sistemas acuáticos de esta región, está en función de los cambios estacionales de la temperatura ambiente, los cuales subsecuentemente tienen efecto sobre la temperatura del agua (Lewis, 1987).

## DISCUSIÓN

---

### Salinidad (ppm)

Algunos procesos que influyen en el comportamiento de la salinidad, pueden ser la evaporación y la precipitación (Cervantes-Martínez, 2005). Zonas de mayor precipitación tendrán menor evaporación y por ende, menores salinidades. Éste comportamiento es típico del Sureste mexicano (Alcocer y Escobar, 1996).

De manera temporal, el comportamiento de la salinidad fue homogéneo al principio del ciclo, sin embargo, durante los meses de mayor precipitación de la temporada de lluvias (septiembre-octubre) se presentó un decremento en cuanto a sus valores asociado a la mayor precipitación registrada en la zona de estudio (Anónimo, 2010).

Hacia nortes y secas los valores, presentaron una tendencia hacia el incremento después del mínimo en octubre (<20 ppm), lo cual estaría asociado a una menor precipitación durante estas temporadas climáticas (ver Fig. 9).

En este estudio queda evidenciada la variabilidad y dinámica hidrológica de este sistema (a escala temporal), asociada al patrón climático y al efecto dependiente de los balances entre los aportes de agua dulce (precipitación vía descarga de agua subterránea y), la influencia de agua marina y los patrones meteorológicos.

El conocimiento aquí generado sobre el comportamiento de la salinidad, es importante, ya que es una variable que permite entender el comportamiento hidrológico y características ecológicas de comunidades acuáticas (Medina-Gómez y Herrera-Silveira, 2006), conocimiento considerado como escaso en ambientes lagunares costeros de islas de la región, incluida Cozumel (Tran *et al.*, 2002); lo que redundaría en un manejo inadecuado de estos importantes ambientes costeros.

A escala espacial, en la laguna Colombia se encontró un ligero gradiente de salinidad en la porción sureste (canal) hacia el noreste (boca) y en noviembre noreste a sureste (Fig. 1; Fig. 8F, I-J). En lagunas costeras de la Península de Yucatán se observaron gradientes de salinidad que siguieron un patrón de la porción oeste hacia la boca (Herrera-Silveira, 1996), asociados a descargas de flujos subterráneos o manantiales hacia la costa, sin embargo dichas afirmaciones no pueden aplicarse con certeza en

## DISCUSIÓN

---

laguna Colombia, debido a que es necesario evaluar los flujos superficiales y subterráneos, lo cual da pauta para futuros trabajos de investigación en dicho sistema.

### **pH**

De manera general el comportamiento de esta variable fue homogéneo y de acuerdo con el promedio registrado, éste sistema es de tipo básico .

El pH se modifica por reacciones de origen biológico que se realizan en la columna de agua, permitiendo el desarrollo de gradientes verticales y cambios temporales de ésta variable (Lampert y Sommer, 1997); la mayor intensidad de la fotosíntesis tiende a producir una disminución de CO<sub>2</sub> en el medio, junto con un aumento en el pH (Reid y Wood, 1976; Wetzel, 1983; Lampert y Sommer, 1997). Al parecer en este estudio, dicha variable puede ser mejor explicada por aspectos químicos que biológicos, debido a la condiciones de oligotrofia encontradas en este sistema.

En este sentido, se ha reportado para lagunas costeras de la Península de Yucatán valores básicos de pH, los cuales son explicados por la naturaleza química del suelo cárstico de esta región , con reserva alcalina alta y con el predominio de carbonatos y bicarbonatos como sales amortiguadoras (Herrera-Silveira, 1996; Cervantes-Martínez, 2005).

Se ha observado que a escala temporal en lagunas costeras de la Península de Yucatán existe variabilidad en el pH observándose en la temporada de secas los valores más altos y los más bajos en nortes (Herrera-Silveira, 1996). En la laguna Colombia el comportamiento es similar, secas y lluvias presentaron los valores más altos de pH y en nortes los más bajos.

### **Oxígeno disuelto (mg/L)**

La oxigenación del agua puede ser explicada por diversos factores, uno de ellos es la temperatura del ambiente, ya que se ha observado que la concentración de oxígeno disuelto en el agua guarda una relación inversa con la temperatura (Lampert y Sommer, 1997). Esta relación se cumple para el caso de la Laguna Colombia, ya que

## DISCUSIÓN

---

los mayores niveles de oxígeno disuelto en el agua se encontraron en la temporada de nortes en donde los niveles de temperatura del agua fueron menores para todo el ciclo. En lluvias se registraron los valores mínimos de oxígeno disuelto coincidentes con los valores máximos de temperatura del agua y del ambiente.

La escasa vegetación circundante y las dimensiones del sistema permiten un libre paso del aire o un mayor "fetch" (Kalf, 2002), lo cual puede explicar el comportamiento de aguas bien oxigenadas en el sistema de estudio. Por otro lado se ha observado en lagunas costeras de la región que las mayores concentraciones de oxígeno disuelto coinciden con lagunas de baja profundidad, donde las masas de agua reciben mayor movimiento y por ende presentan una mayor oxigenación (Herrera-Silveira, 1996) y la Laguna Colombia no es la excepción ya que como se ha mencionado, es un sistema con aguas someras.

Por otro lado la concentración de oxígeno también puede estar influenciada por la producción primaria (Lampert y Sommer, 1997), sin embargo, éste no es el caso para laguna Colombia ya que los valores encontrados de clorofila "a" fueron bajos. La concentración de oxígeno y saturación encontrados, sugieren que el sitio soporta un consumo más alto que producción de este gas.

Por último, los valores de oxígeno disuelto encontrados en la Laguna Colombia, indican que son aguas bien oxigenadas aceptables en los criterios ecológicos y de calidad del agua para la protección de la vida acuática (Anónimo, 1989).

### **Saturación de oxígeno (%)**

De manera general, la saturación de oxígeno, presentó los valores más altos en secas y los más bajos en lluvias.

Esta variable presentó una relación con el oxígeno disuelto contenido en el agua. Como se mencionó anteriormente, la laguna Colombia es de aguas oxigenadas y por consiguiente registró niveles altos de saturación de oxígeno.

**Clorofila "a"**

Como se mencionó anteriormente, la concentración de clorofila "a", se utilizó como un indicador del estado trófico del sistema. Una de las técnicas más comunes para cuantificar, aunque indirectamente la biomasa fitoplanctónica es la determinación de la clorofila en el agua, la cual, además está estrechamente asociada al proceso de la productividad primaria (Contreras-Espinoza *et al.*, 1994).

En este sentido, la estacionalidad climática puede explicar el comportamiento de esta variable. La clorofila "a" encontrada en la laguna presentó variaciones espacio-temporales en todo el ciclo anual de estudio, registrándose sus valores máximos en lluvias y mínimos en secas. En éste mismo sentido, Contreras-Espinoza *et al.* (1994) y Medina-Gómez y Herrera-Silveira (2006), en estudios aplicados en lagunas costeras del Golfo de México y de la Península de Yucatán, encontraron que las concentraciones de esta variable durante la época lluviosa, son mucho más elevadas, en comparación con secas nortes.

Es importante mencionar que tanto en laguna Colombia como en el trabajo de Medina-Gómez y Herrera-Silveira (2006), las condiciones más homogéneas de éste parámetro, se encontraron en las temporadas de secas y nortes, lo cual puede sugerir un patrón en el comportamiento trófico de las lagunas costeras.

La evaluación de la producción primaria en términos de clorofila "a" en ambientes acuáticos, nos brinda información acerca del estado de salud de éstos ambientes, por ejemplo estudios realizados a las lagunas costeras de la Península, indicaron condiciones con tendencia a la eutrofización (Celestún, Dzilam y Chelem) y meso y/u oligotróficas (Bojorquez y Nichupté) (Herrera-Silveira, 2006).

Las concentraciones de clorofila "a" así como sus aguas bien oxigenadas y transparentes, permiten clasificar a la laguna Colombia como un sistema oligotrófico y por ende es considerado como un sistema con un estado de salud del agua bueno (Herrera-Silveira, 2006).



### CONCLUSIONES

A nivel espacial, los parámetros demostraron variaciones significativas en las 18 estaciones de muestreo distribuidas en la laguna. Éstas variaciones pueden ser explicadas por diversos factores relacionados con la geomorfología de la laguna, así como por parámetros ambientales tales como precipitación (mm), temperatura del ambiente (°C) y diferentes procesos como la evaporación, entre otros. De este comportamiento se derivan las características que dominan en la Laguna Colombia la cual es un sistema somero (0.85 m) de aguas transparentes la mayor parte del año, con aguas cálidas (28 °C) de tipo euhalino con un pH básico y de aguas oxigenadas. Los valores de oxígeno disuelto encontrados en la Laguna Colombia, indican que son aguas aceptables en los criterios ecológicos y de calidad del agua para la protección de la vida acuática. Los valores básicos de pH, son explicados por la naturaleza cárstica del suelo (predominio de carbonatos y bicarbonatos como sales amortiguadoras) y no por aspectos biológicos, como lo reportado en otros ambientes acuáticos de la región.

Las concentraciones de clorofila "a" así como sus aguas bien oxigenadas y transparentes, permiten clasificar a la laguna Colombia como un sistema oligotrófico y por ende con un estado de salud bueno.

**RECOMENDACIONES**

El conocimiento físico y químico es considerado como escaso en ambientes lagunares costeros de islas de la región, incluida Cozumel, lo que redundará en un manejo inadecuado de estos importantes ambientes costeros.

Este estudio es preliminar y pionero en lagunas costeras de Cozumel, permitirá establecer una línea base para el entendimiento espacio-temporal de las variables ambientales que imperan en el lugar y que en lo futuro, ayuden para los planes de manejo de este importante ecosistema.

Se recomienda (en lo futuro) evaluar los flujos superficiales y subterráneos asociados al sistema de estudio, para entender mejor la dinámica de los gradientes de salinidad encontrados.

**LITERATURA CITADA**

- Alcocer A. y E. Escobar. 1996. Limnological regionalization of Mexico. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 2: 55-69.
- Anónimo. 1989. CE-CCA-001/89. *Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua*. Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 85 p.
- Anónimo. 1998a. [http://www.conanp.gob.mx/pdf\\_programa\\_manejo/aviso\\_cozumel.pdf](http://www.conanp.gob.mx/pdf_programa_manejo/aviso_cozumel.pdf). Aviso por el que se informa al público en general, que la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, ha concluido la elaboración del Programa de Manejo del Área Natural Protegida con el carácter de Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel, Municipio de Cozumel, Q. Roo. Última actualización: 20 de Mayo de 2006. Fecha de Consulta: 10 de Junio de 2008.
- Anónimo. 1998b. [http://www.conanp.gob.mx/pdf\\_programa\\_manejo/cozumel.pdf](http://www.conanp.gob.mx/pdf_programa_manejo/cozumel.pdf). Programa de Manejo Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, Quintana Roo. Última actualización: 11 de Mayo de 1998. Fecha de consulta: 27 de Febrero de 2009.
- Anónimo. 2009. *Propuesta de actualización del plan de manejo y conservación de la zona sujeta a conservación ecológica, Refugio Estatal de Flora y Fauna Laguna Colombia*. Fundación de Parques y Museos de Cozumel (FPMC). 137 p.
- Anónimo. 2010. *Promedios mensuales de precipitación y temperatura del ambiente para la isla de Cozumel, Quintana Roo*. Estación Meteorológica Militar No. 4.
- A.P.H.A. 1986. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, Estados Unidos. American Publishing Health Association. 1193 p.

LITERATURA CITADA

---

- Aranda-Cirerol, N. 2004. *Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical, Barcelona*. Tesis de Doctorado, Universidad de Barcelona, Barcelona, España. 230 p.
- Aranda-Cirerol, N., J. Herrera-Silveira y F. Comín. 2006. Nutrient water quality in a tropical coastal zone with groundwater discharge, northwest Yucatán, Mexico. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 68: 445–454.
- AzuzAdeath y E. Rivera -Arriaga. 2004. Escalas espaciales y temporales del manejo costero. En: E. Rivera-Arriaga, G. J. Villalobos-Zapata, I. Azuuz-death y F. Rosado May (Eds.). *El Manejo Costero en México* (pp: 27-37). Campeche, México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS.
- Cervantes-Martínez, A. 2005. *Análisis limnológico de dos sistemas cársticos (cenotes) de la Península de Yucatán, México con énfasis en la variación espacial y temporal de zooplancton*. Tesis de Doctorado, El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, México. 160 p.
- Contreras-Espinoza, F., O. Castañeda-López y A. García-Nagaya. 1994. La clorofila "a" como base para un índice trófico en las lagunas costeras mexicana. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 21: 1-12.
- Herrera-Silveira, J. 1994. Correlaciones de parámetros hidrobiológicos de la Laguna Celestún, Yucatán. *Anales del Instituto del Mar y Limnología* 1-2: 1-153.
- Herrera-Silveira, J. 1996. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfB019.pdf>. Biodiversidad de productores primarios de lagunas costeras del norte de Yucatán. Última actualización: 13 de Junio de 1996. Fecha de consulta: 16 de Julio de 2008.
- Herrera-Silveira, J. 2006. Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): investigación, diagnóstico y manejo. *Ecotrópicos* 19: 94-108.

LITERATURA CITADA

---

- Herrera-Silveira, J., A. Jiménez-Zaldívar, M. Aguayo-González, J. Trejo-Peña, I. Medina-Chan, F. Tapia-González, I. Medina-Gómez y O. VázquezMontiel. 2002. Calidad del agua de la Bahía de Chetumal a través de indicadores de su estado trófico. En: F.J. Rosado-May, R. Romero-Mayo y A. De Jesús Navarrete (Eds.). *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia* (pp. 185-196). Chetumal, México. Universidad de Quintana Roo.
- Herrera-Silveira, J. y O. Cortés-Balam. 2007. Entre la tierra y el mar, las lagunas costeras de Yucatán. *Biodiversitas* 16:6–10.
- Herrera-Silveira, J. y F. Comín. 2000. An introductory account of the types ecosystems of Yucatán Península (SE México). En: Munawar, M., Lawrence, S. N., Munawar, I. F. y Malley, D. F. (Eds.). *Aquatic ecosystems of Mexico: Status and Scope* (pp. 213– 227). Leiden, The Netherlands. Backhuys Publishers.
- Herrera-Silveira, J., F. Comín y L. Capurro. 2004. Los usos y abusos de la zona costera en la Península de Yucatán. En: E. Rivera, G. J. Villalobos, I. Azuz y F. Rosado (Eds.). *El Manejo Costero en México* (pp. 387-396). Campeche, México. Universidad Autónoma de Campeche, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Universidad de Quintana Roo.
- Kalff J. 2002. *Limnology*. USA. Prentice Hall. 592 p.
- Lampert W. y U. Sommer. 1997. *Limnoecology: The ecology of lakes and streams*. Oxford, Reino Unido. Oxford University Press. 382 p.
- Lara-Lara, J. y C. Bazán-Guzmán. 2004. Distribución de clorofila y producción primaria por clases de tamaño en la costa del pacífico mexicano. *Ciencias Marinas* 31: 11-21.
- Lewis. M. W. Jr. 1987. Tropical limnology. *Annals and Review of Ecology Systems*. 18: 159-184.

LITERATURA CITADA

---

- Medina-Gómez, I. y J. Herrera-Silveira. 2006. Primary production dynamics in a pristine groundwater influenced coastal lagoon of the Yucatan Peninsula. *Continental Shelf Research* 26: 971-986.
- Orellana, R., F. Nava y C. Espadas. 2008. El clima de Cozumel y la Riviera Maya. En: L. Mejía (Ed.). *Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel, México* (pp. 23-32). México D. F., México. Universidad de Quintana Roo, Plaza y Valdés.
- Reid G. K. y R. D. Wood. 1976. *Ecology of inland waters and estuaries*. Nueva York, USA. D. Van Nostrand. 485 p.
- Tran, K. C., D. Valdes, J. Euan, E. Real y E. Gil. 2002. Status of water quality at Holbox Island, Quintana Roo, State, Mexico. *Aquatic Ecosystems Health & Management*. 5: 173-189.
- Wetzel R. G. 1983. *Limnology*. Philadelphia, USA. W. B. Saunders Company. 743 p.
- Zaldívar-Jiménez, A., J. Herrera-Silveira y D. Alonzo-Parra. 2006. [http://www.dumac.org/dumac/habitat/esp/boletines/2006/nov\\_dec.pdf](http://www.dumac.org/dumac/habitat/esp/boletines/2006/nov_dec.pdf). Indicadores de Calidad de agua en Lagunas Costeras de Yucatán. Última actualización: 7 de Diciembre de 2006. Fecha de consulta: 12 de Julio de 2008.