



# **El Colegio de la Frontera Sur**

## **Ecología del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, basada en la aplicación e interpretación de algunos índices tróficos, parámetros físico-químicos y biológicos.**

TESIS

Presentada como requisito parcial para optar al grado de Maestra en Ciencias en Recursos  
Naturales y Desarrollo Rural

Por:

**Rocio Gómez Ortega**

2013

## AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por la beca otorgada (No. **255229**) y al Posgrado de **El Colegio de la Frontera Sur**, por la oportunidad que me dio de estudiar una maestría.

Al **Instituto Nacional de Pesca** ya que los datos de calidad de agua utilizados para este trabajo de investigación, son propiedad del Instituto Nacional de Pesca y fueron generados mediante el convenio de colaboración para desarrollar el proyecto: “**Plan de manejo Pesquero del Sistema Lagunar Estuarino Chantuto-Panzacola y Carretas-Pereyra del Estado de Chiapas**” signado con la Secretaria de Pesca del Gobierno del Estado de Chiapas, con fecha 11 de marzo de 2008.

Al comité tutelar: **Dr. Cristian Tovilla Hernández, Dr. Everardo Barba Macías, M. en E. Ofelia Castañeda López y M en C. Javier Valle Mora**, por brindarme su soporte académico y haber confiado en el desarrollo de este proyecto; a los sinodales: **Dra. Dulce María Infante Mata, Dr. Ricardo Bello Mendoza y M en C. Gamaliel Mejía González**, por el tiempo que dedicaron a revisar este trabajo e invertir parte de su experiencia y conocimiento en su mejora; al equipo de trabajo del CRyP: **M en B. Eduardo Ramos Santiago, Biól. Alfonso Ovalle Piamonte, Ing. Aarón Gil López, Ing. Ramón Tapia Martínez** por su valioso apoyo en campo; al **Lic. José Higinio López Urbina** del Laboratorio de Análisis de Información Geográfica, por el apoyo proporcionado en esta investigación. A **Rosalba Morales Pérez** de ECOSUR-Tapachula por el apoyo logístico proporcionado.

A mis amigas **Esmeralda, Amanda y Ángeles**, sin ustedes la estancia mía y de Matheo hubiera sido más complicada, gracias por cuidarnos y ayudarnos. A mi gran amigo **Emilio** que tantas veces me ha apoyado y que con su insistencia logro que estudiara esta maestría, gracias por ser un amigo y un apoyo en tiempos difíciles...

## DEDICATORIA

A mis padres **Soledad Ortega**, **Carlos Gómez** y a mi abuelito **Carlos G. Vélez**, por su aliento a superarme, por apoyarme en mis decisiones, por enseñarme los principios de mi vida y por amarme incondicionalmente, por tantas cosas que en unas líneas no cabe el agradecimiento que les tengo.

A mi esposo **Eduardo** por compartir esta experiencia conmigo, por el apoyo proporcionado y porque a pesar de todo al final me ayudó a ser una mujer más fuerte...

Pero sobre todo a mi hijo **Matheo Zair**, por ser la personita que más sacrificó, pero eres mi principal motivo de superación y el "*regalo jamás olvidado*" que me dio la vida, siempre estás en mi mente, en mi corazón y muchas veces también estuviste en mis clases y en mis salidas a campo, te amo y te dedico este logro...

**Ross...**

## ÍNDICE

### AGRADECIMIENTOS

### DEDICATORIA

ÍNDICE DE TABLAS .....	i
------------------------	---

ÍNDICE DE FIGURAS .....	i
-------------------------	---

ÍNDICE DE ANEXOS .....	i
------------------------	---

RESUMEN.....	i
--------------	---

1. INTRODUCCIÓN .....	1
-----------------------	---

1.1 ANTECEDENTES.....	2
-----------------------	---

1.2 JUSTIFICACIÓN.....	5
------------------------	---

1.3 OBJETIVOS .....	7
---------------------	---

1.4 HIPÓTESIS .....	7
---------------------	---

<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>8</b>
-------------------------------------	----------

2.1 Descripción del área de estudio.....	9
--	---

2.1.2 Caracterización ambiental del área de estudio .....	12
---	----

2.1.2.1Temperatura ambiente.....	12
----------------------------------	----

2.1.2.1Precipitación pluvial .....	12
------------------------------------	----

2.2 Procedimiento de campo y laboratorio .....	13
--	----

2.3 Procedimiento para determinar índices ecológicos y tróficos.....	16
--	----

2.4 Análisis estadístico .....	18
--------------------------------	----

<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
---------------------------	-----------

3.1 Parámetros físico-químicos.....	21
-------------------------------------	----

3.1.1 Temperatura.....	21
------------------------	----

3.1.2 Salinidad .....	21
-----------------------	----

3.1.3 Oxígeno disuelto .....	22
------------------------------	----

3.1.4 pH .....	23
----------------	----

3.1.5 Profundidad.....	24
------------------------	----

3.1.6	Transparencia .....	24
3.2	Concentración de nutrientes .....	25
3.2.1	Ortofosfatos.....	25
3.2.2	Fósforo total .....	26
3.2.3	Nitratos.....	27
3.2.4	Nitritos .....	28
3.2.5	Amonio .....	29
3.2.6	Nitrógeno total .....	30
3.2.7	Concentración de clorofila <i>a</i> .....	31
3.2.8	Productividad primaria Neta .....	32
3.3	Índices ecológicos y tróficos.....	33
3.3.1	Relación (C/Cl <i>a</i> ).....	33
3.3.2	Índice de Margalef (relación $D^{430}/D_{665}$ ).....	34
3.3.3	Índice del estado trófico de Carlson.....	36
3.3.4	Índice TRIX.....	37
3.4	Análisis estadístico .....	38
3.4.1	Análisis de Componentes Principales.....	40
3.4.2	Análisis de Correlación Canonica.....	42
<b>4.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>44</b>
4.1	Análisis integral de los índices tróficos y ecológicos.....	53
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>54</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>55</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>57</b>

## Índice de Figuras

- Fig. 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.
- Fig. 2. Temperatura ambiente mínima y máxima en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.
- Fig. 3. Precipitación pluvial en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.
- Fig. 4. Variación promedio mensual de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) del agua en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.
- Fig. 5. Variación promedio mensual de la salinidad (UPS) del agua en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.
- Fig. 6. Variación promedio mensual de la concentración de oxígeno ( $\text{ml/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.
- Fig. 7. Variación promedio mensual y por estación de muestreo del pH en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.
- Fig. 8. Variación promedio mensual de la profundidad ( $\text{m}$ ) del agua en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.
- Fig. 9. Variación promedio mensual de la transparencia ( $\text{m}$ ) del agua en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.
- Fig. 10. Variación promedio mensual y por estación de muestreo de la concentración de ortofosfatos ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.
- Fig. 11. Variación promedio mensual y por estación de muestreo de la concentración del fósforo total ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Fig. 12. Variación promedio mensual de la concentración de los nitratos ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Fig. 13. Variación promedio mensual y por estación de muestreo de la concentración de los nitritos ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Fig. 14. Variación promedio mensual y por estación de muestreo de la concentración del amonio ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Fig. 15. Variación del promedio por estación de muestreo y mensual de la concentración de nitrógeno Total ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Fig. 16. Variación promedio mensual y por estación de muestreo de la concentración clorofila *a* ( $\text{mg/m}^3$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Fig. 17. Variación del promedio mensual de la Productividad Primaria Neta del agua en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Fig. 18. Variación promedio mensual y por estación de muestreo de la razón de asimilación C/Cl *a* en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Fig. 19. Variación promedio mensual y por estación de muestreo del Índice de diversidad de pigmentos  $D^{430}/D_{665}$  en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Fig. 20. Variación promedio por estación de muestreo y mensual del índice de Carlson en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Fig. 21. Variación promedio por estación de muestreo y mensual del índice de TRIX en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Fig. 22. (A) Gráfica biplot del análisis de componentes principales (PCA) de los parámetros ambientales, nutrientes e índices ecológicos en donde se pueden observar que las variables con las flechas más grandes son las que contribuyen

en mayor medida a explicar la variabilidad total, y las variables con flecha pequeña no aportan información significativa en este sentido. (B) Gráfica de los 3 primeros componentes principales. Puntos agrupados por época climática (lluvias y estiaje).

Fig. 23. Análisis de correlación canónica de parámetros ambientales (A) y nutrientes con los índices ecológicos (B).



## Índice de Tablas

- Tabla 1. Expansión en los intervalos de la concentración del pigmento propuesta por Contreras (1994<sup>1</sup>).
- Tabla 2. Índice del estado trófico, TRIX, y calidad del agua, de acuerdo a la legislación italiana en la evaluación del estado del agua de mar (Penna *et al* 2004).
- Tabla 3. Valores mínimos (Min), máximos (Max), promedio (Prom) y desviación estándar (D.E.) de las variables ambientales (n) número de parámetros medidos. (\*) Parámetros resultantes de la correlación canónica y (•) parámetros resultantes en el análisis de componentes principales.
- Tabla 4. Comparación del número de datos con valores altos y bajos en cada época climática,” con referencia al valor promedio anual del Índice de diversidad de pigmentos  $D^{430}/D_{665}$ .
- Tabla 5. Categoría trófica por estación con respecto a la época climática del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.
- Tabla 6. Categoría trófica por época climática del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.
- Tabla 7. Parámetros que tuvieron diferencias significativas (valor de p) entre las épocas climáticas (prueba de Wilcoxon) y entre estaciones (prueba de Kruskal-Wallis).
- Tabla 8. Valor característico de cada componente principal de la concentración de nutrientes, parámetros físico-químicos e índices ecológicos.
- Tabla 9. Análisis de correlación canónica (ACC) relacionando dos conjuntos de datos: parámetros físicos-químicos contra productividad primaria y los índices ecológicos.
- Tabla 10. Significancia de las correlaciones canónicas.

## **Índice de Anexos**

1. Imagen fotográfica de la estación 1 laguna Chantuto 15°14'40.12"N 92°53'56.66"O.
2. Imagen fotográfica de la estación 2 laguna Campón 1 15°11'50.72"N 92°51'21.66"O.
3. Imagen fotográfica de la estación 3 laguna Campón 2 15°11'55.48"N 92°50'48.58"O.
4. Imagen fotográfica de la estación 4 Boca Barra 15° 9'59.98"N 92°51'7.29"O.
5. Imagen fotográfica de la estación 5 laguna Panzacola 15° 6'16.05"N 92°44'55.30"O.
6. Imagen fotográfica de la estación 6 laguna Cerritos 15°9'44.93"N 92°46'18.27"O.
7. Imagen fotográfica de la estación 7 laguna Teculapan 15°9'44.30"N 92°47'48.88"O.
8. Imagen fotográfica de la estación 8 poblado La Palma 15°10'10.94"N 92°50'1.36"O.

## **Ecología del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, basada en la aplicación e interpretación de algunos índices tróficos, parámetros físico-químicos y biológicos.**

### **Resumen**

Se determinaron una serie de parámetros físico-químicos en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, permitiendo describir sus características, como la salinidad que refleja una considerable variación temporal dando al sistema condiciones que varían de oligohalinas a mixohalinas, respectivamente. Se observó que las formas nitrogenadas más abundantes fueron los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y que en términos porcentuales, entre el 48.75% y el 92.32% del nitrógeno total inorgánico ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ), fue aportado por este compuesto. El amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) fue la segunda forma nitrogenada en abundancia, ésta aportó entre el 7.13% y el 49.45%. Los ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) presentaron las mayores concentraciones en la temporada de lluvias, disminuyendo en la temporada de secas cuando se detectaron las salinidades más altas. La Productividad Primaria Neta presenta las mayores concentraciones en las estaciones Chantuto, Panzacola, Cerritos y Campón 1, detectándose concentraciones a más del doble de lo reportado por otros autores. De lo contrario que se planteo en la hipótesis los factores físico-químicos no mostraron diferencias significativas en las estaciones de muestreo. En el Índice de Diversidad de Pigmentos ( $D^{430}/D_{665}$ ) se observó que 71 valores de 88 son bajos, y éstos se presentan con mayor frecuencia en la época de estiaje. El Índice del Estado Trófico de Carlson (IET) ubicó a las dos épocas climáticas en  $\beta$  Mesotrófico (estiaje) y  $\alpha$  Mesotrófico (lluvias); considerando que las estaciones de muestreo, ubican a las

lagunas de  $\alpha$  Oligotrófico, en el caso de la Boca Barra, hasta  $\alpha$  Eutrófico en el caso de las estaciones Chantuto y Cerritos. El TRIX ubicó al sistema en 6 - 8 con la calidad del agua pobre, altamente productiva y nivel trófico más alto. Todos los índices tróficos clasifican al sistema lagunar Chantuto-Panzacola en el mismo nivel trófico sobre todo para la época de estiaje y para las estaciones Chantuto y Cerritos.

**Palabras Clave:** Productividad primaria, eutrofización, parámetros físico-químicos, índices ecológicos, lagunas costeras.

## 1. Introducción

La importancia de los ecosistemas costeros radica en que son considerados uno de los sistemas más productivos del planeta en términos de productividad primaria y alto contenido de nutrientes, en comparación con otros ambientes terrestres como las selvas tropicales y cultivos agrícolas (Botello 1978, INE 1999, Flores-Verdugo *et al* 2007).

Por esta razón, los ecosistemas costeros juegan un papel primordial en el mantenimiento de los ciclos ecológicos esenciales de la calidad de las aguas costeras (INE 1999), debido a que funcionan como trampas de contaminantes de diversas clases, como son los desechos orgánicos urbanos, residuos industriales, desechos agrícolas y sustancias químicas de actividades agropecuarias (Solís-Weiss 1990, INE 1999).

La elevada productividad de los ecosistemas costeros mantiene una rica y compleja cadena alimenticia, que a su vez caracteriza la elevada producción pesquera

dentro de los sistemas lagunares (Day *et al* 1973, Contreras y Zabalegui 1988). Lo anterior es relevante para la economía del país, ya que el 70% de las especies de importancia pesquera están compuestas de organismos estuarinos o aquellos que en algún período de su vida lo transcurren en un ecosistema lagunar costero (Yáñez-Arancibia 1978). La productividad primaria es la tasa con la cual la energía es fijada por medio del proceso fotosintético, en la forma de sustancias orgánicas que pasan a formar parte de la biomasa de los organismos autótrofos (Kalff 2003).

La eutrofización es una característica común (espacial o temporalmente) en la mayoría de los sistemas lagunares costeros tropicales, debido a los constantes aportes terrígenos asociados, naturales o antrópicos, que los hace especialmente vulnerables a mayores desequilibrios provocados por un aumento en estos insumos.

Dentro de los flujos más importantes de las lagunas costeras están la cantidad y variación de los nutrientes responsables de la productividad primaria, cuya cuantificación es parte esencial del concepto de trofodinamismo, que clasifica a los cuerpos acuáticos desde pobres en nutrientes (oligotróficos) o excedentes en ellos (hipereutróficos) (Vollenweider *et al* 1992).

No obstante la gran cantidad de artículos escritos sobre el tema a nivel mundial, la capacidad de asimilación de cualquier sistema costero con relación a los suministros de nutrientes, permanece como la principal pregunta en el análisis de la transformación de los procesos naturales de la eutrofización hacia la hipereutrofización y el consecuente deterioro de las tramas tróficas asociadas (Livingston 2001).

La eutrofización representa y define uno de los temas centrales de la ecología acuática: la producción de materia orgánica como base de las cadenas tróficas acuáticas. Siendo la eutrofización la acumulación de los nutrientes de las plantas, como

los fosfatos, nitratos y silicatos, que provocan una producción excesiva de biomasa en el agua y en los sedimentos, generándose una transferencia de materia orgánica a aguas profundas que pueden ser oxidadas por el oxígeno molecular, desarrollando hipoxia y anoxia, originando el declive de las pesquerías, el repentino florecimiento de algas tóxicas y exóticas, y la alteración en la estructura de las comunidades en los ecosistemas costeros (Goldberg 1995). El proceso básico es generalmente el mismo para la mayoría de los sistemas acuáticos. Sin embargo, los productos finales varían de un sistema a otro, dependiendo de las múltiples interacciones que generan los procesos de descarga de nutrientes, las características de la limitación de nutrientes del sistema receptor, la distribución de los hábitats y las condiciones biológicas existentes.

El fitoplancton y las algas microbénticas representan las principales fuentes primarias de carbono orgánico en estuarios dominados por los aportes dulceacuícolas. La presencia de la clorofila en el agua es una respuesta casi inmediata a la variabilidad de los nutrimentos, lo cual propicia que su cuantificación y seguimiento sean indicadores confiables de las variaciones de la biomasa fitoplanctónica, que es la responsable directa de la salud del ecosistema (Kerekes 1982, 1983). Una de las técnicas más comunes para la cuantificación indirecta de la biomasa fitoplanctónica es la determinación de la clorofila en el agua; la cual se encuentra estrechamente asociada al proceso de la productividad primaria (Margalef 1974, Contreras-Espinosa *et al* 1994<sup>1</sup>).

Por otro lado, debido al continuo problema de eutrofización, el cual constituye un mayor riesgo para el funcionamiento de los ecosistemas costeros, se han propuesto muchos indicadores e índices actualmente en uso (Newton *et al* 2003). Estos índices se basan en indicadores físicos, químicos y biológicos, lo que permite definir el estado

trófico de una masa de agua comparando los datos obtenidos experimentalmente con valores fijos propuestos.

El uso de múltiples índices para evaluar la eutrofización y la calidad de agua en ambientes costeros con base en sus estados tróficos es motivo de controversia entre los especialistas (Justic 1991, Vollenweider *et al* 1998). La controversia surge por la amplia variabilidad de las condiciones espacio-temporales y las grandes fluctuaciones que muestran los parámetros, a partir de los cuales son estimados los estados tróficos, por lo que es difícil comparar resultados obtenidos con uno u otro índice (Coelho *et al* 2007).

### **1.1 Antecedentes**

Los estudios enfocados en la determinación del componente fitoplanctónico y productividad primaria total dentro de los sistemas lagunares del estado de Chiapas son relativamente recientes, ya que datan de los años 90's. Actualmente, existen estudios de diversa índole que abordan aspectos biológicos, fisicoquímicos y de contaminación desarrollados en los sistemas lagunares Chantuto-Panzacola en el estado de Chiapas, sin embargo este tipo de estudios también se han realizado a lo largo de las distintas costas en el mundo: Fitoplancton y Productividad Primaria: Contreras-Espinosa y Castañeda-López (1992), resumen las características hidrológicas, así como la variación espacio temporal de la cantidad de nutrientes y la productividad primaria, resaltando la contribución de la fracción nanofitoplanctónica. Posteriormente, Avelino *et al* (1993) evaluaron la productividad primaria y sus relaciones con parámetros ambientales a lo largo de un gradiente de humedad. García-Nagaya y Castañeda-López (1994), evaluaron la hidrología, nutrientes y productividad primaria en dos sistemas

costeros del Estado de Chiapas, México. Pérez *et al* (1998), estudiaron la variación estacional de la comunidad fitoplanctónica del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. Tovilla-Hernández y De la Lanza-Espino (2001) hicieron el balance hidrológico y de nutrientes en un humedal cortero del Pacífico Sur de México. Varona-Cordero y Gutiérrez-Mendieta (2003), realizaron un estudio espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica en dos lagunas costeras del estado de Chiapas utilizando dos análisis multivariados. Aranda (2004) analizó la eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical en la península de Yucatán. Gutiérrez-Mendieta *et al* (2006) realizaron una caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas. Al respecto, Varona-Cordero y Gutiérrez-Mendieta (2006) desarrollaron un estudio sobre la composición estacional de fitoplancton de dos lagunas costeras del Pacífico tropical. González *et al* (2006) analizaron las fluctuaciones temporales y espaciales de los parámetros físicos, químicos, clorofila-*a* y productividad primaria durante períodos de surgencia y no surgencia en la Bahía de Mochima, Venezuela. Rodríguez (2008) evaluó la estructura y producción primaria del fitoplancton y perifiton en un humedal del bajo Paraná. Tapia *et al* (2008) analizaron el agua su variabilidad calidad y tendencias eutróficas en las zonas kársticas en las lagunas de Celestún y Chelem en Yucatán. Drake *et al* (2010) analizaron los efectos de la luz y los nutrientes sobre la sucesión del fitoplancton de temporada en una laguna costera templada, en la laguna de Rodeo en California, Estados Unidos.

Índices Ecológicos y Tróficos. De la Lanza- Espino y Cantú (1986) realizaron la cuantificación de clorofilas y aplicación del índice de diversidad de pigmento ( $D^{430}/D_{665}$ ) para estimar el estado biótico de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. Giovanardi y



Vollenweider (2004) analizaron las condiciones tróficas de las aguas marinas costeras y aplicaron del índice trófico TRIX en dos áreas de los mares Adriático y Tirreno. Salas *et al* (2008) determinaron la aplicabilidad del índice trófico TRIX en dos ecosistemas de transición: la laguna del Mar Menor (España) y el estuario del Mondego (Portugal). Seisdedo *et al* (2010) efectuaron un análisis comparativo del estado trófico de las aguas de la Bahía de Cienfuegos, Cuba.

## **1.2 Justificación**

Siendo la eutrofización una característica común en la mayoría de los ecosistemas costeros tropicales (espacial o temporalmente), debido a los constantes aportes terrígenos asociados, ya sean naturales o antrópicos, hace especialmente vulnerables a este tipo de sistemas acuáticos a mayores desequilibrios provocados por un aumento en estos insumos.

La evaluación precisa de las condiciones de los nutrientes, la cuantificación de la biomasa fitoplanctónica, el conocimiento de algunos índices para evaluar la eutrofización y la descripción de algunas características propias del sistema lagunar, pueden ser útiles para ubicar datos y/o concentraciones de algunos parámetros que pudieran indicar anomalías hidrológicas dentro del sistema. Además de que, la productividad primaria y la ecología del sistema están fuertemente ligadas a la abundancia de los recursos pesqueros, que constituyen una importante fuente de alimento en la zona costera, y que una afectación hacia este recurso implica un impacto en la economía de las comunidades pesqueras aledañas al sistema.

El presente estudio implica una contribución al conocimiento de las condiciones ecológicas apropiadas del ecosistema, así mismo puede ser una referencia básica para

futuros monitoreos en los sistemas lagunares del estado de Chiapas. La información resultante de este análisis es de suma importancia para el manejo y conservación de los recursos naturales de la región, considerando que el sistema lagunar Chantuto-Panzacola se encuentra inmerso dentro de la poligonal de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. Los resultados podrían contribuir en la toma de decisiones sobre la magnitud del impacto de las actividades antropogénicas que se realizan o pretendieran llevarse a cabo en un futuro, y de esta manera tener un buen manejo del área natural protegida.

### **1.3 Objetivo general**

Caracterizar las condiciones ecológicas del sistema lagunar con base en distintas variables físico-químicas del agua, y determinar si existe una relación con la contribución de la biomasa fitoplanctónica, en términos de productividad primaria y concentración de clorofila *a*, así como establecer si existe una relación de dichas variables, con los índices tróficos y ecológicos en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

### **1.4 Objetivos específicos**

Determinar la variación espacio-temporal de los parámetros físico-químicos del sistema lagunar Chantuto-Panzacola.

Determinar la variación espacio-temporal de la biomasa fitoplanctónica en términos de productividad primaria y clorofila *a* del sistema lagunar Chantuto-Panzacola.

Determinar la variación de los índices del estado trófico y ecológico del sistema lagunar Chantuto-Panzacola en sus escalas espacio-temporales.

Determinar si existe alguna relación entre los parámetros físico-químicos, con la productividad primaria, la concentración de la clorofila *a* y los índices tróficos y ecológicos utilizados.

### **1.5 Hipótesis**

La variación de los parámetros físico-químicos del agua está determinada tanto por las épocas climáticas como por las diferencias espaciales.

La concentración y variación de la biomasa fitoplanctónica está determinada por condiciones espacio-temporales.

La concentración de los parámetros físico-químicos determinan las variaciones de la productividad primaria e influyen en los índices tróficos y ecológicos.

Las variaciones espacio-temporales en la concentración de los parámetros físico-químicos del agua incidirán en la caracterización ecológica y se expresaran mediante la determinación de índices tróficos y ecológicos del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas.

## **2. Materiales y Métodos**

### **2.1 Descripción del área de estudio**

El estado de Chiapas cuenta con 255.69 km de cordón litoral y 87,000 ha de superficie estuarina. La Reserva de la Biosfera “La Encrucijada” se localiza al sur del Estado de Chiapas, en la región fisiográfica denominada Planicie Costera del Pacífico,

geográficamente ubicada entre los 14° 43' y 15° 40' latitud norte y 92° 26' y 93° 20' longitud oeste (Díaz-Ruiz *et al* 2004).

Posee una superficie de 144,868-15-87.5 ha, de las cuales 36,216-42-50 ha corresponden a dos zonas núcleo (La Encrucijada y Palmarcito) y 108,651-73-37.5 ha corresponden a la zona de amortiguamiento (Diario Oficial de la Federación, 5 de junio de 1995).

El sistema lagunar-estuarino Chantuto-Panzacola se localiza en el Pacífico Mexicano, en la costa sur de Chiapas, entre los 92°55' N y los 15°09' y 15°17' W (Fig. 1). Ubicado en el municipio de Acapetahua, dentro de la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera "La Encrucijada", ocupa una superficie aproximada de 1,900 ha, de las cuales 47.4% son propiedad federal, 39.5% particular y 13.1% del sector social (Díaz-Ruiz *et al* 2004). Está conformado por cinco lagunas principales: Chantuto, Campón, Teculapan, Cerritos y Panzacola. Se conecta con el mar a través de la Boca San Juan y Barra del Castaño, recibe la descarga de los ríos: San Nicolás, Cacaluta, Cintalapa, Vado Ancho, Despoblado, Huixtla, Cuilapa y Doña María (Díaz-Ruiz *et al* 2004).

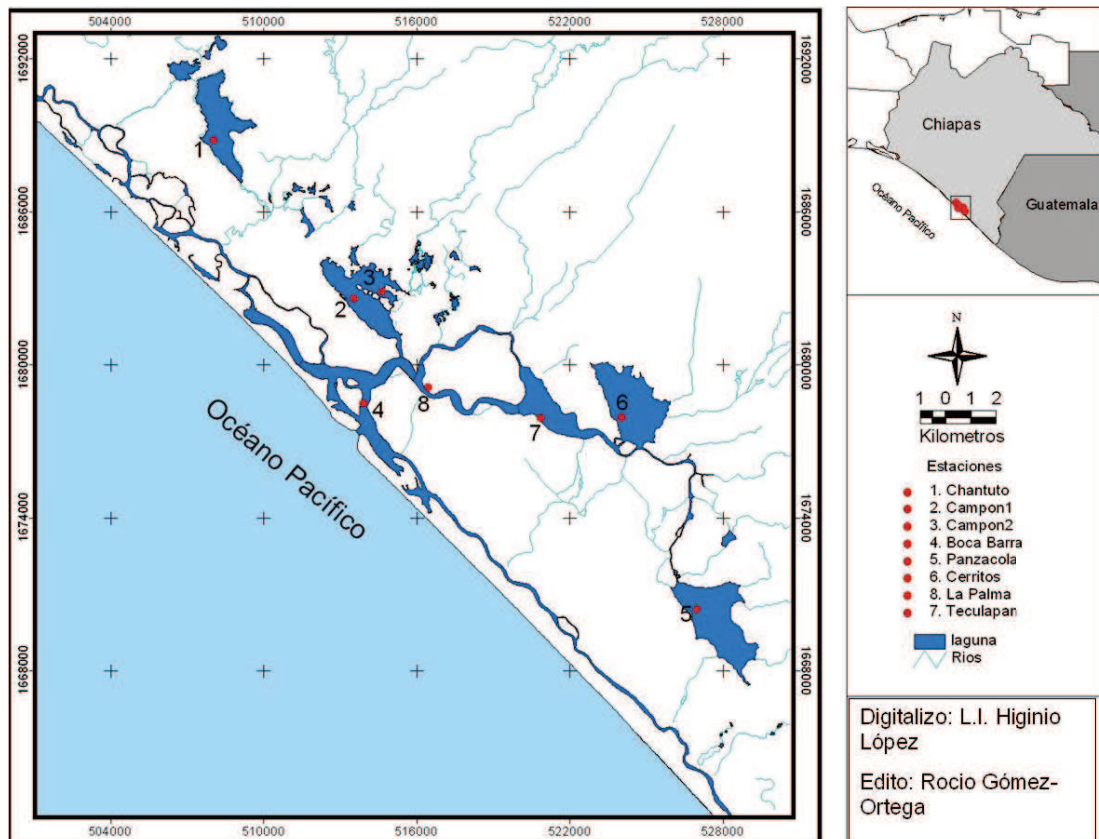


Fig.1. Ubicación de las estaciones de muestreo en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

Por sus características geomorfológicas y de intercambio de agua lagunar y oceánica, Lankford (1977) la clasifica según su origen en tipo III plataforma de barrera interna, ya que presenta depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental, al que rodean superficies terrígenas en sus márgenes internos y al que protegen del mar barreras arenosas producidas por corrientes y olas. La antigüedad de la formación de la barrera data del establecimiento del nivel del agua actual, dentro de los últimos 5 mil años. Los ejes de orientación paralelos a la costa con batimétricamente muy someros, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos. Es considerada por muchos autores como una laguna costera típica, aparece a lo largo de planicies costeras de

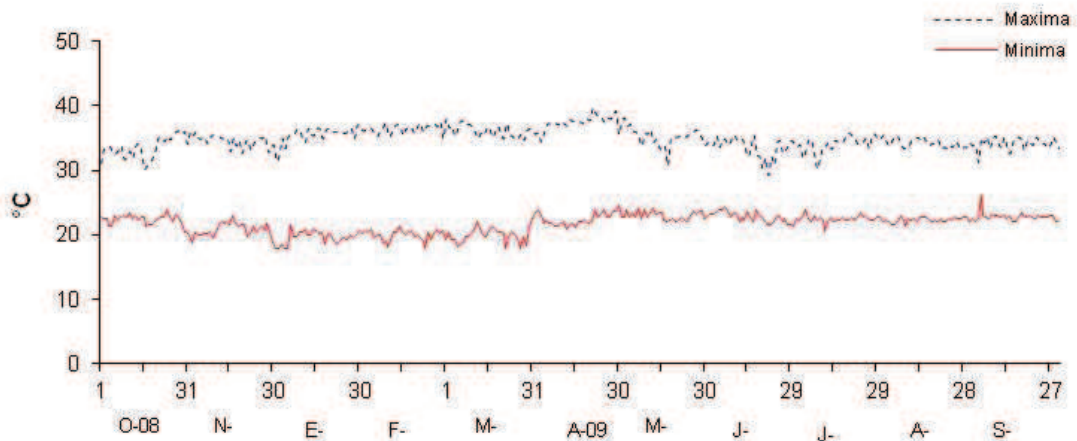
bajo relieve con energía de intermedia a alta con barreras arenosas externas, ocasionalmente múltiples; escurrimiento ausente o muy localizado; forma y batimetría modificadas por la acción de las mareas, oleajes tormentosos, arena traída por viento y presencia de corrientes locales que tienden a segmentar las lagunas; energía relativamente baja, excepto en los canales y durante condiciones de tormenta; salinidad variable, según las zonas climáticas.

El clima es tropical Am (f)w, cálido húmedo, lluvioso en verano y seco en invierno, reconociéndose dos épocas climáticas en la región: lluviosa durante los meses de mayo a octubre y seca de noviembre a abril (García-Nagaya y Castañeda-López, 1992 y Díaz-Ruiz *et al* 2004). Este sistema presenta la comunidad más extensa de manglares del estado de Chiapas, alcanzando normalmente los 30 m de altura (García-Nagaya y Castañeda-López 1994 y Díaz-Ruiz *et al* 2004).

## **2.1.2 Caracterización ambiental del área de estudio**

### **2.1.2.1 Temperatura Ambiente.**

De acuerdo con la información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua en el estado de Chiapas, la temperatura ambiente durante el periodo de estudio presentó una variación de 18 a 40 °C, siendo el mes de enero el periodo donde se registraron los valores mínimos de temperatura, y el mes de abril el periodo más cálido del ciclo anual (Fig. 2).

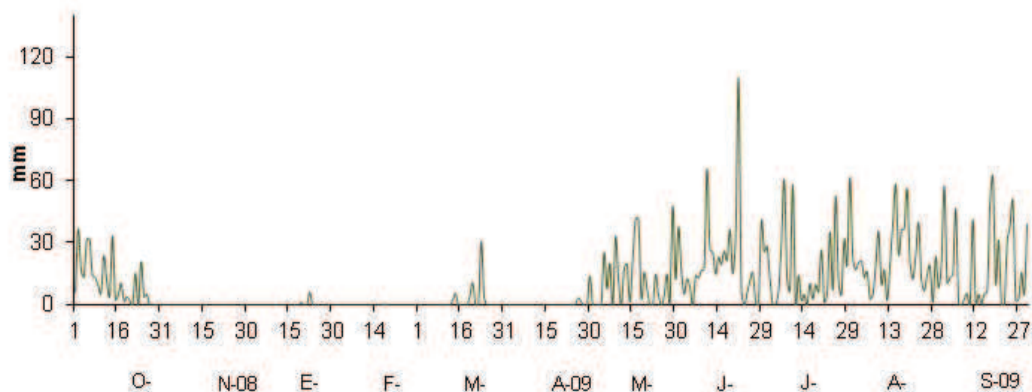


Fuente: CNA. Gerencia Regional. Tuxtla Gutiérrez, Chis.

Fig. 2. Temperatura ambiente mínima y máxima en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México en el periodo de octubre del 2008 a septiembre del 2009.

### 2.1.2.2 Precipitación Pluvial.

De acuerdo con la información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua en el estado de Chiapas, la precipitación pluvial en el área de estudio presenta un ciclo anual bien definido, presentando variaciones desde 0 hasta 110 mm, con un promedio de 9.76 mm diarios. Los valores máximos de precipitación determinan dos periodos bien definidos; el periodo de lluvias que comprende los meses de Mayo a Octubre y el periodo de estiaje que comprende los meses de Noviembre a Abril (Fig. 3).



Fuente: CNA. Gerencia Regional. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Fig. 3. Precipitación pluvial en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México en el periodo de octubre del 2008 a septiembre del 2009.

## 2.2 Procedimiento de campo y laboratorio

Para evaluar las fluctuaciones hidrológicas espacio-temporales se llevaron a cabo muestreos mensuales de octubre del 2008 a noviembre del 2009, cubriendo las dos épocas climáticas (estiaje y lluvias) que prevalecen dentro del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola. Se establecieron ocho estaciones de muestreo (Fig. 1):

E-1 ubicada en la laguna de Chantuto con coordenadas latitud  $15^{\circ}14'40.12''N$ , longitud  $92^{\circ}53'56.66''O$  (Anexo 1).

E-2 ubicada en la laguna de Campón 1 con coordenada latitud  $15^{\circ}11'50.72''N$ , longitud  $92^{\circ}51'21.66''O$  (Anexo 2).

E-3 ubicada en la laguna Campo 2 con coordenadas latitud  $15^{\circ}11'55.48''N$ , longitud  $92^{\circ}50'48.58''O$  (Anexo 3).

E-4 ubicada frente la Boca Barra con coordenadas latitud  $15^{\circ}9'59.98''N$ , longitud  $92^{\circ}51'7.29''O$  (Anexo 4).



E-5 ubicada en la laguna de Panzacola (la parte más lejana a la Boca Barra) con coordenadas latitud 15° 6'16.05"N, longitud 92°44'55.30"O (Anexo 5).

E-6 ubicada en la laguna de Cerritos con coordenadas latitud 15°9'44.93"N, longitud 92°46'18.27"O (Anexo 6).

E-7 ubicada en la laguna de Teculapan con coordenadas latitud 15°9'44.30"N, longitud 92°47'48.88"O (Anexo 7).

E-8 ubicada en frente de la comunidad La Palma con coordenadas latitud 15°10'10.94"N, longitud 92°50'1.36"O (Anexo 8).

En cada punto se cuantificaron *in situ* los siguientes parámetros físicos: a) la temperatura (°C) utilizando un termómetro de cubeta, b) el pH con un potenciómetro Cole-Palmer, c) la salinidad (ups) con un refractómetro manual óptico y precisión de  $\pm 1.0$  ups y, d) la transparencia y profundidad (m) con el disco de Secchi. El oxígeno disuelto se determinó por medio del método de Winkler (Strickland y Parson 1972). Para la evaluación de la productividad primaria se utilizó el método de la botella clara y oscura (Gaarder y Gran 1927), siguiendo el procedimiento sugerido por Brower y Zar (1981), manteniendo las botellas en incubación a bordo de la lancha. Para determinar la concentración de clorofila *a*, se filtraron entre 50 y 250 ml de agua a través de filtros de membrana Nucleopore® de 0.45 micras de apertura de poro; antes de iniciar el filtrado se agregó un ml de solución de MgCO<sub>3</sub>, posteriormente, estos filtros se desecaron con gel de sílice y se guardaron en tubos de polipropileno de 15 ml a 4°C.

Para la determinación de los nutrientes se colectaron un total de 88 muestras de agua, 48 correspondientes a la época de lluvias y 40 a estiaje, empleando una botella Niskin con capacidad para cinco litros, conservando las muestras en refrigeración a baja temperatura (4°C) hasta su procesamiento.

En el laboratorio se filtraron las muestras con filtros Whatman de grado 41:20  $\mu\text{m}$  con el propósito de eliminar la turbidez y evitar así la interferencia por turbidez en cada una de las lecturas espectrofotométricas. Se determinó el contenido de los siguientes nutrientes:

Ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ): por el método del ácido ascórbico, método HACH 8048, rango de 0.02 a 2.50 mg/l (Muestra filtrada, blanco de comparación agua destilada, reactivo PhosVer).

Fósforo total ( $\text{PO}_4$ ): se agregaron a la muestra 0.5 ml de una mezcla de ácido sulfúrico- ácido nítrico (300 ml de ácido sulfúrico + 4 ml de ácido nítrico) más 0.5 g de persulfato de potasio, digiriéndolas en autoclave a  $121^\circ\text{C}$  y 15 psi por un tiempo de 30 minutos de acuerdo a APHA, AWWA y WPCF (2005). Posteriormente, se determinó el fósforo total por el método HACH 8048.

Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ): por el método de reducción de cadmio, método HACH 8171, rango de 0.1 a 10.0 mg/l (Muestra filtrada, blanco agua destilada, reactivo NitraVer 5).

Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ): por el método del fenol-hipoclorito a 640 nm de longitud de onda, sugerido por Solórzano (1969), empleando el espectrofotómetro HACH (Muestra filtrada, blanco agua destilada, se aplica a agua dulce y de mar, aquí se empleó una curva de calibración utilizando  $\text{NH}_4\text{Cl}$  a distintas concentraciones).

Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) por el método de Diazotación, método HACH 8507, rango 0.002 a 0.300 mg/l (muestra filtrada, blanco agua destilada, reactivo NitriVer 3).

Nitrógeno total como la suma de las formas nitrogenadas ( $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$ ).

Para la extracción de clorofila *a*, se utilizaron los métodos espectrofotométricos (Strickland y Parson 1972), extrayendo con acetona al 90% en la oscuridad de acuerdo con lo propuesto por Margalef (1965) y SCOR-UNESCO (1966), y se cuantificaron

usando el multianalizador marca HACH. El equipo utilizado en todas las determinaciones fue espectrofotómetro marca HACH modelo DR/2400.

### **2.3 Índices ecológicos y tróficos**

**Relación (C/Cl *a*).** Conocida como número y/o razón de asimilación, es la relación entre la productividad primaria fitoplanctónica y la concentración de la clorofila:  $\text{mgCm}^3\text{h}^{-1}/\text{mgm}^3$ , tomada ésta como un índice de la biomasa de dicha comunidad. Esta relación ha llegado a ser interpretada, como la “*eficiencia ecológica*” del fitoplancton (Banse, 1974; 1977), ya que como puede deducirse, un valor alto significa que relativamente una escasa cantidad de clorofila generaría una elevada productividad o viceversa.

**Índice de diversidad de pigmentos  $D^{430}/D_{665}$  (IM).** Es el cociente entre la absorción o densidad óptica de los extractos de pigmentos a las longitudes de onda de 430 nm (donde se identifican todos los pigmentos) y a 665 nm (donde se capta únicamente la clorofila *a*), respectivamente, y se expresa como  $D^{430}/D_{665}$  (Margalef, 1965).

Debido a la variabilidad de las características hidrológicas y de que todo parece indicar que éstas son propiedades distintivas y locales, es importante aclarar que para fines de comparación, en los casos de los índices C/Cl *a* y el de Margalef (relación  $D^{430}/D_{665}$ ), los resultados obtenidos son considerados como altos o bajos en relación al promedio anual obtenido en cada sistema lagunar.

**El índice del estado trófico de Carlson (IET).** Carlson (1977) propuso este índice, es uno de los más utilizados varía entre 0 y 100 es decir, de oligotrófico a hipereutrófico. Se obtiene a través de la transparencia determinada con el disco de

Secchi, concentración de clorofila *a* y fósforo total. Sin embargo, la ecuación basada en la cantidad de clorofila *a* fue la más aceptada ( $IET = 10 (6 - 2.04 - 0.68 \ln [\text{clor } a]) / \ln 2$ ).

Las grandes categorías tróficas conocidas son las de: Oligotrófico, Mesotrófico, Eutrófico e Hipereutrófico, esta tipificación empleada abarca intervalos muy amplios en la concentración de clorofila, sobre todo hacia las dos últimas categorías, es en ellas, precisamente, en donde se ubica la mayoría de los ecosistemas tropicales costeros. Con base en lo anterior, se utilizó la propuesta de Contreras (1994<sup>a</sup>), donde plantea una expansión en los intervalos de la concentración del pigmento que propone (Tabla 1).

Tabla 1. Expansión en los intervalos de la concentración del pigmento propuesta por Contreras (1994<sup>a</sup>)

Categorías	Intervalo en la concentración de cl <i>a</i>		Índice Trófico	
	Ultraoligotrófico	0	0.122	0
$\alpha$ -oligotrófico	0.123	0.340	10	19
$\beta$ -oligotrófico	0.350	0.940	20	29
$\gamma$ -oligotrófico	0.950	2.60	30	39
$\alpha$ -mesotrófico	2.70	7.20	40	49
$\beta$ -mesotrófico	7.30	20.0	50	59
$\alpha$ -eutrófico	21.0	55.0	60	69
$\beta$ -eutrófico	56.0	155.0	70	79
$\gamma$ -eutrófico	156.0	425.0	80	89
Distrófico	> 426.0		> 90	

**Índice TRIX (TRIX).** Es un índice multivariado denominado Índice del Estado Trófico TRIX (Tabla 2) propuesto por Vollenweider *et al* (1998), mediante la fórmula:

$$TRIX = [\log(Cla * \%Od) * NID * PRS) + 1.5] / 1.3.$$

Donde: cada uno de los cuatro componentes representa un estado trófico variable a decir que:

(a) Factores de productividad

Cl *a* = concentración de clorofila *a*  $\mu\text{g/l}$ )

|%Od| = valor absoluto de la desviación del por ciento de saturación de oxígeno disuelto, es decir, [100 - %Od]

(b) Factores nutricionales

NID = nitrógeno inorgánico disuelto N como: [N-NO<sub>3</sub>+ N-NO<sub>2</sub> + N-NH<sub>4</sub>], en (µg N l<sup>-1</sup>)

PRS = fósforo reactivo soluble (µg P l<sup>-1</sup>) Ofrece la ventaja de utilizar como componentes las variables ambientales y medirlas directamente de manera sistemática.

Tabla 2. Índice del estado trófico, TRIX, y calidad del agua, de acuerdo a la legislación italiana en la evaluación del estado del agua de mar (Penna *et al* 2004).

Escala TRIX	Estado de la calidad de agua	Características del agua
2 – 4	Alta	Pobre productiva, nivel trófico bajo
4 – 5	Buena	Moderadamente productiva, nivel trófico medio
5 – 6	Mala	Entre moderada y alta en cuanto a productividad
6 – 8	Pobre	Altamente productiva, nivel trófico el más alto

## 2.4 Análisis estadístico

Se realizó una depuración de datos donde se estimó el 8.65% de datos faltantes utilizando el paquete estadístico R mediante el método de imputación manejando metodología de método de Montecarlo con el paquete Hmisc (Frank, 2010). Se estimaron en los casos donde faltaban los datos de las variables empleadas, para obtener una matriz válida; debido a que cuando se realizaron los muestreos las condiciones ambientales adversas no favorecieron la toma de datos y estos pudieran ser desacertados.

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA), utilizando el paquete estadístico R, para examinar la relación entre las épocas climáticas y las variables

ambientales y determinar cuáles son las variables que contribuyen a explicar la mayor variabilidad del sistema.

Para observar si existían diferencias estadísticas entre épocas climáticas y estaciones, se realizó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) de las variables originales que contribuyeron significativamente en los primeros tres componentes principales. Para conocer si hay una relación entre las variables físico-químicas y la Productividad Primaria e Índices Tróficos y Ecológicos.

Se realizó un análisis de correlación canónica (ACC), en el cual se relacionan dos conjuntos de datos, por un lado los parámetros físico-químicos (PQ1) mientras que por el otro la productividad primaria y los índices ecológicos (PQ2), con el fin de explorar las variables que se encuentren fuertemente relacionadas.

Posteriormente para evaluar la significancia individual de cada una de las variables se les aplicó una prueba no paramétrica con corrección de Bonferroni, previo análisis de que no existe correlación significativa entre ellas. Se utilizó un análisis de test de Wilcoxon como prueba no paramétrica para poder verificar si había diferencias significativas entre las medianas de las dos épocas climáticas estudiadas (lluvias y estiaje). Posteriormente se realizó un análisis de Kruskal-Wallis como prueba no paramétrica para poder verificar si existían diferencias significativas entre las medianas de las estaciones de muestreo. Estas pruebas solo se aplicaron a los parámetros que contribuyeron significativamente en los componentes principales. Todas las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el paquete estadístico R.

### 3. Resultados

En la Tabla 3 se presentan los valores mínimos, máximos, promedio, desviación estándar y el número de datos (n) de los parámetros medidos por época climática, así como los parámetros resultantes en el análisis de componentes principales (\*), de la misma manera se muestra los parámetros resultantes de la correlación canónica (\*).

Tabla 3. Valores mínimos (Min), máximos (Max), promedio (Prom) y desviación estándar (D.E.) de las variables ambientales (n) número de parámetros medidos. (\*) Parámetros resultantes de la correlación canónica y (•) parámetros resultantes en el análisis de componentes principales.

Parámetro	Estiaje					Lluvias				
	Min	Max	Prom	D.E.	n	Min	Max	Prom	D.E.	n
Temperatura* (°C)	18	34	29.8	3.4	48	16	37	29.3	5.65	40
Salinidad (ups)	0.3	39	23.10	11.21	48	0	32	3.65	5.65	40
Oxígeno Disuelto (ml/l)	1.26	9.38	3.01	1.73	48	0.47	4.26	2.32	0.94	40
•pH	6.31	8.13	7.59	0.27	48	5.00	9.60	7.53	0.92	40
Profundidad (m)	0.20	8.0	1.58	1.85	48	0.30	8.00	2.12	1.99	40
Transparencia (cm)	0.20	1.90	0.27	0.49	48	0.10	1.60	0.49	0.33	40
•Ortofosfatos* (µg-at/l)	8.83	340.66	45.03	55.24	48	23.74	232.68	72.20	39.51	40
•Fósforo Total (µg-at/l)	17.85	762.08	121.69	118.95	48	20.23	379.88	55.98	111.68	40
Nitratos* (µg-at/l)	6.20	186.02	53.22	39.53	48	6.20	155.02	42.03	73.79	40
•Nitritos (µg-at/l)	0.09	12.94	0.86	1.90	48	0.08	1.57	0.62	0.39	40
•Amonio * (µg-at/l)	2.22	73.01	19.96	19.44	48	3.72	196.40	28.21	36.45	40
•Nitrógeno Total* (µg-at/l)	9.06	225.81	74.30	49.30	48	15.46	352.99	102.62	64.0	40
Produc. Neta * (mg/C/m <sup>3</sup> /h)	0.00	375	124.20	103.5	48	0.00	422.37	89.52	84.55	40
•Clorofila "a" * (mg/m <sup>3</sup> )	0.96	119.99	21.71	21.41	48	0.19	60.19	13.67	14.61	39
•IM	0.00	31.13	3.71	4.71	48	0.36	26.67	5.14	5.83	40
•C/Cl (mgCm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> /mgm <sup>-3</sup> )	0.00	75.29	7.06	9.07	48	0.00	146.20	22.32	36.60	39
•IET	30.15	77.54	56.85	9.51	48	7.76	70.77	49.34	14.15	40
•TRIX*	5.25	8.11	6.4	0.6	48	4.88	7.50	6.39	0.66	40

### 3.1 Parámetros Físico-químicos

#### 3.1.1 Temperatura del agua.

La temperatura del agua presentó un valor promedio mínimo en octubre de 20.6 °C con un promedio máximo durante julio de 33.42 °C, ambos valores correspondientes a la época de lluvias, y un promedio anual de 29.61°C (Fig. 4).

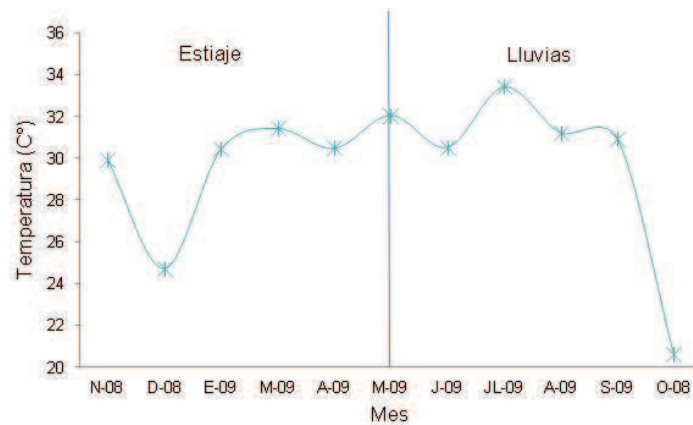


Fig. 4. Variación promedio mensual de la temperatura (°C) del agua en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

#### 3.1.2 Salinidad

La salinidad presentó un valor promedio mínimo de 1.87 ups en agosto correspondiente a la época de lluvias, mientras que el valor promedio máximo fue de 34.5 ups durante abril correspondiente a la época de estiaje. El promedio anual fue 14.25 ups (Fig. 5).



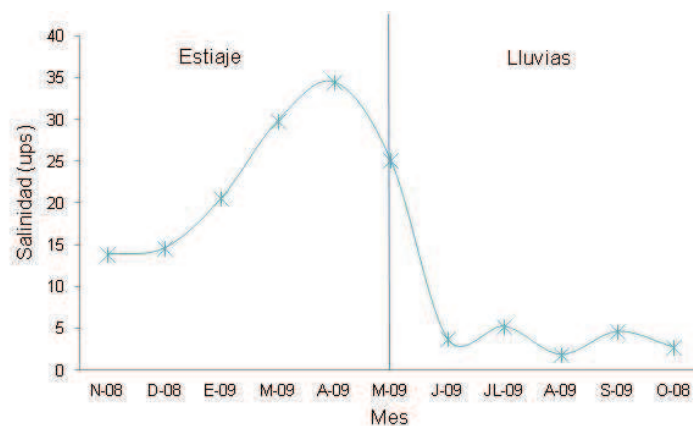


Fig. 5. Variación promedio mensual de la salinidad (ups) del agua en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.1.3 Oxígeno disuelto

Los valores de oxígeno disuelto presentaron un promedio mínimo en julio de 1.70 ml/l, correspondiente a la época de lluvias; el promedio máximo fue de 5.68 ml/l durante noviembre correspondiente a la época de estiaje, y un promedio anual de 2.70 ml/l (Fig.6).

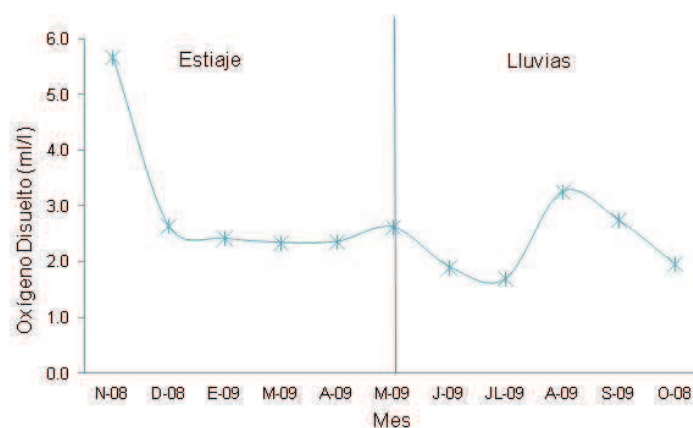


Fig. 6. Variación promedio mensual de la concentración de oxígeno (ml/l) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.1.4 pH

El pH registró un valor promedio mínimo de 6.86 en septiembre, mientras que el promedio máximo fue de 8.70 en octubre, y un promedio anual de 7.55 (Fig.7). Este parámetro no muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 891.5$ ,  $p = 0.5687$ ), ni por estaciones de muestreo (chi-cuadrada= 9.7663, g.l = 7,  $p = 0.2022$ ).

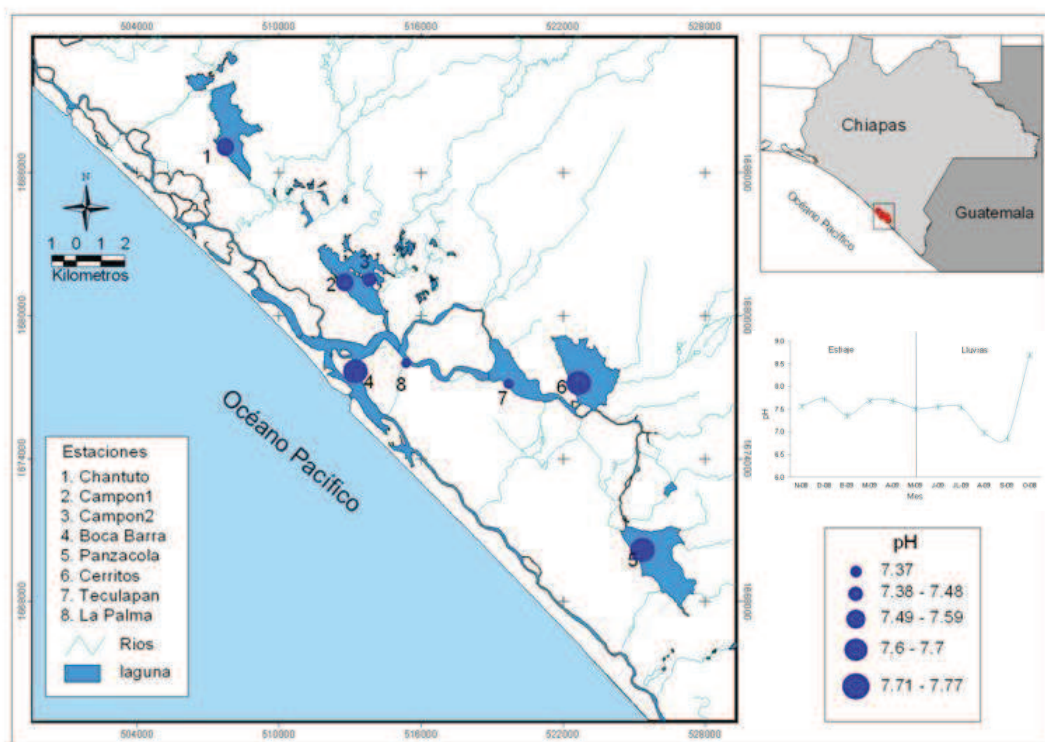


Fig. 7. Variación promedio por estación de muestreo y mensual del pH en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.1.5 Profundidad

La profundidad mostró un valor promedio mínimo 0.58 m durante marzo, correspondiente a la época de estiaje, mientras que su promedio máximo fue de 1.48 m en septiembre con un promedio anual de 0.98 m (Fig. 8). En estos valores promedio se

descartaron las estaciones siete y ocho, ya que por su cercanía a la boca barra son las más profundas.

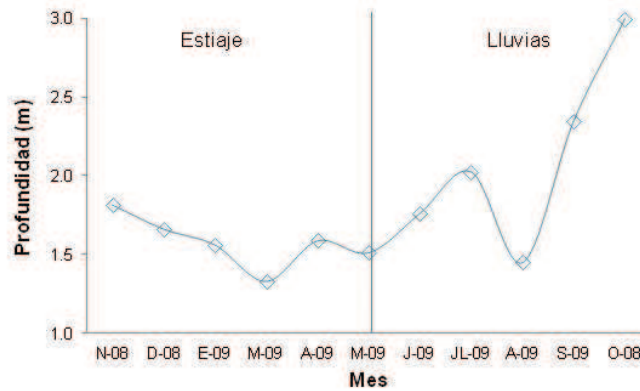


Fig. 8. Variación promedio mensual de la profundidad (m) del agua en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.1.5 Transparencia

La transparencia mostró un valor promedio mínimo de 0.35 m en junio, correspondiente a la época de lluvias, mientras que su máximo fue de 0.56 m durante mayo y diciembre correspondiente a la época de estiaje, con un promedio anual de 0.41 m (Fig.9).

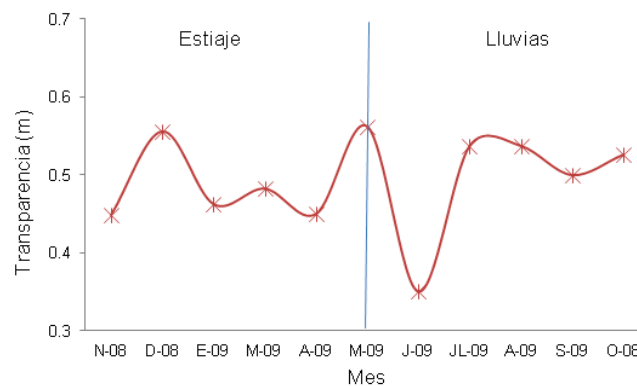


Fig. 9. Variación promedio mensual de la transparencia (m) del agua en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.2 Concentración de nutrientes

#### 3.2.1 Ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

La concentración de los ortofosfatos presentó un promedio mínimo de 20.54  $\mu\text{g-at/l}$  en mayo correspondiente a la época de estiaje y una concentración promedio máxima de 101.62  $\mu\text{g-at/l}$  en julio, correspondiente a la época de lluvias, con un promedio anual de 57.38  $\mu\text{g-at/l}$  (Fig.10). Este parámetro muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 1551$ ,  $p = 7.467\text{E-}07$ ), pero no mostró diferencias significativas entre estaciones de muestreo (chi-cuadrada= 7.6044,  $g.l = 7$ ,  $p = 0.3688$ ).

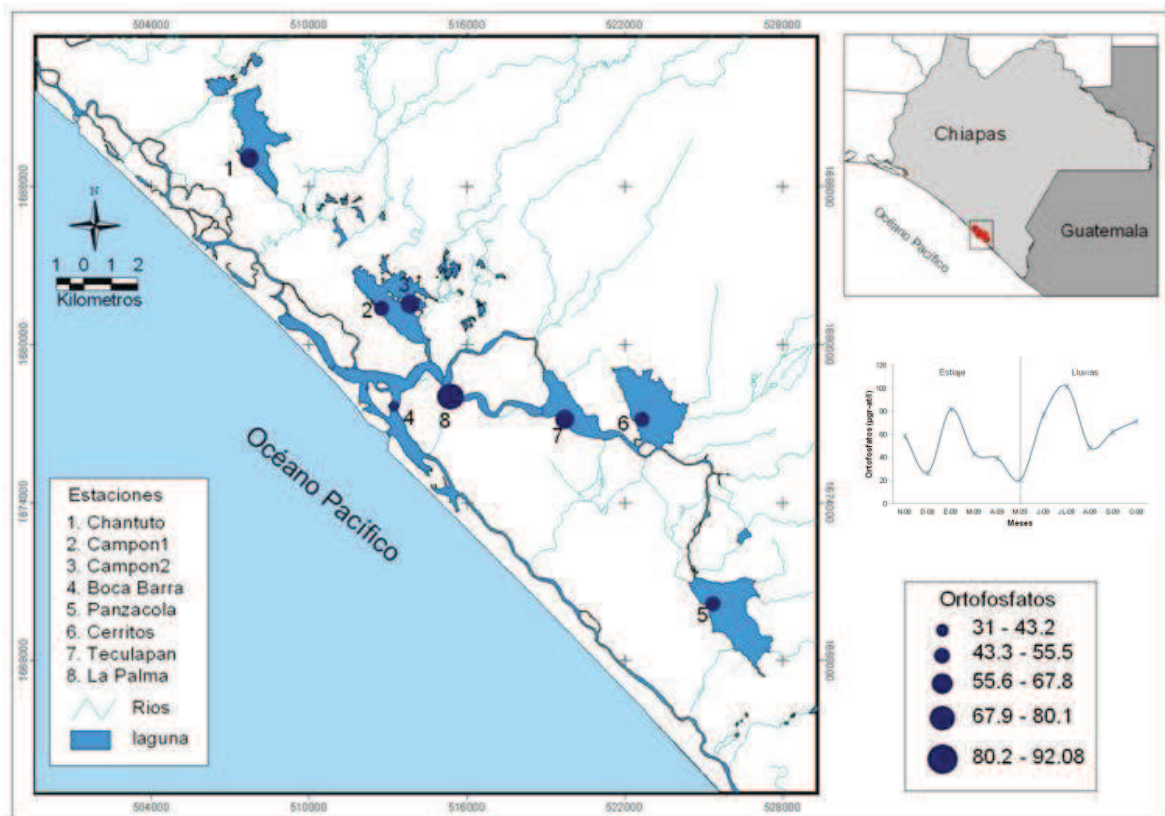


Fig. 10. Variación promedio por estación de muestreo y mensual de la concentración de ortofosfatos ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.2.2 Fósforo Total ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

La concentración del fósforo total presentó un promedio mínimo de  $53.90 \mu\text{g-at/l}$  en diciembre y un promedio máximo de  $198.91 \mu\text{g-at/l}$  durante enero, ambos valores corresponden a la época de estiaje, con un promedio anual de  $117.14 \mu\text{g-at/l}$  (Fig. 11). Este parámetro no muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 892.5$ ,  $p = 0.571$ ), ni entre estaciones de muestreo (chi-cuadrada =  $7.6044$ ,  $g.l = 7$ ,  $p = 0.3688$ ).

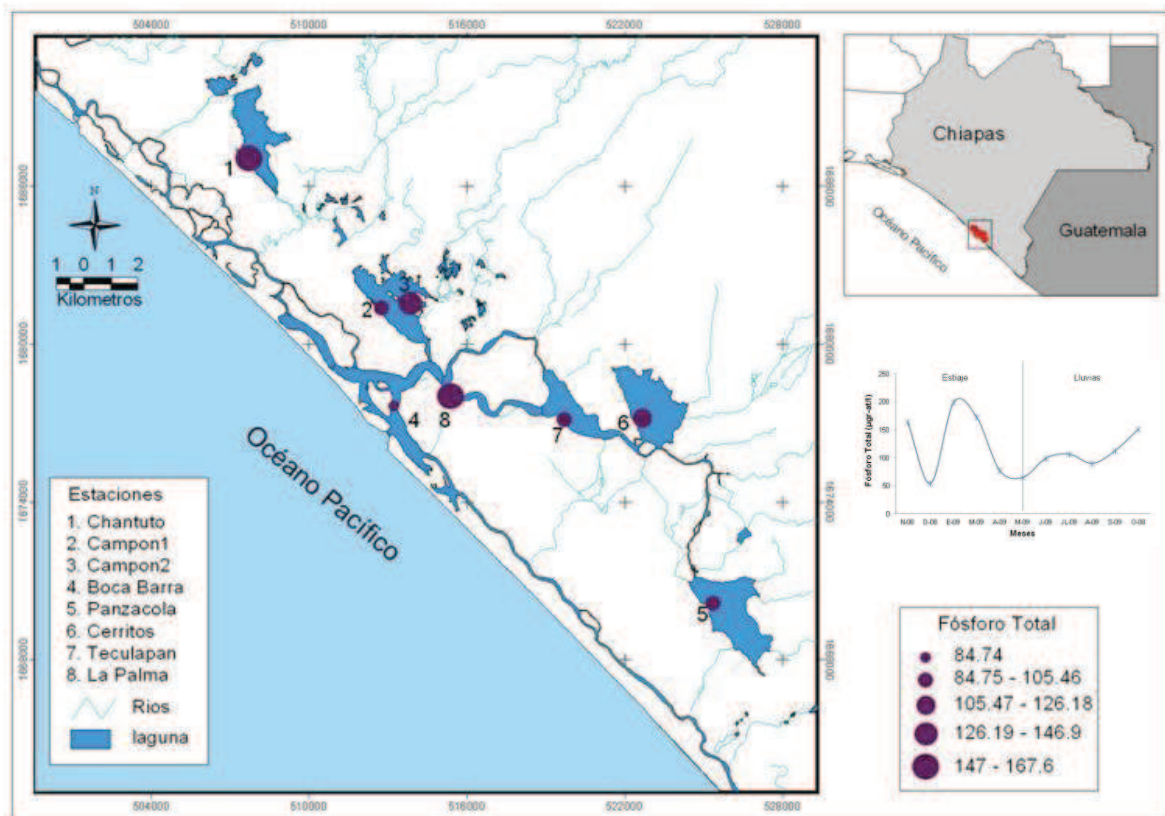


Fig. 11. Variación promedio por estación de muestreo y mensual de la concentración del fósforo total ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.2.3 Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )

La concentración de nitratos presentó un promedio mínimo de  $15.50 \mu\text{g-at/l}$  durante octubre correspondiente a la época de lluvias y un promedio máximo de  $99.99 \mu\text{g-at/l}$  en abril correspondiente a la época de estiaje, con un promedio anual de  $67.57 \mu\text{g-at/l}$  (Fig.12).

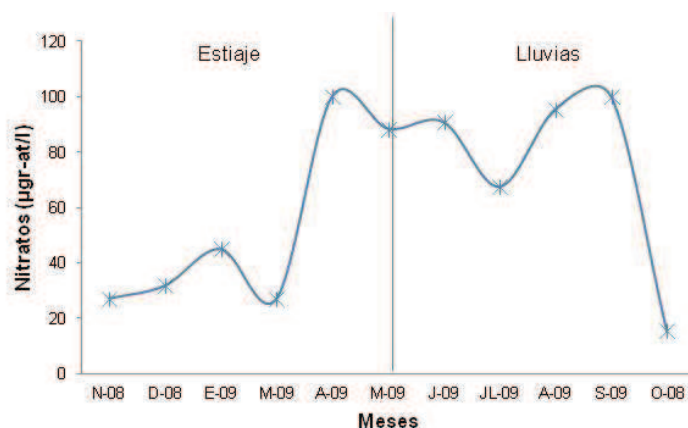


Fig. 12. Variación promedio mensual de la concentración de los nitratos ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.2.4 Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )

Los nitritos presentaron una concentración promedio mínima de  $0.08 \mu\text{g-at/l}$  en octubre correspondiente a la época de lluvias y una máxima promedio de  $2.08 \mu\text{g-at/l}$  en enero correspondiente a la época de estiaje, con un promedio anual de  $0.754 \mu\text{g-at/l}$  (Fig. 13). Este parámetro no muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 1068.5$ ,  $p = 0.3647$ ), ni entre estaciones de muestreo ( $\text{chi-cuadrada} = 1.4056$ ,  $\text{g.l} = 7$ ,  $p = 0.9854$ ).



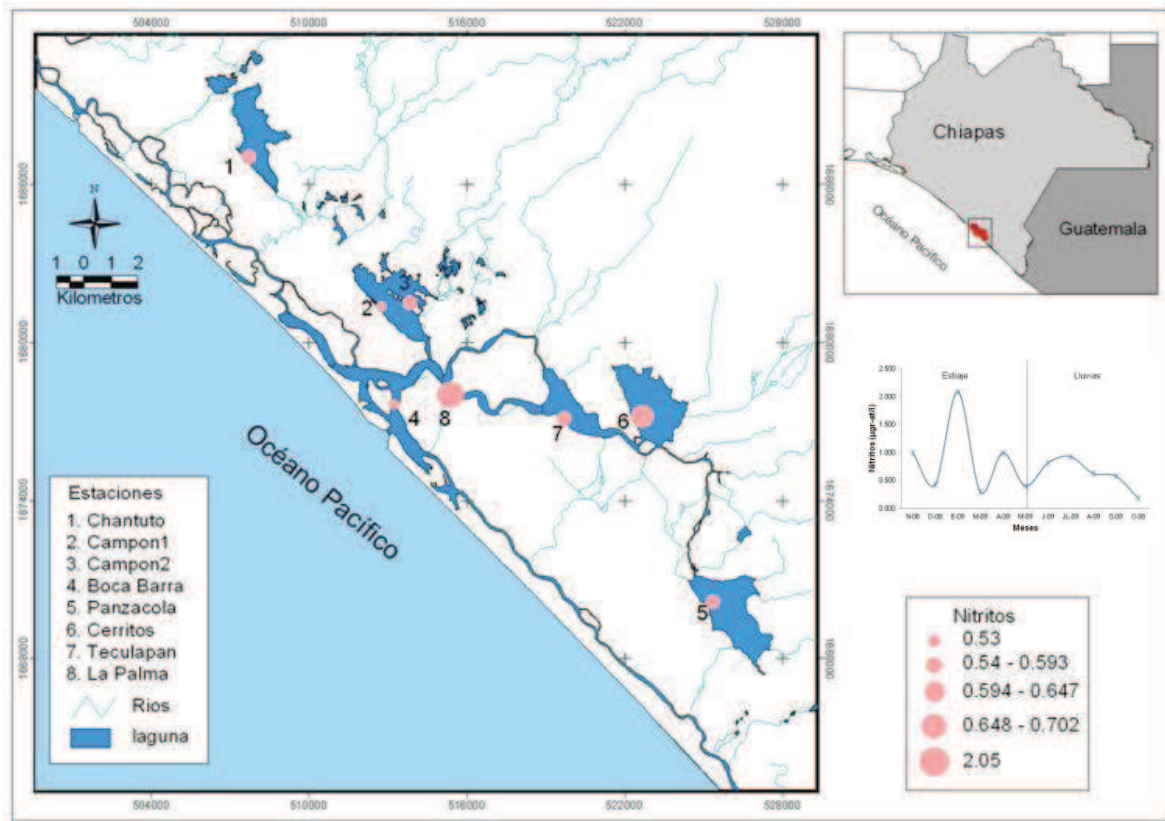


Fig. 13. Variación promedio por estación de muestreo y mensual de la concentración de los nitritos ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.2.5 Amonio ( $\text{NH}_4^+$ )

La concentración de amonio presentó como promedio mínimo  $7.73 \mu\text{g-at/l}$  durante septiembre correspondiente a la época de lluvias y un promedio máximo  $63.15 \mu\text{g-at/l}$  en julio correspondiente a la época de lluvias, con un promedio anual de  $23.70 \mu\text{g-at/l}$  (Fig. 14). Este parámetro no muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 1124$ ,  $p = 0.1706$ ), ni entre estaciones de muestreo ( $\text{chi-cuadrada} = 1.8387$ ,  $\text{g.l} = 7$ ,  $p = 0.9682$ ).

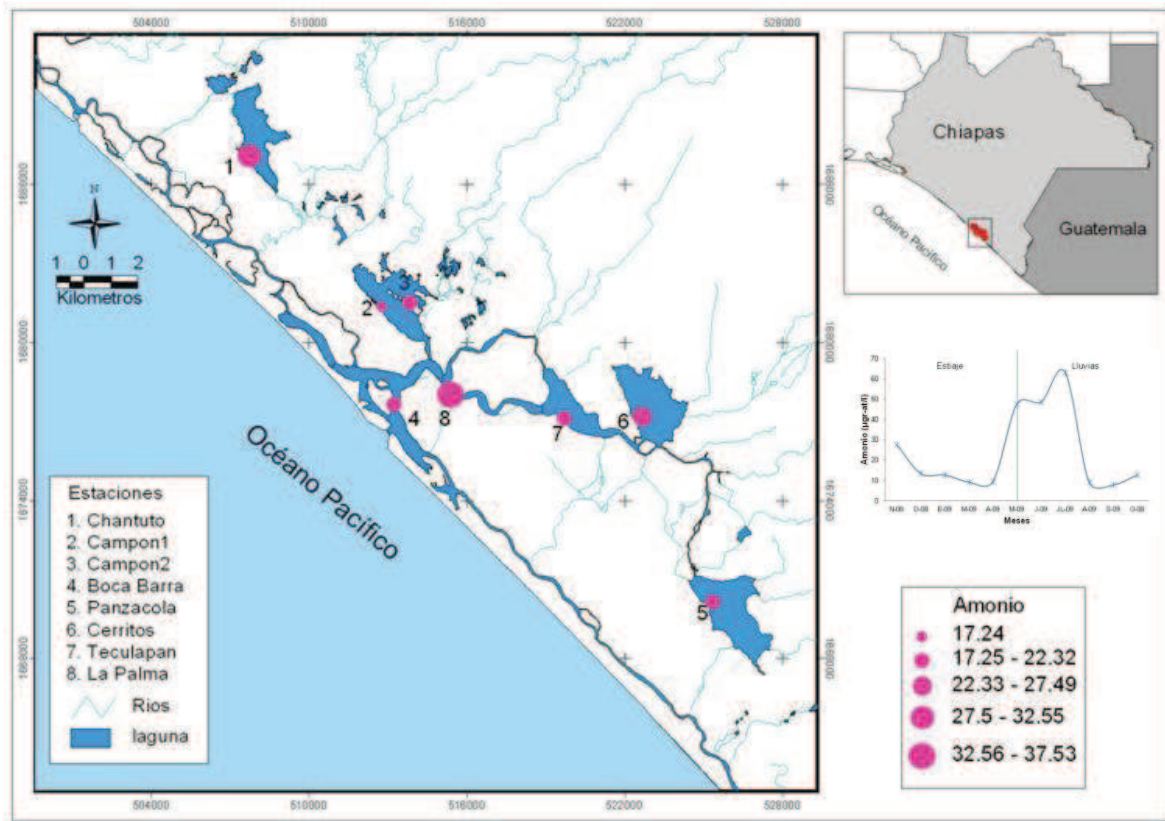


Fig.14. Variación promedio por estación de muestreo y mensual de la concentración del amonio ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.2.6 Nitrógeno total (NT)

La concentración de nitrógeno total presentó un promedio mínimo de  $28.29 \mu\text{g-at/l}$  y un promedio máximo de  $139.99 \mu\text{g-at/l}$  en julio, ambos valores correspondientes a la época de lluvias, con un promedio anual de  $87.08 \mu\text{g-at/l}$  (Fig. 15). Este parámetro no muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 1221.5$ ,  $p = 0.02873$ ), ni entre estaciones de muestreo ( $\text{chi-cuadrada} = 2.3989$ ,  $\text{g.l} = 7$ ,  $p = 0.9345$ ).



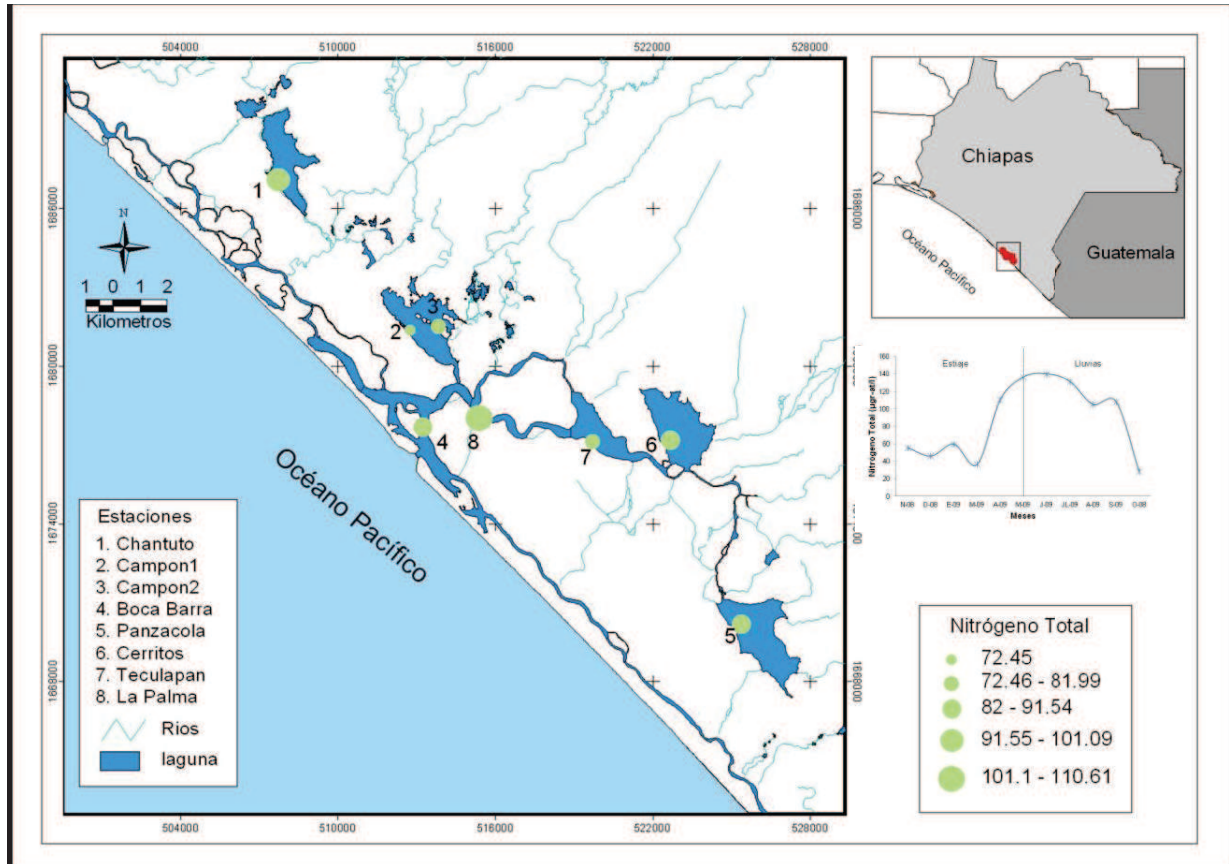


Fig. 15. Variación del promedio por estación de muestreo y mensual de la concentración de nitrógeno total ( $\mu\text{g-at/l}$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.2.7 Concentración de Clorofila a (Cl a)

La clorofila a presentó una concentración promedio mínima de  $4.93 \text{ mg/m}^3$  en agosto correspondiente a la época de lluvias y un promedio máximo de  $42.91 \text{ mg/m}^3$  durante noviembre correspondiente a la época de estiaje con un promedio anual de  $18.26 \text{ mg/m}^3$  (Fig. 16). Este parámetro muestra diferencias significativas entre las dos épocas climáticas ( $W = 608.5$ ,  $p = 0.004817$ ). De manera espacial muestra diferencias significativas entre las estaciones de muestreo ( $\text{chi-cuadrada} = 24.3708$ ,  $\text{g.l} = 7$ ,  $p =$

0.0009803), presentando un promedio mínimo de  $8.16 \text{ mg/m}^3$  en la estación E-8 y un máximo de  $34.86 \text{ mg/m}^3$  en la estación E-1.

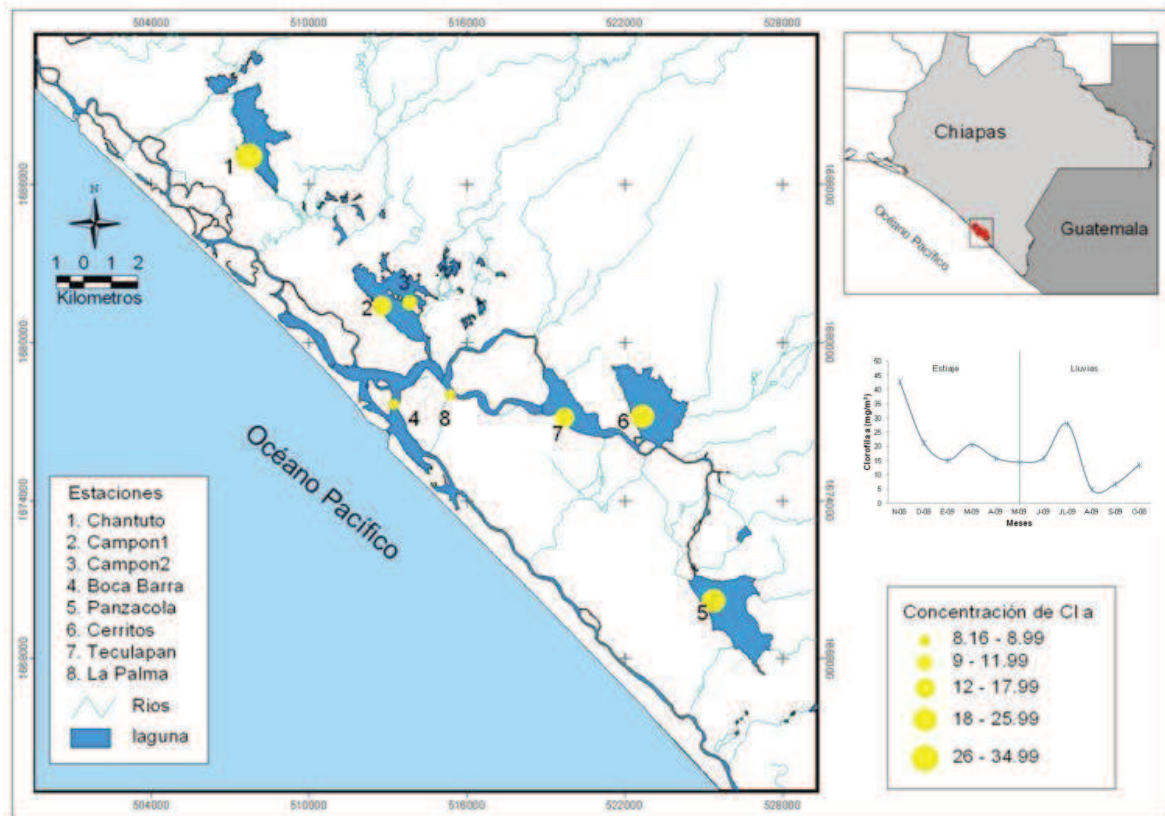


Fig. 16. Variación promedio por estación de muestreo y mensual de la concentración clorofila a ( $\text{mg/m}^3$ ) en el agua del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.2.8 Productividad Primaria Neta (PPN)

La productividad primaria neta tuvo una concentración promedio mínima de  $67.46 \text{ mg/C/m}^3/\text{h}$  en octubre correspondiente a la época de lluvias, mientras que el promedio máximo fue de  $180.48 \text{ mg/C/m}^3/\text{h}$ , durante noviembre correspondiente a la época de estiaje observando un promedio anual de  $108.43 \text{ mg/C/m}^3/\text{h}$  (Fig. 17).

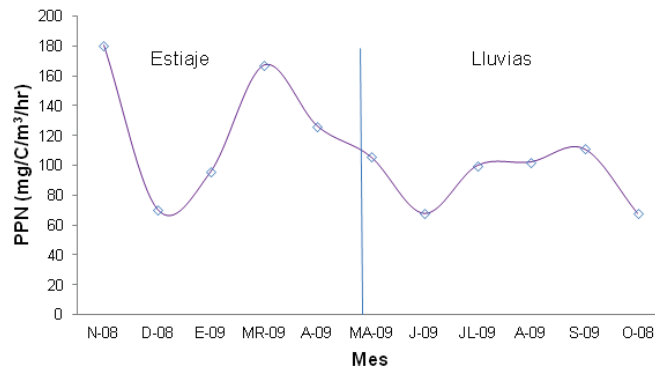


Fig. 17. Variación del promedio mensual de la Productividad Primaria Neta del agua en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.3 Índices ecológicos y tróficos

#### 3.3.1 Relación (C/CI a)

La razón de asimilación C/CI a ( $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}/\text{mgclam}^{-3}$ ) en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola presento un valor promedio mínimo de 4.32 en noviembre, mientras que su valor promedio máximo fue de 50.28 durante agosto, ambos valores correspondientes a la época de lluvias, observando un promedio anual de 15.85 (Fig. 18). Este parámetro no muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 1045.5$ ,  $p = 0.3704$ ), ni entre estaciones de muestreo (chi-cuadrada= 7.7571, g.l = 7,  $p = 0.3545$ ).

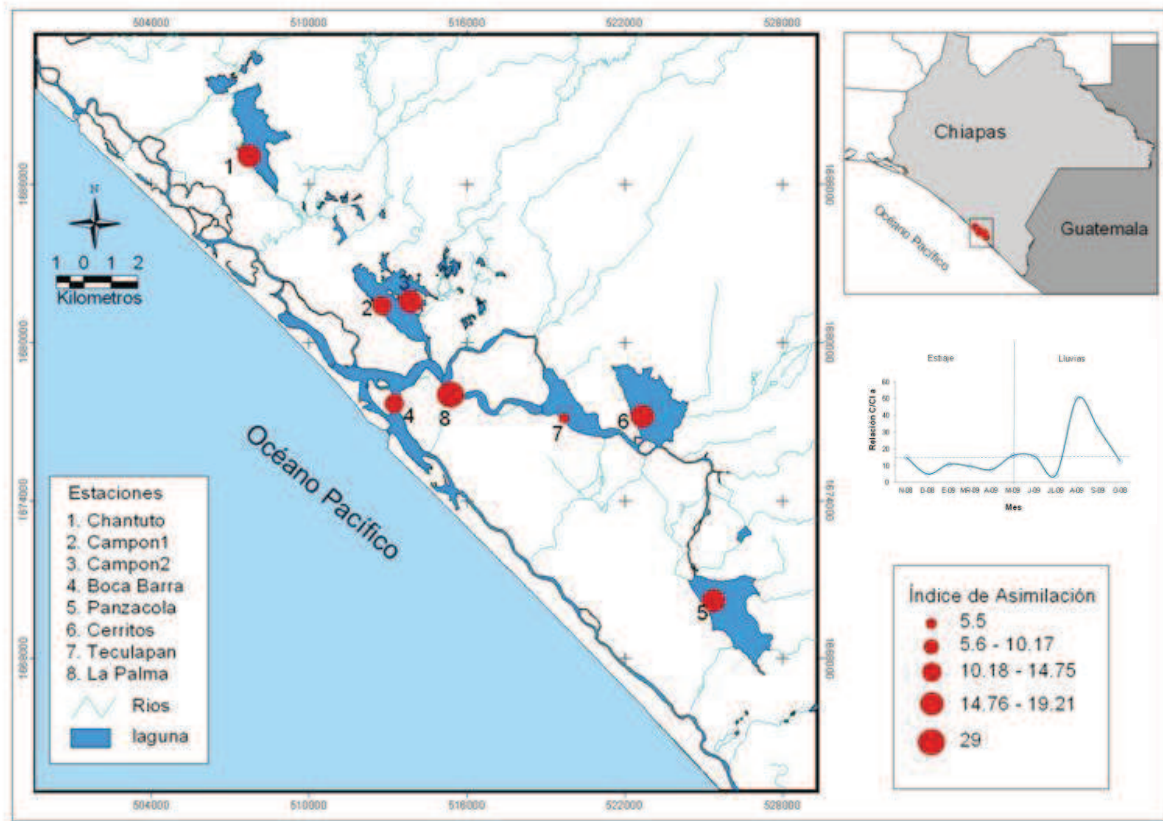


Fig. 18. Variación promedio mensual y por estación de muestreo de la razón de asimilación C/Cl a en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.3.2 Índice de diversidad de pigmentos $D^{430}/D_{665}$ (IM)

Índice de diversidad de pigmentos  $D^{430}/D_{665}$  (IM) presentó un valor promedio mínimo de 1.05 durante marzo correspondiente a la época de estiaje y un valor promedio máximo de 10.67 en agosto, correspondiente a la época de lluvias, presentando un promedio anual de 4.66 (Fig. 19). Se observaron un total de 71 valores bajos la mayoría ubicados en la época de estiaje (44) y de 17 valores altos, 13 de ellos en la época de lluvias (Tabla 4). Este parámetro no muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 1095.5$ ,  $p = 0.2579$ ), ni entre estaciones de muestreo (chi-cuadrada= 8.8962, g.l = 7,  $p = 0.2602$ ).

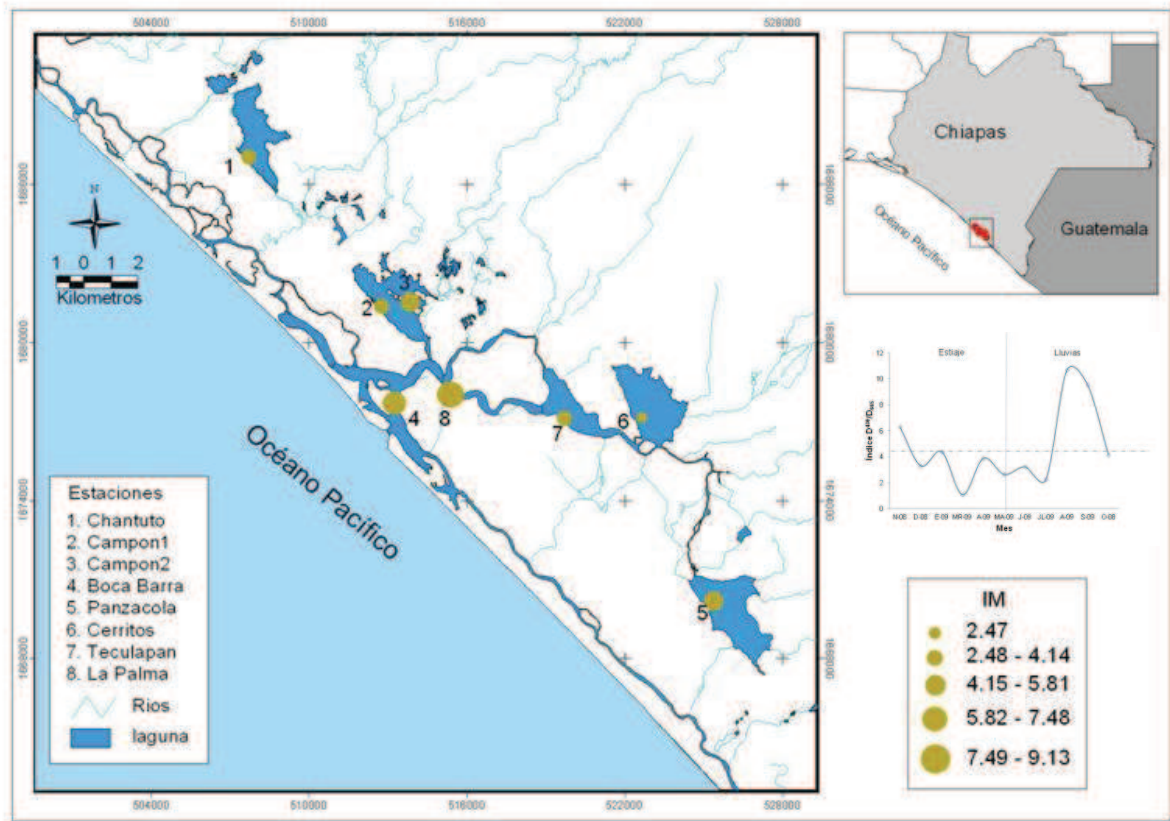


Fig. 19. Variación promedio por estación de muestreo y mensual del Índice de diversidad de pigmentos  $D^{430}/D_{665}$  en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Tabla 4. Comparación del número de datos con valores altos y bajos en cada época climática,” con referencia al valor promedio anual del Índice de diversidad de pigmentos  $D^{430}/D_{665}$ .

Referencia	Lluvias	Estiaje	Total
Valores altos	13	4	17
Valores bajos	27	44	71
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>88</b>



### 3.3.3 El índice del estado trófico de Carlson (IET)

El índice de Carlson presentó un valor promedio mínimo de 36.83 en agosto correspondiente a la época de lluvias, mientras que su valor promedio máximo fue de 63.08 durante noviembre, correspondiente a la época de lluvias con un promedio anual de 53.44 (Fig. 20). En la Tabla 5 se presenta la caracterización por estación de muestreo y por época climática (Tabla 6). Este parámetro muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 608.5$ ,  $p = 0.004817$ ). De manera espacial muestra diferencias significativas entre las estaciones de muestreo (chi-cuadrada = 24.3512,  $g.l = 7$ ,  $p = 0.0009882$ ). Presentando un promedio mínimo de 43.91 en la estación E-4 y un promedio máximo de 61.84 en la estación E-1.

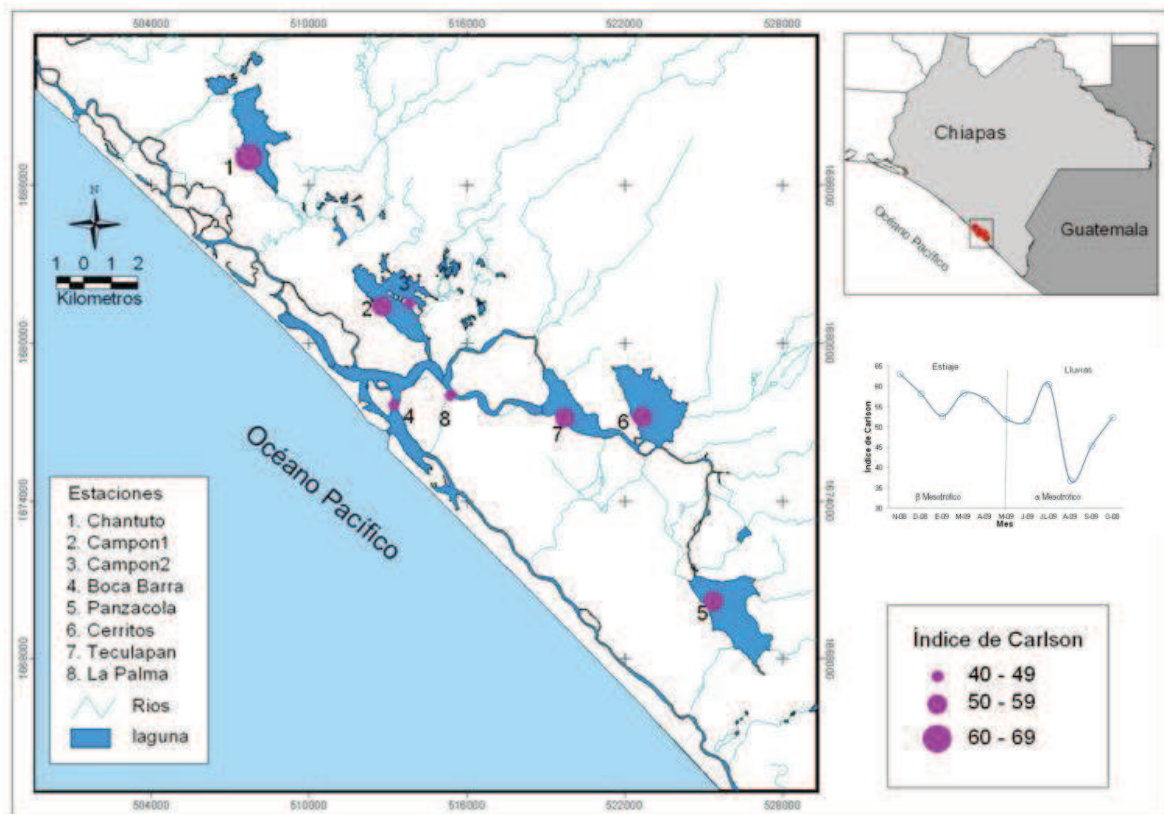


Fig. 20. Variación promedio por estación de muestreo y mensual del índice de Carlson en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Tabla 5. Categoría trófica por estación con respecto a la época climática del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Estación	Estiaje	Lluvias
E-1	$\alpha$ Eutrófico	$\beta$ Mesotrófico
E-2	$\beta$ Mesotrófico	$\beta$ Mesotrófico
E-3	$\alpha$ Mesotrófico	$\alpha$ Mesotrófico
E-4	$\beta$ Mesotrófico	$\alpha$ Oligotrófico
E-5	$\beta$ Mesotrófico	$\beta$ Mesotrófico
E-6	$\alpha$ Eutrófico	$\beta$ Mesotrófico
E-7	$\beta$ Mesotrófico	$\beta$ Mesotrófico
E-8	$\alpha$ Mesotrófico	$\alpha$ Mesotrófico

Tabla 6. Categoría trófica por época climática del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Época Climática	Índice de Carlson
Estiaje	$\beta$ Mesotrófico
Lluvias	$\alpha$ Mesotrófico

### 3.3.4 Índice TRIX

El índice de TRIX presentó un valor promedio mínimo de 6.00 en octubre correspondiente a la época de lluvias y un valor promedio máximo de 6.98 en noviembre correspondiente a la época de estiaje, con un valor promedio anual de 6.40 (Fig. 21). Este índice no muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 975.5$ ,  $p = 0.9$ ), sin embargo muestra diferencias significativas entre las estaciones de muestreo (chi-cuadrada= 19.0079, g.l = 7,  $p = 0.008163$ ), presentando un valor promedio mínimo de 5.91 en la estación E-4 y un promedio máximo de 6.88 en la estación E-1.

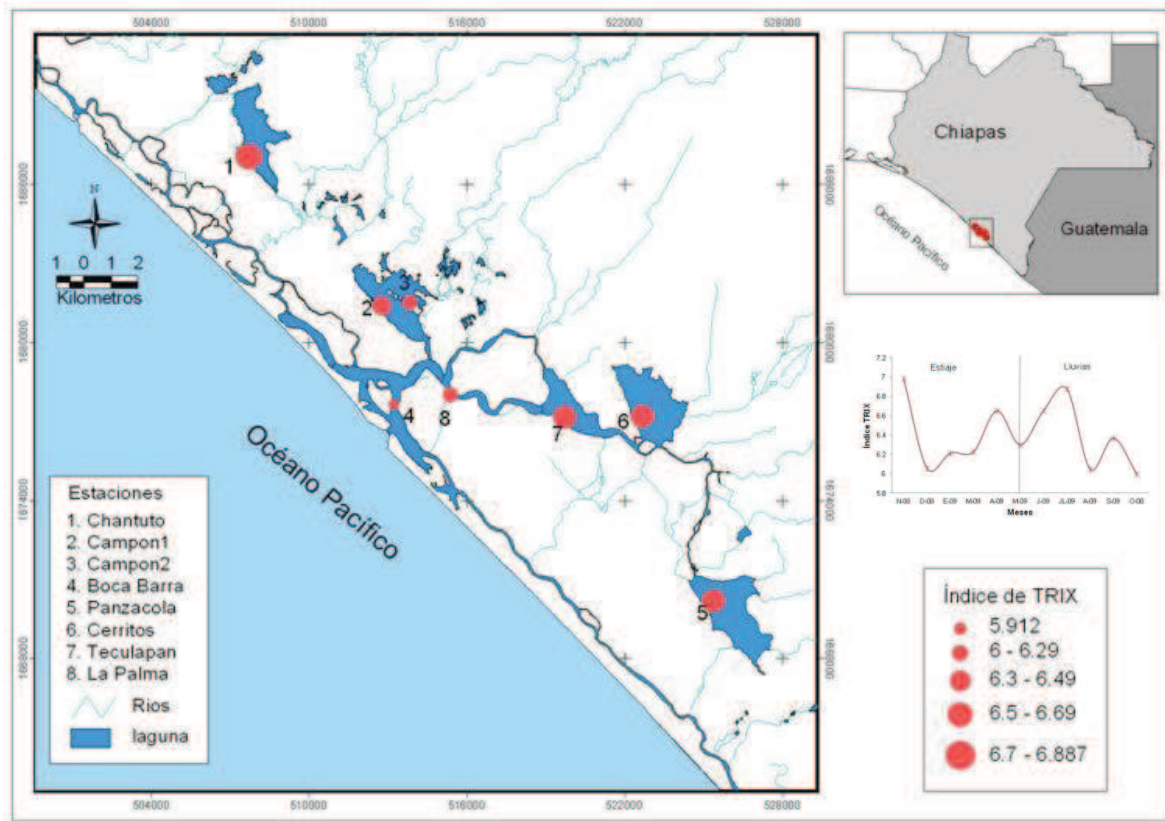


Fig. 21. Variación promedio por estación de muestreo y mensual del índice de TRIX en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

### 3.4 Análisis Estadísticos

Para observar si existían diferencias estadísticas entre épocas climáticas y estaciones se realizó un análisis de varianza multivariado (MANOVA), donde se encontró que existen altas diferencias significativas entre épocas climática con ( $F=7.6255$ ,  $g.l=3$ ,  $g.l=70$ ,  $p = 0.0001754$ ); y ligeras diferencias significativas entre estaciones ( $F= 1.9294$ ,  $g.l= 21$ ,  $g.l= 216$   $p= 0.0105685$ ); así como no se encontró una interacción significativa entre estaciones y épocas climáticas ( $F= 0.8680$ ,  $g.l= 21$ ,  $g.l= 216$ ,  $p= 0.6326279$ ).



Los datos obtenidos no se ajustan a los supuestos de normalidad y homocedasticidad por lo cual se utilizó un análisis de test de Wilcoxon como prueba no paramétrica para poder verificar si había diferencias significativas entre las medianas de las dos épocas climáticas estudiadas (lluvias y estiaje), se realizó un análisis de Kruskal-Wallis como prueba no paramétrica para poder verificar si existían diferencias significativas entre las medianas de las estaciones de muestreo, en ambos se consideraron resultados significativos aquellos que el valor de p sea menor a 0.008, esto con el fin de reducir la probabilidad de cometer el error tipo 1.

En la Tabla 7 se presentan los valores de p de las pruebas de Wilcoxon y de Kruskal-Wallis para mostrar los parámetros resultantes del análisis de componentes principales que tuvieron diferencias significativas por época climática así como por estaciones de muestreo.

Tabla 7. Parámetros que tuvieron diferencias significativas (valor de p) entre las épocas climáticas (prueba de Wilcoxon) y entre estaciones (prueba de Kruskal-Wallis).

Parámetro	Valor p Wilcoxon	Valor p Kruskal-Wallis
pH	0.5687	0.2022
Ortofosfatos ( $\mu\text{g-at/l}$ )	<b>7.467e-07</b>	0.3688
Fósforo Total ( $\mu\text{g-at/l}$ )	0.3588	0.2587
Nitritos ( $\mu\text{g-at/l}$ )	0.3647	0.9854
Amonio ( $\mu\text{g-at/l}$ )	0.1706	0.9682
Nitrógeno Total ( $\mu\text{g-at/l}$ )	0.02873	0.9345
Clorofila "a" ( $\text{mg/m}^3$ )	<b>0.004817</b>	<b>0.0009803</b>
IM	0.2579	0.2602
C/Cl ( $\text{mgCm}^3\text{h}^{-1}/\text{mgm}^{-3}$ )	0.3704	0.3545
IET	<b>0.004817</b>	<b>0.0009882</b>
TRIX	0.9	<b>0.008163</b>

### 3.4.1 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (PCA) permitió determinar cuáles son las variables que mayormente contribuyen a explicar la variabilidad del sistema. La Tabla 8 resume los resultados de los PCA y la proporción explicada para cada componente, con su respectivo porcentaje acumulado. La grafica biplot (Fig. 22) presenta los componentes principales de los parámetros por época climática. El PC 1 explica el 20% de la variación total y las variables que tienen una mayor contribución de forma negativa sobre este componente son:  $\text{PO}_4$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , NT, Cl a, IE y Trix, mientras que la mayor contribución de forma positiva es el IM y Relación C/Cl. El PC 2 explica el 19% de la variación y esta caracterizado de forma negativa por  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , NT, IM y RELA C/Cl y de forma positiva el pH, Cl a y el IET. Por último el PC 3 que explica el 12% de la variación esta caracterizado por una contribución negativa por el  $\text{PO}_4$  y  $\text{NO}_2^-$ ; y en conjunto explican el 51% de la variación total.

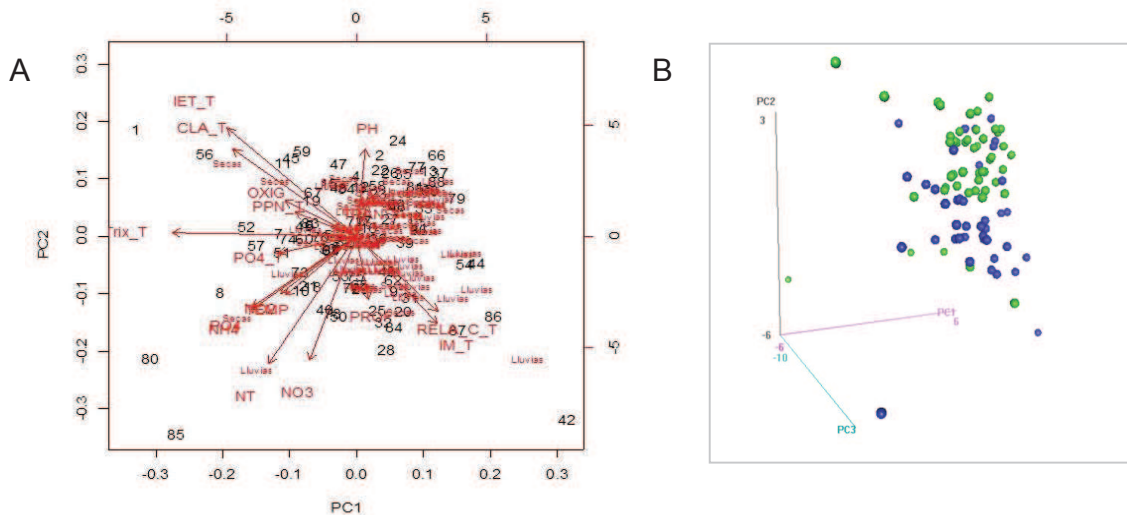


Fig. 22. (A) Gráfica biplot del análisis de componentes principales (PCA) de los parámetros ambientales, nutrientes e índices ecológicos en donde se pueden observar que las variables con las flechas más grandes son las que contribuyen en mayor medida a explicar la variabilidad total, y las variables con flecha pequeña no aportan información significativa en este sentido. (B) Gráfica de los tres primeros componentes principales. Puntos agrupados por época climática (lluvias y estiaje).

Tabla 8. Valor característico de cada componente principal de la concentración de nutrientes, parámetros físico-químicos e índices ecológicos.

Variable	PC1	PC2	PC3
% de varianza explicada	20%	19%	12%
TEMP	-0.3661	-0.3499	0.2919
SAL	0.0562	0.1933	-0.1095
OXIG	-0.3699	0.2134	0.0836
PH	0.0417	<b>0.5211</b>	-0.2618
PROF	0.0597	-0.3779	0.2107
TRANS	0.0517	0.1086	-0.3041
PO <sub>4</sub> _T	<b>-0.4035</b>	-0.0992	<b>-0.8169</b>
PO <sub>4</sub>	<b>-0.5382</b>	<b>-0.4226</b>	-0.5787
NO <sub>3</sub>	-0.2432	<b>-0.7395</b>	0.3404
NO <sub>2</sub>	<b>-0.3919</b>	-0.3398	<b>-0.7074</b>
NH <sub>4</sub>	<b>-0.54</b>	<b>-0.4402</b>	0.1845
NT	<b>-0.4527</b>	<b>-0.7588</b>	0.3191
PPN	-0.318	0.1437	-0.0383
Cl a	<b>-0.6342</b>	<b>0.5209</b>	0.1104
IM	<b>0.4101</b>	<b>-0.5213</b>	-0.2728
IET	<b>-0.6648</b>	<b>0.6475</b>	0.1514
RELA C/C	<b>0.4146</b>	<b>-0.4468</b>	-0.1546
TRIX	<b>-0.9461</b>	0.0223	0.1046
Desviación estándar	1.90370	1.85330	1.48650
Proporción de varianza	0.20130	0.19080	0.12280
Proporción acumulativa	0.20130	0.39220	0.51490

### 3.4.2 Correlación canónica

En el análisis de correlación canónica (ACC) se relacionaron dos conjuntos de datos, por un lado los parámetros físico-químicos mientras que por el otro la productividad primaria y los índices ecológicos y tróficos. En el análisis ACC entre los parámetros físico-químicos se encontraron cinco parámetros ambientales (TEM, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> y NT) y tres índices (PPN, CI a y TRIX) (Fig.23).

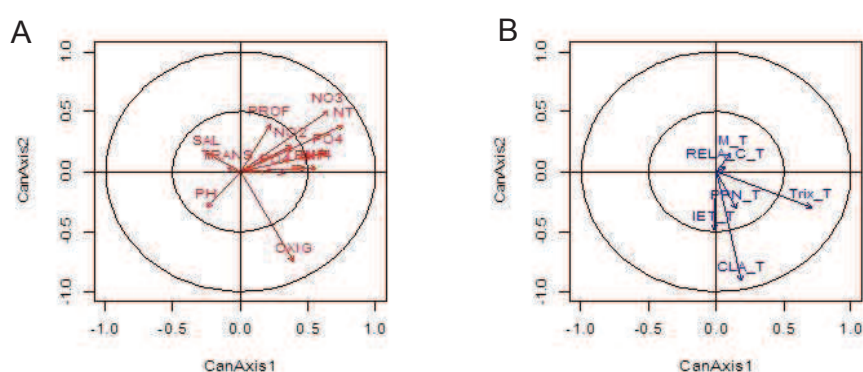


Fig. 23. Análisis de correlación canónica de parámetros ambientales (A) y nutrientes con los índices ecológicos (B).

Tabla 9. Análisis de correlación canónica (ACC) relacionando dos conjuntos de datos parámetros físico-químicos mientras que por el otro la productividad primaria y los índices ecológicos

Parámetros	1	2
<b>TEMP</b>	<b>-0.479666</b>	-0.02847789
SAL	0.24912273	-0.15158684
OXIG	-0.39309015	0.74909514
PH	0.25202642	0.29922352
PROF	-0.22479705	-0.39287489
TRANS	0.09998438	-0.03177433
PO <sub>4</sub> _T	-0.32659967	0.00767808
<b>PO<sub>4</sub></b>	<b>-0.64847088</b>	-0.16904721

<b>NO<sub>3</sub></b>	<b>-0.65238571</b>	-0.50364305
NO <sub>2</sub>	-0.37570536	-0.21266479
<b>NH<sub>4</sub></b>	<b>-0.56501713</b>	-0.03203715
<b>NT</b>	<b>-0.76002428</b>	-0.384819
Índices Ecológicos	1	2
<b>PPN</b>	<b>-0.1396572</b>	0.21374646
<b>CLA</b>	<b>-0.17512977</b>	0.62985585
IM	-0.09805674	-0.10719151
IET	0.01694262	0.33810505
RELA C/Cl a	-0.06230925	-0.02741237
<b>TRIX</b>	<b>-0.67040373</b>	0.20520744
Coefficiente de correlación	<b>0.9457951</b>	0.6941029

El coeficiente de correlación entre el primer eje de los parámetros físico-químicos y el eje de los índices ecológicos es de 0.945, mientras que el segundo eje es de 0.694, lo que indica una relación entre los parámetros físico-químicos y el eje de los índices ecológicos (Tabla 9). La significancia de las dimensiones de las correlaciones canónicas mostró los valores propios de los primeros dos ejes 1.17E-21 y 0.314, respectivamente (Tabla 10).

Tabla 10. Significancia de las correlaciones canónicas.

Probabilidad					
	ratio	F	g.l 1	g.l 2	p
1	0.03861	4.4	72	386.6456	<b>1.1704E-21</b>
2	0.366134	1.46	55	332.2298	<b>0.02457299</b>

#### 4. Discusiones

La ecología del sistema lagunar Chantuto-Panzacola se encuentra notablemente determinada por algunas de sus variables físico-químicas; particularmente las formas fosfatadas, nitrogenadas, el pH y la temperatura; además de los índices ecológicos y tróficos evaluados en el sistema. Los resultados del PCA mostraron que el nitrógeno inorgánico disuelto y las formas fosfatadas, tienen una importante contribución en la variabilidad ambiental del sistema. Al respecto, la correlación canónica sugiere una correlación entre los parámetros físico-químicos y los índices ecológicos principalmente de TEM, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> y NT, frente a PPN, Cl a y TRIX.

Una de las variables involucradas es la temperatura superficial del agua la cual mostró variaciones importantes durante los meses analizados, ya que se observan fluctuaciones de hasta 14°C durante el estiaje, incrementándose durante la época de lluvias donde alcanza oscilaciones hasta de 24°C. Los valores máximos de temperatura se encontraron en aquellas estaciones que se ubican dentro de las lagunas y está relacionado con áreas de menor profundidad. Es importante resaltar que las fluctuaciones observadas en el presente estudio son mayores a las reportadas por otros autores. Al respecto, García-Nagaya y Castañeda-López (1994), reportan variaciones cercanas a los 3°C, lo cual coincide con lo reportado por Varona-Cordero y Gutiérrez-Mendieta (2003), durante la época de estiaje, mientras que para lluvias observan una oscilación de 4°C. Así mismo oscilaciones tan altas como las encontradas en el presente estudio son las reportadas por Rodríguez (2008) en la Reserva Natural Otamendi del bajo Paraná, Argentina encontró oscilaciones mayores a los 15°C (17 °C a 34°C); por Tapia *et al* (2008) en las lagunas de Celestún y Chelem en Yucatán, donde

registró rangos de 24.6 (Nortes) a 36.1°C (lluvias) cuyo rango de oscilación es de casi 12°C. Cabe mencionar que las temperaturas que se manifiestan normalmente por arriba de los 30°C provocan, entre otras cosas, una disminución en la solubilidad del oxígeno y un incremento en la salinidad; lo que se refleja en un incremento de la actividad metabólica de los organismos (Contreras Espinosa *et al* 1994). Aunque este parámetro no presentó diferencias significativas entre épocas climáticas, en términos biológicos es importante ya que las altas temperaturas propias de los sistemas costeros tropicales constituyen un elemento limitante para la biota lagunar. Al respecto, Contreras-Espinosa *et al* (1994), menciona que los organismos estuarinos se encuentran muy cercanos a sus límites de tolerancia, por las adaptaciones que llegan a tener ante ambientes tan cambiantes como los son las zonas estuáricas. La poca profundidad de este sistema lagunar se debe en parte a su origen geológico ya que le confieren características someras al ser depresiones inundables por debajo del nivel medio de las mareas altas (Lankford, 1977). Sin embargo, la pérdida de profundidad en los cuerpos lagunares durante la época de estiaje es un hecho relevante ya que Varona-Cordero y Gutiérrez-Mendieta (2003), reportan una profundidad mínima de 0.76 m durante el estiaje y en el presente estudio se observa un descenso hasta de 0.20 m. Profundidades parecidas las reporta Rodríguez (2008) en la Reserva Natural Otamendi del bajo Paraná, Argentina donde menciona que la profundidad oscila de 0.25 a 0.39 m. Esta pérdida en el espejo de agua podría deberse a las modificaciones y/o alteraciones que han sufrido los flujos hídricos locales, como fueros las modificaciones al cauce bajo de los ríos Cintalapa, Vado Ancho, Despoblado, Bonanza, Madre vieja, que corresponden a los municipios de Acacoyahua, Escuintla, Mapastepec, Acapetahua, Villa de Comaltitlán; ante la demanda de nuevas áreas agrícolas y ganaderas durante el

periodo de 1980 a 1995 (CNA 2010). En consecuencia, los mayores impactos se observaron entre 2006 y 2009, posterior al paso del huracán "Stan" (octubre del 2005), durante este período se rectificaron un total de 28 ríos, provocando grandes impactos sobre su cauce medio y bajo; y modificando los mantos acuíferos, volumen, batimetría, hábitat y ecología de los ríos. Dicha reducción al cauce de los ríos ha provocado la desaparición de gran número de pantanos, azolvando los cuerpos lagunares, salinización de las lagunas costeras, degradación paulatina de los manglares y el cierre permanente de las bocanarras con efectos catastróficos en las pesquerías ribereñas (CNA 2010). Aunado a lo anterior, se registraron problemas de *eutrofización* y *distrofización*, ocasionando en ambos casos la pérdida de productividad de los ecosistemas (Contreras-Espinosa 1991).

La salinidad es un parámetro que estadísticamente no explicó la varianza del sistema, sin embargo ecológicamente es de suma importancia ya que el sistema lagunar refleja una considerable influencia de este parámetro, presentado condiciones de oligohalinas a mixohalinas de acuerdo a la clasificación de Venecia (1959). Desde la perspectiva espacial, en el sistema lagunar no fue posible identificar la prevalencia de ningún tipo de hábitat, a diferencia de lo reportado por García-Nagaya y Castañeda-López (1994) para el sistema lagunar Carretas-Pereyra, donde las lagunas de Carretas y Bobo mantuvieron condiciones oligotróficas durante más tiempo y manifestaron en menor medida la penetración mareal, lo que auspicia que estas dos lagunas se comporten como hábitats diferentes al resto del sistema.

Las formas nitrogenadas es otro de los parámetros que explican la variabilidad del ecosistema y las formas más abundantes fueron los Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ); en términos



porcentuales entre el 48.75% y el 92.32% del nitrógeno total inorgánico ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ) fue aportado por este compuesto. El amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) fue la segunda forma nitrogenada en abundancia, esta forma aportó entre el 7.13% y el 49.45% del nitrógeno total. Este patrón de abundancias concuerda con lo reportado por otros autores; sin embargo, las concentraciones encontradas en el presente estudio han sido mayores; para el caso de los  $\text{NO}_3^-$  Gutiérrez-Mendieta *et al* (2006), para el mismo sistema lagunar reportan concentraciones del 70%, lo cual es menor a las encontradas en el presente análisis (92%). Un caso similar ocurre con el  $\text{NH}_4^+$  donde los mismos autores reportan concentraciones menores a 5.0  $\mu\text{g-at/l}$ , y en este estudio la concentración máxima fue de 196.40  $\mu\text{g-at/l}$ . Una de las causas del aumento de estos nutrientes pueden ser la propia fuente y origen, ya que en la zona costera, las descargas superficiales de los ríos, la escorrentía de los suelos agrícolas, las aguas residuales domésticas e industriales y la precipitación atmosférica provocan un incremento considerable de estos variables (Rosenberg 1990, Rossi *et al* 1992, Vitousek *et al* 1997, Cruzado *et al* 2002, De Jonge *et al* 2002). De esta manera la presencia de nutrientes durante todo el año es considerable, aunado a esto, los problemas inherentes de la rectificación de los ríos en la zona ha propiciado un aumento de materia orgánica a los cuerpos lagunares. Concentraciones parecidas de amonio (2 a 193  $\mu\text{g-at/l}$ ) reportan Drake *et al* (2010) en la laguna de Rodeo en California, Estados Unidos. Concentraciones mayores (1.7 a 547  $\mu\text{g-at/l}$ ) así como las reporta Rodríguez (2008) en la Reserva Natural Otamendi del Bajo Paraná, Argentina. En el caso de los nitritos las concentraciones encontradas en este estudio son menores en ambas épocas climáticas comparadas a las encontradas por Tapia *et al* (2008) en las lagunas de Celestún y Chelem en Yucatán donde reportan concentraciones de 9.9  $\mu\text{g-at/l}$  en lluvias y 0.3 en secas.

De manera general, los ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), presentaron concentraciones máximas durante los meses de mayor precipitación y disminuyen progresivamente en la época de estiaje, cuando las concentraciones de salinidad son más altas. Este comportamiento concuerda con los estudios realizados por García-Nagaya y Castañeda-López (1994) y Gutiérrez-Mendieta *et al* (2006), sin embargo, las concentraciones reportadas por estos autores son mucho menores a la encontradas en el presente estudio (20.54 a 101.62  $\mu\text{g-at/l}$ ) ya que mencionan valores que van desde 3.24 a 23.5  $\mu\text{g-at/l}$ . Así mismo las concentraciones encontradas por Tapia *et al* (2008) en las lagunas de Celestún y Chelem en Yucatán son por mucho menores (0.9 a 1.2  $\mu\text{g-at/l}$ ). Un efecto en el aumento de las formas fosfatadas es la respuesta que se detecta en la concentración de la clorofila *a*, la cual guarda una estrecha relación y representa la causa fundamental de la denominada eutrofización (Vollenweider y Kerekes 1982, Contreras y Kerekes 1993).

La clorofila *a* mostró diferencias significativas tanto espaciales como temporales, las mayores concentraciones se presentaron en estiaje y en las estaciones Chantuto, Panzacola, Cerritos y Teculapan. Las concentraciones encontradas en este estudio concuerdan con las reportadas por García-Nagaya y Castañeda-López (1994) y Gutiérrez-Mendieta *et al* (2006), valores parecidos (4.5 a 32.3  $\mu\text{g-at/l}$ ) reportaron Coutinho y Mello (2011) en la laguna de Peri al sur de Brasil con el máximo reporte durante el verano. Esto es importante ya que la medición de la concentración de clorofila *a* en el agua ha sido considerada tradicionalmente como índice de la biomasa fitoplanctónica y suele cuantificarse en los estudios relacionados con la productividad primaria, además ha sido utilizada inclusive para detectar problemas de eutrofización

(Carlson 1977; Contreras *et al* 1994<sup>1</sup>). Aunque no exista una relación directamente proporcional entre la biomasa fitoplanctónica y la productividad primaria debido, entre otras causas, a la madurez o juventud de la comunidad fitoplanctónica, al estado fisiológico, a la cantidad de feopigmentos y pigmentos accesorios y la variabilidad ambiental, los cuales afectan al proceso de la productividad primaria en mayor o menor medida (Margalef 1974, Contreras-Espinosa y Castañeda-López 2004).

La Productividad Primaria Neta (PPN), en sistemas acuáticos es un fenómeno complejo ya que está determinada por múltiples factores y la relación que guardan entre ellos, como son: la cantidad y calidad de luz, las fuentes de carbono disponibles y la presencia de compuestos inorgánicos (el nitrógeno y el fósforo). Por otro lado, las variaciones climáticas están íntimamente ligadas a los procesos productivos, así como la influencia de la salinidad y la temperatura. En el caso de las lagunas costeras el proceso de la producción primaria está conformado por varios componentes básicos: el fitoplancton, el microfitobentos, los pastos marinos, la quimiosíntesis y las macroalgas entre los más sobresalientes (Contreras-Espinosa y Castañeda-López 1992). Dentro del sistema lagunar las concentraciones de este parámetro indican dos picos máximos durante los meses de noviembre y marzo (ambos en el estiaje), lo cual puede ser atribuido al hecho de que durante el estiaje, no existe una limitación en cuanto a los nutrientes, pero sobre todo, a cierta estabilidad abiótica, por lo que el fitoplancton llega a desarrollar comunidades complejas y relativamente estables (Contreras-Espinosa y Castañeda-López 1992). Los valores máximos encontrados durante los meses de menor precipitación concuerdan con los reportados por García-Nagaya y Castañeda-López (1994), donde indican una variación de la PPN entre 48 y 260 mg/C/m<sup>3</sup>/h.

Asimismo, la PNN no presentó diferencias entre épocas climáticas, pero sí entre estaciones de muestreo, resaltando las estaciones ubicadas en las lagunas: Chantuto, Cerritos 1, Panzacola y Cerritos como las de mayor concentración. Resultados similares son reportados por Contreras *et al* (1994<sup>1</sup>), con valores máximos en las estaciones de Chantuto y Campón (115 y 142 mg/C/m<sup>3</sup>/h, respectivamente); lo anterior permite inferir que existe un aumento de la PPN en las concentraciones de los cuerpos lagunares.

Con respecto al índice de diversidad de pigmentos ( $D^{430}/D_{665}$ ) se observa que la mayoría de los valores son bajos, y estos se presentan con mayor frecuencia durante el estiaje. Al respecto, Margalef (1974), afirma que una baja relación  $D^{430}/D_{665}$ , siempre estará asociada a una baja diversidad biótica, existe dominancia de pocas especies y una captación elevada de carbono inorgánico por unidad de biomasa; en cambio, la relación  $D^{430}/D_{665}$  se incrementará en la medida en que las condiciones ambientales permanezcan estables, las poblaciones se diversifiquen, la dominancia desaparezca, la biomasa se incremente y la producción por unidad de biomasa descienda. Los valores observados durante la época de secas establecen condiciones de eutrofia sobre todo en los meses de diciembre a mayo, según este índice, significa un estado de sucesión menos avanzado de la población fitoplanctónica. Durante la época de lluvias, se ubicaron los valores más altos por lo cual suponemos existen condiciones de oligotrofia, sobre todo en los meses de agosto y septiembre, con un nivel de sucesión avanzado. Esta tendencia concuerda con lo reportado por De la Lanza-Espino y Cantú (1986), para la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, cabe mencionar que esta autora menciona datos que oscilan entre 0.97 y 2.7, siendo mucho menores a los registrados en el presente estudio (71 valores menores a 4.76). Desde la perspectiva biológica, la

producción es una función propia de la estructura. Así, si la estructura de una comunidad permanece igual a su funcionamiento, su producción por unidad de biomasa será constante también y cualquier cambio en la estructura de la comunidad, ya sea en el espacio o en el tiempo, reflejará cambios en la tasa de producción. Si las condiciones ambientales mejoran, la relación producción/biomasa total, se incrementará también. Como las células de las diferentes especies, libres de impedimentos, se multiplican a diferentes tasas potenciales de incremento y se manifiestan individualmente, las consecuencias de este modelo será que al final, llegue a dominar una o pocas especies sobre las demás, éstas son usualmente células pequeñas (Margalef 1974).

En términos generales, la relación  $C/Cl a$  ( $mgCm^{-3}h^{-1}/mgclam^{-3}$ ) ha sido empleada como un índice del potencial fotosintético (Beerman y Pollinger 1974), y podría ser considerada como medida de la eficiencia ecológica (Strickland 1960, Banse 1974,1977). Los valores bajos encontrado durante el estiaje y los valores altos observados durante las lluvias responde a una medida de “*eficiencia ecológica*” ya que puede deducirse que un valor alto significa una optimización de las condiciones abióticas en el desarrollo de los productores primarios; sin embargo, valores bajos estarían relacionados con diversas limitaciones como nutrientes, luz o algún otro factor (Strickland 1960, Banse 1974,1977). Con base en el análisis de los datos se observó que valores bajos de  $C/Cl a$  coinciden con valores altos de productividad primaria, lo que exterioriza que una gran cantidad de clorofila genera altos valores de PPN indicando poca “*eficiencia ecológica*” de la misma. Cabe hacer notar que la tendencia al incremento del índice trófico de Carlson se relaciona inversamente con los valores elevados de  $C/Cl a$ .

Al respecto, el índice del estado trófico de Carlson (IET) presentó diferencias tanto en épocas climáticas como en las estaciones de muestreo. De acuerdo con la clasificación de Carlson (1977) modificado por Contreras-Espinosa (1994<sup>1</sup>) el sistema lagunar de manera temporal se comporta como  $\beta$  Mesotrófico durante el estiaje y  $\alpha$  Mesotrófico en lluvias. Mientras que de manera espacial, la mayoría de las estaciones se ubican en  $\alpha$  y  $\beta$  Mesotrófico excepto las estaciones Chantuto y Cerritos que durante la época de estiaje se ubican en condiciones  $\alpha$  Eutrófico. Todo parece indicar que el incremento en la presencia de clorofila *a* en el agua es una respuesta casi inmediata a insumos principalmente de fósforo y a su variabilidad, lo que propicia que su cuantificación y seguimiento, sean un buen indicativo del estado de salud del ecosistema y de posibles mecanismos de eutrofización (Kerekes 1982, 1983). Esta conceptualización de causa-efecto, sin menospreciar a otros componentes, ha sido utilizada para detectar problemas de eutrofización ya que este fenómeno es, en primera instancia, una respuesta de la biomasa algal a insumos adicionales de nutrientes. Estas condiciones también pudieran asociarse con la existencia de un mayor tiempo de residencia del agua y según Herrera (2006), lo que puede representar mayor riesgo de contaminación y eutrofización, por lo tanto deja al descubierto la circulación poco efectiva que mantienen estas lagunas así como también los niveles de profundidad aunado a problemas de azolvamiento, aumento de la temperatura del agua y salinización. Los resultados concuerdan con lo reportado por Seisdedo (2010) para la Bahía Cien Fuegos, Cuba, donde observa condiciones de  $\alpha$  Mesotrófico para ambas temporadas climáticas (lluviosa y poco lluviosa), y de manera espacial, en una de las

estaciones de muestreo donde reporta condiciones de  $\alpha$  Eutrófico durante la temporada poco lluviosa.

De acuerdo al TRIX (Vollenweider *et al* 1998) y al criterio de la clasificación de la Legislación Italiana (Penna *et al* 2004), el sistema Chantuto-Panzacola se ubica en Pobre-Altamente Productiva, con el nivel trófico más alto. Este índice no presenta diferencias entre épocas climáticas pero si entre estaciones donde presenta valores mínimos en la Boca Barra, y máximos en la laguna de Chantuto, ubicando la calidad del agua en las lagunas como mala, entre moderada y alta en cuanto a productividad a Pobre-Altamente Productiva, con el nivel trófico más alto. Resultados contrarios son los reportados por Seisdedo (2010), para la Bahía de Cienfuegos, Cuba, donde observa niveles tróficos aceptables (buena y alta) en ambas temporadas analizadas. El índice reveló que el sistema está bajo tensión y también se identifica su zona más afectada por la eutrofización.

Resulta importante establecer los intervalos de concentración de los nutrientes desde un punto de vista de gestión integral de la zona costera, que conlleve a una clasificación de la calidad del agua considerando su estado trófico. Sin embargo, el establecimiento de índices de eutrofización en los ambientes costeros, ha resultado en desacuerdos y opiniones contrarias por parte de la comunidad científica. Las investigaciones en diversas regiones sobre el estado trófico de la zona costera, muestran discrepancias en cuanto a los intervalos de concentración de nitrógeno y fósforo, y por lo tanto, en su nivel trófico; por ello, definir los límites de estos intervalos, representa una dificultad ya que los atributos de cada ecosistema son diferentes y varían de un lugar a otro. Por consiguiente es necesario establecer índices ecológicos

propios y evitar, en la medida de lo posible, el trasladar índices utilizados bajo condiciones climáticas diferentes y aplicadas a diferentes latitudes.

Aunado a lo anterior, ningún índice es un perfecto sustituto de los datos originales y de los factores que regulan a un ecosistema, ya que mientras más complejos sean éstos, menos podrán describirse con un solo índice (Vollenweider *et al* 1998). Un índice para ser útil y aplicado con regularidad debe ser simple, técnicamente sencillo y fácil de calcular, sobretodo tomando en consideración que éstos tienen un uso práctico inmediato en rutinas de monitoreo y control de posibles desequilibrios ambientales, para instituciones u organizaciones que no cuentan con grandes presupuestos ni equipos especializados. Lo idóneo sería encontrar un índice que se base en alguna determinación sencilla y no costosa.

#### **4.1 Análisis integral de los índices ecológicos.**

El Índice de diversidad de pigmentos ( $D^{430}/D_{665}$ ) es técnicamente complicado pues requiere llevar a cabo varias lecturas espectrofotométricas; la información teórica derivada de este análisis resulta muy interesante, pero es necesario poseer una cantidad de datos que estadísticamente avale las conclusiones. Por otro lado el TRIX fue menos sensible ya que califica a la mayoría de las estaciones en un mismo nivel trófico, sin notar las pequeñas diferencias o tendencias de cada una de ellas, además de ser un índice técnicamente complicado y costoso por la cantidad de parámetros que requieren para su cálculo. La relación C/Cl a, requiere el manejo adecuado de dos técnicas como son la de productividad primaria y la clorofila a, lo que complica su aplicabilidad considerando las limitaciones locales de equipo. Sin embargo, este índice ofrece resultados interesantes acerca de la eficiencia ecológica del fitoplancton



relacionada con la salud del ecosistema y puede llegar a ser útil para la toma de decisiones en cuanto al manejo integral del ecosistema.

Por lo anterior propongo que se utilice el índice de Carlson (1977), en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola al considerarse que es el que refleja mejor las características ecológicas del ecosistema además de realizarse con técnicas relativamente sencillas de aplicar.

## **5. Conclusiones**

A partir de las variables físico-químicas analizadas en este estudio se caracterizo el sistema lagunar en términos ecológicos, determinándose que éstas no presentan variaciones espaciales significativas, a excepción de  $Cl a$  e índices tróficos, confiriéndole de manera general al sistema condiciones de homogeneidad, aunado al notable incremento de nutrientes, puede interpretarse que este presenta alteraciones en su estado hidrológico. Del análisis de resultados obtenidos se concluye que:

El Sistema lagunar Chantuto-Panzacola se comporta como un sistema de condiciones oligohalinas a mixohalinas.

La  $Cl a$  mostró que las mayores concentraciones fueron en la época de estiaje y en cuatro estaciones de muestreo (Chantuto, Panzacola, Cerritos y Teculapan).

La PPN mostró que las estaciones con las mayores concentraciones son: Chantuto, Campón 1, Panzacola y Cerritos.

La relación  $C/Cl a$  mostró que los valores más altos se encontraron en la época de lluvias y en las estaciones Chantuto, Panzacola, Cerritos y La Palma, lo que significa

una optimización de las condiciones abióticas en el desarrollo de los productores primarios.

El índice de diversidad de pigmentos ( $D^{430}/D_{665}$ ), presentó los valores más bajos en la época de estiaje, sobre todo en los meses de diciembre a mayo y en las estaciones Chantuto, Campón 1, Cerritos y Teculapan donde presenta condiciones de eutrofia y un estado de sucesión menos avanzado de la población fitoplanctónica.

Respecto al IET, los índices más altos se ubican en la época de estiaje calificando de esta manera a las aguas del sistema lagunar como  $\beta$  Mesotróficas, y las estaciones Chantuto y Cerritos durante la época de estiaje las clasifica como  $\alpha$  Eutróficas.

El TRIX calificó a la calidad del agua de la mayor parte del sistema en su categoría: pobre, altamente productiva y con el nivel trófico más alto; mientras que en la Boca Barra la ubicó en la calidad de mala entre moderada y alta en cuanto a productividad.

Todos los índices tróficos clasifican a los cuerpos de agua del sistema lagunar Chantuto-Panzacola en el mismo nivel eutrófico sobre todo para la época de estiaje y para las estaciones Chantuto y Cerritos.

El análisis de correlación canónica demostró que los parámetros físico-químicos, (Temperatura,  $PO_4^{3-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  y NT), con los índices ecológicos y tróficos (PPN, CI a y TRIX) están fuertemente relacionados.

Los análisis y pruebas estadísticas sugieren que no existen diferencias espaciales marcadas, aunque si temporales tanto para los parámetros físico-químicos, como en la biomasa fitoplanctónica; de igual forma indican que los parámetros físico-químicos influyen y determinan las variaciones de la productividad primaria y algunos de los índices tróficos y ecológicos.

## **6. Recomendaciones**

El control de los agroquímicos utilizados en las zonas aledañas de la Reserva de la Biosfera la Encrucijada debe ser rígido y asegurar que los desperdicios del desagüe no entren directamente a las lagunas.

La descarga de agua de los pueblos y ciudades debe recibir tratamiento antes de descargarse a los ríos.

La desviación de los de los ríos que alimentan los sistemas lagunares debe garantizar el mantenimiento del patrón de circulación del agua además de asegurar que suministre agua de buena calidad a las lagunas costeras.

La expansión de las actividades agropecuarias debe tener como limite a las áreas ocupadas por manglares y humedales de agua dulce.

Proponer medidas de manejo pesquero solo en las lagunas que presentan una circulación eficiente las cuales no tengan un proceso de eutrofización avanzado.

Para las lagunas Chantuto y Cerritos las cuales presentan problemas de eutrofización se necesita formular un manejo adecuado para rehabilitar los flujos hidrológicos asociados a estas lagunas, con el fin de asegurar el suministro de agua dulce, así como de frenar el azolvamiento y pérdida del espejo de agua.

En estas dos lagunas se propone que se hagan estudios semestrales para determinar su nivel trófico y así tener un seguimiento de la salud del sistema.

Nuevas obras de dragados en los sistemas lagunares, deben de contemplar llevar los sedimentos directamente al mar, en lugar de colocarlos aledaños a las lagunas.

## 7. Literatura Citada

American Public Health Association. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters, 21st Edition. Centennial Edition. APHA, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Washington, DC.

Aranda Cirerol N.2004. Eutrofización y Calidad del Agua de una zona Costera Tropical. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona, Departament d' Ecologia. 246 p.

Avelino G, López F, Gallegos M, Angeles E. 1993. Aspectos de la productividad primaria de un manglar del estado de Chiapas, México. XII Congreso Mexicano de Botánica. 29 p.

Banase K. 1974. On the interpretation of data for the carbon-to-Chlorophyll ratio of phytoplankton. *Limnology and Oceanography*. 19: 695-699 p.

Banase K. 1977. Determining the Carbon-to-Chlorophyll ratio of natural phytoplankton. *Marine Biology* 41: 199-212 p.

Berman T y Pollinger U. 1974. Annual and seasonal variations of phytoplankton, chlorophyll, and photosynthesis in lake Kinneret. *Limnology and Oceanography*. 19 (1): 31-53 p

Botello A V. 1978. Variación de los parámetros hidrológicos en las épocas de sequía y lluvias (mayo y noviembre de 1974) en la Laguna de Términos, Campeche, México. Informe Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad. Nacional Autónoma de México 5(1):159-177 p.

Brower J E y Zar J H. 1981. Field and laboratory methods for general ecology. W.M.C Brown Company. U.S.A.194 p.

- Botello V A. 1978. Variación de los parámetros hidrológicos en las épocas de sequías y lluvias (mayo y noviembre de 1974) en la laguna de Términos, Campeche, México. *An Centro Ciencias del Mar y Limnología*. UNAM 5(1):159-177 p.
- Carlson R E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. 22: 361-369 p.
- Contreras-Espinosa F. 1991. Clasificación trófica de lagunas costeras. *Ciencia* 42 (2): 227 – 231 p.
- Contreras-Espinosa F, Castañeda-López O. 1992. Contribución del nanofitoplancton en la cantidad de clorofila a de dos Sistemas Lagunares del estado de Chiapas, México. *Inv. Mar. CICIMAR*. 7 (2): 61-73 p.
- Contreras-Espinosa F, Castañeda-López O, García-Nagaya A. 1994<sup>1</sup>. La clorofila a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 21 (1-2): 55-66.
- Contreras F, Castañeda O, García Nagoya A, Pérez M A. 1994. Las Lagunas Costeras. En: Toledo, A (coord.) *Riqueza y Pobreza en la Costa de Chiapas y Oaxaca*. Centro de Ecología y Desarrollo. 492 p.
- Contreras-Espinosa F y Castañeda-López O, 2004. Las lagunas costeras y estuarios del Golfo de México: hacia el establecimiento de índices ecológicos. En: *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México*. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. México. 38 p.
- Contreras Espinosa F, Rivera Guzmán N E, y Segura Aguilar R. 2005. Nutrientes y productividad primaria fitoplanctónica en una laguna costera tropical intermitente (La mancha, Ver) del Golfo de Méico. *Hidrobiológica*. 15(003): 299-310 p.

- Contreras E F, y Kerekes J. 1993. Total phosphorus – chlorophyll relationships in tropical coastal lagoons in México. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25:448-451 p.
- Contreras E F, y Zabalegui L M. 1988. Aprovechamiento del Litoral Mexicano. CECODES-SEPESCA. México, 128 p.
- Coelho S, Gamito S, Pérez- Rufaza. 2007. Trophic state of Foz de Almargem coastal lagoon (Algave, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 71, 218-231 p.
- Coutinho Hennemann M y · Mello Petrucio M. 2011. Spatial and temporal dynamic of trophic relevant parameters in a subtropical coastal lagoon in Brazil. *Environ Monit Assess* (2011) 181:347–361p.
- Cruzado A, Velásquez Z, Pérez M, Bahamón N, Grimaldo NS y Ridolfi F. 2002. Nutrient fluxes from the Ebro River and subsequent acrossshelf dispersion. *Continental Shelf Research*, 22: 239-360 p.
- Day J W, Smith W G, Wagner P R y Stone W C. 1973. Community structure and carbon budget of a salt marsh and shallow bay estuarine system in Louisiana. Center for Wetland Resources, Louisiana State University, Baton Rouge, No. LSU-SG-72-04 p.
- De Jonge V C, Elliott M y Orive E. 2002. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. *Hydrobiologia*, 475/476, 1-19 p.
- De la Lanza Espino G, Cantú Ramírez M del C. 1986. Cuantificación de clorofilas y aplicación del Índice de diversidad de pigmentos (D430/D665) para estimar el estado biótico de la laguna de pueblo viejo, Veracruz. *Universidad y Ciencia* 5(3):31-42 p.

Diario Oficial de la Federación, 1995. “Decreto por el que se declara como Área Natural Protegida con el carácter de Reserva de la Biósfera, la zona conocida como La Encrucijada, ubicada en los municipios de Mazatán, Huixtla, Villa Comaltitlán, Acapetahua, Mapastepec y Pijijiapan, Chis. con una superficie de 144,868 hectáreas”. Diario Oficial de la Federación del 6 de junio de 1995. México, D.F. 14-22 p.

Díaz-Ruiz S, Cano-Quiroga E, Aguirre-León A, Ortega-Bernal R. 2004. Diversidad, abundancia y conjuntos ictiofaunísticos del Sistema Lagunar-Estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Biología Tropical*. 52(1): 187-199.

Drake J L, Carpenter E J, Cousins M, Nelson K L, Guido-Zarate A, Loftin K. 2010. Effects of light and nutrients on seasonal phytoplankton succession in a temperate eutrophic coastal lagoon. *Hydrobiologia* 654: 177–192 p.

Flores-Verdugo F J, Agraz-Hernández C y Benítez Pardo D. 2007. Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación. En: Sánchez O, Herzig M, Peters E, Márquez-Huitzil R y Zambrano L (eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología, México, 147-166 p.

Frank E Harrell Jr <f.harrell@vanderbilt.edu> and with contributions from many other users. (2010). Hmisc: Harrell Miscellaneous. R package version 3.8-3.m <http://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>

García-Nagaya A, Castañeda-López O. 1992. Estudios básicos ecológicos de dos lagunas costeras del estado de Chiapas, México. IX Congreso Nacional de Oceanografía. 110 p.

- García-Nagaya A y Castañeda-López O. 1994. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en dos sistemas costeros del Estado de Chiapas, México. *Inv. Mar. CICIMAR*. 15(3): 171-188 p.
- Gaarder T y Gran H H. 1927. Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord. Rapport. Conseil International sur le Exploration de la Mer. 42:3-31p.
- Giovanardi F, Richard A. Vollenweider. 2004. Trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas . *J. Limnol*. 63(2): 199-218 p.
- Goldberg E D. 1995. Emerging Problems in the Coastal Zone for the Twenty-First Century. *Marine Pollution Bulletin*, 31: 4-12, 152-158 p.
- González F, Zoppi de Roa E y Montiel E. 2006. Productividad primaria del fitoplancton en la bahía de Mochima, Venezuela. *Venezuela Investigaciones Marinas, Valparaíso*, 34(2): 37-45p.
- Gutiérrez-Mendieta F, Varona-Cordero F, Contreras-Espinosa F. 2006. Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónicas de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas. *Hidrobiológica*. 16(2): 137-146 p.
- Herrera J A. 2006. Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): Investigación, diagnóstico y manejo. *Sociedad Venezolana de Ecología. ECOTROPICOS*, 19(2): 94-108 p.
- [http://www.conacyt.gob.mx/fondos/FondosSectoriales/CNA/201002/Area2\\_SHN-Humedales\\_Chiapas.pdf](http://www.conacyt.gob.mx/fondos/FondosSectoriales/CNA/201002/Area2_SHN-Humedales_Chiapas.pdf). Visitado el 10 de septiembre del 2012.



- INE. 1999. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera la Encrucijada. Gobierno del Estado de Chiapas. 183 p.
- Justic D. 1991. A simple oxygen index for trophic state description. *Marine Pollution Bullentin* 22, 201-204 p.
- Kalff J. 2003. *Limnology, Inland Water Ecosystems*. Prentice Hall, New Jersey, 592 p.
- Kerekes J. 1982. The application of phosphorus load-trophic response relationships to reservoirs. *Canadian Water Resources Journal*, 7(1):349-354 p.
- Kerekes J. 1983. Predicting trophic response to phosphorus addition in a Cape Breton Island Lake. *Proc. N.S. Inst. Sci*, 33:7-18 p.
- Lankford R R. 1977. Coastal lagoons of Mexico: Their origin and classification. En: M. Wiley (ed.). *Estuarine Processes, Circulation, Sediments and Transfer of Materials in the Estuary*. Academic Press, Inc., Nueva York, 2, 182-215 p.
- Livingston R J. 2001. *Eutrophication Processes in Coastal Systems*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Margalef R. 1965. Ecological correlations and the relationships primary production and community structure. *Mem. Inst. Ital. Idrobiol.*, 18(suppl): 355-365.
- Margalef R. 1974. *Ecología*. Ed. Omega. España. 953 p.
- Newton A, J D Icely, M Falcão, A Nobre, J P Nunes, J G Ferreira, C Vale. 2003. Evaluation of eutrophication in the Ria Formosa coastal lagoon Portugal. *Continental Shelf Research* 23, 1945-1961 p.
- Penna N, Capellacci S y Ricci F. 2004. The influence of the Po River

discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 3-4, 321-326 p.

Pérez-García N, Vega-Vásquez V, y Gutiérrez-Mendieta. F. 1998. Variación estacional de la comunidad fitoplanctónica del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. VII Congreso Latinoamericano de Botánica y XIV Congreso Mexicano de Botánica. México, D. F.

Rodríguez Laura P. 2008. Tesis Doctoral. Estructura y producción primaria del fitoplancton y perifiton en un humedal del Bajo Paraná Universidad de Buenos Aires Facultad de Ciencias Exactas Y Naturales Departamento de Ecología, Genética y Evolución. 292 p.

Rosenberg R. 1990. Eutrophication-related marine ecosystem studies in western Sweden. In: Colombo G, Ferrari I, Ceccherelli, V U, Rossi R (eds.). *Marine Eutrophication and Population Dynamics*. Lido degli Estensi, Ferrara, Italy. Olsen & Olsen. 17-20 p.

Rossi N, Ciavatta C y Sequi P. 1992. Contribution of agricultural land in the Po Valley to coastal eutrophication of the Adriatic Sea. In: Vollenweider R A, Marchetti R, Viviani R. (ed.) *Marine Coastal Eutrophication*. Bologna, Italy. Science of the Total Environment. Elsevier Science. Supplement, 349-364 p.

Rueda L, Botello A V y Díaz, G. 1997. Presencia de pesticidas organoclorados en dos sistemas lagunares de Chiapas, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 13 (2): 55-61.

Salas F, Teixeira H, Marcos C, Marques J C, and Pérez-Ruzafa A. 2008. Applicability of the trophic index TRIX in two transitional ecosystems: the Mar Menor lagoon (Spain) and the Mondego estuary (Portugal). *ICES Journal of Marine Science*, 65: 1442–1448 p.

- SCOR-UNESCO, 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea water. Monogr. 1, París. 69 p.
- Seisdedo Mabel, Arencibia Gustavo, Moreiray Ángel R. Morales Yohanna. 2010. Análisis Comparativo del Estado Trófico de Las Aguas de La Bahía de Cienfuegos, Cuba. Rev. Invest. Mar. 31(2):124-130 p.
- Sistema Venecia. 1959. Resolución final del Simposio sobre la clasificación de aguas salobres. Archo Oceanogr. Limnol., 11 (suppl): 243–248 p.
- Solís-Weiss V. 1990. Edenos productivos del litoral Mexicano: arrecifes coralinos, manglares y pastos marinos. En: Leff E (eds.), Medio Ambiente y desarrollo en México. Porrúa, Mexico, 421-451p.
- Solórzano L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite, method. Limnol. Oceanogr. 14: 799-801p.
- Strickland J D H. 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. Fish. Res. Bd. Canada Bull. 122-172 p.
- Strickland J y Parsons MR. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada. Canada. 310 p.
- Tapia González F U, Herrera-Silveira J A, Aguirre-Macedo M L. 2008. Water quality variability and eutrophic trends in karstic tropical coastal lagoons of the Yucatán Peninsula. Estuarine, Coastal and Shelf Science 76: 418-430 p.
- Torres A R y Gutiérrez M F. 2000. Calidad del agua y usos potenciales del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. Resúmenes de XII Congreso Nacional de Oceanografía.

- Tovilla Hernández C y de la Lanza Espino G. 2001. Balance Hidrológico y de nutrientes en un humedal costero del Pacífico Sur México. *Hidrobiológica*, 11(2):133-140 p.
- Varona-Cordero F y Gutiérrez-Mendieta F. 2003. Estudio multivariado de la fluctuación espacio-temporal de la comunidad fitoplanctonica en dos lagunas costeras del Estado de Chiapas. *Hidrobiológica*. 13 (3): 177-194 p.
- Varona-Cordero F y Gutiérrez-Mendieta F. 2006. Composición estacional de fitoplancton de dos lagunas costeras del Pacífico tropical. *Hidrobiológica* 16 (2): 159-174 p.
- Vega V V. 2000. Estudio anual de la comunidad de fitoplanctónica (diatomeas) con relación a los nutrientes y la productividad primaria en un periodo anual (1997) en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. Servicio Social. Dpto. Hidrobiología. DCBS.UAM-Iztapalapa.
- Vitousek P M, Aber J D, Howarth R W, Likens G E, Matson P A, Schindler D W, Schlesinger W H, Tilman D G. 1997. Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences. *Ecological Applications*, 7: 3, 737-750 p.
- Vollenweider R A. 1992. Coastal marine eutrophication: principles and control. En: Vollenweider R A, Marchetti R, Viviani R. (eds.), *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci. Pub, USA, 1-20 p.
- Vollenweider R A, Kerekes J. 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. OECD Cooperative programme on monitoring of inland waters (Eutrophication control), Environment Directorate, OECD, Paris. 154 p.
- Vollenweider R A, Giovanardi F, Montarini G, Rinaldi A. 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics* 9, 329-357 p.

Yañez-Arancibia A. 1978. Patrones ecológicos y variación cíclica de la estructura trófica de las comunidades neotónicas en lagunas costera del Pacífico de México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología* 5:287-306 p.

## Anexos



1. Imagen fotográfica de la estación 1 parte central de la laguna Chantuto  
 $15^{\circ}14'40.12''\text{N}$   $92^{\circ}53'56.66''\text{O}$ .



2. Imagen fotográfica de la estación 2 laguna Campón 1  $15^{\circ}11'50.72''\text{N}$   
 $92^{\circ}51'21.66''\text{O}$



3. Imagen fotográfica de la estación 3 laguna Campón 2  $15^{\circ}11'55.48''\text{N}$   
 $92^{\circ}50'48.58''\text{O}$ .



4. Imagen fotográfica de la estación 4 Boca Barra  $15^{\circ} 9'59.98''\text{N}$ , longitud  
 $92^{\circ}51'7.29''\text{O}$ .





5. Imagen fotográfica de la estación 5 Panzacola (la parte más lejana a la Boca Barra)  $15^{\circ} 6'16.05''N$ ,  $92^{\circ}44'55.30''O$ .



6. Imagen fotográfica de la estación 6 Cerritos  $15^{\circ}9'44.93''N$ ,  $92^{\circ}46'18.27''O$ .





7. Imagen fotográfica de la estación 7 Teculapan  $15^{\circ}9'44.30''\text{N}$   $92^{\circ}47'48.88''\text{O}$ .



8. Imagen fotográfica de la estación 8 La Palma  $15^{\circ}10'10.94''\text{N}$ ,  $92^{\circ}50'1.36''\text{O}$ .

Algunos índices tróficos de importancia ecológica en el sistema lagunar estuarino

Chantuto-Panzacola, Chiapas

Some trophic indexes from ecological importance in the Chantuto-Panzacola estuarine

lagoon system, Chiapas

Titulo Corto: Índices tróficos de importancia ecológica

Rocío Gómez-Ortega<sup>1</sup>, Cristian Tovilla-Hernández<sup>1</sup>, Ofelia Castañeda-López<sup>2</sup>, Everardo Barba Macias<sup>3</sup>, Eduardo Ramos-Santiago<sup>4</sup>, Emilio I. Romero-Berny<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Aprovechamiento y Manejo de Recursos acuáticos, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula. Carretera a Antiguo Aeropuerto Km. 2.5, Tapachula, Chiapas, 30700. México

<sup>2</sup> Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Avenida San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, Iztapalapa, Distrito Federal, 09340. México

<sup>3</sup> Área Académica de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa. Carretera Villahermosa-Reforma km 15.5 Ranchería Guineo, sección II Villahermosa, Tabasco, 86280. México

<sup>4</sup> Centro Regional de Investigación Pesquera. Prolongación Playa Abierta s/n, Col. Miramar, Salina Cruz, Oaxaca, 70680. México

<sup>5</sup> Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Ciudad Universitaria No. 3000, Coyoacán, Distrito Federal, 04360. México

Correspondencia: rocio\_go22061980@yahoo.com.m

## RESUMEN

Se cuantificaron una serie de parámetros físicos y químicos con el objeto de determinar la variación espacio-temporal de los índices tróficos y ecológicos, y conocer si estas exhiben alguna relación entre los parámetros físico-químicos y los índices tróficos y ecológicos dentro del sistema lagunar Chantuto-Panzacola. La Productividad Primaria muestra las mayores concentraciones en las lagunas de Chantuto, Panzacola, Cerritos y Campon, observando un aumento en número y concentraciones a más del doble de lo reportado por otros autores. El Índice de diversidad de pigmentos ( $D^{430}/D_{665}$ ) indica que la mayoría de los valores son bajos y se presentan con mayor frecuencia durante la época de estiaje. El índice del estado trófico de Carlson (IET) ubicó a las dos épocas climáticas en  $\beta$  Mesotrófico (estiaje) y  $\alpha$  Mesotrófico (lluvias); considerando las estaciones de muestreo, se ubican a las lagunas de  $\alpha$  Oligotrófico (Boca barra), hasta  $\alpha$  Eutrófico (Chantuto y Los Cerritos). El índice TRIX ubica al sistema en 6 - 8 con calidad del agua pobre, altamente productiva y un nivel trófico más alto. Todos los índices tróficos clasifican a las aguas del sistema lagunar Chantuto-Panzacola en el mismo nivel trófico sobre todo para la época de estiaje y para las lagunas de Chantuto y Los Cerritos.

Palabras clave: Lagunas costeras, índices tróficos, eutrofización, chantuto-panzacola.

## ABSTRACT

We quantified a number of physical and chemical parameters in order to determine the spatial and temporal variation of trophic and ecological index, and know if they exhibit any relationship between physicochemical parameters and trophic- ecological index within the lagoon system Chantuto-Panzacola, Chiapas. The Primary Productivity shows the highest concentrations in the lagoons of Chantuto, Panzacola, Cerritos and Campon, showing an increase in number and concentrations more than twice that reported by other authors. The pigment diversity index ( $D^{430}/D_{665}$ ) indicates that the majority of the values are low, and they occur most frequently during the dry season. The trophic state index of Carlson (IET) located both in  $\beta$  Mesotrophic climatic seasons (drought) and  $\alpha$  Mesotrophic (rain); the gaps are located in  $\alpha$  Oligotrophic (Boca bar) to  $\alpha$  eutrophic (Chantuto and Los Cerritos). The TRIX index places the system in 6-8 with poor water quality, highly productive and highest trophic level. The entire trophic indexes classify waters of the lagoon system Chantuto-Panzacola in the same trophic level especially for the dry season and for the Chantuto and Cerritos lagoons.

Key words: Coastal lagoons, trophic indexes, eutrophication, Chantuto-Panzacola.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas estuarinos son ecotonos dinámicos entre el límite continental y la zona marina, sitios de conjunción de dos flujos hidrológicos como son la descarga de agua continental y las intrusiones marinas, elementos que les confieren características ambientales muy específicas (Kjerfve, 1994). Son sistemas reconocidos por su elevada productividad primaria, capaz de sostener a una compleja red trófica y una alta producción de recursos pesqueros (Odum, 1971; Nixon, 1981).

En la mayoría de los ambientes estuarinos, la eutrofización es una característica común debido a los constantes aportes terrígenos asociados, al tratarse de sistemas someros ubicados al final de las cuencas de drenaje y con alto tiempo de residencia, son especialmente sensibles a desequilibrios provocados por un aumento en el aporte de estos insumos, situación que los hace particularmente vulnerables a impactos antrópicos y a fenómenos naturales de escala global como El Niño (Kjerfve, 1994; Livingston, 2001).

El desarrollo de índices que clasifiquen la calidad del agua con base en su estado trófico representa una prioridad y un reto desde el punto de vista de la gestión integral de la zona costera. Esta situación ha suscitado desacuerdos entre algunos investigadores al considerar a la dinámica estuarina demasiado compleja como para interpretarse a partir de un índice ecológico (Vollenweider *et al.*, 1998).

Las investigaciones en diversas regiones sobre el estado trófico de la zona costera, muestran discrepancias en los intervalos de concentración de nitrógeno y fósforo, y consecuentemente en su nivel trófico; por lo que definir los límites de estos intervalos

en ecosistemas que varían notablemente de una región a otra, representa una dificultad.

Entre los estudios que se han llevado a cabo sobre este tópico se encuentran los de De la Lanza- Espino y Cantú-Ramírez (1986) quienes realizaron la cuantificación de clorofilas y aplicación del índice de diversidad de pigmento ( $D^{430}/D_{665}$ ) para estimar el estado biótico de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz (México). Al respecto, Giovanardi y Vollenweider (2004), analizaron las condiciones tróficas de las aguas marinas costeras y aplicaron el índice trófico TRIX en dos áreas de los mares Adriático y Tirreno Salas *et al.* (2008), determinaron la aplicabilidad del índice trófico TRIX en dos ecosistemas de transición: la laguna del Mar Menor (España) y el estuario del Mondego (Portugal). Por su parte, Seisdedo *et al.* (2010) efectuaron un análisis comparativo del estado trófico de las aguas de la Bahía de Cienfuegos, Cuba. En el presente estudio se analizan las variaciones espacio-temporal de los índices tróficos-ecológicos y la relación que exhiben con los parámetros físico-químicos dentro del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, lo cual representa una contribución al conocimiento de las condiciones ecológicas imperantes del ecosistema y como una referencia básica para futuros monitoreos y control de posibles desequilibrios ambientales en los sistemas lagunares del estado de Chiapas.

Área de estudio. El sistema lagunar-estuarino Chantuto-Panzacola se localiza en el Pacífico Mexicano, en la costa sur de Chiapas, entre los 92°55' N y los 15°09' y 15°17' W; y ubicado en los municipios de Acapetahua y Mapastepec (Fig.1), inmerso en la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera "La Encrucijada" (INE, 1999). Ocupa una superficie aproximada de 1,900 ha, de las cuales 47.4% son propiedad federal, 39.5%

particular y 13.1% al sector social (Díaz-Ruiz *et al.*, 2004). Está conformado por cinco lagunas principales: Chantuto, Campón, Teculapan, Cerritos y Panzacola.

El sistema se conecta con el mar a través de las bocas de San Juan y El Castaño, y recibe la descarga de los ríos San Nicolás, Cacaluta, Cintalapa, Vado Ancho, Despoblado, Huixtla, Cuilapa y Doña María (Díaz-Ruiz *et al.*, 2004). El clima es tropical Am (f)w (Koppen modificado por García 1988), cálido húmedo reconociéndose dos épocas climáticas en la región: lluviosa durante los meses de mayo a noviembre y estiaje de diciembre a abril (García-Nagaya y Castañeda-López, 1992; Díaz-Ruiz *et al.*, 2004).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Procedimiento de Campo: Se realizaron muestreos mensuales en ocho estaciones ubicadas dentro del sistema lagunar, con el objeto de evaluar las fluctuaciones hidrológicas espacio-temporales durante los meses de octubre del 2008 a noviembre del 2009. En cada punto se cuantificaron los siguientes parámetros físicos: a) la temperatura (°C), utilizando un termómetro de cubeta, b) el pH, con un potenciómetro Cole-Palmer, c) la salinidad (ups), con un refractómetro manual óptico y precisión de  $\pm 1.0$  ups y, d) la transparencia y profundidad (m), con un disco de Secchi.

El oxígeno disuelto se determinó por medio del método de Winkler (Strickland y Parson, 1972). Para la evaluación de la productividad primaria se utilizó el método de la botella clara y oscura (Gaarder y Gran, 1927), siguiendo lo sugerido por Brower y Zar (1981), manteniendo las botellas en incubación a bordo de la lancha. Para la determinación de los nutrientes se colectaron muestras de agua en cada punto de muestreo utilizando

una botella Niskin con capacidad para 5 L, y conservando las muestras en refrigeración a baja temperatura (4 °C) para su posterior procesamiento. Para determinar la concentración de clorofila *a*, se filtraron entre 50 y 250 ml de agua a través de filtros de membrana Nucleopore® de 0.45 µm.

Procedimiento de laboratorio: Se filtraron las muestras con filtros Whatman de grado 41:20 µm con el propósito de eliminar la turbidez y evitar la corrección por la misma en cada una de las lecturas espectrofotométricas. Se determinó el contenido de los siguientes nutrientes:  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  se analizaron de acuerdo al método de APHA, AWWA y WPCF (2005).

La cuantificación de clorofilas se realizó por los métodos espectrofotométricos (Strickland & Parson, 1972), extrayendo con acetona al 90% en la oscuridad; para las feofitina se acidificaron las muestras con 0.02 ml de ácido clorhídrico de acuerdo con lo propuesto por Margalef (1965) y SCOR-UNESCO (1966), y se cuantificaron usando el multianalizador marca HACH modelo DR 2400.

Índices ecológicos y tróficos. Relación (C/Cl *a*) conocida como número y/o razón de asimilación, es la relación entre la productividad primaria fitoplanctónica y la concentración de la clorofila:  $\text{mgCm}^3\text{hr}^{-1}/\text{mgm}^3$ , tomada ésta como un índice de la biomasa de dicha comunidad (Banse, 1974, 1977).

Índice de diversidad de pigmentos  $D^{430}/D_{665}$  (IM). Es el cociente entre la absorción o densidad óptica de los extractos de pigmentos a las longitudes de onda de 430 nm (donde se identifican todos los pigmentos) y a 665 nm (donde se capta solo la clorofila *a*, respectivamente, y se expresa como  $D^{430}/D_{665}$  (Margalef, 1965).



Debido a la variabilidad de las características hidrológicas, es importante aclarar que para fines de comparación, en los casos de los índices C/Cl a y Margalef (relación  $D^{430}/D_{665}$ ), los resultados obtenidos son considerados como altos o bajos en relación al promedio anual obtenido en cada sistema lagunar.

Índice del estado trófico de Carlson (IET). Es uno de los índices más utilizados cuyos valores varía entre 0 y 100, es decir, de oligotrófico a hipereutrófico (Carlson, 1977). La ecuación se basa en la cantidad de clorofila *a* con la siguiente expresión:

$$IET = 10 \left[ \frac{6 - 2.04 - 0.68 \ln(\text{clor } a)}{\ln_2} \right]$$

La tipificación empleada abarca intervalos muy amplios en la concentración de clorofila, sobre todo hacia las dos últimas categorías donde se ubica la mayoría de los ecosistemas tropicales costeros. Considerando lo anterior, se utilizó la propuesta de Contreras-Espinosa *et al.* (1994), donde plantea una expansión en los intervalos de la concentración del pigmento.

Índice de Estado Trófico (TRIX). Es un índice multivariado propuesto por Vollenweider *et al.* (1998), mediante la siguiente expresión:

$$TRIX = \left[ \frac{\ln(\text{clorfa} * \%Od * NID * PRS) + 1.5}{1.3} \right]$$

Cada uno de los cuatro componentes representa un estado trófico variable, es decir:

(a) Factores de productividad

Clorf *a* = concentración de clorofila a  $\mu\text{gl}^{-1}$

$|\%Od|$  = valor absoluto de la desviación del por ciento de saturación de oxígeno disuelto, es decir,  $[100 - \%Od]$

(b) Factores nutricionales

NID = nitrógeno inorgánico disuelto N como:  $[N-NO_3 + N-NO_2 + N-NH_4]$ , en  $(\mu g N l^{-1})$

PRS = fósforo reactivo soluble  $(\mu g P l^{-1})$  Ofrece la ventaja de utilizar como componentes las variables ambientales y medirlas directamente de manera sistemática.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP), para examinar la relación entre las épocas climáticas y las variables ambientales determinando aquellas que contribuyen a explicar la mayor variabilidad del sistema.

Para conocer si existen diferencias significativas entre épocas climáticas y estaciones de muestreo, se realizó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) de las variables originales que contribuyeron significativamente en los primeros tres componentes principales. A través de un Análisis de Correlación Canónica (ACC) se exploraron las variables físico-químicas (PQ1), productividad primaria e índices ecológicos (PQ2) que mantienen una mayor relación entre ellas.

Para evaluar la significancia individual de cada una de las variables que contribuyeron significativamente en los componentes principales se aplicó una prueba no paramétrica con corrección de Bonferroni, previo análisis de que no existe una correlación significativa entre ellas. Se utilizó un análisis no paramétrico, test de Wilcoxon, para determinar la existencia de diferencias significativas entre las medianas de las dos épocas climáticas estudiadas (lluvias y estiaje). Finalmente se realizó un análisis no

paramétrico de Kruskal-Wallis para determinar diferencias significativas entre las medianas de las estaciones de muestreo. Todas las pruebas y análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico R (Paquete R versión 1.6-3).

## RESULTADOS

En la Tabla 1 se presenta un resumen estadístico de los parámetros ambientales considerando la época climática y su nivel de significancia. Se analizaron un total de 14 variables ambientales, de los cuales 3 de estas resultaron significativas para el ACP, 4 para el ACC y un total de 7 resultaron significativas para ambas pruebas estadísticas. En cuanto a los índices ecológicos 3 de ellos resultaron significativos para el ACP y solo 1 para ambos índices ecológicos. Las variables q resultaron significativas se describen a continuación.

Parámetros fisicoquímicos. El pH registró un valor promedio mínimo de 6.86 y un promedio máximo de 8.70 ambos durante la época de lluvias, con un promedio anual de 7.55. En lo que se refiere a las concentraciones de nutrientes, los ortofosfatos presentaron un promedio mínimo de 20.54  $\mu\text{g-at/l}$  durante el estiaje y un máximo de 101.62  $\mu\text{g-at/l}$  en lluvias, con un promedio anual de 57.38  $\mu\text{g-at/l}$ . El fósforo total presentó un promedio mínimo de 53.90  $\mu\text{gr-at/l}$  y un promedio máximo de 198.91  $\mu\text{gr-at/l}$ , ambos valores corresponden a la época de estiaje, con un promedio anual de 117.14  $\mu\text{g-at/l}$ . Por su parte, los nitritos presentaron una concentración promedio mínima de 0.08  $\mu\text{g-at/l}$  durante la época de lluvias y un promedio máximo de 2.08  $\mu\text{g-at/l}$  durante el estiaje, con un promedio anual de 0.754  $\mu\text{gr-at/l}$ .

La concentración de amonio presentó un valor promedio mínimo de 7.73  $\mu\text{g-at/l}$  y un máximo de 63.15  $\mu\text{g-at/l}$  ambos durante la época de lluvias, con un promedio anual de 23.70  $\mu\text{g-at/l}$ . El nitrógeno total presentó un promedio mínimo de 28.29  $\mu\text{g-at/l}$  y un promedio máximo de 139.99  $\mu\text{g-at/l}$ , ambos valores correspondientes a la época de lluvias, con un promedio anual de 87.08  $\mu\text{g-at/l}$ . La clorofila *a* presentó una concentración promedio mínima de 4.93  $\text{mg/m}^3$  y un promedio máximo de 42.91  $\text{mg/m}^3$ , ambos durante la época de lluvias, con un promedio anual de 18.26  $\text{mg/m}^3$ .

Índices ecológicos y tróficos. La Relación (C/Cl *a*). La razón de asimilación C/Cl *a* ( $\text{mgCm}^{-3}\text{hr}^{-1}.\text{mg.clorm}^{-3}$ ) en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola presento un valor promedio mínimo de 4.32 y un promedio máximo de 50.28, ambos valores corresponden a la época de lluvias, observando un promedio anual de 15.85. Este parámetro no muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 1045.5, p = 0.3704$ ), ni entre estaciones de muestreo ( $\text{chi-squared} = 7.7571, \text{g.l} = 7, p = 0.3545$ ). Considerando el valor promedio anual, se observo que durante la época de estiaje presenta un valor bajo en comparación con la época de lluvias donde se observan valores altos.

El Índice de diversidad de pigmentos  $D^{430}/D_{665}$  (IM). Presentó un valor promedio mínimo de 1.05 durante el estiaje y un valor promedio máximo de 10.67 en lluvias, con un promedio anual de 4.66. Este índice no presenta diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 1095.5, p = 0.2579$ ), ni entre estaciones de muestreo ( $\text{chi-squared} = 8.8962, \text{g.l} = 7, p = 0.2602$ ). Considerando las épocas climáticas y tomando de referencia el valor promedio anual, se observa que la mayoría de los valores son bajos y se presentan con mayor frecuencia durante el estiaje (Tabla 2).

El Índice de Carlson (IET). Presentó una concentración promedio mínima de 36.83 y un valor promedio máximo de 63.08, ambos durante la época de lluvias con un promedio anual de 53.44. Este parámetro muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 608.5$ ,  $p = 0.004817$ ). De manera espacial muestra diferencias significativas entre las estaciones de muestreo (chi-squared = 24.3512, g.l = 7,  $p = 0.0009882$ ). Presentando un promedio mínimo de 43.91 en la Boca barra y un promedio máximo de 61.84 en la laguna de Chantuto. De acuerdo con la clasificación de Carlson (1977) modificado por Contreras-Espinosa (1994) el sistema lagunar de manera temporal se comporta como  $\beta$  Mesotrófico durante el estiaje y  $\alpha$  Mesotrófico en lluvias (Tabla 3).

Considerando la distribución espacial del índice, la mayoría de las estaciones se ubican en  $\alpha$  y  $\beta$  Mesotrófico excepto las estaciones E-1 (Chantuto) y E-6 (Cerritos) que durante la época de secas se ubican en condiciones  $\alpha$  Eutrófico (Tabla 4).

El Índice de (TRIX). Este índice presento un valor promedio mínimo de 6.00 en lluvias y un valor promedio máximo de 6.98 durante el estiaje, con un valor promedio anual de 6.40 (Fig. 5). Este índice no muestra diferencias significativas entre épocas climáticas ( $W = 975.5$ ,  $p = 0.9$ ). Sin embargo muestra diferencias significativas entre las estaciones de muestreo (chi-squared = 19.0079, g.l = 7,  $p = 0.008163$ ). Presentando un valor promedio mínimo de 5.91 en la estación E-4 (Boca barra) y un promedio máximo de 6.88 en la estación E-1 (Chantuto). Lo anterior ubica a las lagunas con mala calidad de agua, entre moderada y alta productividad, a pobre-altamente productiva.

Análisis Estadísticos. El MANOVA permitió observar diferencias significativas entre épocas climáticas con ( $F= 7.6255$ ,  $g.l= 3$ ,  $g.l= 70$ ,  $p = 0.0001754$ ); y diferencias no significativas entre las estaciones de muestreo ( $F= 1.9294$ ,  $g.l= 21$ ,  $g.l= 216$   $p = 0.0105685$ ); sin encontrar una interacción significativa entre ellas ( $F= 0.8680$ ,  $g.l= 21$ ,  $g.l= 216$ ,  $p = 0.6326279$ ).

En la Tabla 5 se presentan los valores de  $p$  de las pruebas de Wilcoxon y de Kruskal-Wallis para mostrar los Índices ecológicos resultantes del análisis de componentes principales que tuvieron diferencias significativas por época climática así como por estaciones de muestreo.

La Tabla 6 resume los resultados del ACP y la proporción explicada para cada componente, con su respectivo porcentaje acumulado. La gráfica biplot (Fig. 2) muestra el resultado del análisis por componentes principales de los parámetros físico-químicos e índices tróficos considerando las dos épocas climáticas. El PCI 1 explica el 20% de la variación total y las variables que contribuyen de forma negativa sobre este componente son:  $PO_4$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$ , NT, Cl a, IE y Trix. Las variables que contribuyen de forma positiva son el IM y RELA C/Cl. El PCI 2 explica el 19% de la variación esta caracterizado de forma negativa por,  $PO_4$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ , NT, IM y RELA C/Cl y de forma positiva el pH, Cl a y el IET. Por último el PCI 3 que explica el 12% de la variación esta caracterizado por una contribución negativa por el  $PO_4$  y  $NO_2^-$ ; y en conjunto explican el 51% de la variación total.

Correlación canónica. A partir de los ACC se encontraron cinco parámetros ambientales (TEM,  $PO_4$ ,  $NO_3$ ,  $NH_4$  y NT) y tres índices ecológicos (PPN, Cl a y TRIX) correlacionados significativamente (Fig.3).

El coeficiente de correlación entre el primer eje de los parámetros físico-químicos y el eje de los índices ecológicos es de 0.945, mientras que el segundo eje es de 0.694, lo que indica una relación entre los parámetros físico-químicos y los índices ecológicos (Tabla 7). La significancia de las dimensiones de las correlaciones canónicas mostró los valores propios de los primeros dos ejes en 1.17E-21 y 0.314, respectivamente.

## DISCUSIÓN

Con respecto al Índice de diversidad de pigmentos ( $D^{430}/D_{665}$ ). Para realizar comparaciones con los valores obtenidos en cada época climática, es decir “valores altos” o “valores bajos” se utilizó como referencia el valor promedio anual del Índice  $D^{430}/D_{665}$  de 4.66. La mayor cantidad de valores bajos encontrados en el presente estudio se observan con mayor frecuencia durante el estiaje. Al respecto, Margalef (1981), afirma que una baja relación  $D^{430}/D_{665}$ , siempre estará asociada a una baja diversidad biótica, existe dominancia de pocas especies y una captación elevada de carbono inorgánico por unidad de biomasa. La relación  $D^{430}/D_{665}$  se incrementara cuando las condiciones ambientales sean más estables, las poblaciones se diversifiquen, la dominancia desaparece, la biomasa se incrementa y la producción por unidad de biomasa descienda. Por lo tanto, los valores bajos encontrados durante la época de estiaje establecen condiciones de eutrofia sobre todo en los meses de diciembre a mayo, y de acuerdo con este índice se presenta un estado de sucesión menos avanzado de la población fitoplanctónica. En la época de lluvia se ubica los valores más altos, por lo cual existen condiciones de oligotrofia, sobre todo en los meses de agosto y septiembre, con un nivel de sucesión avanzado. Esta tendencia concuerdan con lo reportado por De la Lanza Espino (1986), para la laguna Pueblo

Viejo, Veracruz, cabe mencionar que esta autora menciona datos que oscilan entre 0.97 y 2.7, valores muy por debajo a los registrados en el presente análisis.

La Relación C/Cl  $a$  ( $\text{mgCm}^{-3}\text{hr}^{-1} \cdot \text{mg.clorm}^{-3}$ ). Esta relación ha sido empleada como un índice del potencial fotosintético (Beerman y Pollinger 1974), y podría ser considerada como medida de la eficiencia ecológica (Strikland 1960, Banse 1974, 1977). Los valores bajos encontrado durante el estiaje y los valores altos observados durante las lluvias responde a una medida de “*eficiencia ecológica*” ya que puede deducirse que un valor alto significa una optimización de las condiciones abióticas en el desarrollo de los productores primarios; sin embargo, valores bajos estarían relacionados con diversas limitaciones como nutrientes, luz o algún otro factor (Strikland 1960, Banse 1974, 1977). Con base en el análisis de los datos se observó que valores bajos de C/Cl  $a$  coinciden con valores altos de productividad primaria, lo que exterioriza que una gran cantidad de clorofila genera altos valores de PPN indicando poca “*eficiencia ecológica*” de la misma. Cabe hacer notar que la tendencia al incremento del índice trófico de Carlson se relaciona inversamente con los valores elevados tanto de C/Cl  $a$ .

El Índice del estado trófico de Carlson (IET). Se basa en la determinación de la cantidad de clorofila  $a$  en el agua, al tomar el principio causa-efecto de insumos de nutrientes e incremento de clorofila  $a$ , y de esta manera se calcula el aumento de la biomasa fitoplanctónica quien constituye una de las principales causas de eutrofización en los sistemas costeros. Este índice presentó diferencias tanto en épocas climáticas como en las estaciones de muestreo. De acuerdo con la clasificación de Carlson (1977) modificado por Contreras-Espinosa (1994) el sistema lagunar de manera temporal se comporta como  $\beta$  Mesotrófico durante el estiaje y  $\alpha$  Mesotrófico en lluvias. Estas



condiciones pueden estar asociadas con la existencia de un mayor tiempo de residencia del agua, lo que puede representar mayor riesgo de contaminación y eutrofización, por lo tanto deja al descubierto la circulación poco efectiva que mantienen estas lagunas así como también cabe mencionar que son las lagunas más someras y con esto se le suman los problemas de azolvamiento, temperatura y salinización (Herrera, 2006). Los resultados concuerdan con lo reportado por Seisdedo (2009), donde menciona que ambas temporadas climáticas (lluviosa y poco lluviosa) presentan condiciones de  $\alpha$  Mesotrófico, y de forma espacial presentan condiciones de  $\alpha$  Eutrófico durante la temporada poco lluviosa en la Bahía de Cienfuegos, Cuba.

El Índice de Estado Trófico (TRIX). De acuerdo al TRIX (Vollenweider *et al.*, 1998) y al Criterio de la Clasificación de la Legislación Italiana (Penna *et al.*, 2004), el sistema lagunar Chantuto-Panzacola se ubica en Pobre-Altamente Productiva, con el nivel trófico más alto. Las diferencias espaciales determinadas en el presente estudio ubican la calidad del agua en las lagunas en Mala, entre moderada y alta, en cuanto a productividad en Pobre-Altamente Productiva, con el nivel trófico más alto, contrario a lo reportado por Seisdedo (2009), donde en su estudio encontró niveles tróficos aceptables (buena y alta) para ambas temporadas analizadas.

En lo que respecta al análisis de componentes principales (PCA), los resultados permiten determinar que las variables que en conjunto explican el 51% de la varianza (PC1, PC2, PC3) son el  $PO_4$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$ , NT, Cl a, IE, Trix, IM y Rela C/Cl y pH. En resumen, son las formas fosfatadas, nitrogenadas, índices ecológicos y tróficos, de los parámetros físicos y el pH los que contribuyen a explicar este porcentaje. Los resultados del PCA mostraron que el nitrógeno inorgánico disuelto y las formas

fosfatadas, tienen una importante contribución en la variabilidad ambiental del sistema. Esto es relevante considerando que la productividad primaria es un fenómeno complejo y está determinada por múltiples factores; como es la presencia de compuestos inorgánicos conteniendo nitrógeno y fósforo (Contreras-Espinosa, 1991). Lo anterior está asociado con la eutrofización como una respuesta a insumos adicionales de nutrientes; por lo cual se entiende que las variables que explican la varianza del sistema sean las formas fosfatadas y nitrogenadas.

Al respecto, la correlación canónica reveló que la correlación entre las variables abióticas independientes consideradas, la productividad primaria y los índices ecológicos en el primer y segundo eje son significativos, lo que sugiere una relación entre los parámetros físico-químicos y los índices ecológicos principalmente de TEM, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> y NT, frente a PPN, Cl a y TRIX.

En conclusión la Cl a indica que las mayores concentraciones fueron en la época de estiaje y en cuatro estaciones de muestreo (E-1, E-5 E-6 y E-7). La PPN mostro que las estaciones de las mayores concentraciones son: E-1, E-2, E-5 y E-6. La relación C/Cl a, mostro que las mayores relaciones se encontraron en la época de lluvias y en las estaciones E-1, E-5, E-6 y E-8, lo que significa una optimización de las condiciones abióticas en el desarrollo de los productores primarios. Índice de diversidad de pigmentos ( $D^{430}/D_{665}$ ), presento las menores relaciones en la época de estiaje sobre todo en los meses de diciembre a mayo y en las estaciones E-1, E-2, E-6 y E-7 donde presenta condiciones de eutrofia y un estado de sucesión menos avanzado de la población fitoplanctónica.

El IET, el mayor índice lo ubica en la época de estiaje calificando de esta manera a las aguas del sistema lagunar como  $\beta$  Mesotrófico y las estaciones E-1 y E-6 durante la época de estiaje las clasifica como  $\alpha$  Eutrófico. El TRIX este índice presento un promedio anual de 6.40, las estaciones E-1 y E-6 son las más altas (6.8 y 6.6), calificando al agua de las lagunas en mala, altamente productiva, con el nivel trófico más alto, la E-4 presento el menor valor (5.9), ubicando la calidad de agua en mala entre moderada y alta en cuanto a productividad. Todos los índices tróficos clasifican a las aguas del sistema lagunar Chantuto-Panzacola en el mismo nivel trófico sobre todo para la época de estiaje y para las mismas estaciones (E-1 y E-6).

#### AGRADECIMIENTOS

Los datos de calidad de agua utilizados para este estudio, son propiedad del Instituto Nacional de Pesca y fueron generados mediante el convenio de colaboración para desarrollar el proyecto: "Plan de manejo Pesquero del Sistema Lagunar Estuarino Chantuto-Panzacola y Carretas-Pereyra del Estado de Chiapas" signado con la Secretaria de Pesca del Gobierno del Estado de Chiapas, con fecha 11 de marzo de 2008". Al Dr. Everardo Barba Macías y al M en C. Francisco Javier Valle Mora, por brindarme su soporte académico.

#### REFERENCIAS

APHA (American Public Health Association). 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters*, 21st Edition. Centennial Edition. APHA, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Washington, DC.

- Banase, K. 1974. On the interpretation of data for the carbon-to-Chlorophyll ratio of phytoplankton. *Limnology and Oceanography* 19: 695-699.
- Banase, K. 1977. Determining the Carbon-to-Chlorophyll ratio of natural phytoplankton. *Marine Biology* 41: 199-212.
- Brower, J. E. & J. H. Zar. 1981. Field and laboratory methods for general ecology. WMC Brown Company. USA. 194 p.
- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22: 361-369.
- Contreras-Espinosa, F., O. Castañeda-López & A. García-Nagaya. 1994. La clorofila a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 21 (1-2): 55-66.
- De la Lanza-Espino, G. & M. C. Cantú-Ramírez. 1986. Cuantificación de clorofilas y aplicación del Índice de diversidad de pigmentos (D430/D665) para estimar el estado biótico de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. *Universidad y Ciencia* 5 (3):31-42.
- Díaz-Ruíz, S., E. Cano-Quiroga, A. Aguirre-León & R. Ortega-Bernal. 2004. Diversidad, abundancia y conjuntos ictiofaunísticos del sistema lagunar-estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical* 52 (1): 187-199.
- Gaarder, T. & H. H. Gran. 1927. Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord. *Conseil International sur le Exploration de la Mer* 42: 3-31.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. UNAM, México. 217 p.

García-Nagaya, A. & O. Castañeda-López. 1994. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en dos sistemas costeros del estado de Chiapas, México. *Investigaciones Marinas* 15 (3): 171-188.

Giovanardi, F., A. Richard & R. A. Vollenweider. 2004. Trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas. *Journal of Limnology* 63 (2): 199-218.

INE (Instituto Nacional de Ecología). 1999. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera La Encrucijada*. INE-SEMARNAT, México. 183 p.

Kjerfve, B. 1994. Coastal lagoons. *In*: B. Kjerfve (Eds.) *Coastal lagoon processes*. Elsevier. [Amsterdam](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-81411-1), Netherlands, 1-8 p.

Margalef, R. 1965. Ecological correlations and the relationships primary production and community structure. *Memorie dell'Instituto Italiano di Idrobiologia*, suplemento. 18 (suplemento)355-365.

Nixon, S. W. 1981. Remineralization and nutrient cycling in coastal marine ecosystems. *In*: Nelson, B. J. & L. E. Cronin (Eds.). *Estuaries and Nutrients*. Human Press. Nueva Jersey, USA. 138 p.

Odum, W. E. 1971. Pathways of energy flow in south Florida estuary. *Sea Grant Bull* 7. University of Miami. Florida, USA. 162 p.

Salas, F., H. Teixeira, C. Marcos, J. C. Marques & A. Pérez-Ruzafa. 2008. Applicability of the trophic index TRIX in two transitional ecosystems: the Mar Menor lagoon (Spain) and the Mondego estuary (Portugal). *Journal of Marine Science* 65: 1442-1448.

SCOR-UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 1966.

Determination of photosynthetic pigments in sea water. Monografía 1, París, Francia. 69 p.

Strickland, J. & M. R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*.

Fisheries Research Board of Canada. Canada. 310 p.

Seisdedo, M., G. Arencibia, A. R. Moreiray & Y. Morales. 2010. Análisis Comparativo del Estado Trófico de Las Aguas de La Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 31 (2): 124-130.

Vollenweider R. A., F. Giovanardi, G. Montarini & A. Rinaldi. 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea proposal for a tropic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics* 9: 329-357.

#### Listado de figuras

Figura 1. Mapa de la estaciones de muestreo en el Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

Figura 2. Grafica biplot del análisis de componentes principales (PCA) de los parámetros ambientales, nutrientes e índices ecológicos en donde se pueden observar que las variables con las flechas más grandes son las que contribuyen en mayor medida a explicar la variabilidad total, y las variables con flecha pequeña no aportan información significativa en este sentido.

Figura 3A-B. Análisis de correlación canónica (ACC). (A) Parámetros ambientales (B) nutrientes - índices ecológicos.

FIGURAS

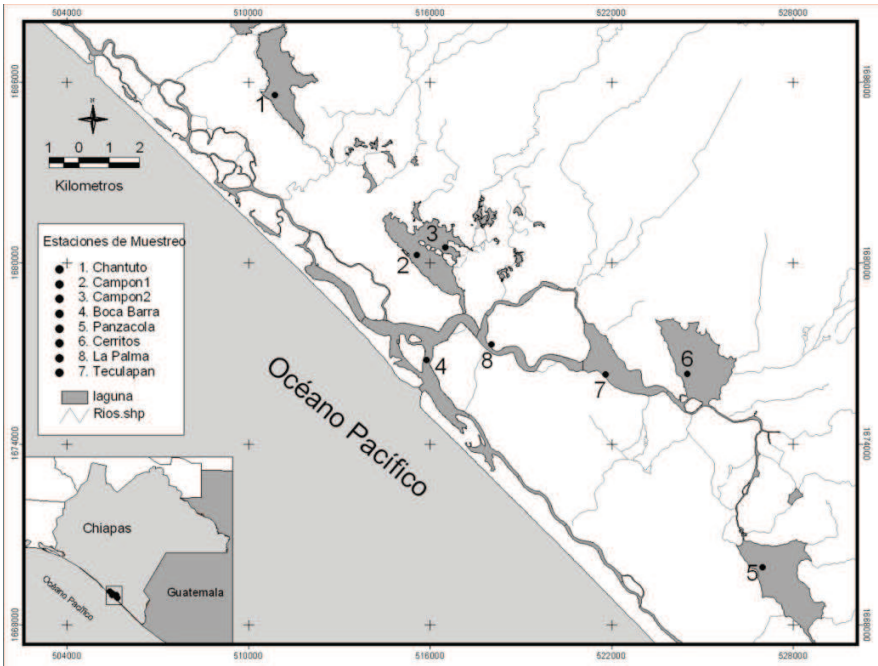


Fig.1.





## Tablas

Tabla 1. Valores mínimos (min), máximos (max), promedio (X) y desviación estándar (D.E.) de las variables ambientales (n) número de parámetros medidos. (\*) Parámetros resultantes de la correlación canónica y (•) parámetros resultantes en el análisis de componentes principales.

Parámetro	Estiaje					Lluvias				
	Min	Max	Prom	D.E.	n	Min	Max	Prom	D.E.	n
Temperatura* (°C)	18	34	29.8	3.4	48	16	37	29.3	5.65	40
Salinidad (UPS)	0.3	39	23.10	11.21	48	0	32	3.65	5.65	40
Oxígeno Disuelto (ml/l)	1.26	9.38	3.01	1.73	48	0.47	4.26	2.32	0.94	40
•pH	6.31	8.13	7.59	0.27	48	5.00	9.60	7.53	0.92	40
Profundidad (m)	0.20	8.0	1.58	1.85	48	0.30	8.00	2.12	1.99	40
Transparencia (cm)	0.20	1.90	0.27	0.49	48	0.10	1.60	0.49	0.33	40
•Ortofosfatos* (µg-at/l)	8.83	340.66	45.03	55.24	48	23.74	232.68	72.20	39.51	40
•Fósforo Total (µg-at/l)	17.85	762.08	121.69	118.95	48	20.23	379.88	55.98	111.68	40
Nitratos* (µg-at/l)	6.20	186.02	53.22	39.53	48	6.20	155.02	42.03	73.79	40
•Nitritos (µg-at/l)	0.09	12.94	0.86	1.90	48	0.08	1.57	0.62	0.39	40
•Amonio* (µg-at/l)	2.22	73.01	19.96	19.44	48	3.72	196.40	28.21	36.45	40
•Nitrógeno Total* (µg-at/l)	9.06	225.81	74.30	49.30	48	15.46	352.99	102.62	64.0	40
Produc. Neta* (mg/C/m <sup>3</sup> /hr)	0.00	375	124.20	103.5	48	0.00	422.37	89.52	84.55	40
•Clorofila "a" * (mg/m <sup>3</sup> )	0.96	119.99	21.71	21.41	48	0.19	60.19	13.67	14.61	39
•IM	0.00	31.13	3.71	4.71	48	0.36	26.67	5.14	5.83	40
•C/Cl (mgCm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> /mgm <sup>-3</sup> )	0.00	75.29	7.06	9.07	48	0.00	146.20	22.32	36.60	39
•IET	30.15	77.54	56.85	9.51	48	7.76	70.77	49.34	14.15	40
•TRIX*	5.25	8.11	6.4	0.6	48	4.88	7.50	6.39	0.66	40

Tabla 2. Comparación de los valores obtenidos en cada época climática, es decir "valores altos" o "valores bajos" como referencia al valor promedio anual del Índice de diversidad de pigmentos  $D^{430}/D_{665}$ .

Referencia	Lluvias	Secas	Total
Valores altos	13	4	17
Valores bajos	27	44	71
TOTAL	40	48	88

Tabla 3. Categoría trófica por época climática del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Época Climática	Índice de Carlson
Estiaje	$\beta$ Mesotrófico
Lluvias	$\alpha$ Mesotrófico

Tabla 4. Categoría trófica por estación con respecto a la época climática del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola.

Estación	Estiaje	Lluvias
E-1	$\alpha$ Eutrófico	$\beta$ Mesotrófico
E-2	$\beta$ Mesotrófico	$\beta$ Mesotrófico
E-3	$\alpha$ Mesotrófico	$\alpha$ Mesotrófico
E-4	$\beta$ Mesotrófico	$\alpha$ Oligotrófico
E-5	$\beta$ Mesotrófico	$\beta$ Mesotrófico
E-6	$\alpha$ Eutrófico	$\beta$ Mesotrófico
E-7	$\beta$ Mesotrófico	$\beta$ Mesotrófico
E-8	$\alpha$ Mesotrófico	$\alpha$ Mesotrófico

Tabla 5. Parámetros que tuvieron diferencias significativas (valor de p) entre las épocas climáticas (prueba de Wilcoxon) y entre estaciones (prueba de Kruskal-Wallis).

Parámetro	Wilcoxon (p)	Kruskal-Wallis (p)
Clorofila "a" ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	0.00481	0.0009803
IM	7	0.2602
C/Cl a ( $\text{mgCm}^3\text{h}^{-1}/\text{mgm}^{-3}$ )	0.2579	0.3545
IET	0.3704	0.0009882
TRIX	0.00481	7
	0.9	0.008163

Tabla 6. Valor característico de cada componente principal de la concentración de nutrientes, parámetros físico-químicos e índices ecológicos.

Variable % de varianza explicada	PC1 20%	PC2 19%	PC3 12%
TEMP	-0.3661	-0.3499	0.2919
SAL	0.0562	0.1933	-0.1095
OXIG	-0.3699	0.2134	0.0836
PH	0.0417	0.5211	-0.2618
PROF	0.0597	-0.3779	0.2107
TRANS	0.0517	0.1086	-0.3041
PO <sub>4</sub> _T	-0.4035	-0.0992	-0.8169
PO <sub>4</sub>	-0.5382	-0.4226	-0.5787
NO <sub>3</sub>	-0.2432	-0.7395	0.3404
NO <sub>2</sub>	-0.3919	-0.3398	-0.7074
NH <sub>4</sub>	-0.54	-0.4402	0.1845
NT	-0.4527	-0.7588	0.3191
PPN	-0.318	0.1437	-0.0383
Cl a	-0.6342	0.5209	0.1104
IM	0.4101	-0.5213	-0.2728
IET	-0.6648	0.6475	0.1514
RELA C/C	0.4146	-0.4468	-0.1546
TRIX	-0.9461	0.0223	0.1046
Desviación Estándar	1.90370	1.85330	1.48650
Proporción de la Varianza	0.20130	0.19080	0.12280
Proporción Acumulativa	0.20130	0.39220	0.51490

Tabla 7. Análisis de correlación canónica (ACC) relacionando dos conjuntos de datos parámetros físicos-químicos mientras que por el otro la productividad primaria y los índices ecológicos.

Parámetros	1	2
TEMP	-0.479666	-0.02847789
SAL	0.24912273	-0.15158684
OXIG	-0.39309015	0.74909514
PH	0.25202642	0.29922352
PROF	-0.22479705	-0.39287489
TRANS	0.09998438	-0.03177433
PO <sub>4</sub> _T	-0.32659967	0.00767808
PO <sub>4</sub>	-0.64847088	-0.16904721
NO <sub>3</sub>	-0.65238571	-0.50364305
NO <sub>2</sub>	-0.37570536	-0.21266479
NH <sub>4</sub>	-0.56501713	-0.03203715
NT	-0.76002428	-0.384819
Índices Ecológicos		
	1	2
PPN	-0.1396572	0.21374646
CLA	-0.17512977	0.62985585
IM	-0.09805674	-0.10719151
IET	0.01694262	0.33810505
RELA C/Cl a	-0.06230925	-0.02741237
TRIX	-0.67040373	0.20520744
Coefficiente de correlación	0.9457951	0.6941029