



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
División Ciencias Biológicas y de la Salud
Doctorado en Ciencias Biológicas

TITULO

"Caracterización de lagunas costeras mexicanas a través de variables ecológicas seleccionadas"

Tesis que para obtener el grado de Doctor en Ciencias Biológicas

PRESENTA

Francisco Contreras Espinosa
Matrícula 94348913

Febrero de 2001

*El Doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma
Metropolitana está en el padrón de excelencia del CONACyT y
además cuenta con apoyo del mismo Consejo con el convenio*

PFP 200-93

El jurado designado por la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de las unidades Iztapalapa y Xochimilco aprobó la tesis que

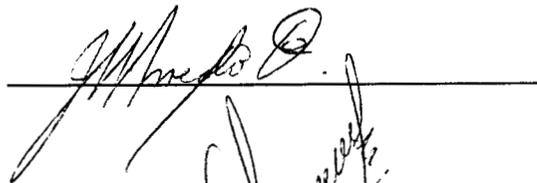
presentó:

Francisco Contreras Espinosa

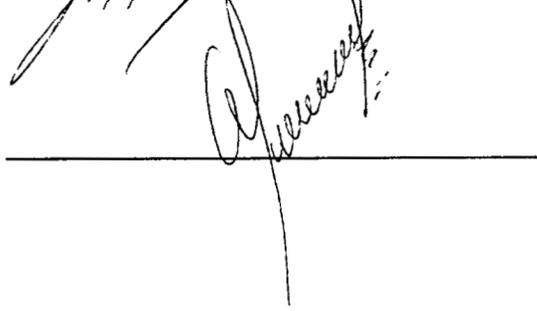
Febrero de 2001

Comité tutorial

*Dr. Jose Luis Arredondo Figueroa
Presidente*



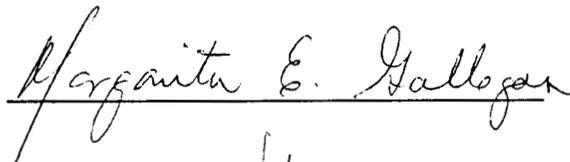
*Dr. Alfonso Vázquez Botello
Secretario*



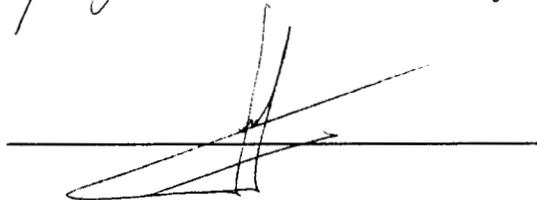
*Dr. Francisco Flores Verdugo
Vocal*



*Dra. Margarita Gallegos Martínez
Vocal*



*Dr. Francisco Gutiérrez Mendieta
Vocal.*



Indice

Introducción	1
1.1. Areas de estudio	6
1.2. Antecedentes	11
Laguna de Pueblo Viejo	11
Laguna de Tamiahua	12
Laguna de Tampamachoco.....	16
Laguna de Sontecomapan	19
Laguna de Corralero, Oax.	20
Sistema lagunar Carretas-Pereyra, Chis.	20
Sistema lagunar Chantuto-Panzacola.	21
1.3. Métodos	22
2. Resultados y discusiones	
2.1. Primera parte (a partir de 39 lagunas)	
2.1.1. <i>Parámetros abióticos</i>	26
2.1.2. <i>Nutrientes</i>	33
2.1.3. <i>Productividad primaria y clorofila a.</i>	43
2.2. Segunda parte (a partir de las siete lagunas seleccionadas)	
2.2.1. <i>Análisis estadístico con base en las variables</i>	50
2.2.2. <i>De las 15 variables originales</i>	50
2.2.3. <i>De las nueve variables seleccionadas</i>	52
2.2.4. <i>Análisis de las correlaciones para las siete lagunas seleccionadas</i>	56
2.2.5. <i>Análisis de componentes principales por cada laguna costera</i>	61
2.2.6. <i>Análisis por época climática</i>	69
2.2.7. <i>Variable por laguna</i>	72
2.2.8. <i>Análisis predictivos</i>	80
3. Conclusiones	82
4. Bibliografía	85
Agradecimientos	95

Resumen

Con base en los datos obtenidos en 39 lagunas costeras del país, se hizo el seguimiento de algunas variables para sugerir algún tipo de agrupamiento basado en una característica compartida y significativa. Así, para la salinidad y el oxígeno disuelto se sugieren algunas clasificaciones. Derivado de este planteamiento y con base en la información, se presentan los valores promedio (de 871 datos totales para cada parámetro), obtenidos de algunos nutrientes (Nitrógeno y fosfatos), clorofila *a* y productividad primaria fitoplanctónica, considerados como los usuales en estos ecosistemas.

Por las cantidades cuantificadas como normales de nutrientes en las lagunas costeras, sitúan a estos ecosistemas con tendencias a la eutrofia. Por otro lado, se deduce que el proceso de la productividad primaria fitoplanctónica es un fenómeno sumamente local y que está condicionado por factores biogeoquímicos de características igualmente locales.

De las 39 lagunas muestreadas se escogieron siete; del Golfo de México Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco y Sontecomapan, Ver. y del Pacífico Corralero, Oax., Carretas-Pereyra y Chantuto-Panzacola, Chis., con la condición que cumplieran la propiedad de que los muestreos se encontraran en un lapso no mayor a cinco años de antigüedad. Por otro lado, se seleccionaron las variables estadísticamente más significativas y que resultaron ser: la salinidad, la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, el nitrógeno total (N tot), los ortofosfatos (P-PO₄), la relación N:P, la clorofila *a* y la precipitación pluvial. Por las variables anteriores, se corrobora que el comportamiento básico de una laguna costera está sujeta a factores primordialmente externos, y que confirma la interpretación suficientemente demostrada de que un ecosistema estuarino es un efecto hidrológico con importantes subsidios externos.

Al aplicar el método de análisis de correlaciones, éste resultó muy significativo para interpretar algunos procesos hidrológicos a nivel particular, esto es, cuando es realizado para cada laguna. Sin embargo, en dicho análisis pero llevado a cabo para ubicar alguna variable que tuviera representación en todas las lagunas, destacó la precipitación pluvial.

De las variables que resultaron ser más significativas en todos los análisis estadísticos realizados y que fueron los más importantes para la interpretación, resalta la variación climática estacional, esto es, las épocas de lluvias y secas, manifestando una influencia dominante en el comportamiento hidrológico y por lo tanto ecológico lagunar.

Finalmente, todo parece indicar que un modelo predictivo y para las lagunas tomadas como ejemplo resulta poco confiable, a pesar de la cantidad de datos manejados en este estudio, por lo que se demuestra, una vez más, la compleja variabilidad y heterogeneidad de las lagunas costeras, lo que justifica que las decisiones para su conservación, uso y manejo requieren de estudios y monitoreos continuos en tiempo y espacio y que en ningún momento deben obviarse, las características propias de cada uno de estos importantes ecosistemas.

Introducción

La zona costera del mundo, a pesar de jugar un preponderante papel en el ciclo de materiales y energía, está siendo severamente alterada. Diversos organismos internacionales, han puesto especial énfasis en la colaboración regional para solucionar los problemas más apremiantes que amenazan con la modificación irreversible de estas áreas, con las consecuentes alteraciones del medio natural, que traerá cambios considerables tanto en el contexto socioeconómico, como en los balances naturales de energía. Por otro lado, la importancia de los ecosistemas costeros en nuestro país no ha sido jerarquizada en su justa dimensión; lo anterior debido al desconocimiento de las características básicas, que los hacen especialmente importantes por el volumen de carbono fijado en sus procesos ecológicos peculiares.

Entre los atributos naturales que México posee, destacan sus amplios litorales y los variados y ricos ecosistemas costeros que en ellos se encuentran: bahías, ensenadas, lagunas costeras, estuarios, pantanos, marismas y manglares, entre otros. De los anteriores sobresalen, por su número y extensión las lagunas costeras. Las lagunas son ecosistemas costeros que están distribuidos a lo largo de ambos litorales y que varían en su extensión. Tradicionalmente han sido lugares de pesca intensiva, aunque artesanal; medio de vida de miles de pescadores y sus familias; proveedores de las principales especies de mariscos que se consumen en la República Mexicana como el ostión, camarón, mojarra, jaiba, robalo, almeja, langostino, entre los más conocidos, y hábitat de muchas especies de plantas y animales, lo que las sitúa como sitios de una significativa importancia por su biodiversidad (Contreras *et al.*, 1998).

Los ecosistemas acuáticos, por pequeños que estos sean, mantienen una vida particular en su interior y generalmente, son sitios donde la **biodiversidad** asociada es un atributo muy importante. La región y localidad que rodea a los humedales siempre reflejará la influencia de éste, debido a que son sitios de anidación de aves, alimentación de depredadores, protección, alevinaje y reproducción de peces, vida de reptiles y estaciones en rutas de aves migratorias.

Como se mencionó anteriormente, las lagunas costeras conforman áreas con una elevada productividad. Por productividad debemos entender el proceso por el cual un ecosistema utiliza la energía inicial (la luz), la transforma y recicla para optimizar tanto el ciclo de la materia como el de la vida de los organismos que lo habitan. El primero y fundamental paso en estas cadenas es la **productividad primaria**, que constituye la columna vertebral de todos los ecosistemas naturales. En la medida en que ésta se lleve a cabo, la transferencia de energía a los subsecuentes niveles tróficos (crustáceos, moluscos y peces) será mayor. De la misma forma, la cantidad y variedad de individuos de estas comunidades se incrementará. Sin embargo, no toda la energía es utilizada dentro de los sistemas y gran parte de ella (cerca del 70 u 80 %), se "pierde" al exterior. Al tener fuertes subsidios externos (vientos, mareas, oleaje, aportes de materia orgánica, etc.), en los sistemas estuarinos la energía no utilizada es de las mayores registradas para ecosistemas naturales; de aquí que, sean considerados como poseedores de una significativa riqueza potencial.

Las lagunas costeras son muy importantes por varias razones, de las que sobresalen las siguientes:

- Son áreas utilizadas comúnmente para protección, alimentación y reproducción de muchos organismos marinos, por lo que gran número de pesquerías litorales dependen de la conservación de estos ecosistemas. Por ejemplo, la mayoría de las especies de camarón.
- En su gran mayoría son sistemas ecológicos en donde existe una sobretasa de energía, lo que los convierte en recursos potenciales. Por ejemplo, efectuar una acuicultura bien planificada.
- Por sus características hidrológicas y ecológicas, son áreas con hábitats ricos y que además manifiestan variaciones estacionales significativas. Esto reviste una gran importancia desde la perspectiva de la investigación científica y de la conservación de la biodiversidad.

Tradicionalmente, la principal actividad en las lagunas costeras es la pesca; de ella depende directamente un gran número de pescadores y sus familias, e indirectamente un sector importante de comerciantes y distribuidores. El promedio de la captura nacional para el período 1988-1997 es de 1' 386,437 toneladas de peso vivo, sólo en los estados costeros. La pesca es, en todas las lagunas costeras, de características artesanales y es realizada por gente que ha continuado esta tradición por generaciones. A pesar de que han existido ambiciosos proyectos para apoyar esta actividad, lo cierto es que los pescadores siguen siendo uno de los sectores más desprotegidos del país. Sin embargo, esta tradicional actividad ha seguido aportando sus capturas que significan un elevado porcentaje de la pesca total en nuestro país. Con base en el promedio de la pesca total nacional en términos de volumen entre 1988-1998, el 36.8% proviene del atún y la sardina (515,744 de 1'386,437 tons); por lo que excluyendo a estas importantes pesquerías restan 870,629 toneladas que son la suma de las especies dulceacuícolas (44,762) y las costeras (825,930); por lo que el significado porcentual de los organismos litorales se **incrementa a un 94.8%**. Por ejemplo, el camarón capturado en estos sistemas representa el 37.6 % del total nacional con 24,413 toneladas. Según el Anuario estadístico de SEMARNAP (1998), de la pesca y sus actividades asociadas vive una población de de 258, 850 personas destacando Sinaloa con 35,107 y Veracruz con 31,754.

La República Mexicana está rodeada por una línea litoral de 11,600 kilómetros, de los cuales un 1'567,000 hectáreas están cubiertas por superficies estuáricas (Tabla I). El Pacífico posee 892,800 y el Golfo de México 674,500 (INEGI, 1984). Las aguas estuáricas se definen como aquellas superficies acuáticas, en donde se lleva a cabo una mezcla entre agua proveniente del continente y la oceánica por medio del fenómeno mareal (Contreras, 1994).

Para una cuantificación de las lagunas costeras cabe hacer notar que Lankford (1977), reportó en su trabajo un total de 124 en todo el país, 48 en el Pacífico, 36 en el Mar de Cortés, 36 en el Golfo de México y 8 en el Mar Caribe, este autor en su inventario incluye bahías, ensenadas y lagunas arrecifales. Un reciente seguimiento realizado indica que en el país hay 118 grandes sistemas lagunares que incluyen a un total de 538 cuerpos acuáticos asociados a éstos e incluyen bahías, ensenadas, lagunas, esteros, rías, pampas y marismas; 80 localizados en el Pacífico (conformados por 364 cuerpos de menor magnitud) y 38 del lado Atlántico, con 165 pequeños componentes (ver figura 1.1). Todos presentan diferencias en su comportamiento, extensión, productividad y propiedades ecológicas lo que les confiere, además una especial particularidad.

TABLA 1.1. EXTENSIÓN LITORAL Y SUPERFICIES ESTUARINAS DE MÉXICO (INEGI, 1984).

	Cordón litoral (km)	Sup. estuárica (Ha)		
PACÍFICO			GOLFO DE MÉXICO	
B. C. N.	1,555.23	74,800	Tamaulipas	457.72 231,200
B. C. S.	2,705.39	224,000	Veracruz	745.14 116,600
Sonora	1,207.81	51,700	Tabasco	183.86 29,800
Sinaloa	640.17	221,600	Campeche	523.30 196,000
Nayarit	300.41	92,400	Yucatán	342.47 13,600
Jalisco	341.93	3,200	Q. Roo	865.22 87,300
Colima	139.22	8,200	Total Golfo	3,117.71 674,500
Michoacán	246.76	500		
Guerrero	484.94	22,700		
Oaxaca	597.51	106,900		
Chiapas	255.69	87,000		
Total Pacífico	8,475.06	892,800		

Una **laguna costera** se define como "un cuerpo acuático semicerrado y situado por debajo del nivel máximo de las mareas más altas, separado del mar por algún tipo de barrera y con el eje mayor paralelo a la línea de costa" (Lankford,1977). Además, la comunicación con el mar puede ser

permanente o efímera y son el **resultado** del encuentro entre dos masas de agua de diferentes características. Lo anterior es causa de fenómenos peculiares en su comportamiento físico, químico y biológico, con las consecuentes pautas ecológicas de entre las que destacan su elevada productividad y su capacidad de reciclamiento de nutrientes por procesos biogeoquímicos.

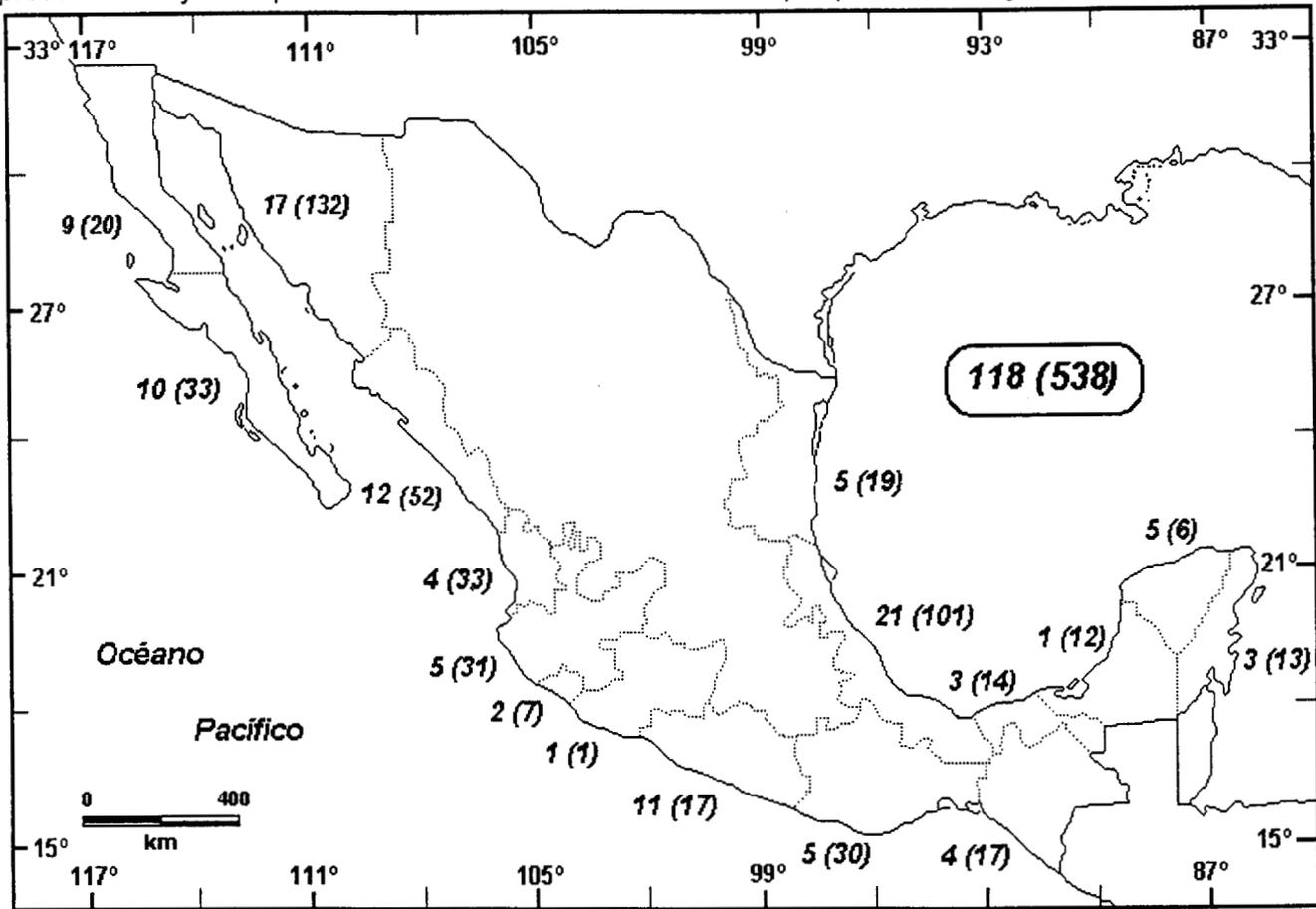


Figura 1.1 Ecosistemas costeros en México.

Los ecosistemas costeros se dividen en cuatro grandes grupos:

- los **oligohalinos**, dominados por los escurrimientos dulceacuícolas como los pantanos, ciénegas y ciertos tipos de esteros, que se localizan principalmente en zonas asociadas a caudales importantes, por lo que la mayoría se ubican en la parte sur de México. Las áreas más conocidas son los pantanos de Centla, en Tabasco; El Huayate y la Cantileña, en Chiapas, y ciertas áreas asociadas a la laguna de Alvarado con el río Papaloapan en Veracruz y de la laguna de Términos y el río Palizada en Campeche.
- los **estuarinos**, cuyo ejemplo son las lagunas costeras y que son el resultado de la mezcla de los dos tipos de agua: la proveniente de los ríos y el mar, ubicados en gran parte del litoral nacional. Sobresalen por sus dimensiones y productividad las lagunas de: Escuinapa y Yávaros, en Sonora; Huizache-Caimanero, en Sinaloa; Agua Brava-Teacapán, en Nayarit; Superior e Inferior, en Oaxaca; Mar Muerto, en el límite entre Oaxaca y Chiapas; Madre, en Tamaulipas; Tamiahua, Mandinga, Alvarado y Sontecomapan, en Veracruz; Carmen-Machona y Mecoacán, en Tabasco; Términos, en Campeche y Celestún, en Yucatán.
- los **eurihalinos** dominados principalmente por la influencia marina por ejemplo, las bahías, ensenadas y roquetas. Su mayor incidencia se da en zonas con escasos o nulos escurrimientos de agua dulce y/o climas áridos, como en las penínsulas de Baja California y Yucatán, Sonora y parte de Oaxaca. Destacan por su extensión las bahías de Todos Santos y San Quintín, en Baja California; Vizcaíno, San Ignacio, Magdalena-Almejas, La Paz y Concepción, en Baja California Sur; Adair,

Guaymas y Lobos, en Sonora; Mazatlán, en Sinaloa; Manzanillo, en Colima; Acapulco, en Guerrero; Huatulco, en Oaxaca; Sian Ka'an, Espíritu Santo y Chetumal, en Quintana Roo.

d) los **hiperhalinos**, son escasos en el país consideradas como marismas con comunidades de plantas halófitas donde domina *Batis maritima* asociada a *Suaeda nigra*, *Spartina alterniflora*, *Spartina patens*, *Juncus gerardi*, *J. roemerianus*, *Puccinellia maritima*, *Distichlis spicata*. Se presentan en climas áridos y secos principalmente hacia el norte del país, en la parte norte y central del Pacífico en los estados de Colima, Sinaloa y Sonora.

La investigación científica de las lagunas costeras se ha desarrollado desde varios enfoques y la riqueza de información es una prueba de ello. Actualmente hay cerca de 5,300 referencias bibliográficas en prácticamente todos los temas de estudio en estos importantes ecosistemas (Castañeda y Contreras, 1993, 1994a, 1994b, 1994c, 1995a, 1995b, 1997, 1999). Analizando la gran cantidad de información, se deduce que ésta es la muestra de la heterogeneidad de disciplinas que se aplican en el conocimiento de las lagunas costeras.

La marcada variabilidad en el comportamiento hidrológico y por lo tanto ecológico, es también una de las características fundamentales de las lagunas costeras, condicionada principalmente por factores de tipo abiótico, esto es en principio, como un efecto de la influencia de dos masas de agua la marea por un lado y por el otro, el insumo de agua dulce proveniente de los ríos, las lluvias y los aportes subterráneos que lo alimentan regularmente. El aporte regular de agua dulce por parte de los ríos es la fuente principal de nutrientes al sistema (principalmente formas de nitrógeno y fósforo), quienes junto con la luz y el CO₂, constituyen las causas primordiales de la elevada productividad primaria que caracteriza a estos sistemas acuáticos (Postma, 1969, Lickens, 1972, Head, 1976, Barnes, 1980, Nixon, 1980; 1981). La productividad primaria en lagunas costeras, en la mayoría de los casos, está generada por tres fuentes: el fitoplancton, el microfitorobentos y la presencia de vegetación acuática, ya sea de origen dulceacuícola o marina (Verduin, 1956; Russell, 1970; Margalef, 1974, Goldman, 1974; Berman y Pollinger, 1974; Vollenweider, 1969; Martens, 1982, entre otros).

Lo anterior resalta la importancia del papel que ha tenido la determinación de la cantidad de nutrientes en el sistema, así como el estudio de su procedencia, reciclamiento y peso específico en los procesos productivos primarios (Klump y Martens, 1981; Hargrave y Conolly, 1978). Actualmente se tiene suficiente información acerca de la cantidad y variabilidad diaria, mensual y estacional de las formas nutritivas en un gran número de lagunas costeras mexicanas (Contreras, 1991, Contreras *et al.*, 1996). En estos ecosistemas (a excepción de algunos ecosistemas del Caribe y la Península de Baja California), se ha comprobado que prácticamente no existe limitación por parte de los nutrientes y que es su relativo exceso, una característica que los coloca como sistemas acuáticos con francas tendencias a la eutroficación (Mee, 1977, Contreras, 1994).

En nuestro país, los inicios de la investigación sobre la determinación de las cantidades de nutrientes se ubica en la década de los sesenta, con los estudios realizados en los estados de Sonora y Sinaloa por la UNAM con el proyecto "Plan Piloto Escuinapa-Yávaros" en los años de 1969-1970; posteriormente los iniciados en el CICESE hacia el año de 1974, en el estero de Punta Banda, B.C. y los de la UNAM (1974), en el estado de Guerrero y quienes desde perspectivas diferentes, contribuyeron a fundamentar la necesidad de este tipo de información. A partir de los anteriores trabajos se logró establecer las diferencias que existen entre los sistemas ubicados en nuestro país (latitudes sub-tropicales y tropicales) con los situados en regiones templadas, quienes habían sido los modelos teóricos a seguir. Una de las primeras publicaciones en donde se presenta el ciclo espacio-temporal de estos parámetros, fué la de Botello (1978), en la laguna de Términos, Camp., basado en un muestreo anual en 1974.

La medición de la productividad primaria, principalmente fitoplanctónica, se inicia posteriormente a la de los nutrientes. Sobre este tema el primer trabajo fué el de Copeland y Jones (1965) en la laguna Madre del estado de Tamaulipas, le sigue el de la laguna de Tastiota en Sonora (Nichols, 1966) y

posteriormente Margalef (1969) en la laguna de Alvarado, Ver. En nuestro país, los primeros datos sobre la cuantificación de clorofila *a*, se realizaron en el litoral veracruzano como parte de los trabajos oceanográficos dirigidos por Suarez-Caabro, en los años 1963-1964 (de la Lanza, 1965). En sistemas estuarinos los trabajos pioneros provienen de la laguna de Alvarado en Veracruz (Villalobos *et al.*, 1969).

Desde una perspectiva internacional, en la literatura científica se han expuesto diferentes clasificaciones de ecosistemas costeros, como la geológica, (Lankford, 1977); la funcional (Odum y Copeland, 1974); la ecológica (Clark, 1974, Snedaker y Getter, 1985); la de sensibilidad a los impactos (Comisión Permanente del Pacífico, 1984); la trófica derivada de la Limnología, (Kerekes, 1982, 1983; Vollenweider, 1982; Carlson, 1977; Lickens, 1972), lo que ha contribuido a un avance sustancial y sistemático en el conocimiento sobre las lagunas costeras mexicanas.

El ordenar y pretender clasificar las lagunas costeras con diferentes fines ha sido una meta del laboratorio de Ecosistemas Costeros, y con base en la experiencia personal de haber dirigido investigaciones en 39 ecosistemas en ambos litorales, se han formulado algunas generalizaciones que se han expuesto principalmente con fines docentes, que además, han sido presentadas en varias reuniones de carácter académico. Las clasificaciones comprenden la integración de parámetros ambientales del agua como, la salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, amonio, nitrógeno de nitratos más nitritos, nitrógeno total inorgánico, fosfatos, fósforo orgánico, fósforo total, clorofila *a* y productividad primaria fitoplanctónica. La información que se posee de las 39 lagunas, abarca estudios anuales de cada una de ellas, por lo que las consideraciones y resultados están avalados en espacio y tiempo. En este aspecto, los resultados obtenidos de los ciclos particulares de las lagunas han sido publicados en revistas especializadas (Contreras, 1981; 1983; 1985; 1991; 1994).

Por lo anteriormente expresado, esta tesis tiene los siguientes:

Objetivos

- Tomando como base el comportamiento hidrológico general de las lagunas costeras y con la información obtenida, determinar y analizar las características compartidas más comunes.
- Clasificar a las lagunas costeras para establecer agrupamientos basados en los límites característicos de cada parámetro.
- Determinar los atributos que son estadísticamente más significativos.
- Cuantificar las correlaciones entre parámetros, por cada laguna y por estación climática.
- Cuantificar por medio del análisis de componentes principales el peso proporcional de los factores claves por parámetro, por laguna y por estación climática
- Con base en lo anterior, probar si es posible predecir el comportamiento hidrológico de una laguna.

Hipótesis

Considerando que algunos parámetros hidrológicos son claves en el comportamiento ecológico de una laguna costera, el análisis estadístico de los factores más significativos mostrarán una relación que permitirá predecir este comportamiento.

1.1. Areas de estudio

El presente estudio está basado en el análisis de siete lagunas costeras de nuestro país, cuatro de ellas situadas en el Golfo de México (Lagunas de Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco y Sontecomapan en el estado de Veracruz) y tres en el Pacífico sur (Laguna de Corralero en Oaxaca, y los sistemas Carretas-Pareyra y Chantuto-Panzacola en Chiapas). (Figuras de 1.1 a 1.7).

Laguna de Pueblo Viejo, Ver.

Se encuentra ubicada entre los paralelos $22^{\circ} 05'$ y $22^{\circ} 13'$ de latitud norte y los meridianos $97^{\circ} 50'$ y $97^{\circ} 57'$ de longitud oeste. Al norte limita con el río Pánuco, con el cual se comunica mediante un canal situado en su parte noreste; al este limita con Ciudad Cuauhtémoc y Tampico Alto. Posee una extensión de 930 Ha. Con respecto al clima de esta y el resto de las lagunas de este estudio, todas pertenecen al tipo general Aw (caliente subhúmedo con lluvias en verano), con algunas variaciones locales con respecto a especificaciones de su período lluvioso (García, 1987).

Origen: **Tipo II-B.** Sedimentación terrígena diferencial. Lagunas costeras asociadas con sistemas deltáicos fluviales producidos por sedimentación irregular o subsidencias de superficie que causa la compactación de los efectos de carga. Se formaron y algunas lagunas en particular se han modificado durante los últimos 5 mil años; las otras son muy jóvenes geológicamente (cientos de años). Se forman rápidamente barreras arenosas, que envuelven depresiones marginales o intradeltáicas muy someras; deltas de insumo de sedimentos bajos que pueden ser someros y frecuentemente efímeros y lagunas elongadas entre montículos de playa, son frecuentes a lo largo de los planos deltáicos de las regiones ubicadas en el Golfo de México. **B.** Depresión deltáica con barrera. Barreras de varios tipos; lodo, arena y manglares. Esgurrimientos usualmente directos a partir de ríos y tributarios; ocurren lentas modificaciones de forma y batimetría, aunque algunas llegan a ser rápidas; energía típicamente muy baja, excepto en los canales, la salinidad es muy baja, pero puede variar con la descarga de los ríos (Lankford, 1977).

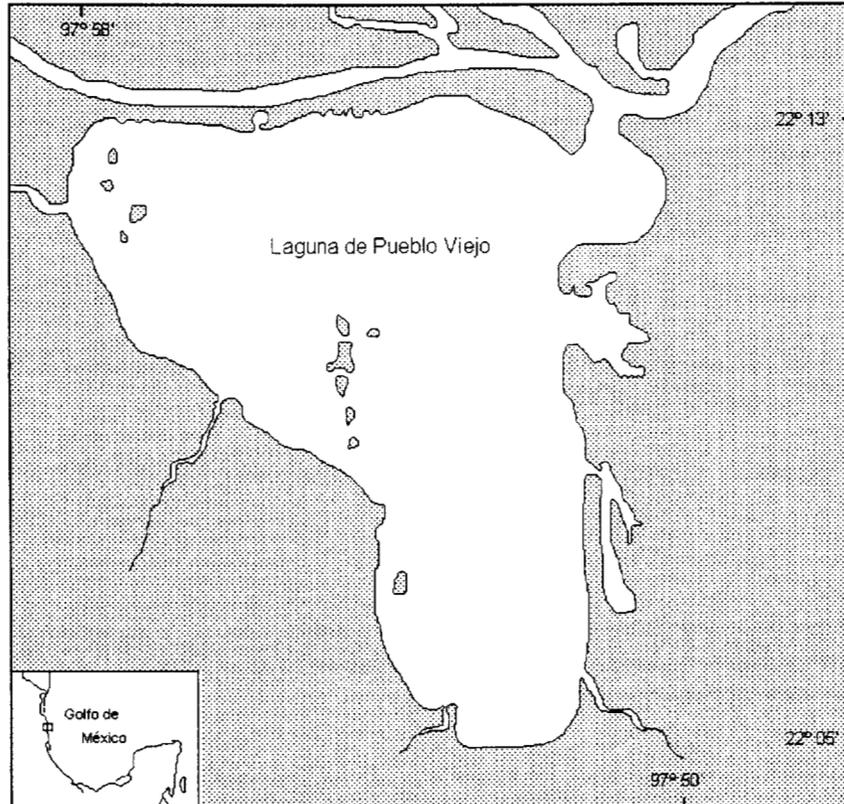


Figura 1.2. Laguna de Pueblo Viejo, Ver.

Laguna de Tamiahua, Ver.

La laguna se encuentra entre las coordenadas 21° 06' de latitud norte y los 97° 23' y 97° 46' de longitud oeste; la limitan al norte el río Pánuco y al sur el río Tuxpan y cubre una extensión de 88,000 Ha.

Origen: **Tipo III-B.** Plataforma de barrera interna. 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. Batimétricamente son típicamente muy someros, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos; se presenta sedimentación terrígena. Laguna costera típica para muchos autores, aparece a lo largo de planicies costeras de bajo relieve con energía de intermedia a alta.

B. Lagunas Cuspadas. Barreras arenosas de orientación triangular, con ejes orientados hacia afuera de la playa con relación a la difracción del oleaje (islas, arrecifes, bancos) o promontorios rocosos; escurrimientos ausentes o muy localizados; forma y batimetría modificadas; energía típicamente baja, excepto en los canales de marea y durante condiciones de tormenta; salinidad variable que depende de las zonas climáticas (Lankford, 1977).

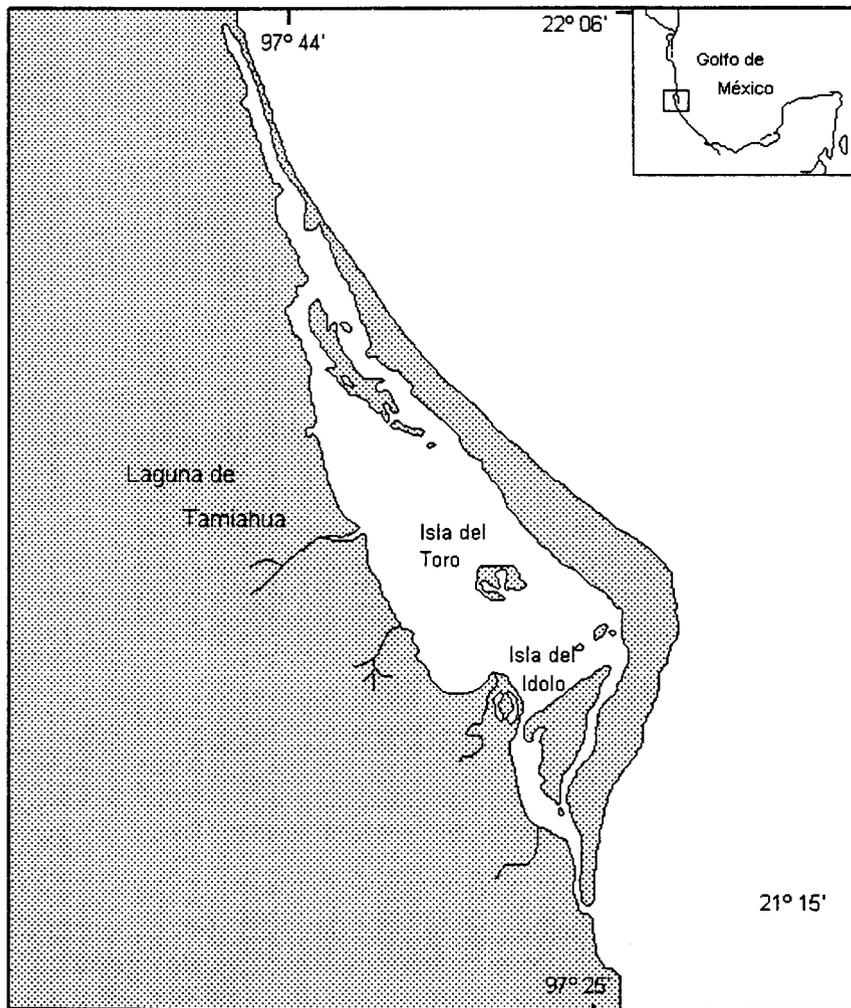


Figura 1.3.- Laguna de Tamiahua, Ver.

Laguna de Tampamachoco, Ver.

Localización: Entre los 20° 18' y 21° 02' de latitud norte y los 97° 19' y 97° 22' de longitud oeste, con una extensión de 1,500 Ha.

Su origen geológico es del tipo II-B (Lankford, 1977). Ver laguna de Pueblo Viejo.

El río Tuxpan se forma al unirse el Vinazco con el Pantepec, ríos que bajan de la Sierra Madre Oriental. Corre de oeste a este por la llanura costera del Golfo de México; recibe por el sur los arroyos de Mequetla y de Cañas; por el norte al río Buenavista que viene de la Sierra de Otontepec, al arroyo Hondo y las aguas de la laguna de Tampamachoco. Desemboca en el Golfo de México formando la barra de Tuxpan. Navegable en 67 km.

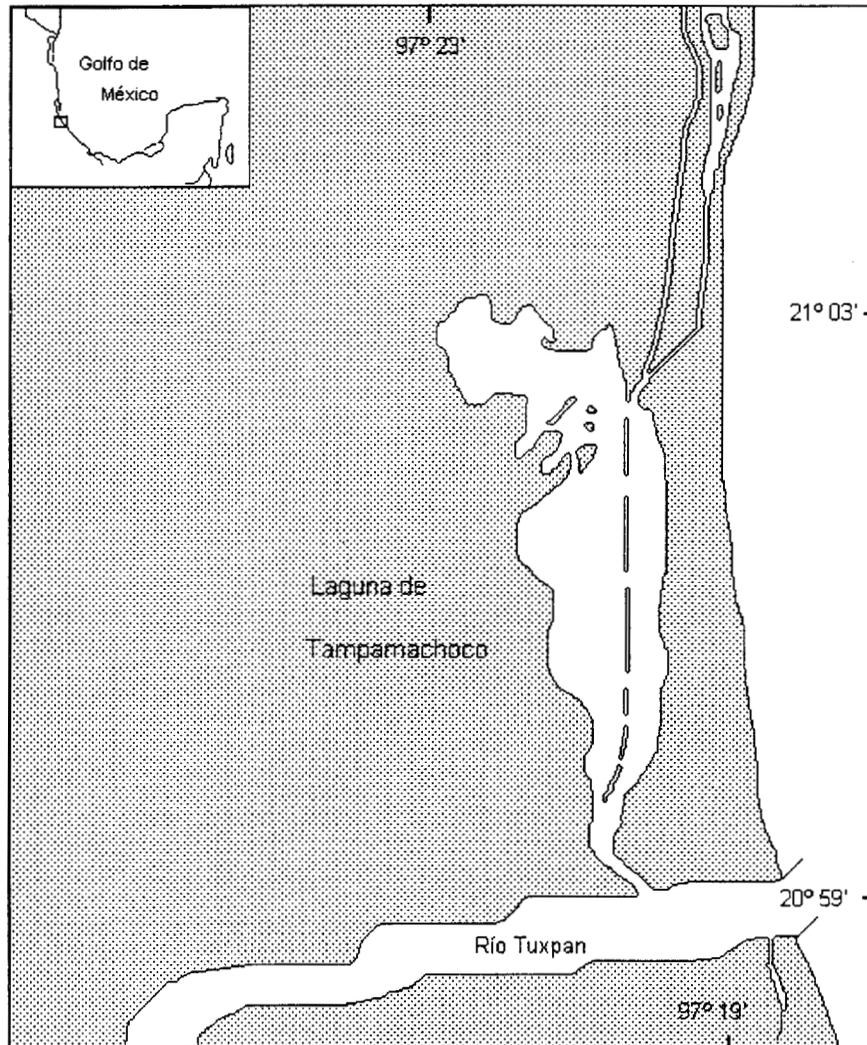


Figura 1.4.- Laguna de Tampamachoco, Ver.

Laguna de Sontecomapan, Ver.

Se localiza en los 18° 30' y 18° 34' de latitud norte, 95° 00' y 95° 04' de longitud oeste. El sistema lagunar se divide en varias zonas: la barra que comprende desde la playa a Roca Morro; el canal "El Real", que abarca la zona del río La Palma y termina en un canal que se abre y conforma en su mayoría la laguna con una profundidad promedio de 1.50 m. Esta se divide parcialmente en tres zonas, debido a dos deltas formados por el río Coscoapan. Posee 891 Ha. de extensión.

Origen: Tipo V-B. Tectónicas. Depresiones y barreras producidas por fallas, levantamientos o vulcanismos en áreas costeras en el pasado geológico, independientemente de la historia del nivel

del mar. Formas variables, desde elongadas ovales hasta altamente irregulares; batimetría variable desde somera hasta profunda, a menudo irregular. Presentes en costas de alto relieve.

B. Laguna volcánica. Depresión y barrera formadas por flujos de lava independientemente de la historia del nivel del mar; pueden ser muy jóvenes; escurrimientos presentes o ausentes; forma y batimetría altamente variables o someras, modificadas por escurrimientos, acción mareal o vulcanismo subsecuente, salinidad variable, según las condiciones climáticas (Lankford, 1977).

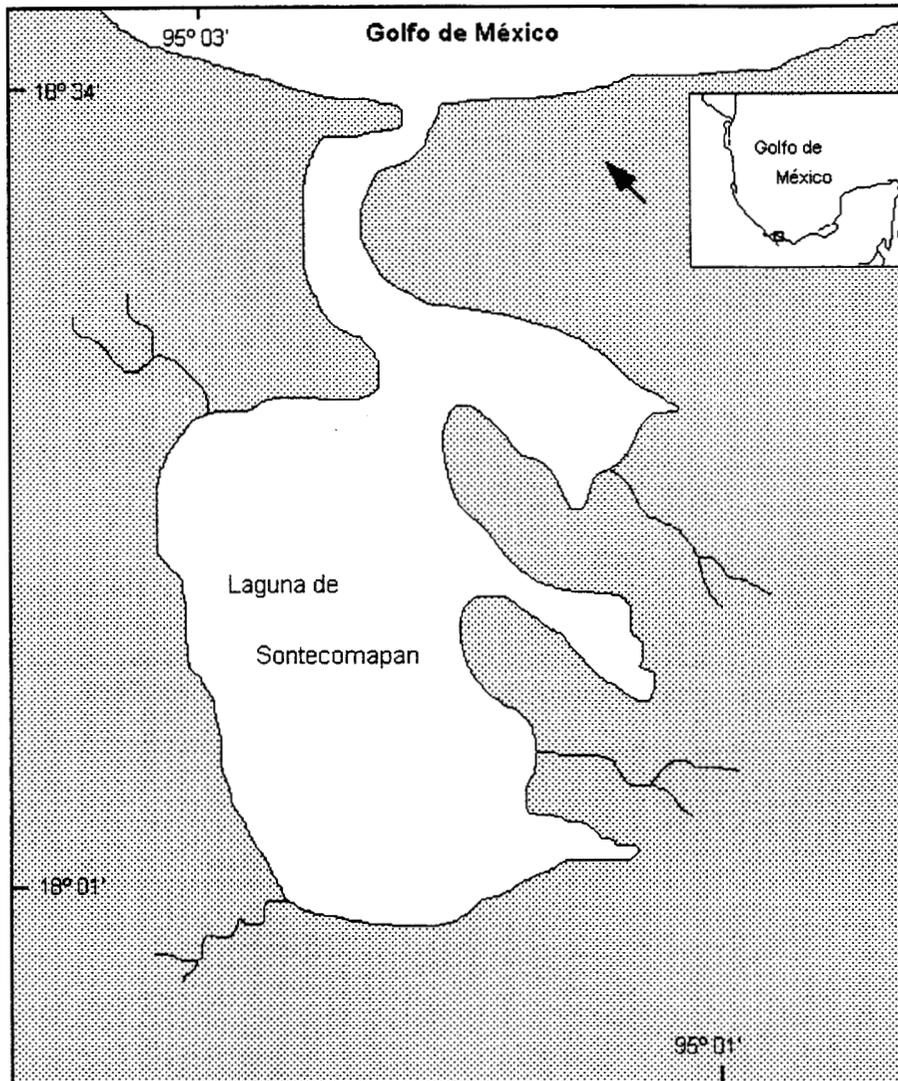


Figura 1.5.- Laguna de Sontecomapan, Ver.

Laguna de Corralero, Oax.

Localizada entre los 98° 12' y 98° 05' de longitud oeste y los 16° 11' y 16° 15' de latitud norte. Con una extensión de 3,158 Ha.

Origen: Tipo III-A. Plataforma de barrera interna. 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. Son muy someros, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos; se localiza sedimentación terrígena. Laguna costera típica para muchos autores, aparece a lo largo de planicies costeras de bajo relieve con energía de intermedia a alta. A. Barrera de Gilbert Beaumont. 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 (Lankford, 1977).

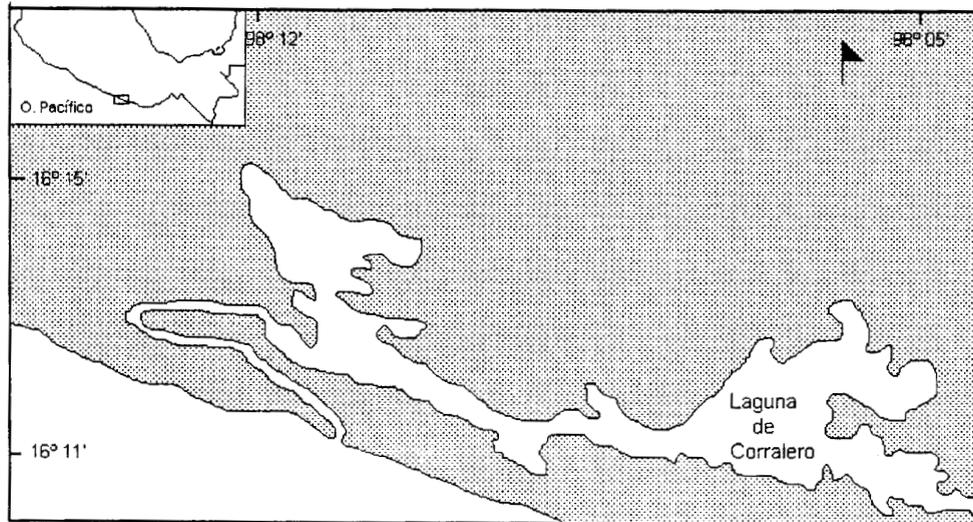


Figura 1.6.- Laguna de Corralero, Oax.

Sistema lagunar Carretas-Pereyra, Chis.

Se localiza entre los 93° 06' y 93° 15' de latitud norte y entre los 15° 23' y 15° 32' de longitud oeste. está conformado por varios cuerpos acuáticos someros que llevan el nombre de Pereyra, Carretas, Bobo y Buenavista y un cordón estuarino conocido como el Palmarcito. Posee una extensión total de 3,696 Ha. Tiene el mismo origen que la laguna de Corralero esto es, del tipo III-A.

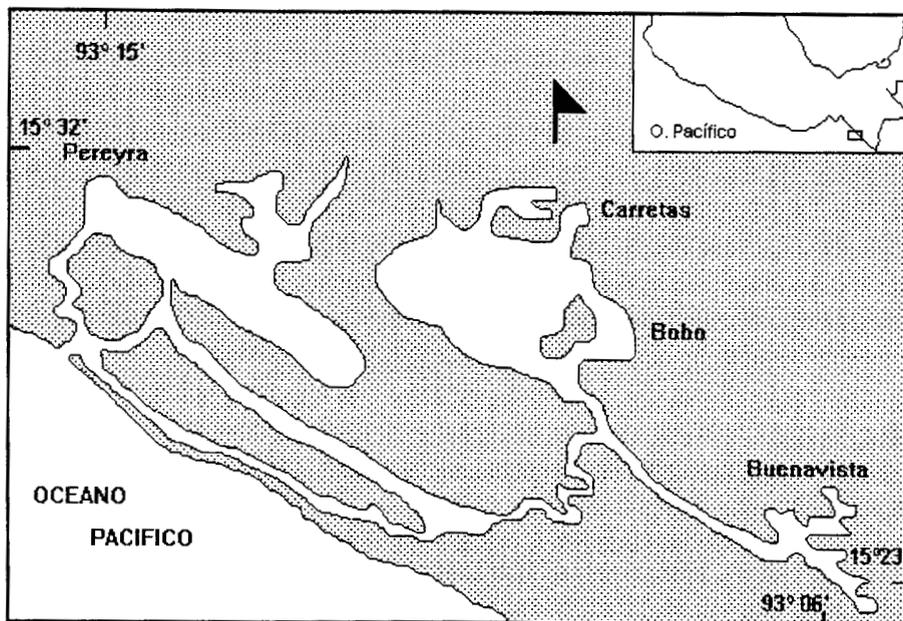


Figura 1.7.- Sistema lagunar Carretas-Pereyra, Chis.

Sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chis.

Entre los 92° 45' y 92° 55' de latitud norte y los 15° 09' y 15° 17' de longitud oeste. Está conformada por cinco lagunas principales (Chantuto, Campón, Teculapa, Cerritos y Panzacola), una boca de comunicación con el mar conocida como San Juan y un largo cordón estuárico paralelo a la barrera arenosa llamado El Huayate y una extensión total de 18 000 Ha. Tiene el mismo origen que la laguna de Corralero esto es, del tipo III-A.

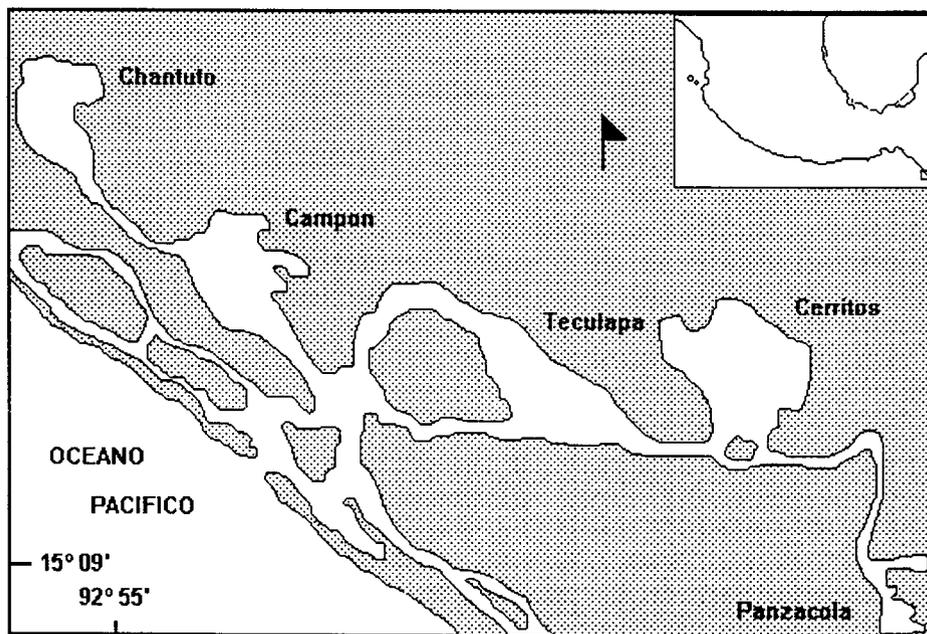


Figura 1.7.- Sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chis.

1.2. Antecedentes

Laguna de Pueblo Viejo, Ver.

La vegetación natural circundante de la zona correspondería a la de selva baja caducifolia; sin embargo, ésta ha sido eliminada en un gran porcentaje, y predominan en la actualidad los matorrales y pastos. En las zonas de inundación perenne habitan las comunidades hidrófilas, compuestas principalmente por mangle y en menor grado por tule (*Thypha* sp.). En la laguna existen tres especies de manglar, hacia la parte norte hay *Rhizophora mangle* (1%), *Laguncularia racemosa* (5%), *Avicennia germinans* (94%), en la parte oeste hay 16% de *R. mangle*, 29% de *L. racemosa* y 55% de *A. germinans*. En la parte posterior al manglar está constituida por matorral espinoso (*Acacia farnesiana*), *Mimosa* sp., *Prosopis laevigata*, *Acacia cornigera*, *Pithecellobium pallens* y *Parkinsonia aculeata* (Castillo, 1995). Al grupo pasto-matorral pertenecen especies de tendencia halófila y xerófilas, las cuales crecen tanto en áreas perturbadas como en la llanura aluvial en la margen del río Pánuco sobre el cordón litoral y rodean a la laguna en zonas indemnes, por ejemplo litorales. En ambos casos la vegetación se compone de matorrales, pastizales y algunas herbáceas con disposición heterogénea sobre el terreno. Entre las especies, predominan leguminosas inermes y espinosas, así como gramíneas de los géneros *Polypogon* sp. (cola de conejo), *Avena* sp. (avena cimarrona), *Andropogon* sp., *Sporobolus* sp. y también algunas especies herbáceas mezcladas, cuya presencia no es constante. Con respecto a la vegetación sumergida está compuesta principalmente por *Ruppia maritima*.

Entre los géneros más representativos del fitoplancton se hallan *Tribonema*, *Navicula*, *Rhizosolenia*, *Pediastrum*, y *Chaetoceros*. En otro trabajo se identificaron 210 especies de diatomeas, de las que *Coscinodiscus granii*, *Melosira granulata*, *Terpsinoe musica*, *Synedra ulna*, *Nitzschia paradoxa* y

Grammatopohora marina representan en promedios relativos, el 60% de las diatomeas observadas (Sánchez Hidalgo, 1989). El análisis realizado de productividad primaria neta reveló un estado trófico medio, pues sus valores promedio fueron de 95.26 mgC/m³/hr (Castillo, 1983).

El zooplancton de la laguna está pobremente estudiado, la escasas referencias hacen mención de la presencia de larvas de nauplio, copépodos y balanos, larvas de pelecípodos y copépodos diversos, entre otros (Castañeda y Contreras, 1995b).

En un estudio realizado para conocer la malacofauna béntica, se revisaron 15,564 ejemplares, recolectados en 22 localidades de muestreo, encontrando una comunidad constituida por 35 especies de las Clases Gastropoda y Bivalvia, con una diversidad promedio de 1.85 bits/individuo y en donde los cambios en los valores de este índice se explicaron en mayor medida por las variaciones en la equitatividad. Las poblaciones de gasterópodos que habitan esta laguna son en su mayoría epifaunales, colectoras de depósito; en tanto que los bivalvos son principalmente infaunales y se nutren de partículas suspendidas en columna de agua. Por otra parte, la presencia de especies comunes entre las distintas estaciones de muestreo, se manifiestan en un porcentaje promedio de similitud, equivalente al 60% para el total de los moluscos (Reguero y García-Cubas, 1992). Un trabajo llevado a cabo en jaibas reveló que el reclutamiento de las hembras juveniles sexualmente maduras se produce desde antes de abril a septiembre para *Callinectes rathbunae* y fines de mayo a después de septiembre para *C. Sapidus* (Reyes, 1989).

De la ictiofauna se colectaron un total de 9,568 individuos, que corresponden a 67 especies y 31 familias. Las especies de mayor dominancia capturadas por medio de chinchorro fueron: *Bairdiella chrysoura*, *Anchoa mitchilli*, *Cathorops melanopus*, *Mugil curema* y *Opsanus beta*, mientras que con red agallera fueron: *Mugil curema*, *Brevoortia patronus*, *Ariopsis felis*, *Bairdiella ronchus* y *Dorosoma cepedianum*. Estas 5 especies presentaron más del 66% en número y del 63% en peso, de la captura total. (Castillo *et al*, 1992; Castillo, 1995). Una de las familias más numerosas dentro de la ictiofauna de la laguna, es la de los Gobiidae (incluyendo Eleotridae). Mediante muestreos mensuales durante un ciclo anual en varias localidades del sistema lagunar, se reconoce a *Gobionellus hastatus* como la especie de góbido más ampliamente distribuida (Kobelkowsky y Zúñiga, 1992).

La laguna de Pueblo Viejo fué un importante centro ostionero y junto con las lagunas de Tamiahua y Tampamachoco, llegaron a representar el 70% de la captura de este molusco a nivel nacional. Esta laguna ha resentido la influencia del río Pánuco y de los desechos industriales y domésticos que acarrear sus aguas, impactando de tal manera que la producción de ostión descendió considerablemente. Por otro lado, presenta signos de eutroficación, esto es, de sobresaturación de algunos nutrientes que ocasiona alteraciones significativas para la biota lagunar. Además de lo anterior, se detectan problemas de azolvamiento. De hecho la contaminación ha cancelado algunos proyectos viables de ostricultura, disciplina que cuenta numerosos trabajos realizados en esta zona. Las pesquerías que sobreviven actualmente son las de Ostión, camarón, jaiba y escama en general (Contreras, 1993).

Existen 71 referencias bibliográficas hasta la fecha en el Centro de Documentación sobre Ecosistemas Litorales (CDELM), (Castañeda y Contreras, 1999), siendo notables 29 de Necton.

Laguna de Tamiahua, Ver.

La vegetación circundante se compone principalmente de manglar *Rhizophora mangle*, *Avicennia nitida*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*; en las playas se encuentra vegetación pionera, cuyos géneros son *Ipomoea*, *Croton*, *Cocoloba* y *Rondia* (Vázquez-Yáñez, 1968). Con respecto a la sumergida domina *Ruppia maritima*, pero existe una importante presencia de *Halodule beaudetti*.

En un análisis realizado sobre las diatomeas de la laguna se encontró un total de 12 géneros, 15 especies y una variedad (Avendaño, 1972). En cuanto a los dinoflagelados Gómez (1988), reporta que la composición genérica estuvo dada por *Pyrodinium* sp., *Prorocentrum* sp., *Gonyaulax* sp.,

Peridinium sp., *Ceratium* spp, *Dinophysis* sp. y *Noctiluca* sp. Por otro lado, se obtuvo la determinación de 25 especies de diatomeas bentónicas del género *Nitzschia* presentes en sustratos sumergidos en seis puntos de la laguna. Lo que permite denotar que *Nitzschia granulata*, *Nitzschia marginulata* y *Nitzschia panduriformes* son especies de amplia distribución pero con baja abundancia; *Nitzschia dissipata* predominó solamente en Amajahua, a diferencia de *Nitzschia socialis* que no se presentó en ésta; *Nitzschia paradoxa* y *Nitzschia tryblionella* se presentaron con baja frecuencia y solamente en Amajahua; de todas las especies, *Nitzschia tenuis* tuvo el valor más bajo encontrándose únicamente en Líndero II. Lo anterior permite señalar que existen preferencias particulares de cada especie como efecto de las fluctuaciones observadas en los parámetros físico-químicos de cada localidad de muestreo (Herrera y Moreno, 1989).

En un estudio realizado específicamente sobre dinoflagelados, se registraron 6 familias, 6 géneros y 7 especies de origen marino; los factores que presentaron mayor influencia fueron la salinidad y la temperatura, cerca de la boca de la laguna. Las especies *Ceratium fusus* y *Ceratium pentagonum* se encontraron ampliamente distribuidas, considerándose como eurihalinas del medio marino. Dichas especies representaron el 98% de los organismos registrados. Las especies restantes representaron solamente el 2% del total de organismos entre las cuales *Peridinium* sp, *Ceratium tripos* y *Ceratium massiliensis* presentaron un mayor rango de distribución (Ochoa y Martínez, 1981).

Finalmente, Bulit y Signoret (1988), reportan la presencia dominante de *Asterionella japonica* y *Nitzschia longissima*, asimismo, hay algas azules-verdes del género *Oscillatoria* y dinoflagelados, de los cuales los géneros más representativos son *Peridinium*, *Ceratium*, *Dynophysis*, *Merismopedia* y *Heterodinium*.

En cuanto al zooplancton, se identificaron 92 taxa diferentes, siendo el grupo de los copépodos el más abundante y, dentro de éste, la especie *Acartia tonsa*, que fué la más representativa de la comunidad. La máxima densidad del zooplancton se encontró en el mes de junio (48,244 ind/m³) y la mínima en el mes de febrero (685 ind/m³). La biomasa fué baja, encontrándose en la mayoría de los muestreos por debajo de 0.1 g/m³ y registrándose también una diversidad baja, que reflejó una estructuración pobre en la comunidad. Las concentraciones mayores de zooplancton se registraron en los extremos norte y sur de la laguna (Camacho-Barrera et al., 1983). Especies detectadas en la laguna de Tamiahua: *Labidocera aestiva*, *Oithona plumifera*, *Corycaeus flaccus*, *C. speciosus* y *Caligus* sp. (Alvarez, 1989). *Labidocera aestiva* se encontró en condiciones de temperaturas aproximadas 26°C y un rango de salinidad amplio. En temperaturas arriba de 26°C y bajo 32°C, *L. aestiva* fué substituida por *L. scotti* también con características eurihalinas (Alvarez y Gómez, 1993).

Con lo que respecta al ictioplancton, se encontraron 15 familias y 26 especies de las cuales sobresalen *Anchoa mitchilli*, *Bairdiella chrysura*, *Cynoscion nebulosus*, *Gobiosoma bosci*, *Microgobius gulosus*, *Membras vagrans*, *Achirus linaetus*, *Scomberomorus louisianae* y *Syngnathus scovelli* (Barba y Sánchez, 1981). En Tamiahua el grupo base estuvo constituido por especies que desovan en el período cálido, condicionado por la temperatura, dadas las grandes diferencias promedio entre las épocas cálida y fría (Flores Coto, 1985).

Se colectaron 7,791 moluscos agrupados en 32 familias, 46 géneros y 62 especies, encontrándose casi en su totalidad en asociaciones post-mort (tanatocenosis). Los moluscos con mayor abundancia y distribución están representados por los gasterópodos: *Littoridina sphinctostoma*, *Acteocina canaliculata*, *Odostomia impresa*, *Nassarius acutus* y por los pelecípodos *Rangia flexuosa* y *Mulinia lateralis*. Los gasterópodos presentaron valores más elevados de especies epifaunales, y los pelecípodos mostraron proporciones iguales de semifauales e infaunales. Con respecto al componente ecológico de los moluscos, sobresale la dominancia de especies estuarinas, muy pocas especies dulceacuícolas y gran riqueza de marinas. Los gasterópodos *Littoridina sphinctostoma* y *Acteocina canaliculata* presentaron un amplio polimorfismo en sus conchas, dificultando su determinación taxonómica (Portilla, 1989).

La carcinofauna está compuesta por 531 individuos de 8 familias, 19 géneros y 26 especies. Las familias predominantes en riqueza específica fueron Portunidae (5), Xanthidae (6) y Grapsidae (6). *Dyspanopeus texanus* (220 inds.), *Eurypanopeus depressus* (86) y *Callinectes sapidus* (517 inds.), y *Pachygrapsus gracilis* (49), fueron las especies más abundantes (Raz-Guzmán et al, 1991).

Las especies de ciliados sésiles más frecuentes fueron *Cothurnia maritima*, *Thuricola valvata* y *Vorticella campanula*. La mayor riqueza específica se observó en *Polisiphonia* y *Enteromorpha*, posiblemente en la primera se deba a su arquitectura, que al formar abundantes penachos macroscópicos sobre *Halodule beaudetti* ofrezca una protección adecuada. En *Enteromorpha*, alga laminar se presentó una riqueza específica semejante, sin embargo la abundancia fue menor. Las especies de ciliados epibiontes fue menor. Las especies de ciliados epibiontes no tienen preferencia específica por el substrato algal (Martínez y Aladro, 1993).

En la laguna, los poliquetos de nado libre fueron más abundantes, la especie dominante fué *Phyllodoce castanae* (43.89%). Las especies dominantes encontradas dentro de las valvas de ostiones fueron: *Polydora websteri* (73.87%), una especie de poliquetos muy conocida encontrada comúnmente en valvas de ostión. La talla media de las valvas (5-8 cm para *Crassostrea virginica* y 3-5 cm para *Crassostrea rhizophorae*) fueron dominantes en las muestras. La más alta abundancia de poliquetos fué encontrada en el rango de valvas que va de la talla media a larga en *C. virginica* y solamente en las valvas de talla media en *Crassostrea rhizophorae* (Matamoros, 1988). Por otro lado, 19 especies de poliquetos fueron identificadas en 8 diferentes clases de sedimentos. Los resultados obtenidos con el valor del índice biológico, calculados para las diferentes clases de sedimento, demostró que la especie más importante en cada substrato de acuerdo a su dominancia fué: *Spio pettibonae* (arena gruesa), *Pectinaria gouldi* (arcilla), *Capitella capitata* (arcilla fina, limo-arcillas), *Malacoceros vanderhorsti* (arcilla), *Glycinde solitaria* (limo-arcillas, limo-arcillas suaves, limo-arenas suaves), *Mediomastus californiensis* (arena gruesa) y *Sigambra bassi* (arena gruesa) (Nava-Montes et al, 1988).

En un estudio paralelo se localizaron especies que habitan en la mayoría de los tipos de sedimentos como *Capitella capitata*, *Glycinde solitaria*, *Glycera* sp., *Litoscoloplos fragilis*, *Neanthes succinea*, *Platynereis dumerilii* y *Sigambra bassi* entre otras, lo cual sugiere que existen especies de poliquetos que pueden adaptarse a cualquier tipo de sedimento (hábitat). Por el contrario, existen algunas especies como *Streblospio benedicti* que se localiza en un solo tipo de sustrato. Esto sugiere que puede existir una preferencia por parte de algunas especies de poliquetos por un sedimento, en cuanto a tamaño de grano (Nava-Montes, 1989)

De 19,190 peces colectados, se han identificado 120 especies, el 78.9% correspondió a las siguientes especies: *Bairdiella chrysoura*, *Anchoa mitchilli*, *Anchoa hepsetus*, *Cynoscion nebulosus*, *Oligoplites saurus*, *Diapterus olisthostomus*, *Menidia beryllina*, *Hyporhamphus unifasciatus* y *Membras vagrans*. Así mismo, se obtuvo una biomasa de 60 023.3 gr de la cual, el 81.1% correspondió a las especies *Ariopsis felis*, *Strongylura notata*, *Mugil curema*, *Bairdiella chrysoura*, *Cynoscion nebulosus*, *Hyporhamphus unifasciatus* y *Sphoeroides greeleyi*. De los resultados obtenidos hasta el momento, se han incluido 6 nuevas especies a la lista ictiofaunística que se tenía de estudios anteriores, que son: *Lutjanus griseus*, *Porichthys porosissimus*, *Fundulus grandis*, *Menticirrhus litoralis*, *Harengula pensacolatae* y *Lutjanus apodus* (Franco et al, 1987; 1992). La mayor riqueza específica se encuentra en Tamiahua (Kobelkowsky, 1991).

Con respecto a estadios juveniles de peces Amador et al. (1994), se analizaron la distribución y abundancia de individuos en la porción sur de la laguna de Tamiahua, para el período 1992-1993, donde fueron identificadas 24 familias; registrándose la mayor abundancia de organismos en las familias Engraulidae, Atherinidae, Ariidae, Gobiidae y Belonidae. Determinándose también los parámetros físicos de temperatura y salinidad los cuales presentaron valores máximos y mínimos de 3.5 y 32 o/oo de salinidad y de 19.8 a 30.8°C de temperatura.

Con respecto al área de distribución en la región SE de la isla del Idolo se presentó el mayor número de familias, área que comprende las localidades de Montegatos, Nicolás, el Naranjal, Guayabillo y la Lata, localidades que aparentemente son de resguardo, crianza y alimentación de peces juveniles en la laguna de Tamiahua.

Estas áreas se caracterizan por ser areno-fangosas con presencia de pastos marinos. Así mismo se registran por primera vez en la laguna organismos de la familia Characidae, hacia los meses de noviembre y enero, época en la que se detectaron salinidades de 6 a 7.4 o/oo de salinidad y temperaturas de 20 a 20.8°C.

El menor número de familias se registran en invierno durante los meses de diciembre y febrero. Se establecen dos temporadas como época de crianza para la familia Gerridae, de marzo a mayo y de septiembre a noviembre respectivamente. Las familias Ariidae y Scianidae presentaron su mayor época de crianza durante los meses de julio, agosto y septiembre. Para la familia Cupleidae se establecieron los meses de enero, febrero y marzo, mientras que el mayor número de juveniles de la familia Sparidae se presentó en febrero y marzo. En el caso de la familia Mugilidae empiezan a aparecer las crías de enero a mayo con un pico máximo en marzo.

A pesar de haber resentido varios impactos negativos relacionados con los yacimientos petroleros, esta laguna se mantiene con un nivel aceptable de conservación debido principalmente a la circulación interna e intercambio de agua por sus bocas de comunicación con el mar. Este recambio de sus masas de agua con el océano, se incrementó notablemente a partir de la apertura de una boca localizada al norte de Cabo Rojo, llamada barra de Tampachichi; esto vino a beneficiar en gran medida la actividad pesquera y evitó la acumulación de materia orgánica en la parte norte de la laguna anteriormente aislada del resto. De los problemas generados a partir de las actividades de exploración por parte de PEMEX, está el abandono de tuberías y materiales de excavación dentro de la laguna, lo que provocó azolvamiento al no permitir el paso libre de sedimentos hacia el mar. Hay que recordar que las tasas de sedimentación en las lagunas costeras son considerables y cualquier objeto que contribuya a retener los sedimentos, acelerará este proceso. Un caso alarmante es la presencia de bacterias coliformes relacionadas con los asentamientos humanos ribereños (Contreras, 1993).

En la Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa se realizó un análisis microbiológico en agua, sedimento y tres especies de importancia económica de la laguna de Tamiahua, Veracruz: ostión (*Crassostrea virginica*), jaiba (*Callinectes sapidus*) y lisa (*Mugil cephalus*), utilizando los indicadores: coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y estreptococos fecales (EF). Se determinó número más probable por la técnica de tubos múltiples, con el fin de evaluar la contaminación exógena de la laguna de estas tres especies. Se obtuvo la calidad sanitaria del agua y se describió el comportamiento temporal y espacial de los grupos de bacterias en el agua y el sedimento, así como su relación con algunos parámetros fisicoquímicos. En las especies, se determinaron concentraciones bacterianas y su posible relación con algunos aspectos morfométricos.

La laguna estuvo fuertemente contaminada en la época de lluvias por CT, con concentraciones máximas (hasta $10^4/100$ ml o g) frente al estero Tanchochín y Boca de Corazones en agua y en sedimento en el oeste, sur y este de la isla del Idolo. Las estaciones de nortes y secas presentaron concentraciones menores (200 a 1000/100 ml), con un máximo frente a Tancochín ($10^4/100$ ml). Las concentraciones de bacterias coliformes totales, llegaron a 1,000/100 ml frente a la Boca de Corazones y hasta 200/100 ml frente al estero Tanchochín en lluvias. En nortes, las localidades alcanzaron 70/100 ml, y en secas 14/100 ml, ubicándose alrededor de la Isla del Idolo. El sedimento en lluvias alcanzó 10^4 CF/100g frente a Tancochín y superó este valor al sur de la Isla del Idolo. Los estreptococos en agua tuvieron un máximo de 1,000/100 ml o g en agua al norte de la Isla del Idolo y en la Boca de Corazones, y en sedimento frente a Tanchochín y al oeste de la Isla del Idolo. El noreste de la isla, sobrepasó las 10,000 EF/100 g en lluvias. Este grupo fue útil como indicador complementario de las coliformes, que manifestó la contaminación fecal en los sitios donde no se registraron coliformes a pesar de no evidenciar estacionalidad.

Los tres grupos presentaron altas concentraciones en sitios de baja salinidad (10 ups) en la época de lluvias, lo que indica la influencia de los aportes de agua dulce y el arrastre de escurrimientos terrestres con contaminación fecal. La temperatura, se relacionó con CF en la estación de nortes en que las altas concentraciones se encontraron en el centro de la región de colecta y las temperaturas bajas en el norte (19.5°C).

El análisis en organismos indicó que la jaiba *Callinectes sapidus* y la lisa *Mugil cephalus* presentaron altas concentraciones (10^4 CF y Ef en jaiba a 10^5 CF/100 g en lisa) en una alta proporción de organismos. En ostión (*Crassostrea virginica*) hubo valores por arriba de los permitidos en los grupos coliformes en secas y lluvias. En ostión y jaiba se caracterizó como de origen humano la contaminación en las colectas con mayores concentraciones de bacterias. En relación a aspectos morfométricos, las mayores concentraciones en ostión (de 10^4 a 10^6 CT/100g) se asociaron a organismos de peso bajo (15.5 g promedio). *Callinectes sapidus* no presentó correlación con aspectos morfométricos, aunque en términos generales las hembras estuvieron más contaminadas, al igual que en la lisa *Mugil cephalus*. En esta especie las concentraciones altas de CT se encontraron asociadas a organismos de mayor estado de madurez gonádica y mayor factor de condición en secas. La presencia de los indicadores utilizados en hemolinfa de jaiba y heces fecales de lisa, se considera de origen exógeno y un posible riesgo para ambas especies, que modifican sus hábitos alimenticios conforme se acerca la temporada de lluvias, en la cual aumenta el consumo de detritos. (Barrera E., G, 1995).

Las principales pesquerías son las de camarón, ostión y escama en general sobresaliendo la Lisa. La laguna de Tamiahua junto con la de Alvarado, son las lagunas potencialmente más importantes del estado (Contreras, 1993).

Cabe mencionar que Tamiahua es el segundo ecosistema más estudiado después de Alvarado; cuenta con 211 referencias bibliográficas (Castañeda y Contreras, 1999).

Laguna de Tampamachoco, Ver.

Para la composición florística de la zona se reportan a *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. El manglar de Tampamachoco, en las 3 zonas estudiadas, es tipo borde según la clasificación de Lugo y Snedaker (1974). La zona 3 (Draga Quemada) es la que presenta los árboles más altos (9 metros), mayor área basal (99.4 m² /Ha) y un valor de importancia de 91.2. En contraste con la zona 1 en donde las alturas de los árboles presentan un promedio de 6 metros, área basal de 93.7 m² /Ha y valor de importancia 78.7 (Bonilla *et al.*, 1989).

Fueron identificadas un total de 23 especies de macroalgas en la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México: 9 Chlorophyceae, 2 Phaeophyceae y 12 Rhodophyceae. La riqueza algal por área es relativamente alta (60-100 veces) en comparación con otras lagunas costeras y el estuario del área (Laguna Madre y Tamiahua con 29 y 22 especies respectivamente). Se reporta la presencia de Phaeophyceae en este ambiente por primera vez. Los tres sitios tienen 58 especies en total, lo que duplica el número registrado con anterioridad para la región estuarina del Atlántico Norte. (Dreckmann y M. A. Pérez, 1994).

Con respecto al fitoplancton, Bulit y Signoret (1988), reportan la presencia dominante de *Asterionella japonica* y *Nitzschia longissima*, asimismo, hay algas azules-verdes del género *Oscillatoria* y dinoflagelados, de los cuales los géneros más representativos son *Peridinium*, *Ceratium*, *Dynophysis*, *Merismopedia* y *Heterodinium*.

En el zooplancton, dominan los copépodos, *Acartia paracalanus* y *Temora* sp., presentes de septiembre a enero. Los grupos Branchiopoda y Cirripedia los siguieron en abundancia. La familia Gobiidae dominó el ictioplancton con el 90.4% (De la Campa *et al.*, 1989; Bedia, 1990). En esta laguna de los trabajos sobre el zooplancton sobresalen los de Esquivel, H. A. (1980, 1986, 1989), de

quien cabe destacar el siguiente resumen: los resultados obtenidos manifestaron una marcada variación tanto cualitativa como cuantitativa en la comunidad, presentándose una sustitución de grupos al través del tiempo. Asimismo, se registraron ambientes lagunares propios de determinados zooplanctones tales como las medusas *Blackfordia virginica*, *Bougainvillia niobe*, *Aurelia aurita* y *Dactylometra* sp. y los ctenóforos, *Beröe ovata* y *Mnemiopsis leidy*, entre otros. En la comunidad, resaltó la importancia del meroplancton correspondiente a larvas de especies de importancia comercial que habitan, de manera permanente o no, la laguna, principalmente el ostión *Crassostrea virginica*, el camarón *Penaeus setiferus* y algunos gasterópodos.

Las diferencias importantes respecto a la composición del zooplancton resultan en las áreas más protegidas, con limitado recambio de agua con el resto de la laguna. Bajo estas condiciones, se observa una acumulación de depredadores, en especial de ctenóforos del género *Mnemiopsis*, la cual resulta una alteración significativa de la composición específica y abundancia del zooplancton.

De hecho, se observa un ciclo similar al reportado para otras lagunas costeras, inclusive a latitudes tales como las de Carolina del Norte o Massachussetts, donde las formas carnívoras pequeñas y con baja tasa de saturación, como las pequeñas hidromedusas *Blackfordia virginica*, *Bouganvillea niobe* y los quetognatos *Sagitta friederichi* y *S. hispida* son sustituidos progresivamente por *Mnemiopsis* sp. y, posteriormente, por el ctenóforo *Beröe ovata* y las escifomedusas *Chrysaurea* sp. y *Aurelia aurita* (Esquivel, 1989). La diversidad promedio del zooplancton varió entre 1.37 bits/ind en noviembre y 2.38 bits/ind en enero (de la Campa *et al*, 1989).

En cuanto al ictioplancton se capturaron 15,309 individuos, identificándose 12 familias, 5 géneros y 4 especies, siendo éstas: Engraulidae (*Anchoa mitchilli*, *A. hepsetus*), Blenniidae (*Hipsoblennius* sp.), Syngnathidae (*Syngnathus scovelli*), Sciaenidae (*Bairdiella chrysura*), Mugilidae (*Mugil* sp.), Gobiidae, Atherinidae, Pleuronectidae, Gerreidae, Bothidae, Carangidae, Clupeidae y una familia no identificada (Bedia y Martínez, 1981). De las larvas de peces, las especies más abundantes y que también muestran una alternancia en sus máximos de abundancia son *Gobiosoma bosci* y *Anchoa mitchilli*, cuyos valores máximos se registran en julio y septiembre para la primera especie y en marzo para la segunda.

Los géneros de foraminíferos bentónicos más frecuentes que se conocen son: *Cirratunide*, *Truncatella*, *Ammonia*, *Globigerina*, *Bucella*, *Discorbis* y *Elphidium*. En el bentos se han identificado 11 especies de moluscos, 14 de crustáceos en la zona intermareal y utilizando una red de arrastre, se detectaron 77 especies de invertebrados (Chávez, 1967).

Se colectaron, en total, 818 poliquetos incluidos en 53 especies y 27 familias. Las especies más abundantes fueron *Leitoscoloplos fragilis*, *Parandalia cf. americana*, *Marphysa sanguinea*, *Laeonereis culveri*, *Tharyx annulosus*, *Goniada maculata* y *Glycinde solitaria*. Se encontraron 8 tipos de sedimento y se registran tipos que no habían sido mencionados anteriormente en la literatura, para 11 especies más de poliquetos (Mendez, 1989).

En la comunidad malacológica total (vivos + conchas) se registraron valores cercanos en el número de especies asignadas a ambas clases, aunque por cantidad de individuos dominaron los gasterópodos; por su valor de importancia relativa destacaron: *Cerithidea pliculosa*, *Acteocina canaliculata*, *Mulinia lateralis*, *Littoridina sphinctostoma*, *Mytilopsis leucophaea* y *Neritina reclivata*. La biocenosis se encontró integrada por 13 especies de bivalvos y sólo una de la Clase Gastropoda; resultaron características *Mulinia lateralis*, *Anadara transversa*, *Lucina pectinata* y *Neritina reclivata*. La diversidad calculada para la comunidad total fué de 3.23 y de 2.83 bits/individuo para la viva (Reguero *et al*, 1991). Zúñiga (1984) agrega a *Abra aequalis*.

Con respecto a la ictiofauna, se han colectado un total de 68 especies de peces, pertenecientes a 60 géneros y a 33 familias. Las más comunes son: *Diapterus auratus*, *Bairdiella ronchus*, *Citharichthys spilopterus*, *Arius melanopus*, *Gobionellus hastatus*, *Centropomus parallelus*, *Centropomus undecimales*, *Mugil curema*, *Dormitator maculatus* y *Syngnathus scovelli* (Kobelkowsky, 1985).

En otro estudio se colectaron un total de 6 111 organismos pertenecientes a 62 especies, 51 géneros y 29 familias, de éstas, las especies *Ariopsis felis*, *Cathorops melanopus*, *Bairdiella chrysura*, *Citharichthys spilopterus*, *Diapterus rhombeus*, *Diapterus auratus* y *Conodon nobilis*, contribuyeron con los mayores registros en abundancia y biomasa. Es notoria la influencia del ambiente marino hacia este sistema debido al registro de especies como *Gymnura micrura*, *Synodus foetens*, *Scorpaena plumieri*, *Scomberomorus maculatus* y *Chilomicterus schoepfii* (Cota y Franco, 1993).

El registro combinado de 171 especies, ubican a la región de Tuxpan-Tampamachoco como la segunda área estuarino-lagunar del Golfo de México en cuanto a la riqueza específica, sólo por debajo de la laguna de Términos en Campeche.

Se han obtenido 18 nuevos registros para el área, destacándose la presencia de una nueva familia (Cichlidae) con una especie autóctona y 10 nuevos géneros de familias ya reportadas (Pérez *et al*, 1994).

Las asociaciones de peces que habitan las áreas marginales con vegetación sumergida en 5 diferentes localidades del área de estudio fueron analizadas para determinar algunos aspectos de su estructura. Se determinó que el mayor número de especies colectadas perteneció al grupo de las accidentales (50% del total), seguidas por las ocasionales (37.97%) y las dominantes (11.39%), de las cuales, las más importantes en orden decreciente fueron: *Bairdiella chrysura*, *Anchoa mitchilli*, *Eucinostomus melanopterus*, *Citharichthys spilopterus* y *Diapterus auratus*; sobresale el hecho de que no se encontraron especies del grupo de las raras.

Dichos resultados difieren a los reportados previamente por otros autores para la laguna, en cuanto a las especies dominantes, por lo que se deduce que, en las áreas someras con vegetación sumergida se presenta una estructura de las asociaciones de peces relativamente diferente a la de otros hábitats (como por ejemplo, áreas más profundas). En el plano espacial, los valores más bajos y medios de la producción de *Ruppia maritima* se asociaron con los valores más elevados de densidad y biomasa de los peces, notándose una tendencia contraria al aumentar paulatinamente la producción vegetal. Temporalmente, los patrones de variación de la producción macrofítica e íctica se observaron desfasados, registrándose primero los incrementos máximos de biomasa vegetal y posteriormente los máximos de la densidad y biomasa de las diferentes poblaciones de peces (Pérez *et al*, 1994).

Es una laguna que presenta severos problemas de eutroficación. Investigaciones realizadas hace 10 años, arrojaron resultados que indicaban una tendencia hacia la heterotrofia (mayor consumo que producción en términos ecológicos); actualmente se realiza una investigación similar con las mismas técnicas y se ha comprobado que la presencia de nutrientes ha aumentado considerablemente debido primordialmente a los procesos de azolvamiento que se están manifestando.

Estos procesos, que se generan por causas naturales, se han incrementado significativamente por el tendido de las líneas que realizó la CFE desde la puesta en marcha de una planta termoeléctrica sobre la barra de Galindo. Por otro lado, los desechos de la colonia urbana de PEMEX y principalmente, las descargas de aguas residuales del hospital de ésta última paraestatal han propiciado que las bacterias coliformes proliferen en toda la laguna. Lo más grave del caso es que las bacterias asociadas a las coliformes, como lo son *Shigella*, *Salmonella* y *Vibrium* son frecuentes, lo que convierte a esta laguna en un foco de infección sumamente peligroso. Se ha constatado la presencia de estas bacterias patógenas en los tejidos del ostión.

Las pesquerías importantes son de ostión, camarón, jaiba y escama en general (Contreras, 1993).

Tampamachoco ha sido un lugar donde tradicionalmente y durante muchos años, se ha intentado realizar cultivos de *Crassostrea virginica*, algunas veces con éxito.

Ocupa el tercer lugar en lo que respecta a información con 157 referencias bibliográficas (Castañeda y Contreras, 1999).

Laguna de Sontecomapan, Ver.

El cuerpo mayor de la laguna se rodea en su totalidad de una franja de manglares: *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*, que comparativamente con lo que sucede en otros sistemas lagunares era más alto según Menéndez, (1976), pero actualmente están fuertemente impactados. Como vegetación sumergida en total se encontraron siete fanerógamas: *Ruppia maritima* (en importantes manchones), *Najas guadalupensis*, *Pistia stratiotes*, *Lemna* sp, *Potamogeton interruptus* y *Potamogeton foliosus*. A excepción de la primera, las otras especies se encontraron solo en algunas épocas del año (González, 1975).

El fitoplancton del cuerpo acuático se caracteriza por la presencia constante a lo largo del año de diatomeas centrales, *Skeletonema costatum*, *Biddulphia aurita* y penales *Nitzschia longissima* y *Thalassionema nitzschioides* (Suchil, 1990). Se determinaron 90 taxa de los cuales las diatomeas y criptofitas fueron los grupos más abundantes y la especie más común fue *Skeletonema subsalsum* (Camacho et al, 1994). Se encontraron cuatro especies y varias formas de *Skeletonema*: las especies *S. subsalsum*, *S. pseudocostatum* y *S. costatum* (Ake-Castillo et al, 1994).

En otro estudio se determinaron 90 taxa, de los cuales las diatomeas y criptofitas fueron los grupos de mayor abundancia. *Skeletonema subsalsum* fue la especie más abundante que prevaleció en tiempo y espacio durante el ciclo circadiano, con incrementos en las primeras horas del día, aspecto que esta relacionado con el descenso en la concentración de clorofila *a*, amonio, fosfatos y posiblemente con el efecto de las corrientes de marea. La mayor diversidad de especies se registró a las 17:00 horas, y la menor a las 02:00, como consecuencia de la dominancia de *Skeletonema subsalsum*. Los datos observados de nutrimentos y abundancia de especies, ubican a esta laguna en un estado mesotrófico, con baja riqueza de especies en comparación con otras lagunas (Camacho et al, 1994).

Las concentraciones obtenidas para las fracciones tanto nanofitoplanctónicas y como clorofila *a* total fueron mayores para el mes de octubre con 50.04 y 75.95 mg/m³, respectivamente, en tanto que la clorofila *a* del sedimento presentó su mayor valor para el mes de abril con 84.11 mg/m³ (Morán, 1994).

En estudios sobre el ictioplancton usando dos tipos de red, se capturaron con ambas redes un total de 18,849 individuos, determinándose 14 familias, 17 géneros y 16 especies. La mayor abundancia relativa corresponde a la familia Gobiidae con el 82.78%; seguida de la familia Engraulidae con el 12.37% y de la familia Sciaenidae con el 3.74%. El resto de los organismos menos abundantes suman el 1.11%. En la red tipo "Bongo" se capturaron 18 taxa de los cuales, tres son los exclusivos para esta red: *Brevoortia* spp.; *Menidia* spp. y *Strongylura marina*. Además de que la mayoría de las larvas capturadas su longitud total es menor de 5 mm. En la red de patines se capturaron 19 taxa, de las cuales cuatro fueron exclusivos para esta red y son: *Achirus lineatus*, *Citharichthys* sp., *Gobioides broussonneti* y *Oligoplites saurus*. En general las larvas capturadas por este tipo de red su longitud total es mayor de 5 mm (Martínez, 1987).

A partir de un trabajo general de bentos se capturó un total de 2,383 organismos, determinándose 17 familias, 19 géneros y 26 especies. Las especies con mayor abundancia relativa resultaron ser: *Aonides oxicephala* (Familia Spionidae) con el 33.10%, *Neritina virginea* (Familia Nereidae) con el 16.57%; *Pseudohaustorius* sp. (Familia Haustoridae) con el 10.91%; *Kalliapsudes* sp. (Familia Tanaidae) con el 9.44%; *Aega* sp. (Familia Aegidae) con el 8.72%, *Donax variabilis* (Familia Donacidae) con el 7.84%. El resto de las especies se presentaron con una mínima abundancia constituyendo el 13.92% del total (Chinolla, 1984).

La asociación sedimento-fauna fue investigada y se colectaron 855 ejemplares distribuidos en 2 clases, 19 familias, 25 géneros, 34 especies. La clase Bivalvia estuvo representada por 25 especies, 10 familias y 255 ejemplares. A la clase Gastropoda correspondieron 9 especies, 9 familias y 600 ejemplares. Por su distribución y abundancia relativa las especies representativas son: *Neritina*

reclivata, *Neritina virginea*, *Mulinia lateralis* y *Mytilopsis leucophaeata*. El 72.9% de las especies de moluscos son infaunales, el 18.9% epifaunales y el 18.1% seminfaunales (Flores y García-Cubas, 1986).

De la Cruz en 1985 reportaba 68 especies de peces en esta laguna. Sin embargo Fuentes *et al.* (1989) dicen que el elenco sistemático comprende 18 familias, 29 géneros y 30 especies con una notable dominancia de las formas de origen marino, que representan el 97% del total. Estas son ampliamente conocidas como invasoras de las aguas epicontinentales como lo señala Castro-Aguirre (1978), quien menciona casi la totalidad de los registros con excepción de *Aluterus schoepfi* y *Tylosurus crocodilus*, consignadas en el presente trabajo por primera vez. La especie de origen dulceacuicola fué: *Poecilia sphenops*, del grupo de los peces vicarios en la laguna se registró a *Cathorops aguadulce* y de los que durante todo el período de estudio mostraron marcada preferencia por ambientes limnéticos o ligeramente salobres: *Elotris pisonis*, *Gobioides broussonneti* y *Gobionellus hastatus*. En este estudio, las especies con mayor frecuencia fueron *Anchoa hepsetus*, *Cathorops aguadulce*, *Gobionellus hastatus* y *Achirus lineatus*; estas especies poseen amplia tolerancia a la variación de salinidad y temperatura. Reséndez (1983), reportaba como las más dominantes a: *Anchoa mitchilli*, *Arius aguadulce*, *Strongylura marina*, *Poecilia mexicana*, *Xiphophorus helleri*, *Archomenidia sallei*, *Centropomus poeyi*, *Eugerres plumieri*, *Diapterus rhombeus*, *Mugil curema* y *Citharichthys spilopterus*.

En un estudio realizado por González-Fierro *et al.* (1994), se dan a conocer los niveles de algunos metales (Cu, Co, Cr, Ni, Zn, Cd y Pb) determinados en los sedimentos y organismos bentónicos para esta laguna durante el período de 1991-1992. Los resultados muestran que en los sedimentos los metales con mayor concentración fueron: níquel, cromo, zinc y cobre. Estos elementos también estuvieron presentes en los moluscos bivalvos (*Crassostrea rizophorae* y *Brachidontes exustus*), en la alga (*Cladophoris membranacea*) y la fanerógama acuática (*Ruppia maritima*), siendo más altas las concentraciones en los bivalvos.

Existen 63 referencias bibliográficas hasta la fecha en el Centro de Documentación sobre Ecosistemas Litorales (CDELM), (Castañeda y Contreras, 1999).

Laguna de Corralero, Oax.

La vegetación circundante está constituida por manglares y especies halófitas. Las especies fitoplanctónicas comunes a este ecosistema son: Crisofitas (*Pleurosigma* sp., *Gyrosigma* sp., *Coscinodiscus* sp., *Navicula* sp., *Cyclotella* sp.); Cianofitas (*Anabaena* sp.); Dinoflagelados (*Gymnodinium* sp).

Sólo existen 11 referencias bibliográficas hasta la fecha en el Centro de Documentación sobre Ecosistemas Litorales (CDELM), (Castañeda y Contreras, 1999).

Sistema lagunar Carretas-Pereyra, Chis.

La vegetación circundante está constituida primordialmente por bosques de manglar. En el fitoplancton predominó el grupo de las diatomeas seguido de los dinoflagelados encontrándose también algunas euglenas en zonas donde la salinidad resultó ser más baja.

Una elevada productividad primaria cuyo promedio rebasa los 400 mgC/m³/hr. Existe una proporción del 32 al 66% de nanofitoplancton para este sistema lagunar (Contreras y Castañeda, 1992).

Se muestreó la laguna en cuatro ocasiones entre febrero y noviembre de 1998. Los resultados indican que, para el mes de febrero, el grupo dominante fue el de las chlorophytas, con un total de 8 especies, dentro de las cuales resaltó *Haematococcus pluvialis* (311 org/ml), seguido por el grupo de las diatomeas, con un total de 14 especies, destacándose *Striatella unipunctata* (225 org/ml). Para el mes de abril, se registraron 15 especies de diatomeas, entre las que se destacaron *Amphora proteus* (915 org/ml) y *Striatella unipunctata* (256 org/ml). En el mes de junio, se presentó la mayor diversidad de diatomeas, con 31 especies, de las cuales se destacaron *Proboscia alata* (543 org/ml), *Chaetoceros affinis* (259 org/ml) y *Amphora proteus* (204 org/ml), registrándose, por única vez, el grupo de los dinoflagelados (*Peridinium incospicuum*, con 13 org/ml). Finalmente, en el mes de

noviembre, se presentaron las Cyanophytas, con 3 especies, destacándose *Anabaena spiroides* (5719 org/ml) y *Nostoc linckia* (350 org/ml). Dentro de las Bacillariophytas, se determinaron 14 especies, siendo las más abundantes *Amphora proteus* (542 org/ml). La presencia de fitoplancton fue significativa en todo el año, aunque la proporción en abundancia y diversidad aumento durante el segundo período. Las variaciones climáticas fueron el factor más importante que influyó en los cambios de cada uno de los grupos fitoplanctónicos (Pérez-Guillén *et al.*, 1998).

El Necton se integra de 18 especies, 15 géneros y 12 familias. El componente mejor representado es el estuarino (50 %), seguido del marino (38.9 %) y en menor porcentaje (11 %) el dulceacuícola. La diversidad y abundancia presenta sus valores más altos en lluvias (junio) con $H'n = 1.56$, $D = 2.10$, $J' = 0.56$, $g\ m^{-2} = 14.52$, $ind^{-2} = 3.15$ y $g\ ind^{-1} = 4.62$. En el sistema, cuatro son las especies consideradas como dominantes, estas son: *Gobiomorus microdon*, *Lile stolifera*, *Melaniris guatemalensis* y *Poecilia* sp. Estas representan el 79 % en número y el 78 % en peso de la captura total (Ortega *et al.*, 1998).

El número de aves observadas en los cuerpos de agua variaron durante el período de estudio desde altos números tales como 2,800 cormoranes, 2,300 pelícanos blancos y 681 limpkins, en un tiempo particular o expresados en términos de unidad por superficie de área de cada laguna 8.0, 2.7 y 1.9 individuos por hectárea respectivamente. Los requerimientos alimenticios diarios del pelícano blanco debido a su alta densidad llega a ser del orden de 4.1 kg/ha/día (Acuña *et al.*, 1993). Este sistema junto con el de Chantuto-Panzacola fueron declaradas como Reserva de la Biósfera (1994). La extensión total de la reserva es de 144,868 Ha.

Existen 19 referencias bibliográficas hasta la fecha en el Centro de Documentación sobre Ecosistemas Litorales (CDELM), (Castañeda y Contreras, 1999).

Sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chis.

El manglar del sistema Chantuto-Panzacola se caracteriza fisionómicamente como bosque tipo ribereño según la clasificación de Lugo y Snedaker (1974). En esta comunidad arbórea, *Rhizophora mangle* presenta una densidad de 92.5%, una frecuencia del 76.90% y una dominancia del 96.11%; la segunda especie en importancia es *Laguncularia racemosa* con una densidad de 7.50%, frecuencia del 27.0% y dominancia del 3.89%, todos estos valores relativos.

Las evaluaciones de defoliación natural muestran que el mayor aporte se presenta en el otoño con 509.24 gr/mes, el menor en primavera con 362.57 gr/mes, de los cuales *Rhizophora mangle* contribuye con casi el 90% del total, el mayor aporte se relaciona significativamente con la época de lluvias. Del mismo modo la salinidad intersticial está determinada por este factor, registrándose un valor de 31.5 ppm en el mes de mayo y de 0.53 ups en octubre. (Avelino y López, 1992).

Se realizó un estudio sobre la comunidad fitoplanctónica durante los meses de marzo, mayo, julio y noviembre de 1997. Durante el mes de marzo se registró una salinidad de 25.2 ‰, dominando la diatomea *Nitzschia marinus* y los dinoflagelados *Ceratium fulcatum* y *Protoberidinium compressum*, en mayo la salinidad fue de 23.9 ‰ dominando *Chaetoceros* sp., y *Coscinodiscus centralis* por parte de las diatomeas y los dinoflagelados *Ceratium fusus* y *Dinophysis* sp; para el mes de julio domina la diatomea *Thalassiosira exigua* y el dinoflagelado *Ceratium horridum* con una salinidad de 13.6 ‰. En noviembre la salinidad desciende a 8.7 ‰ destacando en el sistema especies dulceacuícolas principalmente cianofíceas. Se observa que los cambios en la composición de fitoplancton coinciden con las épocas climáticas establecidas para la zona del Pacífico mexicano presentándose en marzo y mayo la época de secas y a partir de julio la época de lluvias (Pérez-Guillén *et al.*, 1998).

Existe un proporción del 36 al 71% de nanofitoplancton para este sistema lagunar (Contreras y Castañeda, 1992). Los valores detectados de la productividad primaria rebasan los 100 mgC/m³/hr.

La variación estacional de la salinidad en el agua intersticial del manglar es un factor decisivo para la implantación de hipocotilos de *Rhizophora mangle*, esto se confirma con los datos obtenidos en el período de julio a octubre en el cual se registra la menor salinidad (0.53 ups) que corresponde significativamente con un incremento en el aporte de hipocotilos. Este sistema presenta la comunidad

más extensa de manglares de los sistemas existentes en la zona de estudio (García-Nagaya y Castañeda, 1992). De hecho, después de Teacapán-Agua Brava que posee más de 100,000 Ha, el área chiapaneca sería el segundo lugar en extensión de manglares del Pacífico mexicano.

Cabe destacar que, en la laguna de Cerritos durante la época de lluvias, es invadida por vegetación sumergida en donde predominan: *Nymphaea blanda*, *Cabomba* sp., *Pistia stratiotes*, *Salvinia* sp., *Azolla* sp. y *Eichornia crassipes*. En pleno florecimiento, se pueden apreciar grandes extensiones de *Neptunia* que se desarrolla sobre esta vegetación.

Un total de 30 especies, agrupadas en 25 géneros y 17 familias fueron identificadas. El componente ictiofaunístico mejor representado corresponde al marino (53 %), seguido del estuarino (40 %) y en menor porcentaje (6.7 %) el dulceacuícola. La diversidad y abundancia presenta sus máximos valores en el sistema durante la época de secas (marzo) con $H' = 2.73$, $D = 4.35$, $J' = 0.80$, $g\ m^{-2} = 14.94$, $ind\ m^{-2} = 1.97$ y $g\ ind^{-1} = 7.59$. El análisis de distribución, abundancia y frecuencia de las especies mostró la presencia de 6 especies dominantes en el sistema, estas son: *Caranx hippos*, *Cichlasoma macracanthum*, *Cichlasoma trimaculatum*, *Diapterus peruvianus*, *Gobiomorus maculatus* y *Gobionellus microdon* que representan el 38.2 % en número y el 42.0 % en peso de la captura total (Ortega et al., 1998).

El número de especies de aves más alto se registró en febrero (N=9 a 23) y los más bajos en julio (N=2 a 15). La mayoría de las aves presentes son especies residentes de México aunque algunas especies del norte se presentaron durante el mes de febrero (halcón peregrino, entre otros). El número de aves observadas en los cuerpos de agua variaron durante el período de estudio desde altos números tales como 2,800 cormoranes, 2,300 pelícanos blancos y 681 limpkins, en un tiempo particular o expresados en términos de unidad por superficie de área de cada laguna 8.0, 2.7 y 1.9 individuos por hectárea respectivamente.

Existen 32 referencias bibliográficas hasta la fecha en el Centro de Documentación sobre Ecosistemas Litorales (CDELM), (Castañeda y Contreras, 1999).

1.3 Métodos

Desde 1981 se han venido realizando trabajos de investigación regularmente en lagunas costeras, tomando como base la cuantificación de los principales parámetros físico-químicos que caracterizan hidrológicamente a estos ecosistemas. Lo anterior considerando que son estos los factores fundamentales que determinan, en gran medida, su comportamiento ecológico y características locales. A la fecha se cuenta con información generada en 39 lagunas costeras mexicanas, lo que significa alrededor de 2,000 datos provenientes de diferentes áreas, regiones, condiciones climáticas, estados de salud y de sistemas alterados y no alterados, lo que permite comparar y catalogar para fines estrictamente prácticos, a un grupo significativo de estos ecosistemas.

Así, los resultados de esta tesis están divididos en dos partes; la primera tomando como base la información obtenida en 39 lagunas costeras y la segunda, basada en una selección de algunas de ellas, la explicación y los fundamentos metodológicos de lo anterior se dan a continuación.

Análisis de laboratorio

Como este trabajo está basado en la cuantificación e interpretación de los nutrientes, las técnicas empleadas para la cuantificación de las formas de nitrógeno son: para el amonio (Solórzano, 1969), nitratos y nitritos (Bendschneider y Robinson, 1952), ortofosfatos (Murphy y Riley, 1962), el índice N:P es calculado como la relación del nitrógeno y fósforo inorgánicos (Redfield, 1958; Redfield et al., 1963), y la clorofila *a* siguiendo a SCOR - UNESCO (1980).

Metodología del análisis de la primera parte

A partir de la información generada en 39 ciclos anuales realizados en lagunas costeras, se llevó a cabo una gráfica comparativa que representara, de forma práctica y clara, el intervalo de la variación anual de algún parámetro para cada laguna muestreada. De esta forma, se establecieron como los

límites máximo y mínimo a los valores promedio mensuales de cada parámetro y el promedio que aparece en la gráfica, al obtenido de los datos completos para todo el ciclo anual. Lo anterior, con la finalidad de tener un valor que reflejara, de algún modo, la "tendencia" del ecosistema con respecto al parámetro elegido; algunos de estos promedios "reales" son el resultado de más de 200 mediciones. La lista completa de lagunas con el número que las representa en la gráfica, se encuentra en el capítulo de resultados.

Metodología del análisis de la segunda parte

De las 39 lagunas se seleccionaron a siete que contaban con la información más reciente, con el objetivo de realizar un análisis más concreto por medio del programa STATISTICA, sobre la importancia de algunas variables abióticas claves en el comportamiento ecológico e hidrológico.

TABLA 1.2. LAS LAGUNAS SELECCIONADAS

1. Pueblo Viejo	2. Tamiahua	3. Tampamachoco	5. Carretas	6. Chantuto
Meses de muestreos -1994	Meses de muestreos -1994	Meses de muestreos (1990-1991)	Meses de muestreos (1990-1991)	Meses de muestreos (1990-1991)
1. Mayo	1. Mayo	1. Jun.	1. Jul.	1. Jul.
2. Julio	2. Julio	2. Jul.	2. Sep.	2. Sep.
3. Sep.	3. Sep.	3. Ago.	3. Dic.	3. Dic.
4. Dic.	4. Dic.	4. Sep.	4. Feb.	4. Feb.
5. Mar.	5. Mar.	5. Oct.	5. Feb.	5. Feb.
Num. de estac. 4	Num. de estac. 9	6. Nov.	6. Abr.	6. Abr.
		7. Dic.	7. Jun.	7. Jun.
		8. Feb.	8. Sep.	8. Sep.
4. Corralero	5. Sontecomapan	9. Mar.	Num. de estac. 7	Num. de estac. 9
Meses de muestreos -1992	Meses de muestreos -1992	10. Abr.		
1. Feb.	1. Mar.	11. May.		
2. May.	2. Abr.	12. Jun.		
3. Ago.	3. Jun.	Num. de estac. 10		
4. Sep.	4. Ago.			
Num. de estac. 9	Num. de estac. 9			

Análisis estadísticos por variable.

Inicialmente se realizó un análisis por cada variable de las que comúnmente son consideradas en un muestreo típico de hidrología, éstas son quince: Salinidad, Temperatura, Saturación de Oxígeno, pH, Amonio (NH₄), Nitratos más nitritos (NO₃+NO₂), Nitrógeno total inorgánico (NH₄+ NO₃+NO₂ = N tot), ortofosfatos (PO₄), fósforo orgánico (P org.), Fósforo total (P tot), relación NH₄/N tot, Clorofila a, Relación N:P, Precipitación pluvial y Extensión.

TABLA 1.3. RESUMEN DEL NÚMERO DE DATOS EMPLEADOS EN EL PRIMER ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Laguna	Período	Muestréos	Est.	Num. De variables	Max. Número de datos posible	Datos faltantes	Datos reales
1. Pueblo Viejo	1994	5	4	15	300	12	288
2. Tamiahua	1994	5	9	15	675	20	655
3. Tampamachoco	1990-1991	12	10	15	1,800	97	1,703
4. Sontecomapan	1992	4	9	15	540	4	536
5. Corralero	1992	4	9	15	540	18	522
6. Carretas	1990-1991	7	7	15	735	64	671
7. Chantuto	1990-1991	7	9	15	945	66	879
Total		44	57	15	5,535	281	5,254

Al realizar los cálculos anteriores se detectaron repeticiones, por ejemplo todas las formas fosfatadas al estar estrechamente relacionadas entre sí, se comportan de manera similar por lo que se podrían eliminar dejando sólo una como representativa. Por lo anterior se decidió seleccionar nueve variables que fueron: salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, Nitrógeno total (NH₄ + NO₃+NO₂), Fosfatos (PO₄), relación N:P, clorofila a y Precipitación pluvial.

Así, la secuencia metodológica resumida fue: Matriz con las quince variables iniciales ⇒ Análisis de correlación ⇒ Se seleccionaron nueve variables ⇒ Matriz seleccionada ⇒ Análisis de correlación ⇒ Análisis de Componentes Principales.

La secuencia: Análisis de correlación ⇒ Análisis de Componentes Principales fué aplicada en cuatro formas:

- Para el análisis de las nueve variables;
- para las nueve variables en cada laguna;
- para las nueve variables para las dos épocas climáticas (secas y lluvias); y,
- para cada variable en las siete lagunas

Finalmente y con base en los análisis anteriores, se pretendió aplicar un modelo predictivo (Regresión múltiple, Canónico y Discriminante).

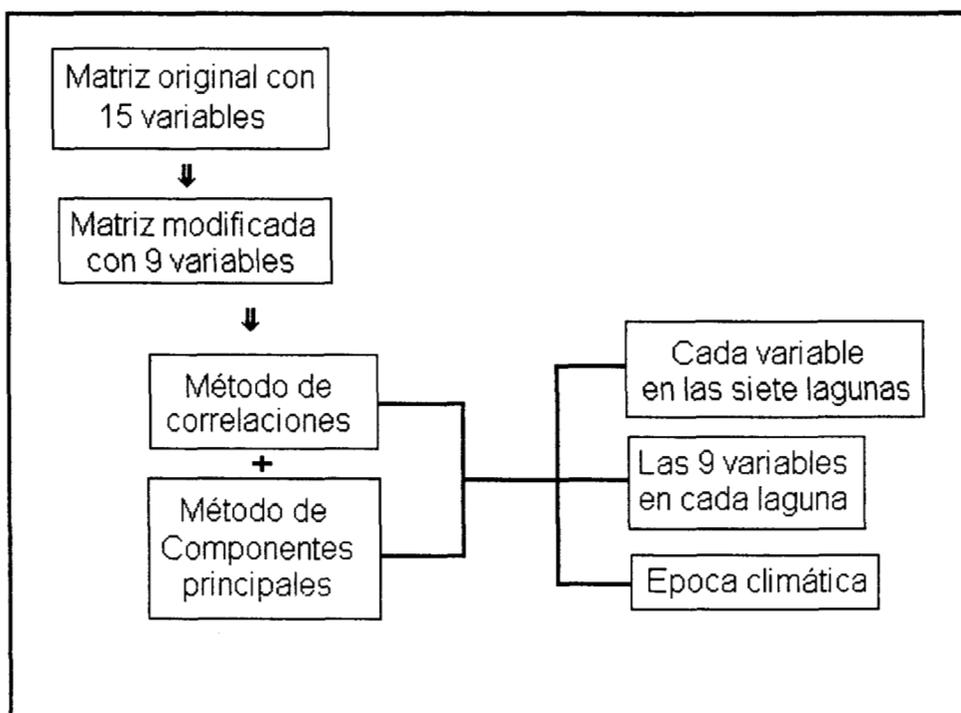


Figura 1.8. Diagrama metodológico

2. Resultados y discusiones

2.1. Primera parte: sobre las 39 lagunas

Uno de los objetivos prácticos de calcular la cantidad de nutrientes en un sistema acuático, es el conocer el papel e importancia de estos iones esenciales para el proceso de la productividad primaria en la columna de agua. El poseer información sobre un número importante de sistemas costeros permite, además, realizar comparaciones entre ellos para ubicarlos de una forma ordenada y clasificarlos con base en estos datos. El pretender clasificar de forma categórica a los sistemas estuarinos es un objetivo que, amén de pretencioso, resulta prácticamente imposible debido a sus propias características de variabilidad ambiental; sin embargo una aproximación en este sentido siempre resultará útil para fines de comparación y previsión de alteraciones mayores, que normalmente desequilibran estos ecosistemas. Como se mencionó en la parte de métodos las lagunas utilizadas y su extensión en esta primera parte son:

NOMBRE	EXTENSIÓN (HA)
1.- Lag. Madre. Tamps.	200 000
2.- Lag. Pueblo Viejo, Ver.	1 000
3.- Lag. Tamiahua, Ver.	77 000
4.- Lag. Tampamachoco, Ver. 1980.	1 500
5.- Lag. Tampamachoco, Ver. 1990	1 500
6.- Estuario Tuxpan, Ver.	
7.- Lag. La Mancha, Ver.	150
8.- Lag. Mandinga, Ver.	3 250
9.- Lag. Camaronera, Ver.	
10.- Lag. Alvarado, Ver.	10 000
11.- Lag. Tlalixcoyan, Ver.	1 800
12.- Lag. Sontecomapan, Ver.	900
13.- Río Calzadas, Ver.	
14.- Lag. el Ostión, Ver.	1 270
15.- Lag. el Carmen, Tab.	8 800
16.- Lag. Machona, Tab.	6 500
17.- Lag. Mecoacán. Tab.	5 200
18.- Lag. Términos, Camp.	196 000
19.- Lag. Celestúm, Yuc.	3 000
20.- Lag. Nuxco, Gro.	6 300
21.- Lag. Mitla, Gro.	36 000
22.- Lag. San Marcos, Gro.	21 000
23.- Lag. Chautengo. Gro.	34 000
24.- Lag. Corralero, Oax.	3 500
25.- Lag. Chacahua, Oax.	1 000
26.- Lag. Pastoría. Oax.	2 100
27.- Lag. Manialtepec, Oax,	1 640
28.- Lag. Superior e Inf, Oax.	74 000
29.- Lag. Mar Muerto, Oax./Chis.	68 000
30.- Lag. La Joya-Buenavista, Chis.	6 180
31.- Lag. Buenavista, Chis.	600
32.- Lag. Carretas, Chis.	2 000
33.- Lag. Pereyra, Chis.	1 300
34.- Lag. Bobo, Chis.	250
35.- Lag. Cerritos, Chis.	1 000
36.- Lag. Chantuto, Chis.	301
37.- Lag. Teculapa, Chis.	358
38.- Lag. Panzacola, Chis.	426
39.- Lag. Campón, Chis.	551

NOTA: los números correspondientes son los utilizados en las gráficas.

Al consultar las numerosas referencias bibliográficas sobre lagunas costeras, es notoria una constante: las fluctuaciones hidrológicas, planctónicas, bentónicas e ícticas comparten patrones íntimamente relacionados con la variación estacional climática y por lo tanto, de la estuarinidad. Finalmente, cabe resaltar que el fenómeno mareal tiene mayor relevancia al representar un **desplazamiento horizontal más que vertical** de agua, en toda la laguna. Lo anterior es de gran importancia, porque una parte importante de la explicación de fenómenos ecológicos por parte de algunos especialistas, son tomados de la Limnología, en donde el desplazamiento vertical, inclusive de comunidades planctónicas, es más significativo.

Por lo tanto, es conveniente dejar establecido que las lagunas costeras son concebidas aquí como "**un efecto hidrológico derivado del encuentro de dos masas de agua de diferente origen**". Este fenómeno físico-químico e hidrológico propicia en gran medida, el peculiar comportamiento ecológico que caracteriza a estos ecosistemas acuáticos.

A continuación se presenta un resumen de las características espacio-temporales en las lagunas, con base en las investigaciones realizadas hasta la fecha:

2.1.1. *Parámetros abióticos*

Salinidad.- Los valores de salinidad en las lagunas costeras varían en concordancia con la época climática, esto es, durante la época de lluvias la influencia dulceacuícola aumenta considerablemente propiciando hábitats predominantemente oligohalinos. La permanencia de estas características está en función de la cantidad de los aportes de agua dulce y la intensidad de las lluvias locales. El descenso de las lluvias es concomitante con el de los aportes de ríos, propiciando el paulatino aumento de la influencia marina por medio de la marea. El fenómeno anterior es palpable en la mayoría de las lagunas costeras mexicanas; sin embargo la importancia, permanencia y efectos sobre la ecología lagunar, está en función de las características propias de cada laguna; por ejemplo existen lagunas donde este fenómeno propicia que en un ciclo anual las condiciones prácticamente vayan desde la oligohalinidad (0 ups) hasta la eurihalinidad (35.00 ups), como es el caso de las lagunas costeras de Chiapas (Castañeda y García-Nagaya,1994); en algunos casos las lagunas durante la época de estiaje, llegan a alcanzar valores inclusive de hipersalinidad (de 40 a >100 ups) como son los casos de algunos cuerpos acuáticos de la costa del estado de Guerrero (Mandelli y Botello,1976).

Desde la perspectiva de la salinidad, existen otros importantes fenómenos de efectos significativos sobre la ecología lagunar y que son ocasionados principalmente por la eficiencia en la circulación y/o de la presencia de áreas relativamente aisladas a ésta. Lo anterior auspicia el establecimiento de áreas, inclusive permanentes, con valores elevados de salinidad o hipersalinas, como en laguna Madre, Tamps. (Contreras y Zabalegui,1988). Por otro lado, la continua influencia dulceacuícola por medio de los ríos, genera la presencia de áreas permanentemente oligohalinas, como es el caso de la laguna de Términos, Camp. (Vázquez-Botello,1978).

Actualmente algunos programas de manejo hidráulico en las planicies costeras, son los principales causantes de cambios significativos en la salinidad de algunas lagunas costeras mexicanas, donde el efecto puede causar los dos extremos, o se convierte en un ecosistema totalmente dulceacuícola como en la laguna de Manialtepec, Oax. y que trae por consecuencia, además, una tendencia a la eutroficación por el aporte continuo de nutrientes (García-Nagaya y Contreras,1993) o en el otro caso una salinización, como es el caso de la laguna Corralero en esta misma entidad (Contreras,1993). Otra actividad humana común en estos ecosistemas y que, cuando no está correctamente planificada genera desequilibrios importantes en las características estuarinas propias de cada laguna, es la apertura de bocas de comunicación con el mar. El mejor ejemplo de esta alteración, lo ofrece la laguna de Carmen-Machona, Tab. en donde la carencia de planificación causó, entre otras cosas, la salinización de 19, 000 Ha de campos de cultivo aledaños, ya que la obra se "salió" de control; de una

boca planeada originalmente con 20 m de anchura y 3-4 m de profundidad, pasó a medir 500 m en su primera fase y alcanzó a los dos meses el kilómetro de ancho. (CECODES, 1981; Contreras,1993).

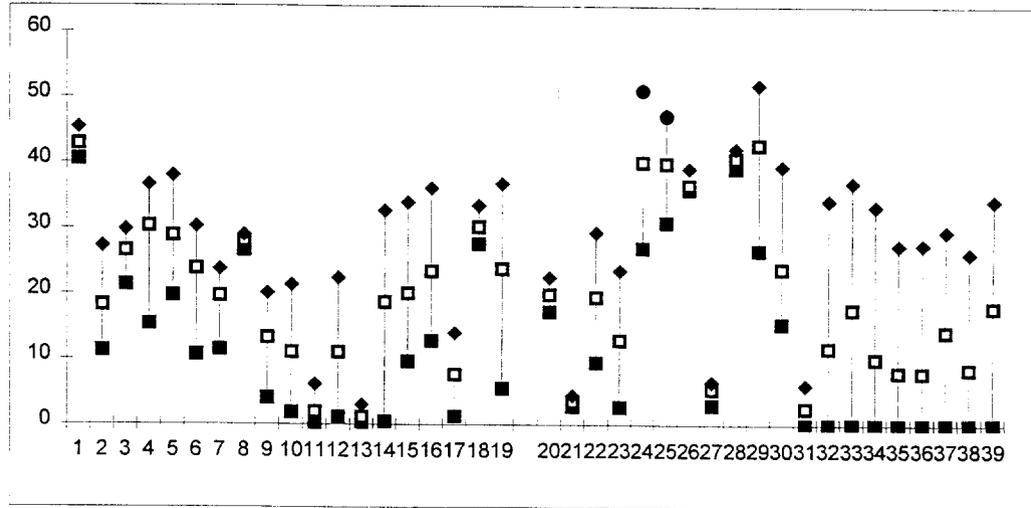


Figura 2.1.1. Mínimo, máximo y promedio de salinidad (ups) en 39 lagunas costeras.
 ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
 ■ Valor del promedio mensual mínimo.

Clasificación de lagunas costeras según sus valores de Salinidad.
(Siguiendo el Sistema de Venecia, 1959)

1.1 Lagunas con fuertes influencias de aportes terrígenos. Salinidad por debajo de las 5 ups de promedio anual. Lo anterior implica, algunas veces, intervalos amplios pero cuyos valores promedio mantienen condiciones de oligohalinidad.

1.1. Lagunas oligohalinas.

Ejemplos: Golfo de México, Tlalixcoyan y río Calzadas en Veracruz.
En el Pacífico: Mitla, Gro. Manialtepec, Oax. Buenavista, Chis.

1.2 Lagunas con características estuarinas, debidas al intercambio de agua y con una buena mezcla, con dos subcategorías:

1.2.1. Salinidad cuyo promedio anual va de 5 a 18 ups.

1.2.1. Lagunas mesohalinas.

Ejemplos: Camaronera, Alvarado, Sontecomapan y Mecoacán en el Golfo de México.
Por parte del Pacífico: Chautengo, Gro., Manialtepec, Oax., Carretas, Pereyra, Bobo, Cerritos, Chantuto, Teculapa, Panzacola y Campón en Chiapas.

1.2.2. Salinidad cuyo promedio anual va de 18 a 30 ups.

1.2.2. Lagunas polihalinas

Ejemplos: Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco 1990, Tuxpan, Mancha, Mandinga y Ostión en Veracruz; Carmen y Machona, Tab. y Celestún, Yuc. Pacífico: Nuxco y San Marcos, Gro.; Joya-Buenavista, Chis.

1.3 Lagunas con marcada influencia oceánica. Salinidad que va de las 30 a las 40 ups.

1.3. Lagunas eurihalinas

Ejemplos: Términos, Camp. Chacahua-Pastoría, Oax.

1.4 Lagunas que por una elevada evaporación, poca circulación, recambio o inclusive alteraciones humanas en su cuenca hidrológica, manifiestan salinidades promedio por arriba de las 40 ups.

1.4. Lagunas hiperhalinas

Ejemplos: Madre, Tamps.; Corralero, Superior e Inferior y Mar Muerto, Oax.

Temperatura.- La ubicación latitudinal de nuestro país hace que la mayoría de los sistemas acuáticos litorales se encuentren dentro de la zona subtropical y tropical, a excepción del norte de la república. En esta última región se generan cambios estacionales térmicos de una magnitud considerable, en cambio en el resto, éstas variaciones son más atenuadas. Los organismos que habitan los sistemas estuarinos son euritermos y están adaptados a los intervalos de temperatura de una zona dada, aunque como es de esperarse sus funciones biológicas tales como la reproducción se ven retardadas cuando las temperaturas son bajas (Contreras, 1993).

En nuestras costas no existen lo que comunmente se denominan estaciones, sino que se manifiestan dos periodos bien definidos: lluvias y estiaje, con los consecuentes cambios en la temperatura y humedad. En las zonas tropicales, los organismos acuáticos viven muy cercanos a su límite máximo

de tolerancia térmica, porque usualmente la temperatura del agua, durante la época de secas, llega a alcanzar los 30°C o más. Las temperaturas invernales para estas zonas son raramente inferiores a los 19 °C. La elevada temperatura provoca, entre otras cosas, que los procesos biogeoquímicos, los de descomposición de la materia orgánica y el metabolismo basal sean más veloces que en los climas templados.

Generalmente, debido a la poca profundidad y su elevada insolación tienen una alta tasa de evaporación. Las lagunas litorales, son más cálidas que el agua que penetra, ya sea por la marea o por los ríos, por lo que la distribución de las temperaturas es relativamente fácil de inferir. Por estas mismas causas, es posible encontrar comúnmente lagunas con temperaturas que rebasan los 40 °C, acompañadas de salinidades por arriba de las 80 ups y que son conocidas como hipersalinas. También usualmente las temperaturas superficiales son más altas que en las capas inferiores, debido primordialmente al calentamiento provocado por el sol. El descenso de esta propiedad durante la noche no llega a ser drástica por la capacidad calorífica del agua.

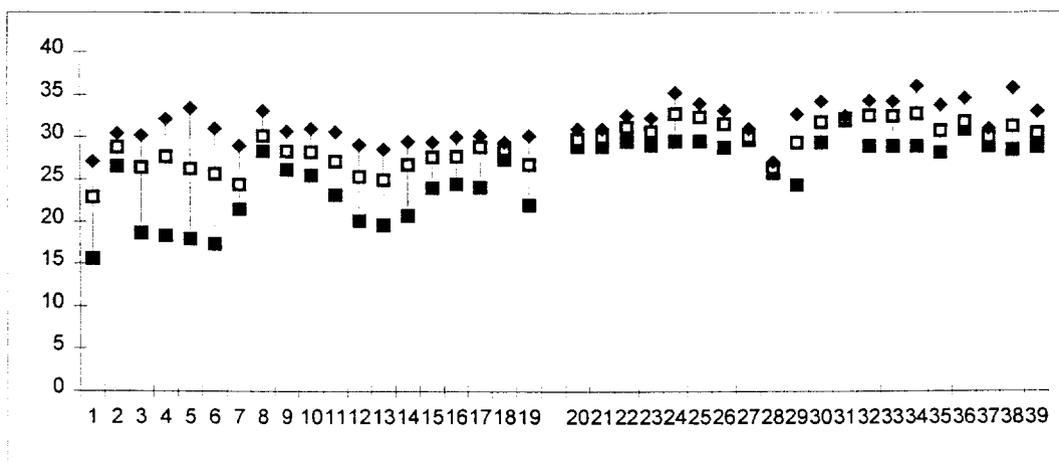


Figura 2.1.2. Mínimo, máximo y promedio de temperatura en 39 lagunas costeras.
 ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
 ■ Valor del promedio mensual mínimo.

Oxígeno disuelto.- El oxígeno disuelto en el agua es un factor primordial para la existencia de la biota acuática. En el caso de los ecosistemas lagunares éste procede principalmente de dos fuentes: de la atmosférica y de su generación por los productores primarios. Por parte de la interacción atmósfera-agua, ésta sucede por leyes físico-químicas fundamentalmente la de Dalton (ley de las presiones parciales); por otro lado, la presencia y difusión de este gas estarán condicionados además de la presión, por la salinidad y la temperatura. De este modo el agua contendrá una cierta cantidad de oxígeno en función a éstas características. Por lo anterior, si la concentración cuantificada en el ecosistema rebasa a la cantidad determinada por las leyes físico-químicas, se detectará lo que se denomina una sobresaturación. Esta **sobresaturación** es generada principalmente por los procesos fotosintéticos locales. En la mayoría de las lagunas costeras es frecuente este fenómeno, debido a la presencia de variadas fuentes de productores primarios, de los que sobresalen los pastos y el fitoplancton.

La anoxia, por el contrario, es la ausencia de oxígeno (valores menores a 0.5 ml/l). Areas pobres en contenido de este gas e inclusive, sin rastros de él se localizan dentro de sistemas estuarinos y están asociadas generalmente a sitios en donde la descomposición de materia orgánica y detritus, son los procesos dominantes. Entre la sobresaturación y la anoxia existe un término empleado últimamente denominado **hipóxía**, el cual corresponde a valores por debajo de los 1.4 ml/l. Otros autores usan también el término **subóxico** para concentraciones de oxígeno entre los 2 y 4 ml/l (Saad y Hemeda, 1992). A lo anterior contribuye una circulación pobre y el aislamiento. Otra causa común del

agotamiento del oxígeno es la eutrofización; ésta se auspicia por una cantidad elevada de nutrientes que a su vez, genera un exceso poblacional de fitoplancton sobre todo de cianofitas. Los productores primarios producen oxígeno pero también lo consumen parcialmente. Uno de los principales factores que influyen en el agotamiento del oxígeno por eutrofización es el papel que juega la respiración bacteriana en el ecosistema acuático; Debido a la gran cantidad de materia orgánica proveniente del fitoplancton (del no consumido y que muere), esta materia (fitodetritos) es aprovechado por las bacterias consumiendo una elevada cantidad de oxígeno. La eutrofización puede ser natural o cultural. El primer caso está representado en una constante entrada de sedimentos al cuerpo acuático, lo que propicia su azolvamiento y futura desaparición; el segundo por el hecho de que este fenómeno es acelerado debido a los desechos producidos por el hombre, tales como las aguas negras y los fertilizantes. El impacto negativo sobre los recursos bióticos es elevado, pues cancela la posibilidad de un aprovechamiento más efectivo. Desde esta perspectiva, la rehabilitación de áreas pobres en oxígeno, se hace por medio de su reincorporación hacia una circulación más efectiva.

En ecosistemas acuáticos como los lagos, el oxígeno puede presentar una distribución vertical, disminuyendo su presencia en la medida que se aproxima al fondo. En estos ecosistemas el oxígeno ha sido considerado para definir estratos, tal es el caso de los denominadas zonas trofógena, trofólítica y de compensación (diferentes a las de eufótica y afótica) (Wetzel, 1975).

En el caso de los ecosistemas costeros en nuestro país, las usuales altas temperaturas contribuyen a la disminución de la solubilidad del oxígeno. Sin embargo, tomando en cuenta que lo anterior es una característica común en las lagunas litorales, éstas no llegan a propiciar concentraciones de oxígeno que se consideran limitantes para la biota. Los vientos, las corrientes mareales, la poca profundidad y sobretodo la considerable productividad primaria proveniente de varias fuentes, hacen que la presencia y abundancia del oxígeno sea usual. Por la elevada productividad frecuente en estos sistemas, la depositación de materia orgánica hacia los sedimentos es considerable y ésta requiere de mucho oxígeno para su descomposición, por lo que la cantidad de materia orgánica en las lagunas costeras hacen oscilar notablemente las variaciones diarias del oxígeno disuelto (Edwards, 1978; Mee, 1977).

Una buena mezcla de agua en las lagunas ofrece volúmenes suficientes de este elemento, aunque generalmente los sedimentos son anóxicos inmediatamente debajo de la capa superficial del sedimento.

Valores superiores al 100% de saturación de oxígeno son usualmente dominantes a lo largo del ciclo anual en algunas lagunas costeras. Por ejemplo en la laguna de Tamiahua en Veracruz, la saturación mínima registrada fue de 110% y la máxima de 180% (Contreras, 1981), por lo que puede suponerse que dominan en el sistema, procesos autotróficos.

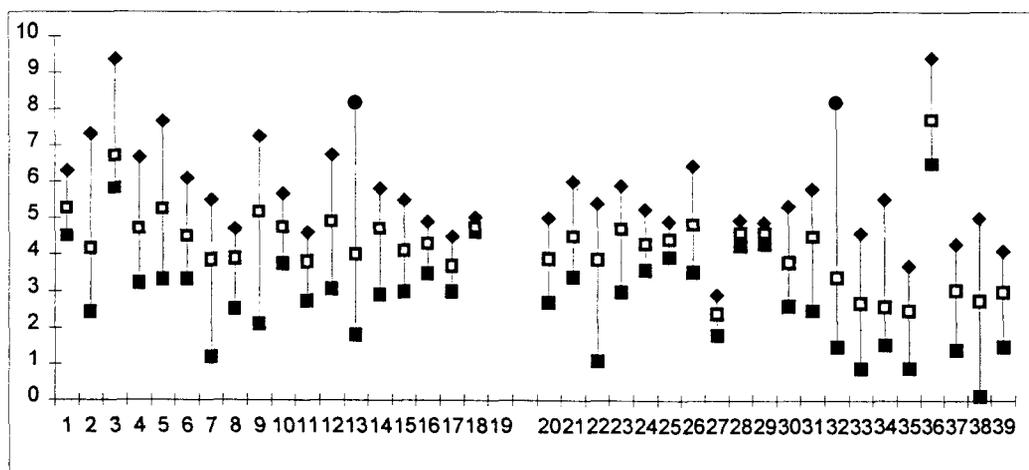


Figura 2.1.3. Mínimo, máximo y promedio de oxígeno disuelto (ml/l) en 39 lagunas costeras.

- ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
- Valor del promedio mensual mínimo.

Clasificación de lagunas costeras según su contenido de Oxígeno disuelto.

1.1 Valores promedio entre los 2 y 3 ml/l, considerados nocivos para la biota acuática.

Lagunas hipóxicas

Ejemplos: Manialtepec, Oax.; Bobo, Cerritos, Buenavista y Teculapa en Chiapas.

1.2 Valores promedio entre 3 y 5 ml/l, óptimos para el desarrollo de organismos.

Lagunas óxicas

Ejemplos: La mayoría de las lagunas costeras, tanto en el Golfo como en el Pacífico.

1.3 Valores que rebasan los 5 ml/l. Característico de aguas muy productivas debido a que estas concentraciones representan, en la mayoría de los casos, niveles de sobresaturación del gas cuyo origen se presume en los productores primarios autóctonos.

Lagunas hiperóxicas.

Ejemplos: Madre, Tamps.; Tampamachoco, Tamiahua y Camaronera en Veracruz.

El anterior ejercicio aplicado a la cantidad de nutrientes no resultó demostrativo, ya que las variaciones estacionales de éstos son muy amplias. Generalmente las concentraciones más elevadas se sitúan después del período de lluvias, cuando además de los elementos autóctonos, se suman los provenientes de los arrastres terrígenos originados por los ríos (Postma,1969, Lickens,1972, Head,1976, Barnes,1980, Nixon,1980,1981). Las concentraciones mínimas se detectan después del florecimiento fitoplanctónico primaveral; pero aún en estos meses los nutrientes se registran cantidades superiores a las disponibles en la zona marina cercana.

pH y alcalinidad.- Los valores de pH están dados por el intercambio de CO₂ atmosférico y el agua generando ácido carbónico (H₂CO₃). La inestabilidad de este compuesto hace que existan siempre formas carbonatadas disueltas en el agua como carbonatos (CO₃⁻) y bicarbonatos (HCO₃⁻) asociados a elementos de carga positiva (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺). Al existir un mayor número de compuestos de carga negativa se provoca que el pH, en el agua de mar, resulte levemente alcalina, presentando un valor promedio de 8.2 (Broecker, 1974). En cambio el agua de origen continental tiende a valores neutros de 7.0. Por lo anterior, los registros de pH naturales dentro de una laguna varían en este intervalo.

Las variaciones de pH hacia la alcalinidad (mayor de 8.5) se debe principalmente a la actividad de organismos que intervienen en el ciclo del CO₂, tales como moluscos y bivalvos que, a su muerte, liberan cantidades significativas de carbonatos. Otra causa es la precipitación de CaCO₃ y su resuspensión a partir de suelos calcáreos. En cambio los pH bajos (menores a 7) se localizan íntimamente relacionados con procesos de descomposición de materia orgánica y liberación de ácidos. La introducción de sustancias tóxicas provenientes de la industria generalmente hacen bajar los valores de pH. Valores cercanos a 5, han sido detectados frecuentemente asociados a desechos provenientes de actividades industriales. Las áreas anóxicas (que son el reflejo de extensiones aisladas de la circulación general de la laguna), son asociadas generalmente a bajas concentraciones de oxígeno disuelto y a mínimos valores en el pH. Las extensiones cubiertas y asociadas a bosques de manglar, comúnmente reflejan valores bajos ocasionados principalmente por el contenido de ácidos húmicos disueltos en el agua que provienen precisamente de esta vegetación. Estos ácidos son compuestos de peso molecular muy elevado, por lo que su persistencia aún en el océano, es considerable. Durante la época lluviosa, la presencia de una coloración oscura invade prácticamente grandes extensiones lagunares que son transportadas hacia el mar por el efecto mareal. De no

efectuarse lo anterior, estos ácidos tienden a permanecer dentro de la laguna propiciando la proliferación de bacterias y el consecuente agotamiento del oxígeno por los procesos de degradación a que son sometidos *in situ*.

Por todo lo anterior, las variaciones en el pH lagunar son de características locales, en las que intervienen: la cantidad de agua de mar, la calidad de los escurrimientos, la lluvia, la presencia de detritos orgánicos: manglares, pastos marinos y fuentes alóctonas de carbono por los ríos y excurrimientos terrestres, una circulación deficiente, el aislamiento de zonas, la presencia de suelos de origen calcáreo, la actividad biológica de algunos organismos y finalmente algunos procesos biogeoquímicos.

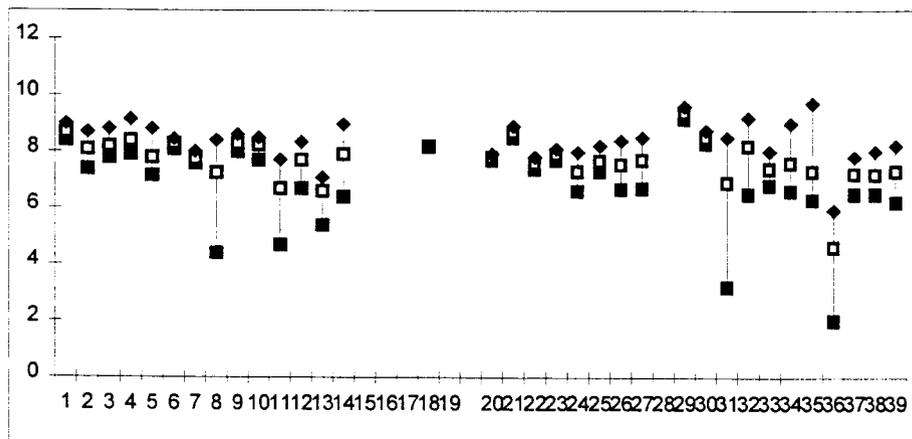


Figura 2.1.4. Mínimo, máximo y promedio de pH en 35 lagunas costeras
 ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
 ■ Valor del promedio mensual mínimo.

2.1.2. Nutrientes

La productividad real y potencial de las lagunas costeras ha sido considerada como una de las más altas del mundo; rebasando inclusive, a algunos sistemas terrestres cultivados por el hombre con técnicas modernas. La principal condicionadora de dicha productividad es la presencia constante y significativa de ciertos elementos, a partir de los cuales se genera la producción básica, esto es del componente vegetal. Estos elementos son conocidos con el nombre de **nutrientes** (correctamente nutrimentos) y que son básicamente: compuestos nitrogenados (**amonio, nitratos, nitritos y urea**), fosfatados (varias formas de **fosfatos**) y el **silice**. Es frecuente en la literatura científica, encontrar artículos que tratan del problema de la carencia de suficientes nutrientes para el buen desarrollo del fitoplancton y es contundente la aseveración de considerarlos como los limitantes primordiales del proceso de producción. (Lickens, 1972, Nixon, 1980, Contreras, 1993).

En la mayoría de las lagunas litorales de nuestro país, esta limitación es prácticamente nula debido, al número de fuentes aportadores de dichos elementos, a la morfología y a la batimetría de los ecosistemas. Su característica de relativo aislamiento, las convierte en trampas de nutrientes y sus usualmente altas temperaturas, propician tasas de velocidad considerables en todos los **procesos biogeoquímicos** involucrados en su reutilización. (Klump y Martens, 1981, Hargrave y Connolly, 1978).

La cantidad de nutrientes presentes en ecosistemas acuáticos, ha hecho que se establezca una clasificación de niveles tróficos en función del contenido de éstos. Así, se tienen cuerpos acuáticos **oligotróficos, mesotróficos, eutróficos y distróficos**. La jerarquización más conocida es la de Lickens (1972), quién la aplicó a lagos y se ha hecho extensiva a estuarios en latitudes templadas.

Esta clasificación ha sido empleada, inclusive para aguas marinas (Volleinweider, 1992). Sin embargo, si se comparan las concentraciones habituales detectadas en nuestros sistemas estuarinos, éstos distan mucho de ubicarlos en ese contexto, por lo que se hace necesario reclasificarlos dentro de un

intervalo de valores más cercano a las concentraciones usuales. Tomando como base la anterior clasificación, el resultado es que la gran mayoría de las lagunas litorales del país son levemente eutróficas, esto es, que contienen en sus aguas, una cantidad elevada de nutrientes (Contreras, 1991).

La cuantificación y seguimiento de estos elementos en ecosistemas acuáticos, ofrecen muchas más posibilidades de integrar información, de lo que comúnmente se cree. Cantidades inusuales de algunos compuestos como el amonio, son indicativos de **procesos heterotróficos** o inclusive anóxicos que pueden ser naturales o inducidos por la actividad humana. Los fosfatos están asociados frecuentemente a insumos de fertilizantes o detergentes. Una estrecha relación entre el contenido de fósforo total y clorofila a, ha sido comprobada (Contreras y Kerekes, 1993).

Las fuentes principales de nutrientes para los ecosistemas lagunares-estuarinos son: la lluvia, los escurrimientos por ríos, los procesos biogeoquímicos involucrados en la interfase sedimento-agua con la consecuente resuspensión y reciclamiento, así como el continuo aporte de materiales de diverso tipo (y su consecuente transformación vía descomposición bacteriana) proveniente de la vegetación sumergida y aledaña (De La Lanza y Arenas, 1986).

Desde esta perspectiva y relacionado con el tema siguiente, cabe destacar el papel del azufre y su ciclo en los ecosistemas lagunares. Aunque existe muy poca investigación al respecto, el ciclo del azufre está íntimamente relacionado con el reciclamiento de los nutrientes, la descomposición de la materia orgánica, la reutilización de materiales y los procesos biogeoquímicos de las bacterias, que recientemente han sido evaluados como primordiales en el mantenimiento de los sistemas costeros. (Martens, 1982; Snedaker y Brown, 1982).

Las variaciones estacionales de los nutrientes son amplias. Las concentraciones más elevadas se sitúan generalmente después del período de lluvias, cuando además de los elementos autóctonos, se suman los provenientes del arrastre terrígeno originado por los ríos. Las concentraciones mínimas se detectan después del **floreCIMIENTO fitoplanctónico primaveral**; pero aún en estos meses abundan nutrientes en cantidades superiores a las disponibles en la zona marina cercana. Debido a lo anterior, la marea propicia un suministro sustancial de aquéllos hacia la zona costera (Contreras, 1983; Contreras y Casillas, 1992; Contreras *et al.*, 1996).

Con respecto a las formas nitrogenadas la dominante es el amonio y su relación con respecto al nitrógeno total inorgánico va del 60 al 98 %; lo anterior tiene una fuerte relación con la presencia y dominancia con formas nanofitoplanctónicas quienes manifiestan una considerable aportación a la biomasa total del fitoplancton (Malone, 1970, McCarthy *et al.* 1974, Contreras y Castañeda, 1992), ya que como se ha comprobado, el nanofitoplancton capta preferentemente nitrógeno regenerado (amonio), mientras que el microfitoplancton lo hace con formas nitrogenadas nuevas (nitratos). Los mínimos valores en esta relación suceden durante la época de secas y cuando se detecta una mayor oxigenación del sistema. Los máximos se ubican en lapsos de características heterotróficas (invierno) y en zonas aisladas en donde los procesos de descomposición de la materia orgánica dominan, como en el caso del fondo lagunar. Finalmente, se ha observado que la proporción porcentual N-NH₄:N total inorgánico, desciende abruptamente en los meses de florecimiento fitoplanctónico, mientras que aumenta la proporción N-NO₃:N total inorg. (Bienfang, 1975; Contreras, 1981).

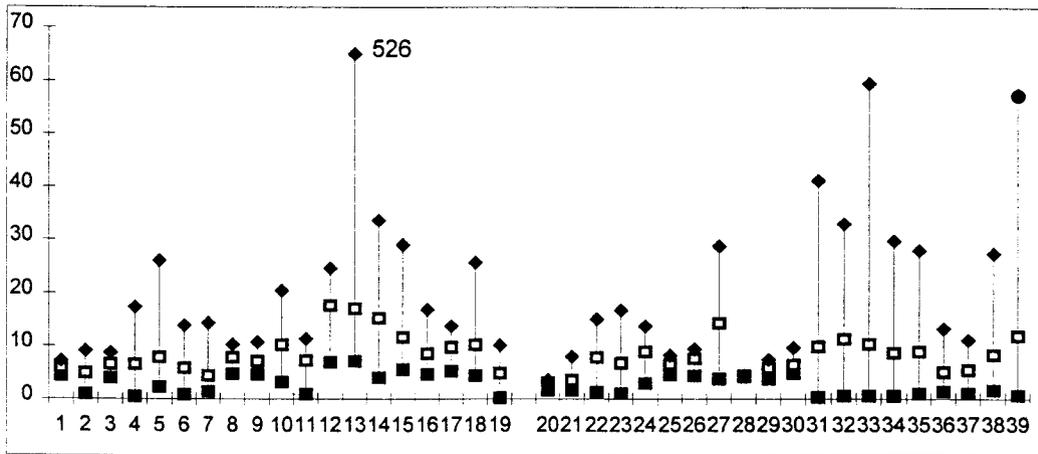


Figura 2.1.5. Mínimo, máximo y promedio de amonio ($\mu\text{g-at/l}$) en 39 lagunas costeras
 ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
 ■ Valor del promedio mensual mínimo.

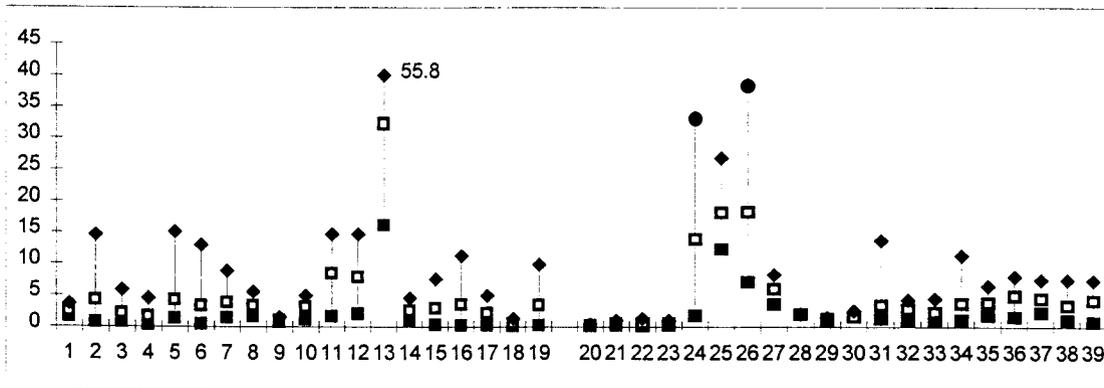


Figura 2.1.6. Mínimo, máximo y promedio de nitratos más nitritos ($\mu\text{g-at/l}$) en 39 lagunas costeras.
 ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
 ■ Valor del promedio mensual mínimo.

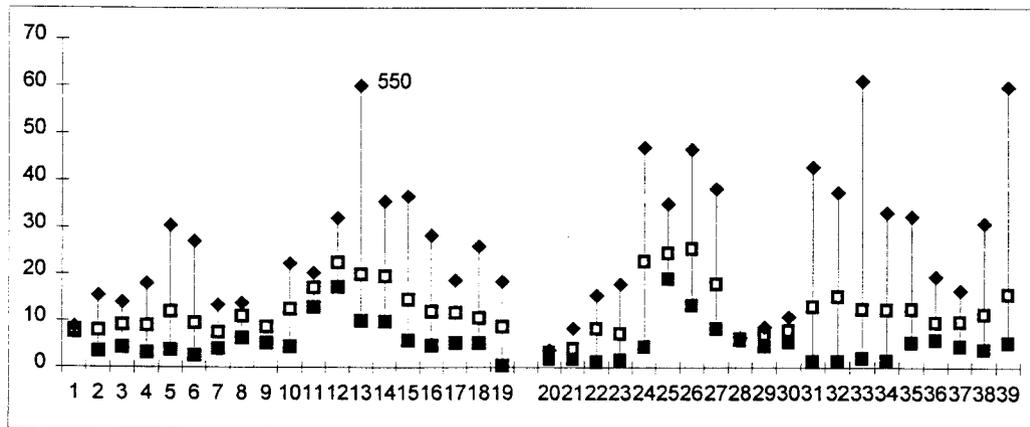


Figura 2.1.7. Mínimo, máximo y promedio de nitrógeno total ($\mu\text{g-at/l}$) en 39 lagunas costeras
 ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
 ■ Valor del promedio mensual mínimo.

Con base en las anteriores gráficas y los datos puntuales de las lagunas estudiadas, a continuación se presentan algunos ordenamientos basados en la concentración de amonio, nitratos mas nitritos y Nitrógeno total. Las lagunas estan agrupadas bajo el valor que resultó de su promedio anual.

TABLA 2.1.1. ORDENAMIENTO DE ALGUNAS LAGUNAS COSTERAS CON BASE EN LA PRESENCIA DE AMONIO

Golfo de México				
0 -- 5	5 -- 10	10 -- 15	15 -- 20	> 20
Pueblo Viejo	Madre	Alvarado	Ostión	Calzadas
Mancha	Tamiahua	Sontecomapan		
Celestum	Tampa. 80	Carmen		
	Tampa. 90	Términos		
	Tuxpan			
	Mandinga			
	Camaronera			
	Tlalixcoyan			
	Machona			
	Mecoacán			
Pacífico				
Nuxco	San Marcos	Manialtepec		
Mitla	Chautengo	Carretas		
Sup. e Inf.	Corralero	Pereyra		
Chantuto	Chacahua	Campón		
	Pastoría			
	Mar Muerto			
	Joya-Buenav.			
	Carretas			
	Cerritos			
	Buenavista			
	Panzacola			
	Teculapa			
7 = 17 %	22 = 56 %	8 = 20 %	1 = 2 %	1 = 2 %

En el caso del amonio, de las 39 lagunas muestreadas en 22 (lo que representa el 56% del total), la concentración promedio es entre 5 y 10 µg-at/l, lo que podrá significar que es éste el valor usual para lagunas costeras. Al momento del trabajo de campo, la laguna del Ostión se encontraba con severos problemas de impacto ambiental ocasionado por infraestructura industrial de PEMEX y el río Calzadas, este último esta asociado con una zona pantanosa y en donde las concentraciones de nitrógeno y fósforo son elevados por su propia naturaleza distrófica.

TABLA 2.1.2. ORDENAMIENTO DE ALGUNAS LAGUNAS COSTERAS CON BASE EN LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS MÁS NITRITOS.

Golfo de México				
0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	> 20
Madre	Tlalixcoyan			Calzadas
Pueblo Viejo				
Tamiahua				
Tampa. 80				
Tampa. 90				
Tuxpan				
Mancha				
Mandinga				
Camaronera				
Alvarado				
Sontecomapan				
Ostión				
Carmen				
Machona				
Mecoacán				
Términos				
Celestúm				
Pacífico				
Nuxco	Manialtepec	Corralero	Chacahua	
Mitla			Pastoría	
San Marcos				
Chautengo				
Sup. e Inf.				
Mar Muerto				
Joya-Buenav.				
Carretas				
Pereyra				
Bobo				
Cerritos				
Buenavista				
Chantuto				
Teculapa				
Panzacola				
Campón				
33 = 84 %	2 = 5 %	1 = 2 %	2 = 5 %	1 = 2 %

Por lo que se observa el valor del intervalo normal se sitúa entre los < 0.01 a 5 µg-ag-at/l, ya que el 84% de las lagunas (33 de 39) se ubican bajo estos límites.

TABLA 2.1.3. ORDENAMIENTO DE ALGUNAS LAGUNAS COSTERAS CON BASE EN LA CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL.

Golfo de México						
0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 -25.0	25.0 - 30.0	> 30.0
	Madre Pueblo Viejo Tamiahua Tampa. 80 Tuxpan Mancha Camaronera Celestum	Tampa. 90 Mandinga Alvarado Carmen Machona Mecoacán Términos	Tlaxicoyan Sontecomapan Ostión			Calzadas
Pacífico						
Nuxco Mitla	San Marcos Chautengo Sup. e Inf. Mar Muerto Joya-Buenav. Chantuto Teculapa	Carretas Pereyra Bobo Cerritos Buenavista Panzacola	Manialtepec Campón	Corralero Chacahua	Pastoría	
2 = 5 %	15 = 37 %	13 = 32 %	5 = 12 %	2 = 5%	1 = 2 %	1 = 2 %

El 69% de las lagunas, 18 de 39, se sitúa en el intervalo que va de 5.0 a 15.0 µg-at/l).

Las fuentes de fósforo están consideradas por muchos autores como las principales condicionadoras para el proceso de la producción primaria; por ejemplo, la relación entre el fósforo y la clorofila *a* ha sido demostrada ampliamente (Vollenweider y Kerekes, 1982; Contreras y Kerekes, 1993; Vollenweider, 1992). Por mucho tiempo este elemento ha sido considerado como el nutriente limitante por numerosos autores; sin embargo, el nitrógeno desempeña un papel primordial sobre todo en sistemas estuarinos al grado de que en algunos de ellos, la productividad primaria fitoplanctónica sea limitada por la escasa presencia de este nutriente (Nixon, 1981). Finalmente y con base en varios trabajos, todo apunta a considerar que mas importante que la concentración individual de nitrógeno o fósforo, lo es la relación entre ellos, esto es, la relación N:P (Redfield, 1958; Redfield *et al.*, 1963; Rhee, 1978; Doremus *et al.*, 1980). Así, una relación N:P menor a 5 es interpretada como una limitación de nitrógeno; una mayor a 10 se considera como indicativa de una limitación de fósforo y se establece que de 5 a 10 es indiferente (Rinaldi *et al.*, 1992).

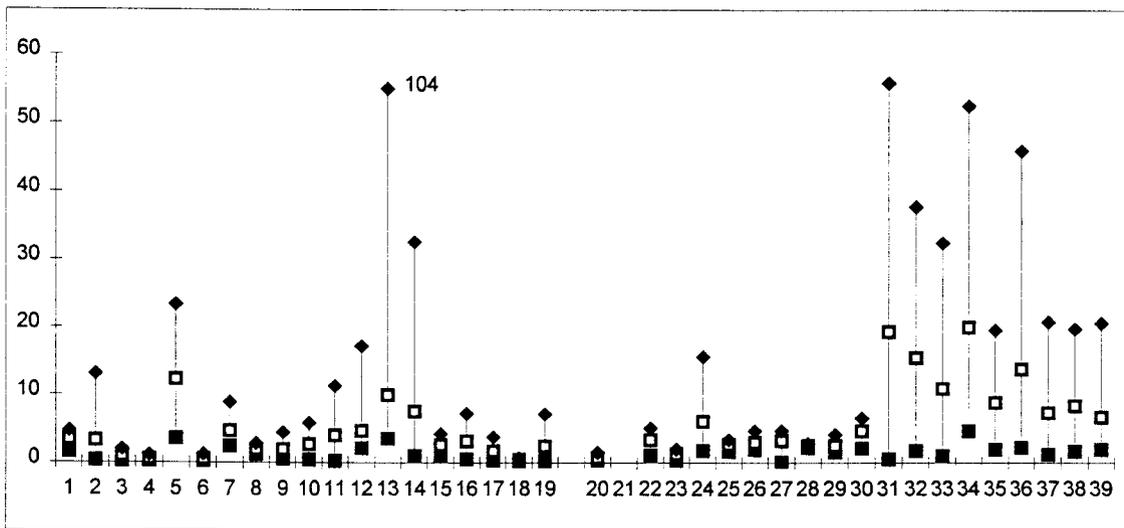


Figura 2.1.8. Mínimo, máximo y promedio de ortofosfatos ($\mu\text{g-at/l}$) en 38 lagunas costeras
 ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
 ■ Valor del promedio mensual mínimo.

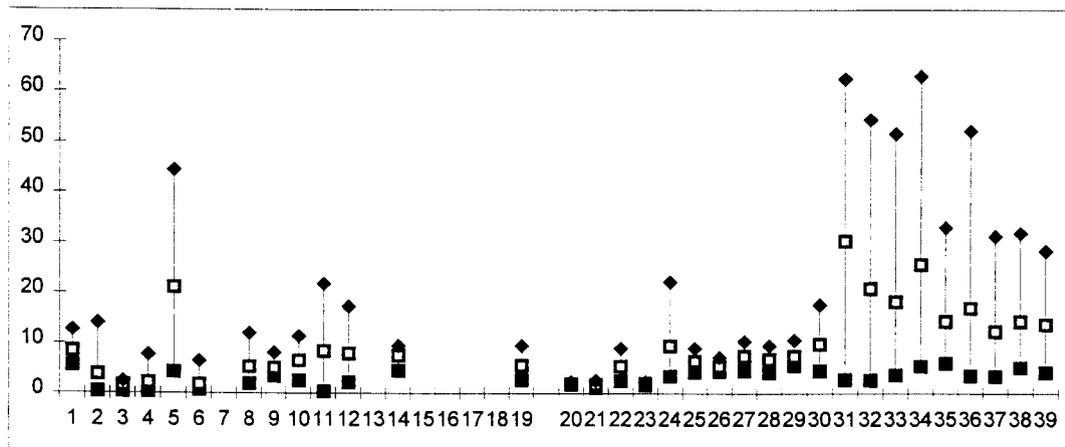


Figura 2.1.9. Mínimo, máximo y promedio de fósforo total ($\mu\text{g-at/l}$) en 33 lagunas costeras
 ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
 ■ Valor del promedio mensual mínimo.

Al igual que el caso de las formas nitrogenadas, a continuación se presenta un ordenamiento de las lagunas basado en su concentración promedio anual para el fósforo.

TABLA 2.1.4. ORDENAMIENTO DE ALGUNAS LAGUNAS COSTERAS CON BASE EN LA CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATOS.

Golfo de México				
0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 -20.0	> 20.0
Madre	Ostión	Tampa. 90		Calzadas
Pueblo Viejo				
Tamiahua				
Tampa. 80				
Tuxpan				
Mancha				
Mandinga				
Camaronera				
Alvarado				
Tlalixcoyan				
Sontecomapan				
Carmen				
Machona				
Mecoacán				
Términos				
Celestún				
Pacífico				
Nuxco	Corralero	Chantuto	Carretas	
San Marcos	Buenavista	Bobo	Cerritos	
Chautengo	Teculapa		Pereyra	
Chacahua	Panzacola			
Pastoría	Campón			
Manialtepec				
Sup. e Inf.				
Mar Muerto				
Joya-Buenav.				
25 = 65 %	6 = 15 %	3 = 8 %	3 = 8 %	1 = 2 %

Por lo que se deduce del ordenamiento anterior, el intervalo de la concentración de fosfatos va de <.01 a 5 µg-at/l y engloba a la mayoría de las lagunas (25 de 38, esto es el 65% del total). Aquí cabe destacar el incremento del intervalo de la laguna de Tampamachoco entre 1980 y 1990, ya que triplicó sus valores en diez años, lo que indicaría, hasta el momento del muestreo, una eutrofización cultural de importancia.

TABLA 2.1.5. ORDENAMIENTO DE ALGUNAS LAGUNAS COSTERAS CON BASE EN LA CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO TOTAL.

Golfo de México						
0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	> 30.0
Pueblo Viejo	Madre			Tampa. 90		
Tamiahua	Mandinga					
Tampa. 80	Camaronera					
Tuxpan	Alvarado					
Sontecomapan	Tlalixcoyan					
	Ostión					
	Celestún					
Pacífico						
Nuxco	San Marcos	Joya-Buenav.	Bobo	Pereyra	Cerritos	Carretas
Mitla	Corralero	Buenavista	Chantuto			
Chautengo	Chacahua	Teculapa				
	Pastoría	Panzacola				
	Manialtepec					
	Sup. e Inf.					
	Mar Muerto					
8 = 25 %	14 = 43 %	4 = 12 %	2 = 6 %	2 = 6 %	1 = 3 %	1 = 3 %

Se ha demostrado que una sobresaturación de formas fosfatadas o nitrogenadas ocasiona un serio daño a los sistemas acuáticos (Lickens, 1972). Lo anterior es conocido con el nombre de eutrofización cuyo efecto inmediato es una sobrepoblación de biota fitoplanctónica propiciada por una cantidad anormal de nutrientes. Este fenómeno resulta perjudicial por los cambios significativos en el pH y la aparición de una sucesión bacteriana dominante, anoxia en la columna de agua y generación de ácido sulfhídrico o metano y una abrupta caída del potencial de reducción.

Relación N:P. Por las concentraciones de nutrientes detectadas en las lagunas costeras, todo parece indicar que éstas distan por mucho de ser limitantes para los procesos de la producción primaria. Sin embargo en áreas y ecosistemas costeros, no es tanto la presencia sino la relación entre nutrientes (relación N:P), lo que adquiere relevancia. Lo anterior está fundamentado en el hecho de que la proporción C:N:P en la naturaleza es de 106:16:1, y es la relación que presentan por ejemplo, la células fitoplanctónicas en su interior, lo que implica también aunque indirectamente, sus requerimientos básicos (Redfield, 1958, Redfield *et al.*, 1963, Rhee, 1978, Doremus *et al.*, 1980).

La relación N:P (inorgánica) en lagunas costeras tiende a ser baja, esto es, que manifiesta una relativa limitación de formas nitrogenadas. Siguiendo las sugerencias de Rinaldi *et al.*, (1992), los valores de N:P mayores de 10 están asociados a sistemas con una marcada influencia oceánica como las lagunas de Tamiahua (3), Tampamachoco (4,5), Tuxpan (6), Alvarado (10) y Términos (18). En la región del sur de México (estados de Oaxaca y Chiapas) se manifiesta una tendencia al incremento de formas de fósforo lo que hace que el índice N:P llegue a ser inverso, esto es, una mayor cantidad de fósforo que de nitrógeno. Se detectaron lagunas que llegan a reflejar valores tan bajos como 0.027 lo que equivale a 37:1 de P:N. Lo anterior es un extremo, pero cabe hacer notar que en algunas lagunas, se presentan valores inversos de este índice en alguna época del año.

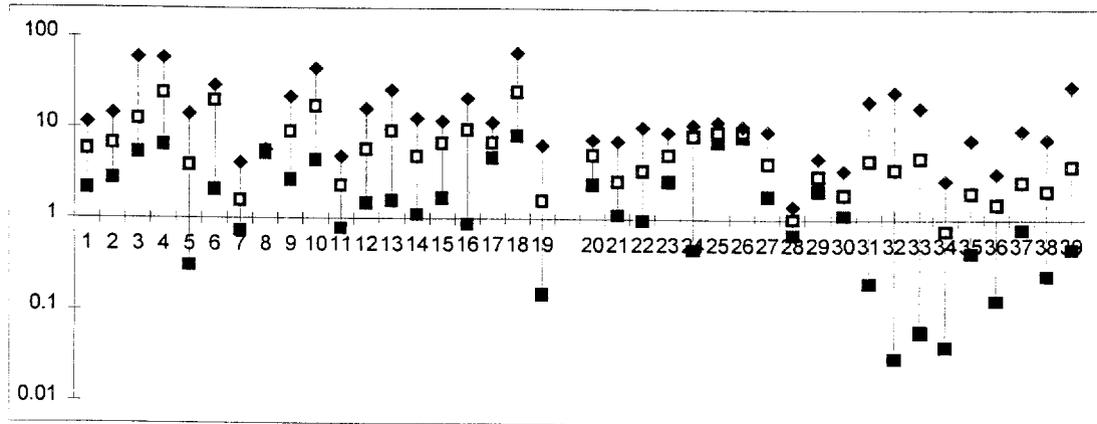


Figura 2.1.10. Mínimo, máximo y promedio de la relación N:P en 39 lagunas costeras.
 ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
 ■ Valor del promedio mensual mínimo.

TABLA 2.1.6. ORDENAMIENTO DE ALGUNAS LAGUNAS COSTERAS CON BASE EN SU RELACIÓN N:P, SEGÚN RINALDI ET AL., (1992).

			Golfo de México	
Menor a 1	Entre 1 y 5		Entre 5 y 10	mayor a 10
	Limitación de N		Indiferente	Limitación de P
	Tampa. 90		Madre	Tamiahua
	Mancha		Pueblo Viejo	Tampa. 80
	Tlalixcoyan		Camaronera	Tuxpam
	Ostión		Mandinga	Alvarado
	Celestún		Sontecomapan	Términos
			Calzadas	
			Carmen	
			Machona	
			Mecoacán	
			Pacífico	
Bobo	Manialtepec		Corralero	
	Sup. e Inf.		Chacahua	
	Mar Muerto		Pastoría	
	Joya-Buenavista			
	Buenavista			
	Carretas			
	Pereyra			
	Cerritos			
	Chantuto			
	Teculapa			
	Panzacola			
	Campón			
1 (2%)	17 (48%)		12 (34%)	5 (14%)

Por los resultados obtenidos, un bajo valor de la relación N:P se detecta en 17 de 35 lagunas (48%), y el valor que, según Rinaldi *et al.*, (1992) se traduce como indiferente (entre 5 y 10), lo mantienen 12 de 35 sistemas, lo que representa el 34% del total. El resto (19%) mantiene un promedio por arriba de 10, que significaría una limitación por parte del fósforo y que, como ya se indicó, reflejan una influencia oceánica importante en su interior (Contreras, *et al.*, 1996). En el caso de las lagunas situadas en el Caribe como Celestún, algunos autores afirman que el Carbonato de Calcio propicia la precipitación de los fosfatos (Batllori, 1988), y por otro lado, el ciclo del azufre tiene que ver con la liberación de una cantidad significativa de fosfatos (Hargrave y Conolli, 1978).

2.1.3. Productividad primaria y clorofila *a*.

Productividad primaria.- Es el proceso por el cual la energía inicial (la luz), es transformada en biomasa por plantas y fitoplancton y se constituye como la columna vertebral de todos los ecosistemas naturales, ya que en la medida de que ésta se lleve a cabo, la transferencia de energía a los subsecuentes niveles tróficos (crustáceos, moluscos y peces) será mayor; de la misma forma, la cantidad y variedad de individuos de estas comunidades se incrementará (Russell-Hunter, 1970).

Desde la década de los cincuenta, el empleo de términos tales como productividad, producción, standing crop, productividad potencial y otros similares, ha generado amplias e interesantes discusiones. Muchos han sido los autores que han descrito y explicado sus propias ideas al respecto y a pesar de los años transcurridos, aún hoy en día son también muchas las dudas y diferencias al aplicar estos conceptos. Existe la tendencia en la investigación científica de los ecosistemas acuáticos en general, de convertirla en una ciencia exacta, y de ofrecer datos de algún proceso sin tomar en cuenta los fenómenos biológicos involucrados; a pesar de su limitado valor es incuestionable el aporte al conocimiento que lo anterior conlleva y sobre todo el impulso en el interés sobre la Biología acuática. De lo anterior, sobresale la medición de la productividad primaria y, como ya se destacaba desde hace veinte años, quizás nunca pueda llegar a medirse con absoluta precisión, pues existe una cantidad considerable de factores que influyen y determinan la eficiencia de la productividad.

Uno de los principales problemas asociados al proceso de la producción primaria es la de sus métodos (Strickland, 1960). El más conocido y usual, aunque más criticado, es el de la evaluación por botellas clara y oscura (DBO) (Gaarder y Gran, 1927), le sigue en uso el del Carbono¹⁴ (Steeman-Nielsen, 1952), la tasa de CO₂ captada o relacionada con la alcalinidad y sus cambios en el pH (Beyers y Odum, 1959), y el de la curva diurna (Odum, 1956); existen otros aunque menos empleados. El método que continúa siendo el más empleado es el de las botellas DBO que, inclusive, ha sido revalorado (Williams *et al.*, 1979; Williams *et al.*, 1983).

La producción primaria en sistemas acuáticos es un fenómeno complejo al estar determinada por múltiples factores y la relación entre ellos. Las principales condiciones que propician la producción primaria acuática son: la cantidad y calidad de luz, las fuentes de carbono disponibles (CO₂ principalmente), y la presencia de compuestos inorgánicos conteniendo nitrógeno y 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 total está conformado por varios componentes básicos: el fitoplancton, el microfitorbentos, los pastos marinos y las macroalgas, entre los más sobresalientes. Cada uno de estos subsistemas energéticos adquiere especial relevancia, debido a las características hidrológicas y geomorfológicas locales.

Productividad primaria en ecosistemas costeros mexicanos.- El proceso productivo primario en la columna de agua es sumamente heterogéneo y frecuentemente de características locales. Por ejemplo, en un muestreo llevado a cabo en un solo día en varias estaciones (Joya-Buenavista, en agosto), los resultados obtenidos van desde 7.16 a 482 mgC/m³ /hr (Contreras y Zabalegui, 1992).

Desde una perspectiva temporal, las variaciones son también muy amplias, por ejemplo: en la laguna de Pereyra, Chis., se presentan de 45.0 a 1,800.00 mgC/m³ /hr durante un ciclo anual.

En ambos litorales, aunque es más acentuado en el Pacífico, la producción primaria aumenta considerablemente durante dos períodos al año. El primero, durante la época de estiaje o primavera (abril-mayo), cuando las condiciones abióticas propician considerables florecimientos de las poblaciones fitoplanctónicas, quienes se desarrollan en un medio con intensidad luminosa adecuada, nutrientes en abundancia, elevadas temperaturas y salinidades cercanas a la marina. El segundo período, sucede en lapsos de tiempo relativamente cortos dentro de la época lluviosa, y la producción primaria es un efecto directo del aumento en la cantidad de nutrientes aportados por los escurrimientos pluviales. En este último período se alcanzan elevadas producciones, pero efímeras.

Esto es concomitante con una mayor pérdida energética hacia el mar por medio de la marea. Debido a la inestabilidad medioambiental, los valores extraordinarios de productividad primaria no llegan a ser permanentes (esto es especialmente comprobable en el Pacífico sur).

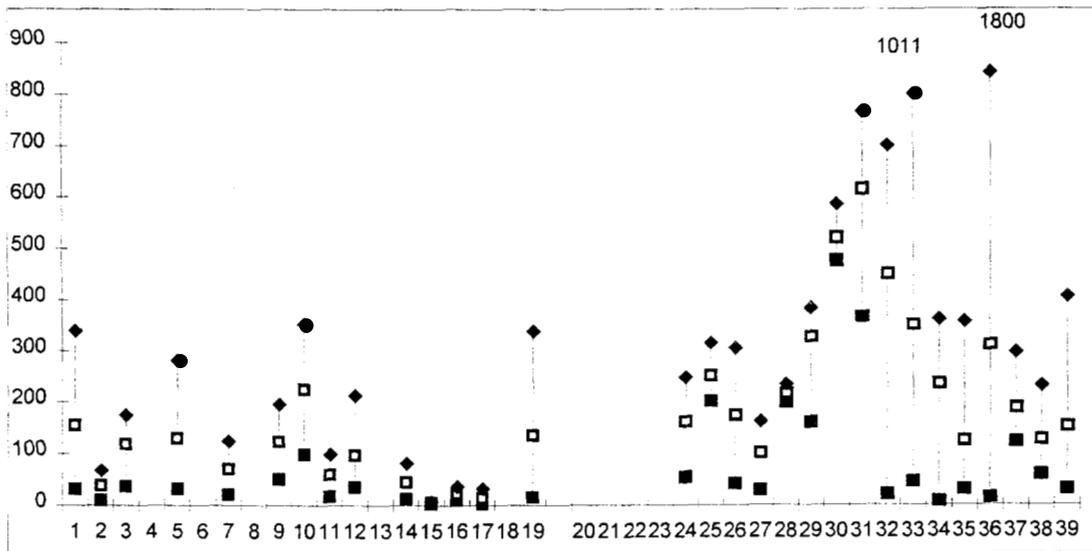


Figura 2.1.11.- Mínimo, máximo y promedio de la producción primaria en 30 lagunas costeras en mgC/m³/hr.

- ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
- Valor del promedio mensual mínimo.

TABLA 2.1.7. ORDENAMIENTO DE LAGUNAS COSTERAS SEGÚN SUS VALORES DE PRODUCTIVIDAD PRIMARIA (mgC/m³/hr).

Golfo de México					
< 100	100 - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 500	> 500
Pueblo Viejo	Madre	Alvarado			
Mancha	Tamiahua				
Ostión	Tampa. 90				
Carmen	Camaronera				
Machona	Sontecomapan				
Mecoacán	Celestún				
Pacífico					
Manialtepec	Corralero	Chacahua	Bobo	Joya - Buenav.	Carretas
	Pastoría	Mar Muerto		Pereyra	
	Sup. e Inf.	Cerritos			
	Buenavista	Chantuto			
	Teculapa				
	Panzacola				
	Campón				
7 = 24 %	13 = 44 %	5 = 17 %	1 = 3 %	2 = 6 %	1 = 3 %

Todo parece indicar que el intervalo entre los 100 y 200 mgC/m³/hr es el normal para las lagunas (44%, esto es, 13 de 29 lagunas), de hecho esta tabla permite considerar a los sistemas que reflejan una mayor cantidad como más productivos, desde la perspectiva de su producción primaria, también permite a considerar a lagunas como son los casos de Joya-Buenavista, Pereyra y Carretas con tendencias a una sobreproducción fitoplanctónica que podría derivar en una eutroficación. En el otro extremo, lagunas como las del estado de Tabasco (Carmen, Machona y Mecoacán); Manialtepec en Oaxaca y las de Pueblo Viejo, Mancha y Ostión en Veracruz como poco productivas. Cabe resaltar que todas estas últimas lagunas han manifestado severos problemas de alteración ambiental, como contaminación o tala de su vegetación circundante, por lo que su baja productividad puede ser un efecto de estos procesos culturales, ya sea por falta de suministro de materia orgánica o a un descenso en la concentración de nutrientes (Contreras y Zabalagui, 1988).

Lo anterior, como se ha manifestado reiteradamente, hace que las lagunas costeras manifiesten valores de producción extremadamente variables a lo largo del año y éstos van, desde períodos donde domina la respiración (normalmente los meses de enero y febrero), hasta períodos donde las tasas productivas oscilan entre los 300 y 400 mgC/ m³/hr. Todo parece indicar que el valor promedio para lagunas costeras va de los 100 a los 200 mgC/ m³/hr, ya que estos valores representan el 45% del total, esto es, 13 de las 39 lagunas muestreadas.

Al aplicar las pruebas de desviación estandar se determinó la marcada heterogeneidad en los valores de la producción primaria. En el Golfo de México se calculó una desviación estandar de 108 (sobre aproximadamente 300 determinaciones) y en el Pacífico de 414 (236 datos puntuales), (Contreras, 1994).

Clorofila. - El contenido de pigmentos fotosintéticos en el fitoplancton adquiere especial relevancia en los estudios de la productividad, ya que su cuantificación es útil para estimar la productividad potencial. Las revisiones del contenido de pigmentos en las plantas han sido establecidas y

suficientemente discutidas desde hace mucho tiempo (ca.1930). Un excelente resumen de lo anterior, se encuentra en Strickland (1960). El propósito de la presente sección, es ofrecer algunos conceptos generales y datos cuantitativos de particular interés y bajo la perspectiva de los estudios de producción primaria.

El contenido de clorofila de una célula está relacionada directamente con su estado fisiológico, tipo de alimentación y edad, disminuyendo marcadamente en algas que crecen en medios deficientes de fósforo, nitrógeno, magnesio o hierro. Una combinación de luz brillante y deficiencia de nitrógeno puede cambiar el contenido de clorofila. Margalef (1954), encontró que el contenido de clorofila por célula de *Nitzschia closterium* disminuye en la medida del descenso de la temperatura.

La medición de clorofila *a* en la columna de agua es una técnica usada comúnmente para cuantificar, aunque indirectamente, la biomasa fitoplanctónica (SCOR-UNESCO, 1966; 1980). Ha sido utilizada desde la década de los sesenta y ha contribuido con valiosa información sobre la presencia y abundancia de formas fitoplanctónicas. Tiempo después, se estableció que la cantidad de clorofila no guardaba una relación tan estrecha o directa con el proceso de la producción primaria como se suponía (Nixon, 1988). Las razones de lo anterior son múltiples, entre éstas destacan: la madurez o juventud de la comunidad fitoplanctónica, el estado fisiológico y la cantidad de feopigmentos o pigmentos accesorios (Margalef, 1974).

Con base en estudios limnológicos ha sido comprobado que existe una relación estrecha entre el contenido de clorofila *a* y la presencia de fósforo (Vollenweider, 1976; Vollenweider y Kerekes, 1982; Kerekes, 1983). De hecho, la clasificación trófica de los lagos fué establecida con base en estas dos características (Lickens, 1972; Carlson, 1977). Esta conceptualización de causa-efecto, sin menospreciar a otros componentes, ha sido ampliamente utilizado para detectar problemas de eutrofización ya que este fenómeno es, en primera instancia, una respuesta de la biomasa algal a insumos adicionales de nutrientes. En ecosistemas costeros tropicales, la eutrofización es una característica común a la mayoría de ellos debido a los constantes aportes terrigenos asociados, lo que los hace especialmente vulnerables a desequilibrios mayores provocados por un aumento en estos insumos.

Un método derivado de la cuantificación de las clorofilas es el índice $D^{430}/_{665}$ (D densidad óptica) sugerido por Margalef (1968), y que en sus propias palabras no es más que una gruesa comparación entre los pigmentos "amarillos" y los "verdes"; además de otras propiedades interesantes, refleja el efecto de las escasez de nutrientes. Por otro lado, este índice dá una medida de la estructura, tomada ésta como el resultado de un proceso histórico. Como es conocido, cualquier estructura biológica tiene propiedades que pueden ser medibles cuantitativamente, como por ejemplo la biodiversidad. En este caso, la diversidad biótica es una propiedad que alcanza su mínimo cuando todas las células pertenecen a la misma especie y su máximo, cuando cada individuo pertenece a diferente especie. Igualmente, la diversidad de pigmentos puede ser medida de acuerdo a su contenido y su distribución en diferentes especies moleculares, por lo que se asume que el simple índice pigmentario $D^{430}/_{665}$, ofrece una estimación gruesa de la diversidad de estos pigmentos. De igual manera, se ha verificado que una intensa asimilación de carbono inorgánico por unidad de biomasa, está siempre asociada con una baja diversidad biótica y/o con un bajo índice $D^{430}/_{665}$, lo que viene a comprobar la fusión de los dos conceptos vertidos anteriormente. Un valor bajo de este índice está relacionado con características típicas de estrategia *r* (especies oportunistas), mientras que uno alto lo vincula con el tipo *K*; por lo que ha sido empleado con frecuencia para relacionarlo con la juventud o vejez de la comunidad fitoplanctónica.

Las variaciones en la concentración de clorofila *a* detectadas en algunos ecosistemas litorales mexicanos, se ubican en tiempos y espacios diversos, correspondiendo a las características propias de cada ecosistema. Sin embargo, su mayor incidencia se presenta bajo ciertas condiciones, quienes propician un aumento o disminución de este pigmento. De las anteriores destaca un incremento en el suministro de nutrimentos (principalmente de fósforo) derivado de los escurrimientos continentales, cuyo efecto inmediato es el establecimiento de áreas con una mayor cantidad de clorofila *a*, y que

llega a extenderse en función de la constancia de dicho aporte. Lo anterior es apreciable en la mayoría de las lagunas costeras, aunque existen casos extremos. Por ejemplo: en la laguna de la Joya-Buenavista en Chiapas el insumo de aguas continentales y el subsecuente suministro de sales nutritivas, mantienen una relación estrecha con permanentes florecimientos fitoplanctónicos a lo largo del año; ésto, aunado a su ineficiente comunicación con el mar, propicia intensos fenómenos de eutrofización (Contreras y Zabalegui, 1992).

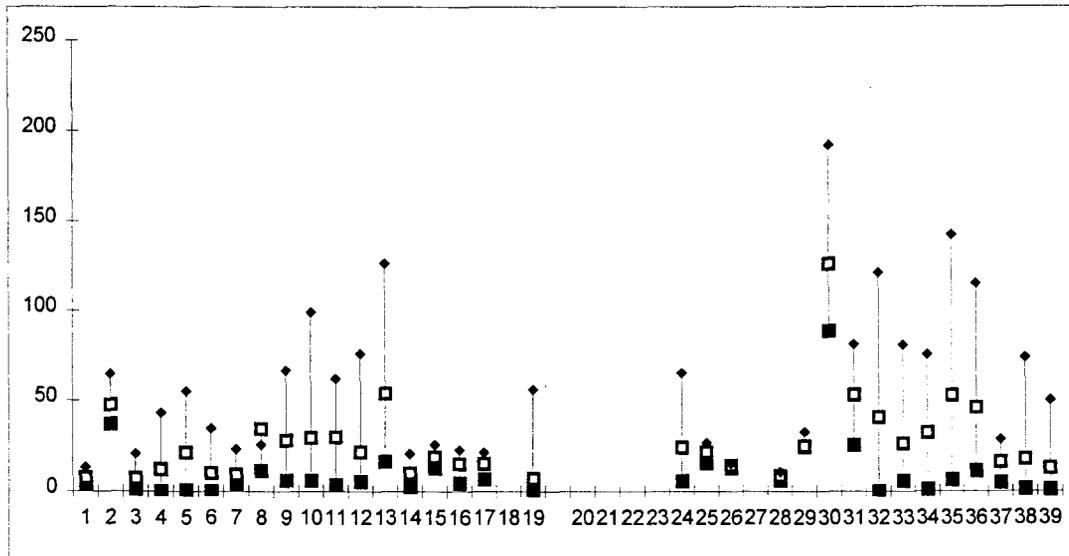


Figura 2.1.12.- Mínimo, máximo y promedio de la clorofila a (mg/m³) en 33 lagunas costeras.
 ◆ Valor del promedio mensual máximo; □ Valor promedio de todos los datos;
 ■ Valor del promedio mensual mínimo.

TABLA 2.1.8. ORDENAMIENTO DE ALGUNAS LAGUNAS COSTERAS CON BASE EN EL PROMEDIO TOTAL ANUAL DE CLOROFILA A EN MG/M3.

Golfo de México						
0.0 - 10.0	10.0 - 20.0	20.0 - 30.0	30.0 - 40.0	40.0 - 50.0	50.0 - 60.0	> 60.0
Madre	Tampa. 80	Tampa. 90	Mandinga	Pueblo Viejo	Calzadas	
Tamiahua	Carmen	Camaronera				
Tuxpan	Machona	Alvarado				
Mancha	Mecoacán	Tlalixcoyan				
Ostión		Sontecomapan				
Celestúm						
Pacífico						
0.0 - 10.0	10.0 - 20	20.0 - 30.0	30.0 - 40.0	40.0 - 50.0	50.0 - 60.0	> 60.0
Nuxco	Pastoría	Corralero	Carretas	Chantuto	Carretas	Mitla
Chautengo	Teculapa	Chacahua	Bobo		Buenavista	Joya-Buenav.
Sup. e Inf.	Panzacola	Mar Muerto				
	Campón	Pereyra				
9 = 25 %	8 = 22 %	9 = 25 %	3 = 6 %	2 = 5 %	3 = 6 %	2 = 5 %

Con respecto a la clorofila a, el 47% (17 de 36 sistemas) se sitúan entre el intervalo que va de < 10.0 a 30 mg/ m³.

La desviación estándar calculada para la clorofila a, indican heterogeneidad (26 para el Golfo con 398 datos y 70 para el Pacífico con 307 determinaciones, total 50 con 705).

TABLA 2.1.9. Datos mínimos, máximos, promedio, desviación estándar y número de datos de las 39 lagunas de variables abióticas y algunas relacionadas con la productividad primaria fitoplanctónica..

	VARIABLES ABIOTICAS				PRODUCTIVIDAD					
	Sal.	Temp.	O. Dis.	% Sat.	GOLFO DE MEXICO					
					pH	Clor. a	PPN	P/B	IT	
MIN	0.26	14.6	1.82	11	3.02	0.0	0.0	0.0	1.2	
MAX	63.03	37.4	12.76	420	9.41	254.2	830.0	334.6	84.9	
PROM	25.12	27.4	5.63	118	8.16	17.9	83.2	27.4	51.3	
Desv. Sta.	12.0	5.8	1.9	45.1	3.1	26.4	108.4	46.2	15.4	
N	506	507	507	477	430	398	310	204	288	
					PACIFICO					
	Sal.	Temp.	O. Dis.	% Sat.	pH	Clor. a	PPN	P/B	IT	
MIN	0.00	14.0	0.00	0	3.20	0.0	0.0	0.0	6.9	
MAX	77.23	39.5	25.95	513	10.20	482.0	3,093.9	300.0	91.2	
PROM	25.12	30.7	4.22	91	7.76	41.3	283.1	13.7	59.8	
Desv. Sta.	17.9	5.8	3.0	62.5	2.9	70.6	414.4	26.4	12.1	
N	317	319	309	280	254	307	236	227	297	
	RESUMEN POR LITORAL									
	Sal.	Temp.	O. Dis.	% Sat.	pH	Clor. a	PPN	P/B	IT	
GOLFO	25.12	27.4	5.63	118	8.16	17.9	83.2	27.4	51.3	
PACIFICO	25.12	30.7	4.22	91	7.76	41.3	283.1	13.7	59.8	
TOTAL	25.12	28.6	5.09	108	8.01	28.1	169.6	20.2	55.7	
Desv. Sta.	14.5	6.0	2.5	54.5	3.1	50.3	285.0	38.2	14.4	
N	823	826	816	757	684	705	546	431	585	

TABLA 2.1.10. Datos mínimos, máximos, promedio, desviación estandar y número de datos de las 39 lagunas de nutrientes.

GOLFO DE MEXICO								
	NH4	NO3+NO2	N Tot.	NH4/N Tot.	PO4	P Tot.	P Org.	N:P
MIN	0.00	0.10	0	0	0.01	0.03	0.00	0.1
MAX	44.77	55.60	74.70	100	37.20	99.60	97.43	140.9
PROM	7.34	4.33	11.61	56	3.88	7.00	4.68	10.2
Desv. Sta.	7.8	4.9	9.3	28.7	5.1	8.8	8.5	17.5
N	504	514	507	503	511	459	457	430

PACIFICO								
	NH4	NO3+NO2	N Tot.	NH4/N Tot.	PO4	P Tot.	P Org.	N:P
MIN	0.00	0.00	1.08	0	0.00	0.43	0.00	0.0
MAX	59.50	75.89	94.93	100	55.80	63.06	51.00	363.4
PROM	5.76	5.48	11.09	57	5.62	9.98	4.35	6.7
Desv. Sta.	6.7	10.1	12.6	26.6	8.2	11.6	6.2	21.3
N	313	328	313	313	323	322	321	304

RESUMEN POR LITORAL								
	NH4	NO3+NO2	N Tot.	NH4/N Tot.	PO4	P Tot.	P Org.	N:P
GOLFO	7.34	4.33	11.61	56	3.88	7.00	4.68	10.2
PACIFICO	5.76	5.48	11.09	57	5.62	9.98	4.35	6.7
TOTAL	6.74	4.77	11.54	56	4.55	8.22	4.54	9.1
N	817	842	818	818	809	781	803	709
Desv. Sta.	7.4	7.3	10.8	27.7	6.5	10.1	7.7	20.7

TABLA 2.1.11. Intervalo de valores promedio de nutrientes y porcentaje de las 39 lagunas muestreadas y promedios calculados para cada parámetro.

	Intervalo	% *	PROMEDIOS		
			Golfo	Pacífico	Total
NH4	0.5 - 10.0	56	7.69	5.76	6.97
NO3+NO2	<0.1 - 5.0	84	3.58	5.48	4.30
N Tot.	5.0 - 15.0	69	11.29	11.13	11.23
PO4	<0.1 - 5.0	65	3.64	5.60	4.38
CLOR	10.0 - 30.0	47	19.72	41.43	29.63
PPN	100 - 200	44	118.59	283.13	205.07

* de 39 lagunas	N=539	N=332	N=871
Nutrientes en µg-at/l			
Clorofila en mg/m3			
PPN en mg/C/m3/hr			

Con base en la información generada hasta hoy es posible afirmar que en los sistemas estuarino-lagunares, el proceso fotosintético en la columna de agua y por lo tanto la producción primaria es sumamente complejo y altamente específico en cuanto a su localización; así, las variaciones en un mismo día y sitio son variables en extremo, lo que hace cuestionable cualquier tipo de generalización aún en la misma área de trabajo (Contreras,1995). En cambio, el contenido de clorofila *a* ha demostrado ser más constante en cualquier situación, lo que la convierte en un factor más confiable. La relación entre la clorofila *a* y productividad primaria, para algunos autores índice de asimilación (Beerman y Pollinger,1974), no es confiable, ya que la respuesta de la clorofila *a*, o lo que es lo mismo de la biomasa fitoplanctónica, será óptima en la medida de que los factores ambientales adecuados se manifiesten (como cantidad de luz, nutrientes disponibles y la relación entre ellos y la temperaturas idóneas).

2.2. Segunda parte. Análisis estadístico con base en las variables

2.2.1. De las quince variables originales

El primer análisis estadístico fue realizado con las quince variables originales, calculando sus correlaciones y en segundo lugar, un análisis de componentes principales.

a) Correlaciones.- En la tabla 2.2.1. se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de correlación de las quince variables originales. El número de correlaciones en orden decreciente son: P Tot. (12) > PO4 y N:P (10) > Prec. Pluv. (9) > NO3+NO2 y P. org. (8) > Oxígeno dis., Saturación de Oxígeno y pH (7) > Salinidad y NH4 (6) > Temp. y N total (5) > NH4/N tot. (4) > Clorofila *a* (3).

Tabla 2.2.1. Análisis de correlación de las quince variables originales

	Sal.	Temp.	O. Dis.	% Sat.	pH	Clor. a	NH4	NO3+NO2	N Tot.	NH4/Nt.	PO4	P Tot.	P Org.	N:P	PP
Sal.	1.000														
Temp.	-0.132	1.000													
O. Dis.	0.157	-0.230	1.000												
% Sat.	0.284	-0.052	0.893	1.000											
pH	0.243	-0.141	0.316	0.303	1.000										
Clor. a	0.013	0.136	0.004	-0.015	-0.066	1.000									
NH4	-0.081	0.020	0.026	0.041	0.175	-0.103	1.000								
NO3+								1.000							
NO2	0.170	0.114	-0.044	0.045	-0.093	0.012	0.200	1.000							
N Tot.	0.058	0.083	-0.009	0.057	0.054	-0.060	0.773	0.776	1.000						
NH4/Nt.	-0.251	0.276	0.031	0.000	-0.034	0.023	0.518	-0.292	0.144	1.000					
PO4	-0.207	0.207	-0.167	-0.146	-0.209	0.120	-0.109	-0.098	-0.135	0.021	1.000				
P Tot.	-0.210	0.164	-0.165	-0.157	-0.264	0.107	-0.137	-0.137	-0.178	0.038	0.909	1.000			
P Org.	-0.123	0.025	-0.083	-0.101	-0.233	0.044	-0.127	-0.142	-0.174	0.047	0.370	0.723	1.000		
N:P	0.076	0.030	-0.184	-0.163	0.181	-0.042	0.571	0.278	0.547	0.232	-0.373	-0.385	-0.239	1.000	
PP	-0.560	0.472	-0.298	-0.296	-0.396	0.231	-0.048	-0.059	-0.070	0.236	0.327	0.356	0.248	-0.075	1.000

b) Componentes principales.

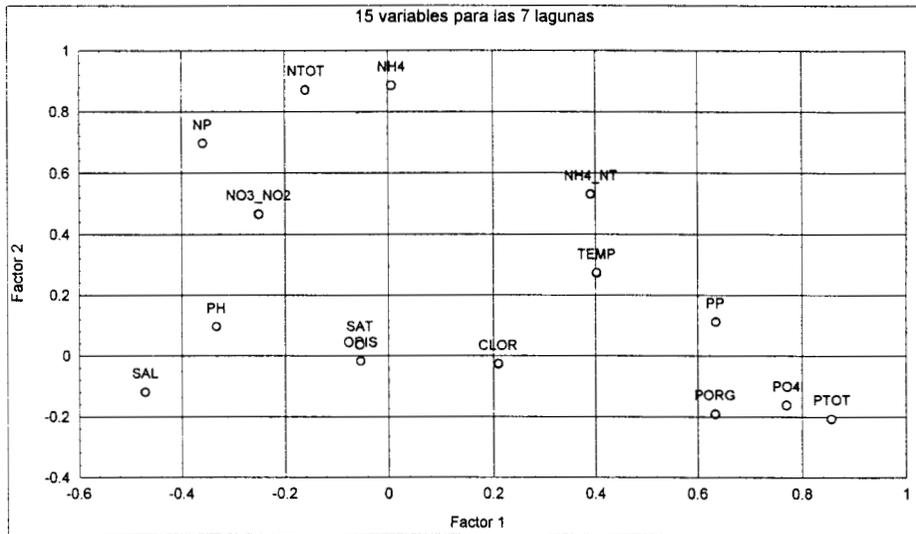


Figura 2.2.1. Gráfica de las 15 variables originales en dos ejes.

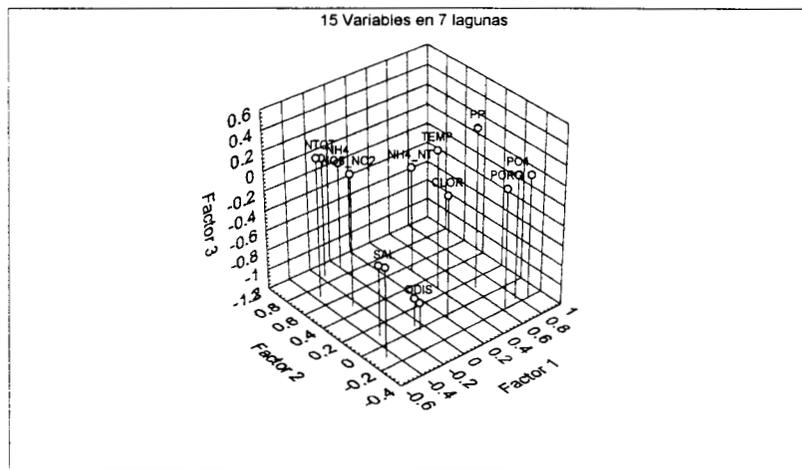


Figura 2.2.2. Gráfica de las 15 variables originales en tres ejes.

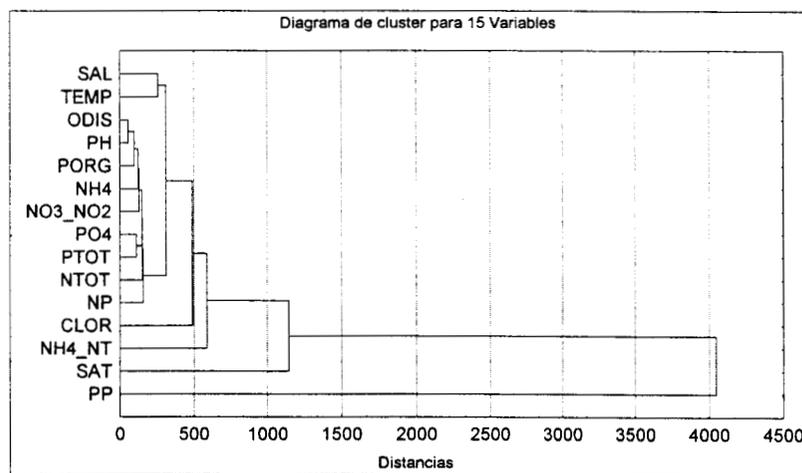


Figura 2.2.3. Diagrama de clusters para las 15 variables originales

Tabla 2.2.2. Distancias Euclidianas para las 15 variables

Sal.	Temp.	O. Dis.	% Sat.	pH	Clor. A	NH4	NO3+NO2	N Tot.	NH4/Nt.	PO4	P Tot.	P Org.	N:P	PP
Sal.	0													
Temp.	260	0												
O. Dis.	351	398	0											
% Sat.	1,449	1,364	1,704	0										
pH	314	348	56	1,668	0									
Clor. a	532	491	576	1,520	552	0								
NH4	344	366	139	1,669	124	575	0							
NO3+														
NO2	356	406	132	1,709	135	584	166	0						
N Tot.	317	324	241	1,596	215	563	153	180	0					
NH4/Nt.	744	588	897	1,146	856	811	827	919	791	0				
PO4	370	377	163	1,688	152	558	205	208	277	870	0			
P Tot.	366	343	237	1,636	215	543	259	273	306	824	113	0		
P Org.	378	415	99	1,729	111	585	176	167	273	908	153	193	0	
N:P	367	405	206	1,700	192	595	160	203	209	861	285	337	238	0
PP	4,740	4,550	4,859	4,046	4,820	4,577	4,820	4,854	4,766	4,257	4,789	4,726	4,846	4,837

2.2.2. De las nueve variables seleccionadas

Al realizar los cálculos anteriores se detectaron repeticiones, por ejemplo todas las formas fosfatadas al estar estrechamente relacionadas entre sí, se comportan de manera similar por lo que se podrían eliminar dejando sólo una como representativa. Por lo anterior se decidió seleccionar nueve variables que fueron: salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, nitrógeno total (NH₄ + NO₃+NO₂), Fosfatos (PO₄), relación N:P, clorofila a y Precipitación pluvial.

Correlaciones.- Se calculó el número de correlaciones, el orden decreciente se da a continuación: precipitación pluvial, temperatura, fosfatos y pH (6) > oxígeno disuelto (5) > salinidad y N:P (4) >, clorofila a (3) > N total(1). En la tabla 2.2.3. se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de estas nueve variables seleccionadas.

Tabla 2.2.3. Correlaciones con las 9 variables seleccionadas.

	Sal.	Temp.	O. Dis.	pH	Clor. a	N Tot.	PO ₄	N:P	PP
Sal.	1.000								
Temp.	-0.127	1.000							
O. Dis.	0.088	-0.251	1.000						
pH	0.230	-0.130	0.174	1.000					
Clor. a	-0.047	0.135	-0.025	-0.051	1.000				
N Tot.	0.057	0.081	-0.001	0.094	-0.045	1.000			
PO ₄	-0.210	0.189	-0.156	-0.118	0.136	-0.109	1.000		
N:P	0.093	0.042	-0.195	0.177	-0.041	0.531	-0.370	1.000	
PP	-0.560	0.475	-0.288	-0.347	0.249	-0.074	0.316	-0.078	1.000

Como puede observarse en la tabla la precipitación pluvial es la variable que mayor número de correlaciones mantiene con las demás (tanto positivas como negativas).

La correlación de la precipitación pluvial con 6 variables significativas en las siete lagunas del estudio, corrobora la importancia para la ecología lagunar del fenómeno de las lluvias; ya que refleja una

fuerte relación inversa de este fenómeno con la salinidad (-0.560), los fosfatos (-0.210) y la temperatura (-0.127); las correlaciones positivas las presenta con la presencia de nitrógeno, el oxígeno disuelto y el pH. En teoría, esto último se debe al aporte de formas nitrogenadas por parte de los arrastres terrígenos implícitos como efecto de las lluvias (Contreras *et al*, 1994). Sin embargo, estas consideraciones no son válidas para cada laguna como se verá más adelante.

Por otro lado, todo parece indicar que los fosfatos juegan un papel primordial en la eficiencia del proceso productivo primario, que está relacionado con muchas variables y que la influencia de la época de lluvias es determinante en el comportamiento hidrológico lagunar.

El oxígeno disuelto en el agua generalmente está en función de la salinidad y la temperatura, por lo que valores de sobre o sub saturación, se generan por actividades exclusivamente de origen biológico; por ejemplo la elevada producción primaria propicia la sobre saturación de oxígeno en el agua, contrariamente, la heterotrofia auspicia un descenso en el nivel de este gas por la respiración o la oxidación y/o descomposición de la materia orgánica.

Si bien es cierto que el contenido de oxígeno varía de acuerdo con el día (por el efecto de la producción:respiración), este fenómeno es más detectable en los lagos, donde las variaciones verticales parecen jugar un papel más importante. En las lagunas costeras la influencia de la marea, que provoca prácticamente un movimiento horizontal de agua durante todo el día, hace que la afirmación de que esto suceda con igual precisión resulte aventurada. Sin embargo, reducciones importantes en el contenido de oxígeno han sido cuantificadas durante la noche, pero siempre relacionadas con áreas alejadas o confinadas de la circulación general del cuerpo lagunar, lo que evidenciaba un comportamiento más parecido a los lagos, esto es, con mayor tiempo de residencia del agua.

Con base en el análisis de correlación, la presencia de oxígeno está relacionada de forma negativa con la temperatura y positiva con la presencia de fosfatos y con la precipitación pluvial, lo que podría sugerir que en la época de secas (mayor temperatura implica menor solubilidad del gas), y que el período de lluvias propicia una mezcla mas efectiva del agua y una entrada de fosfatos.

El pH refleja fielmente estar en función de la influencia oceánica y del tamaño del sistema, sus correlaciones positivas con la salinidad, el oxígeno, confirman lo anterior. Las correlaciones negativas con los fosfatos podría deberse a que las vías de transformación de las formas fosfatadas, coadyuvan al descenso en el pH (Brewer y Goldman, 1980).

El índice N:P propuesto por Redfield (1958;1963) es un parámetro que ha sido utilizado frecuentemente para conocer y/o deducir el estado trófico de algunos ecosistemas acuáticos, debido a que permite detectar la carencia proporcional de los principales nutrientes (nitrógeno y fósforo). Como se trata de una variable compuesta entre el nitrógeno y el fósforo totales, sus correlaciones con éstos son fuertes, aunque inversas (+0.531 con el nitrógeno total y - 0.370 con los ortofosfatos).

La salinidad mantiene correlaciones positivas con el oxígeno y el pH y negativas, con los factores que son identificables con aguas de características dulceacuícolas como lo son las lluvias.

Con el fin de representar de manera gráfica estas relaciones, se realizó un diagrama de nodos tomando en cuenta el valor del coeficiente de correlación (las líneas gruesas significan correlación positiva y las tenues negativas).

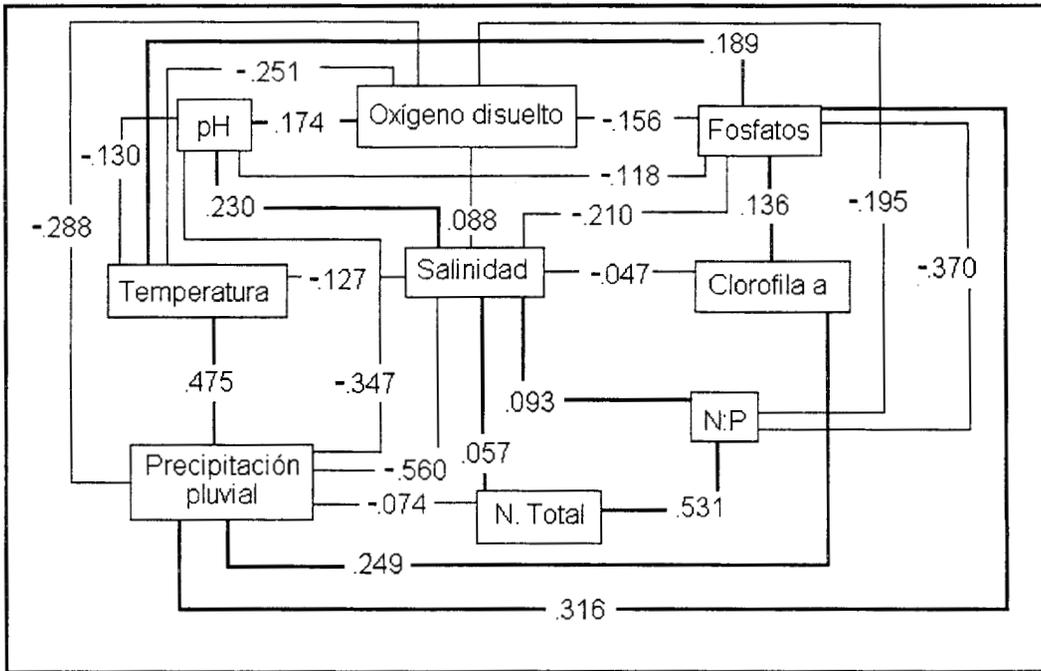


Figura 2.2.4. Diagrama de nodos

b) Componentes principales.- La distribución de las 9 variables seleccionadas en los dos y tres componentes se presenta a continuación:

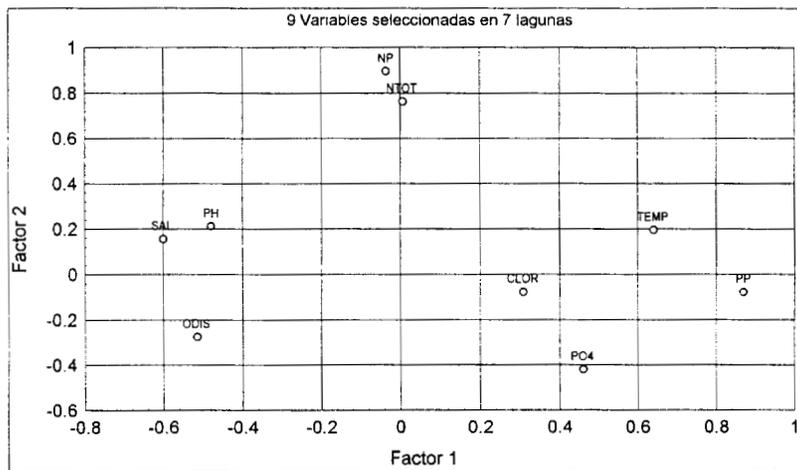


Figura 2.2.5. Gráfica de las nueve variables en dos ejes

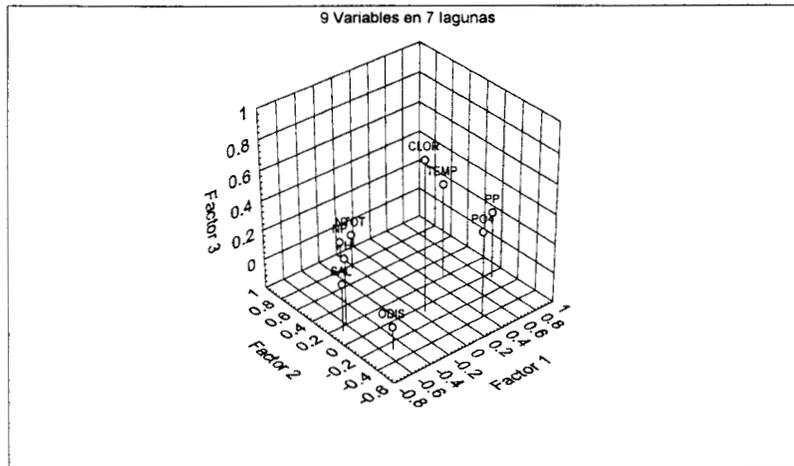


Figura 2.2.6. Gráfica de las nueve variables en tres ejes

Tabla 2.2.4. Pesos y autovalores de las 9 variables.

	Pesos			Autovalores		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Autoval.	% total	Aumul.
SAL	-0.683	0.141	0.129	2.420	26.885	26.88
TEMP	0.524	0.214	0.433	1.669	18.548	45.43
ODIS	-0.522	-0.288	-0.039	1.023	11.363	56.79
PH	-0.598	0.200	0.253			
CLOR	0.050	-0.065	0.820			
NTOT	-0.027	0.764	0.035			
PO4	0.367	-0.406	0.385			
NP	-0.043	0.893	-0.058			
PP	0.834	-0.054	0.257			
Var. Expl.	2.208	1.743	1.162			
Porc.Tot	0.245	0.194	0.129			

En el primer componente el 26.8% de la variación está explicada por la precipitación pluvial (0.834) y la salinidad (- 0.683), con el segundo componente donde se explica el 45.4% se incluyen el nitrógeno (0.764), y la relación N:P (0.893).

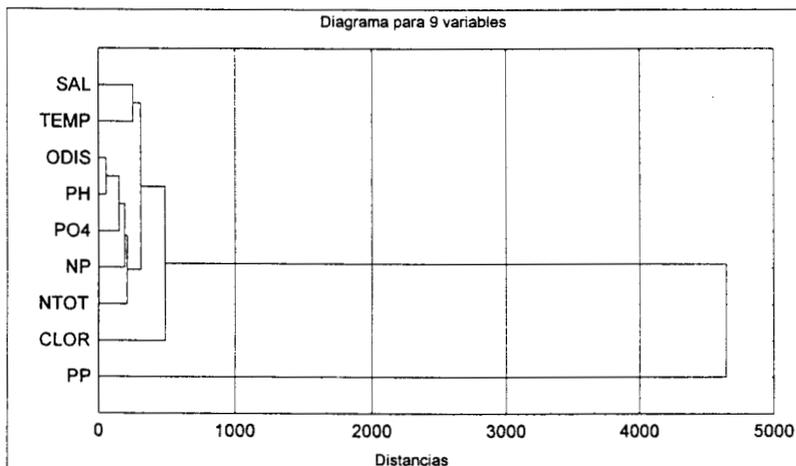


Figura 2.2.7. Diagrama de clusters para 9 variables

Tabla 2.2.5. Distancias Euclidianas para las 9 variables

	SAL	TEMP	ODIS	PH	CLOR	NTOT	PO4	NP	PP
SAL	0								
TEMP	256	0							
ODIS	352	410	0						
PH	312	360	58	0					
CLOR	537	491	571	547	0				
NTOT	318	338	242	216	558	0			
PO4	372	392	163	153	552	278	0		
NP	366	415	208	194	590	213	288	0	
PP	4,840	4,649	4,970	4,931	4,685	4,879	4,904	4,948	0

2.2.3. Análisis de las correlaciones para las siete lagunas seleccionadas.

Con base en los resultados obtenidos de las correlaciones de las diferentes variables, se realizaron a continuación estos mismos cálculos para cada una de las lagunas costeras comprendida en este estudio.

2.2.6. Correlaciones para la laguna de Pueblo Viejo.

	Sal.	Temp.	O. Dis.	pH	Clor. a	N Tot.	PO4	N:P	PP
Sal.	1.000								
Temp.	-0.247	1.000							
O. Dis.	0.481	-0.579	1.000						
pH.	-0.396	0.505	-0.099	1.000					
Clor. a	0.228	-0.033	-0.183	-0.526	1.000				
N Tot.	-0.624	0.257	-0.032	0.490	-0.483	1.000			
PO4	0.215	-0.685	0.406	-0.446	0.170	-0.413	1.000		
N:P	-0.569	0.444	-0.175	0.638	-0.487	0.893	-0.652	1.000	
PP	-0.805	0.617	-0.519	0.617	-0.313	0.717	-0.548	0.766	1.000

Pueblo Viejo, Ver.- En esta laguna la precipitación pluvial es la variable que más correlaciones mantiene con el resto (7), por lo que su influencia es determinante en el comportamiento ecológico del sistema. De esta forma, la precipitación tiene relación significativa y **positiva** con el incremento de la temperatura, el pH y la entrada de nitrógeno (lo que por consecuencia hace aumentar la relación N:P) y con el decremento en la cantidad de fosfatos, el oxígeno disuelto y obviamente de la salinidad. De estas relaciones, cabe destacar la que existe entre la concentración de nitrógeno que es muy alta (0.717) con la de los fosfatos que es inversa y significativa (- 0.548), lo que se traduce en un aumento en la relación N:P (aumenta el nitrógeno y disminuye el fósforo), lo que corrobora la importancia que las lluvias tienen en el suministro de formas nitrogenadas. Contrariamente, la presencia de agua de mar (la salinidad) está inversa y significativamente relacionada con el aumento del oxígeno, lo que podría indicar que es por medio de la marea, que este gas aumenta su distribución en el sistema

2.2.7. Correlaciones para la laguna de Tamiahua.

	Sal.	Temp.	O. Dis.	pH	Clor. a	N Tot.	PO4	N:P	PP
Sal.	1.000								
Temp.	-0.273	1.000							
O. Dis.	0.402	-0.359	1.000						
pH	0.196	-0.073	-0.104	1.000					
Clor. a	0.127	0.193	-0.136	-0.033	1.000				
N Tot.	-0.275	0.169	-0.613	0.313	-0.041	1.000			
PO4	0.171	-0.409	0.457	0.105	0.106	-0.467	1.000		
N:P	-0.315	0.220	-0.713	0.205	-0.062	0.903	-0.607	1.000	
PP	-0.512	0.521	-0.661	-0.370	0.065	0.557	-0.646	0.710	1.000

Tamiahua, Ver.- En este cuerpo acuático la influencia de las lluvias también juegan un papel importante. Así, las correlaciones positivas son las mismas que para la laguna de Pueblo Viejo (temperatura, nitrógeno y la relación N:P), lo que comprueba la importancia del régimen climático regional. En esta laguna la relación negativa con la salinidad es menor, debido quizá a su tamaño (Tamiahua posee 77,000 Ha. y Pueblo Viejo aproximadamente 1,000 de extensión total), pero es mayor sobre el oxígeno disuelto.

2.2.8. Correlaciones para la laguna de Tampamachoco.

	Sal.	Temp.	O. Dis.	pH	Clor. a	N Tot.	PO4	N:P	PP
Sal.	1.000								
Temp.	-0.061	1.000							
O. Dis.	0.016	-0.043	1.000						
pH	0.252	0.184	0.153	1.000					
Clor. a	-0.253	0.181	0.155	-0.118	1.000				
N Tot.	-0.336	0.132	-0.036	-0.276	0.144	1.000			
PO4	-0.122	0.233	0.384	0.079	0.067	-0.015	1.000		
N:P	0.029	0.166	-0.389	-0.062	0.130	0.361	-0.498	1.000	
PP	-0.542	0.475	0.081	-0.119	0.522	0.127	0.013	0.259	1.000

Tampamachoco, Ver.- En este ecosistema la precipitación pluvial tiene menos relaciones que en las dos anteriores lagunas y por otro lado, algunas invierten su significado; por ejemplo si bien se sigue manteniendo una relación positiva con la temperatura, el nitrógeno y la relación N:P, éstas son menores. Sin embargo, presenta una relación positiva con el oxígeno disuelto, con los fosfatos, y con la clorofila a, que de hecho es elevada (0.522), que no se había presentado en las dos lagunas anteriores. La influencia negativa de las lluvias sobre la salinidad es altamente significativa (- 0.542), como en el caso de la laguna de Pueblo Viejo, lo que indica una vez más, la importancia que tienen las escasas dimensiones del sistema.

2.2.9. Correlaciones para la laguna de Sontecomapan.

	Sal.	Temp.	O. Dis.	pH	Clor. a	N Tot.	PO4	N:P	PP
Sal.	1.000								
Temp.	-0.373	1.000							
O. Dis.	-0.584	0.210	1.000						
pH	0.450	0.078	-0.342	1.000					
Clor. a	0.482	-0.137	-0.231	0.250	1.000				
N Tot.	0.127	-0.736	-0.150	-0.035	-0.090	1.000			
PO4	-0.168	0.663	0.026	0.236	0.034	-0.562	1.000		
N:P	0.038	-0.699	-0.037	-0.176	-0.125	0.912	-0.736	1.000	
PP	-0.081	0.786	0.045	0.331	0.073	-0.733	0.874	-0.836	1.000

Sontecomapan, Ver.- En el caso de este ecosistema resalta el hecho de que el comportamiento de las variables difiere *sustancialmente* del resto de las lagunas descritas con anterioridad; así, las correlaciones positivas y significativas de la precipitación pluvial se manifiestan con la temperatura y los fosfatos, pero son negativas con el nitrógeno (lo que difiere de las tres lagunas anteriores), lo anterior se traduce en un valor inverso con la relación N:P, por lo que podría significar que las lluvias no son importantes en el suministro de nitrógeno al sistema; en cambio sí lo son para los fosfatos. El oxígeno que siempre en las anteriores lagunas estuvo relacionado positivamente con la salinidad, en esta laguna es negativa. El bajo valor de la relación entre las lluvias y la salinidad indica que las primeras tienen poca influencia sobre la salinidad del sistema.

2.2.10. Correlaciones para la laguna de Corralero.

	Sal.	Temp.	O. Dis.	pH	Clor. a	N Tot.	PO4	N:P	PP
Sal.	1.000								
Temp.	0.167	1.000							
O. Dis.	0.616	0.012	1.000						
pH	0.747	0.463	0.500	1.000					
Clor. a	0.343	-0.380	0.344	0.152	1.000				
N Tot.	0.115	0.415	0.245	0.359	-0.105	1.000			
PO4	-0.415	-0.084	-0.309	-0.385	-0.216	-0.256	1.000		
N:P	0.312	0.467	0.108	0.512	-0.087	0.718	-0.401	1.000	
PP	-0.436	0.484	-0.018	-0.184	-0.479	0.226	0.378	-0.132	1.000

Corralero, Oax.- En este caso, la precipitación pluvial descende su número de correlaciones y es el pH quien manifiesta el mayor número de éstas (6) con el resto de las variables. Sin embargo, tomando a la precipitación como base (por la importancia en el comportamiento hidrológico y ecológico en los sistemas lagunares), las positivas son con la temperatura, el nitrógeno y los fosfatos. Las negativas son con la salinidad, el oxígeno disuelto, el pH, la clorofila a y la relación N:P; al contrario, la salinidad mantiene relaciones positivas con la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, la clorofila a y el nitrógeno. La clorofila a, mantiene relaciones positivas con la salinidad y negativas con las lluvias, pero en ambos casos no son significativas.

2.2.11. Correlaciones para el sistema de Carretas-Pereyra.

	Sal.	Temp.	O. Dis.	pH	Clor. a	N Tot.	PO4	N:P	PP
Sal.	1.000								
Temp.	0.191	1.000							
O. Dis.	0.005	-0.133	1.000						
pH	0.115	0.061	-0.139	1.000					
Clor. a	-0.243	0.160	0.244	0.050	1.000				
N Tot.	-0.194	-0.056	-0.097	0.017	-0.025	1.000			
PO4	-0.236	0.107	-0.065	0.097	0.252	0.617	1.000		
N:P	-0.019	-0.435	0.083	-0.178	-0.132	-0.150	-0.487	1.000	
PP	-0.641	0.305	0.012	-0.243	0.467	0.107	0.341	-0.041	1.000

Carretas, Chis.- A pesar de los considerables volúmenes de precipitación pluvial que se presentan en esta región del país, esta característica indica menos correlaciones con las demás variables que en los casos anteriores. Así, las relaciones positivas se manifiestan con la temperatura, la clorofila a, el nitrógeno y los fosfatos. Con base en lo anterior, se desprende que el suministro de las formas nutritivas (fósforo y nitrógeno), son introducidas durante lluvias. La influencia de la salinidad es poco significativa con las demás variables.

2.2.12. Correlaciones para el sistema Chantuto-Panzacola.

	Sal.	Temp.	O. Dis.	pH	Clor. a	N Tot.	PO4	N:P	PP
Sal.	1.000								
Temp.	-0.002	1.000							
O. Dis.	0.032	0.411	1.000						
pH	0.640	0.278	0.366	1.000					
Clor. a	-0.342	0.431	0.629	-0.182	1.000				
N Tot.	-0.287	0.329	-0.011	-0.253	0.192	1.000			
PO4	-0.335	0.145	-0.280	-0.425	0.099	0.762	1.000		
N:P	-0.017	-0.243	0.269	0.043	-0.046	-0.211	-0.638	1.000	
PP	-0.814	0.052	0.008	-0.754	0.515	0.333	0.281	0.099	1.000

Chantuto, Chis.- De todas las lagunas descritas en este estudio y aunque la precipitación pluvial mantiene las mismas relaciones positivas con la temperatura, el oxígeno disuelto y los nutrientes, éstas no son significativas.

A partir de las anteriores descripciones realizadas para cada uno de los ecosistemas costeros contemplados en el estudio, poco es lo que podría considerarse como común (observar el resumen en la tabla 2.2.12). Sin embargo es posible establecer que:

- La precipitación pluvial mantiene una relación positiva y algunas veces muy significativa con el incremento de la temperatura.
- en la mayoría de las lagunas, a excepción de la de Sontecomapan, la presencia de formas nitrogenadas está íntimamente ligada con la época de lluvias.

c) Hay una constante relación inversa de la salinidad con la precipitación pluvial, como consecuencia de las lluvias; hay que resaltar que esta relación que podría considerarse como muy lógica, es alterada por el comportamiento de las lagunas de Corralero en Oaxaca y Chantuto en Chiapas, quienes constituyen las excepciones de la regla anterior, al menos por los resultados obtenidos a partir de los análisis realizados.

d) la salinidad guarda una relación negativa en la mayoría de los casos con la cantidad de fosfatos, lo que induce a pensar que su suministro es por la vía dulceacuícola, esto es, lluvias o ríos (a excepción de la laguna de Pueblo Viejo).

e) La única relación negativa entre la clorofila a y la cantidad de fosfatos, se detecta en la laguna de Corralero; las demás lagunas mantienen una relación positiva.

f) una mayor cantidad de oxígeno disuelto está relacionada con la influencia oceánica en casi todas las lagunas con excepción de, una vez más, la laguna de Sontecomapan, Ver.

g) en sólo dos de las siete lagunas, la cantidad de clorofila a está relacionada con el suministro de nitrógeno (Tampamachoco y Chantuto), en el resto de las lagunas es con la presencia de fosfatos, lo que indica la fuerte relación entre estas dos variables.

Correlaciones entre lagunas por variable									
Correlaciones negativas significativas $p < 0.05$									
	Sal.	Temp.	O. Dis.	PH	Clor. a	N Tot.	PO4	N:P	Prec. Pluv
Sal.	X	Corr.	PV.	Tamp. Sont. Corr.	Sont.			Corr.	Corr.
Temp.	<i>Carr.</i>	X		Tam. Corr. Chan.			Tamp. Sont.	Corr.	Todas excepto Chan.
O. Dis.	<i>Sont.</i>		X	Chan.			Tam. Tamp.		Corr.
pH		<i>Ninguna</i>		X				PV. Corr.	PV. Tam.
Clor. A	<i>Tamp.</i>			<i>PV.</i>	X				Tamp.
N Tot.	<i>PV. Tamp.</i>		<i>Tam.</i>	<i>Tamp.</i>		X	<i>Carr.</i>	<i>PV. Tam. Tamp Sont.</i>	<i>PV. Tam. Corr</i>
PO4	<i>Corr. Carr.</i>	<i>PV. Tam.</i>		<i>Corr. Chan.</i>		<i>Tam. Sont.</i>	X	<i>Ninguna</i>	<i>Sont.</i>
N:P	<i>Pv.</i>	<i>Sont. Carr. Chan</i>	<i>Tam. Tamp</i>				<i>Todas</i>	X	<i>PV. Tam. Tamp.</i>
Prec.Pluv.	<i>PV. Tamp Carr</i>	<i>Ninguna</i>	<i>PV. Tam.</i>			<i>Sont.</i>	<i>PV. Tam.</i>	<i>Sont.</i>	X

Correlaciones positivas significativas $p < 0.05$

Figura 2.2.8. Correlaciones entre lagunas por variable

2.2.4. Análisis de componentes principales por cada laguna costera

Como es conocido, el análisis de componentes principales (ACP), es una técnica multivariada cuyo principal objetivo es el de condensar la información contenida en un número grande de variables, en un nuevo conjunto de nuevas dimensiones y con una mínima pérdida de información. Lo anterior reduce el ordenamiento original donde cada dimensión es definida por una variable, en nuevas pero pocas dimensiones y donde cada nueva dimensión está definida por la combinación lineal de las variables originales. Así, los componentes principales son los pesos de las combinaciones lineales de las variables originales que representan los gradientes de la máxima variación dentro de un conjunto de datos. El "significado ecológico" de cada componente está reflejado en la importancia de cada variable que define al componente (esto es, mayor importancia igual a mayor peso). (McGarigal *et al*, 2000).

El uso y aplicación del ACP por ecólogos, ha derivado en ciertas reglas para su interpretación: pesos mayores a 0.32 y menores a -0.32 son considerados como pobres; mayores de 0.45 y menores a -0.45 son tomados como aceptables; mayores de 0.55 y menores a -0.55 son buenos; mayores de 0.63 y menores a -0.63 son muy buenos y mayores a 0.71 y menores a -0.71 son excelentes (Tabachnik y Fidell, 1989). Usualmente la representación gráfica se hace en los dos primeros componentes, aunque el primer componente explicaría la cantidad máxima de variación posible en una dimensión, el segundo componente principal (geométricamente perpendicular al primero), maximiza la variación remanente, esto es que el segundo componente explica el remanente que el primero no explicó y es estadísticamente independiente.

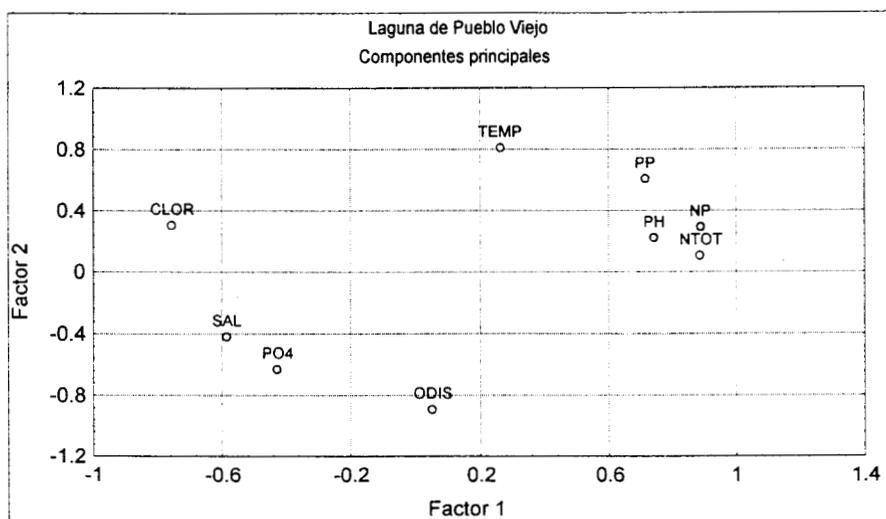


Figura 2.2.9. Gráfica de las nueve variables en dos componentes en Pueblo Viejo

Pueblo Viejo.- Las variables de mayor peso para el primer componente (que explica el 52.6 % de la variación), son la clorofila (- 0.826) en primer lugar y el nitrógeno total (0.674) y la relación N:P (0.677). La temperatura (0.914), el oxígeno disuelto (- 0.584) y los fosfatos (- 0.840) se manifiestan significativamente en el segundo componente llevando al 71.4% de la explicación total de la variación. Por lo anterior la variación de los nutrientes (quienes además están relacionados con las variaciones de temperatura) y la clorofila son, para esta laguna, las variables más importantes. En la gráfica puede apreciarse al conjunto que forman la relación N:P, el nitrógeno total, el pH y la precipitación pluvial y a la clorofila (la de mayor peso en el primer componente) cuyo "distanciamiento" indicaría su independencia con respecto a la presencia y aporte de nutrientes.

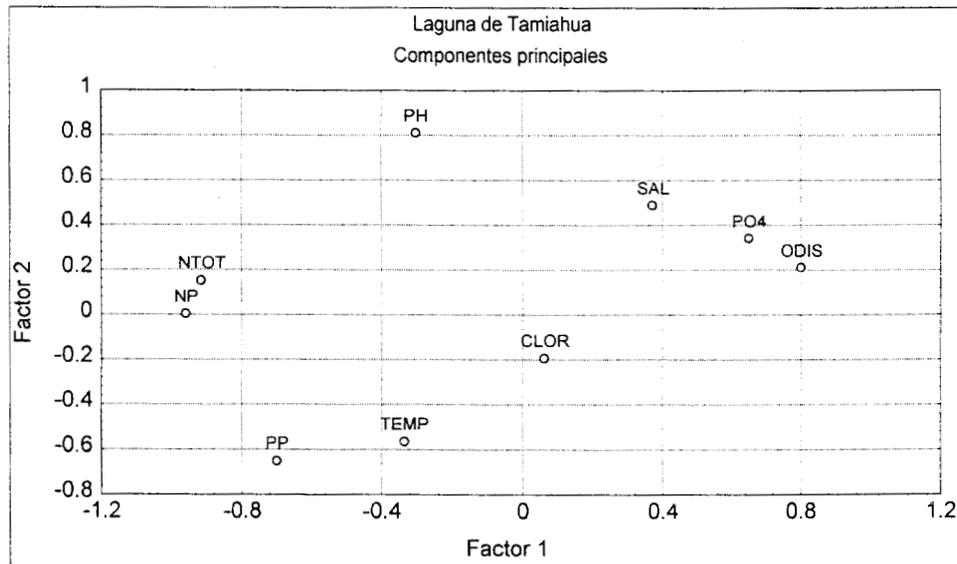


Figura 2.2.10. Gráfica de las nueve variables en dos componentes en Tamiahua

Tamiahua.- La relación N:P (- 0.958), el nitrógeno (- 0.906), la precipitación pluvial (- 0.733), los fosfatos (0.667) y el oxígeno disuelto (0.811), explican el 44.1 % de la variación en el primer componente, lo que se asumiría como el efecto que tienen las lluvias sobre el suministro de nutrientes en el sistema como variables preponderantes en esta laguna. El pH (0.858), es el único parámetro que en el segundo componente tiene peso significativo y que junto al primero suman el 61.2 % de la variación. En esta laguna es hasta el tercer componente cuando el peso de la clorofila (0.923) hace que el 71 % de la variación quede explicada. Existen dos pequeños agrupamientos de variables: por un lado del nitrógeno total con la relación N:P y por el otro lado, los fosfatos con el oxígeno disuelto. A diferencia de la laguna de Pueblo Viejo, en Tamiahua el peso de los nutrientes y su relación con la precipitación pluvial es más clara.

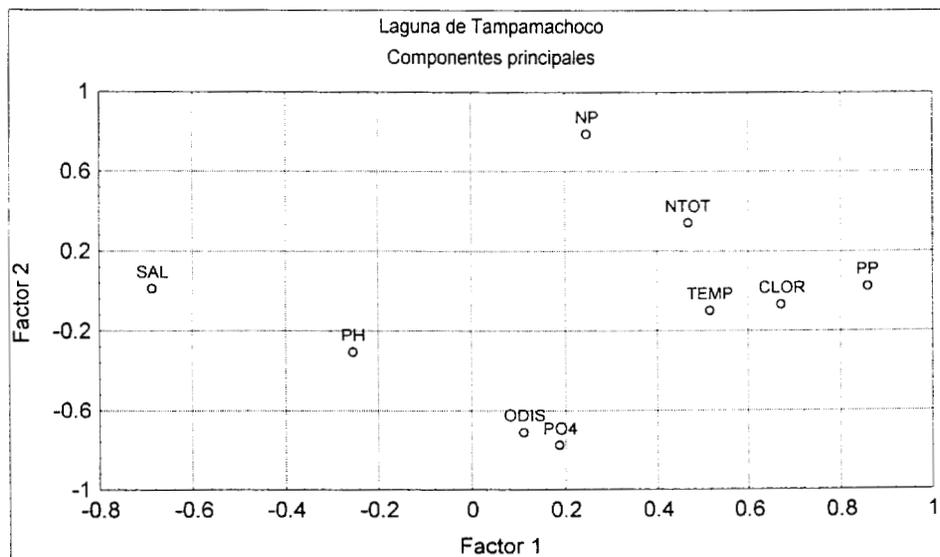


Figura 2.2.11. Gráfica de las nueve variables en dos componentes en Tampamachoco

Tampamachoco.- La temperatura (0.761), la precipitación pluvial (0.850) y la clorofila a (0.622) son las variables de mayor peso en el primer componente aunque explica apenas el 26%; son el oxígeno disuelto (- 0.716), los fosfatos (- 0.779) y la relación N:P (0.833), las variables que se manifiestan en el segundo componente y que explican el 47% del total. Cabe destacar que en esta laguna es donde se obtuvieron el mayor número de datos (cerca de 1,700), por lo que sería mas significativo el

resultado del análisis estadístico; sin embargo es posible deducir el peso que tienen las variables relacionadas con la época climática, esto es, la temperatura y la precipitación pluvial sobre el comportamiento lagunar y que además guardan una estrecha cercanía con la presencia de clorofila a. Como en el caso de la laguna de Tamiahua, los fosfatos y el oxígeno disuelto se mantienen cercanos entre sí

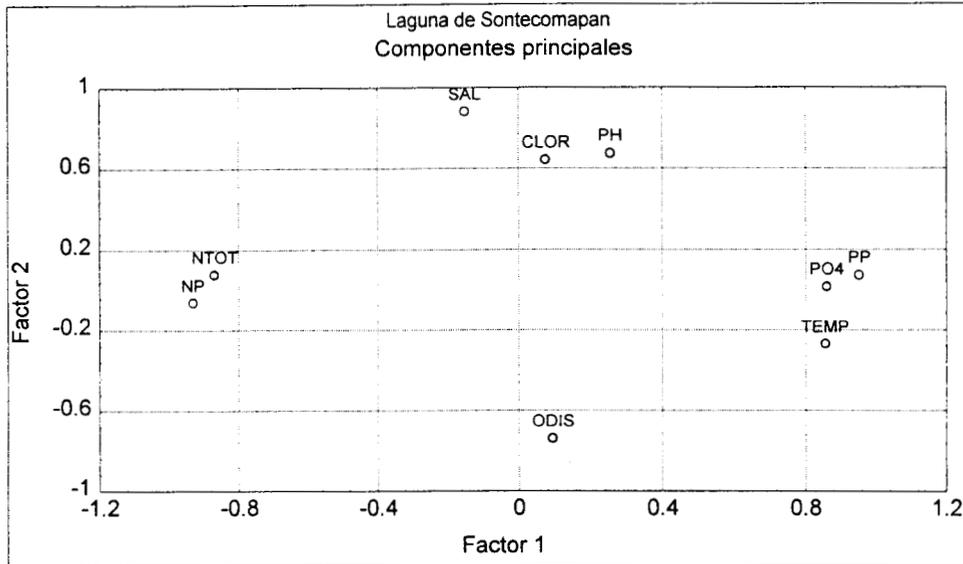


Figura 2.2.12. Gráfica de las nueve variables en dos componentes en Sontecomapan

Sontecomapan.- La temperatura (0.862), la precipitación pluvial (0.948), la relación N:P (- 0.932), el nitrógeno total (- 0.876), los fosfatos (0.855), en el primer componente explican 45.7% de la variación total, estos parámetros unidos y el peso que tienen reflejan la importancia de la temporada de lluvias (y el aporte inherente de nutrientes) sobre el comportamiento lagunar. En el segundo componente que vendría a explicar el 71% de la variación total, sobresale por su peso el pH (0.808) y el oxígeno disuelto (- 0.764) y la salinidad (0.659, variables característicamente abióticas).

En la gráfica es posible identificar tres grupos, el primero lo conforman los fosfatos, la precipitación pluvial y la temperatura, el segundo la clorofila, el pH y la salinidad y el tercero el nitrógeno total con la relación N:P, desde esta perspectiva sólo el oxígeno disuelto no está asociado a ningún otro parámetro. En esta laguna los agrupamientos reflejan varias características que ya se aprecian en otras lagunas pero con mas claridad; por ejemplo la relación N:P está fuertemente relacionada con la cantidad y/o presencia del nitrógeno, asociación que ya se detectaba en Pueblo Viejo y Tamiahua; en Sontecomapan la relación entre precipitación pluvial y el suministro de fosfatos resulta clara, en cambio la clorofila está más relacionada con la salinidad, esto es, con una mayor influencia marina que dulceacuícola del sistema. Lo anterior explica la mayor actividad fitoplanctónica en primavera.

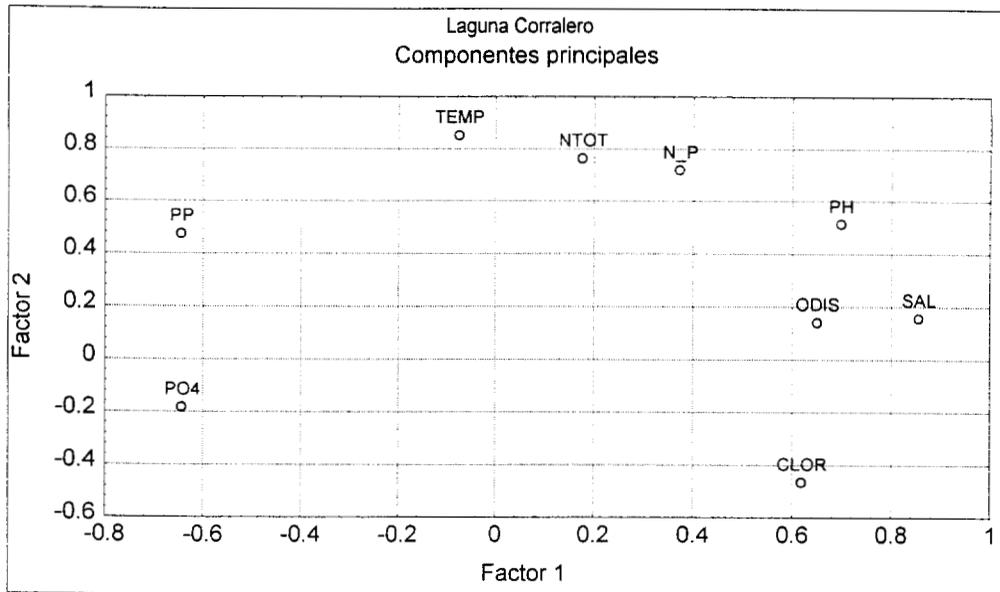


Figura 2.2.13. Gráfica de las nueve variables en dos componentes en Corralero

Corralero.- En este caso son el oxígeno disuelto (0.882), la salinidad (0.832) y el pH (0.740), variables característicamente abióticas, las que explican el 37% de la variación en el primer componente, el 62% se explica hasta el segundo componente donde la variables nitrógeno total (0.765) y la relación N:P (0.927), son los parámetros de mayor peso. Lo anterior hace suponer que esta laguna está más sujeta a las variaciones de tipo climático que con el resto de las lagunas tratadas en este estudio. En la gráfica se puede apreciar la dispersión de puntos en los dos componentes y resulta difícil ver algún tipo de agrupamiento lo que indicaría una independencia de cada variable. Esta laguna como las restantes del Pacífico sur repetirán esta característica, como se aprecia mas adelante.

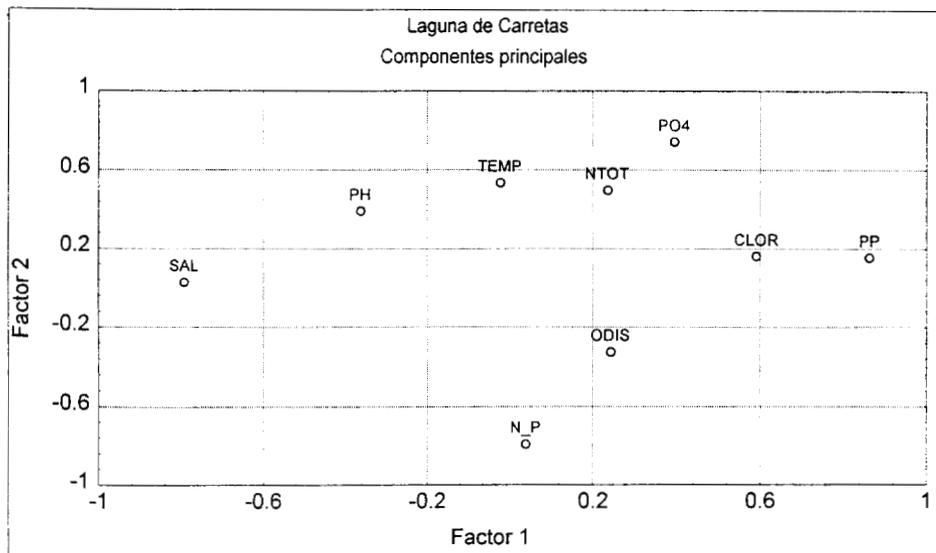


Figura 2.2.14. Gráfica de las nueve variables en dos componentes en Carretas

Carretas.- En los dos componentes se explica el 46.0% de la variación total; en el primer componente son la salinidad (- 0.702) y la precipitación pluvial (0.882) las de mayor peso y explican el 29%; en el segundo componente la temperatura (0.834) y la relación N:P (- 0.733) sobresalen por su peso. Como puede apreciarse las variables no muestran ningún tipo de agrupamiento lo que podría interpretarse como variables independientes o que no manifiestan ninguna o escasa relación entre ellas. Sin embargo, resulta interesante observar que la salinidad y la precipitación pluvial tienen el mayor peso,

las lagunas del Pacífico, sobre todo las situadas en el estado de Chiapas, son ecosistemas sujetos a variaciones climáticas que en esta región del país son tan marcadas e intensas, por un lado es la región donde existe la mayor precipitación pluvial de México, y por otro lado también es esta zona la más cálida de la república.

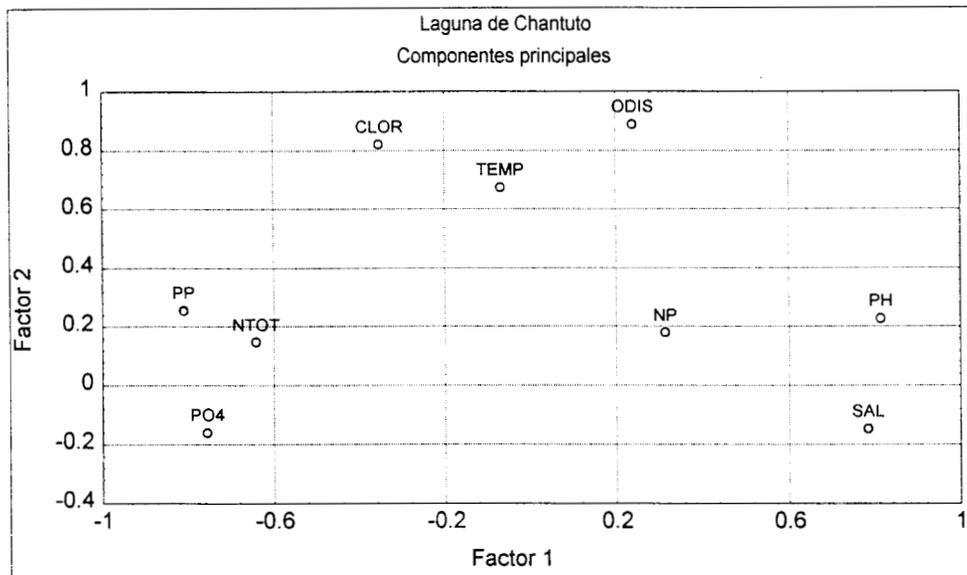


Figura 2.2.15. Gráfica de las nueve variables en dos componentes en Chantuto

Chantuto.- Son la salinidad (0.871), la precipitación pluvial (- 0.940) y el pH (0.867) en el primer componente, quienes conforman el 35.8% de la variación; en el segundo componente se unen para la explicación del 59%, la temperatura (0.834) y la relación N:P (- 0.733). La cercanía geográfica con el sistema de Carretas hace que estas dos lagunas tengan similitudes, pero sigue siendo muy significativo el peso de las variables derivadas del comportamiento climático local, esto es, la fuerte influencia de las lluvias y secas.

2.2.13. Resumen de datos provenientes del análisis de componentes principales.
Lagunas del Golfo de México.

Laguna de Pueblo Viejo (9 variables)

	Pesos		
	Factor	Factor	Factor
	1	2	3
Sal.	-0.148	-0.067	0.955
Temp.	0.042	0.914	-0.185
O ₂ Dis	0.458	-0.584	0.548
PH	0.654	0.460	-0.217
Clor a	-0.826	0.038	0.092
N Tot.	0.674	0.116	-0.606
PO ₄	-0.282	-0.840	0.117
N:P	0.677	0.398	-0.508
PP	0.321	0.478	-0.771
Var. Expl.	2.441	2.501	2.536
Porc.Tot	0.271	0.278	0.282

Autovalores

	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
1	4.734	52.604	4.734	52.604
2	1.697	18.855	6.431	71.459
3	1.046	11.625	7.478	83.084

Laguna de Tamiahua (9 variables)

	Pesos		
	Factor	Factor	Factor
	1	2	3
Sal.	0.397	0.537	0.200
Temp.	-0.365	-0.436	0.485
O ₂ Dis	0.811	0.116	-0.210
pH	-0.260	0.858	0.019
Clor a	0.049	0.043	0.923
N Tot.	-0.906	0.191	-0.065
PO ₄	0.667	0.322	0.018
N:P	-0.958	0.038	-0.065
PP	-0.733	-0.602	0.118
Var. Expl.	3.737	1.735	1.194
Porc.Tot	0.415	0.193	0.133

Autovalores

	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
1	3.970	44.115	3.970	44.115
2	1.542	17.133	5.512	61.248
3	1.153	12.815	6.666	74.063

Laguna de Tampamachoco (9 variables)

	Pesos		
	Factor	Factor	Factor
	1	2	3
Sal.	-0.423	0.136	-0.661
Temp.	0.761	0.048	-0.336
O ₂ Dis	0.118	-0.716	-0.039
pH	0.127	-0.108	-0.796
Clor a	0.622	-0.078	0.253
N Tot.	0.251	0.238	0.546
PO ₄	0.199	-0.779	-0.034
N:P	0.296	0.833	0.035
PP	0.850	0.043	0.233
Var. Expl.	2.087	1.911	1.603
Porc.Tot	0.232	0.212	0.178

Autovalores

	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
1	2.354	26.151	2.354	26.151
2	1.922	21.352	4.275	47.503
3	1.326	14.734	5.601	62.237

Laguna de Sontecomapan (9 variables)

	Pesos		
	Factor	Factor	Factor
	1	2	3
Sal.	-0.174	0.659	-0.584
Temp.	0.862	-0.135	0.234
O ₂ Dis	0.120	-0.764	0.196
pH	0.228	0.808	-0.040
Clor a	0.069	0.142	-0.908
N Tot.	-0.876	0.198	0.186
PO ₄	0.855	0.146	0.134
N:P	-0.932	0.006	0.163
PP	0.948	0.158	0.046
Var. Expl.	4.110	1.795	1.342
Porc.Tot	0.457	0.199	0.149

Autovalores

	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
1	4.115	45.726	4.115	45.726
2	2.265	25.168	6.380	70.894
3	0.867	9.636	7.248	80.530

2.2.13. (Continúa) Resumen de datos provenientes del análisis de componentes principales.
Lagunas del Pacífico Sur.

Laguna de Corralero (9 variables)

	Pesos		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Sal.	0.832	0.223	-0.277
Temp.	0.187	0.572	0.630
O ₂ Dis	0.882	-0.025	0.021
pH	0.740	0.492	-0.005
Clor a	0.432	-0.237	-0.601
N Tot.	0.135	0.765	0.227
PO ₄	-0.289	-0.519	0.480
N:P	0.108	0.927	-0.064
PP	-0.106	-0.058	0.927
Var. Expl.	2.364	2.393	1.980
Porc.Tot	0.263	0.266	0.220

Laguna de Carretas (9 variables)

	Pesos		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Sal.	-0.702	0.299	0.323
Temp.	0.129	0.834	0.100
O ₂ Dis	0.308	-0.119	0.330
pH	-0.364	0.347	-0.181
Clor a	0.679	0.322	0.071
N Tot.	0.033	-0.115	-0.858
PO ₄	0.267	0.273	-0.812
N:P	0.013	-0.733	0.374
PP	0.882	0.126	-0.144
Var. Expl.	2.048	1.664	1.818
Porc.Tot	0.228	0.185	0.202

Autovalores

	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
1	3.313	36.809	3.313	36.809
2	2.329	25.879	5.642	62.688
3	1.095	12.166	6.737	74.854

Autovalores

	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
1	2.428	26.975	2.428	26.975
2	1.719	19.099	4.147	46.074
3	1.383	15.370	5.530	61.444

Laguna de Chantuto (9 variables)

	Pesos		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Sal.	0.871	-0.087	0.112
Temp.	0.176	0.740	-0.386
O ₂ Dis	0.091	0.873	0.280
pH	0.867	0.286	0.167
Clor a	-0.405	0.799	-0.046
N Tot.	-0.287	0.204	-0.719
PO ₄	-0.293	-0.084	-0.910
N:P	-0.170	0.075	0.802
PP	-0.940	0.184	-0.066
Var. Expl.	2.793	2.126	2.263
Porc.Tot	0.310	0.236	0.251

Autovalores

	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
1	3.226	35.840	3.226	35.840
2	2.106	23.397	5.331	59.237
3	1.851	20.571	7.183	79.807

2.2.13. (Continúa)

	1° Componente	% total	2° Componente	% Acumul.
PV	CLOR pH N:P	52	O DIS. TEMP. PO4	71
TAM	O DIS. N TOT. N:P PREC. PLUV. PO4	44	pH	61
TAMP	TEMP. PREC. PLUV. CLOR	26	O DIS. PO4 N:P	47
SONT	TEMP. N TOT. PO4 N:P PREC. PLUV.	46	O DIS. pH	71
CORR	SAL. O DIS. pH	36	N TOT. pH	62
CARR	SAL. PREC. PLUV.	27	TEMP. N:P	46
CHAN	SAL. pH PREC. PLUV.	36	TEMP. O DIS. CLOR.	59

En la tabla resumen se puede apreciar que ocho de las nueve variables seleccionadas manifiestan pesos significativos en el primer componente, lo anterior reafirma que la selección de variables fue la adecuada. En Pueblo Viejo 6 variables explican el 71%; en Tamiahua 6, el 61%; en Tampamachoco 6, el 47%; en Sontecomapan 7, el 71%; en Corralero 5, el 62%; en Carretas 4, el 46%; y finalmente en Chantuto 6, el 59%.

Por otro lado, es notoria la significancia de la precipitación pluvial ya que en cinco lagunas participa con pesos importantes en el primer componente; le siguen la relación N:P y el pH con 3, la clorofila *a*, el nitrógeno total y los fosfatos con 2 y finalmente, el oxígeno disuelto sólo con una; resalta el hecho de que solamente la productividad primaria no llega a tener un peso significativo en este componente. Además de lo anterior, cabe señalar que en el primer componente se explica del 26 al 52% de la variación, con el segundo se llega del 46 al 71%, por lo que la utilidad del análisis queda comprobado.

2.2.5. Análisis por época climática.

Como es conocido y se ha corroborado en diferentes artículos (Botello, 1978; Contreras, 1983;1995), dos son las épocas climáticas representativas y cuya influencia es decisiva en el comportamiento hidrológico de las lagunas costeras: lluvias y estiaje. La primera se caracteriza por valores elevados de temperatura y salinidad y una relativa estabilidad ambiental, lo anterior es acompañado de una eficiente captación de nutrientes por parte del fitoplancton, lo que se manifiesta en elevados valores de productividad primaria. Las lluvias conllevan un significativo aporte de nutrientes derivado del suministro de agua dulce por los ríos pero, debido a la inestabilidad medioambiental, la productividad primaria, es efímera, aunque los valores alcanzados por este proceso, son más elevados que su equivalente en primavera.

Con base en lo anterior, se seleccionaron los datos representativos de las dos épocas para cada laguna, y siguiendo la metodología estadística descrita en la segunda parte, se realizaron los análisis conducentes.

Tabla.2.2.14. Correlaciones con base en la época climática

	PVS	PVLL	TAMS	TAMLL	TAPS	TAPLL	SONS	SONL	CORS	CORL	CARS	CARLL	CHAS	CHALL
PVS	1.0													
PVLL	0.068	1.0												
TAMS	-0.092	0.791	1.0											
TAMLL	0.176	0.984	0.690	1.0										
TAPS	0.921	0.103	-0.047	0.203	1.0									
TAPLL	0.188	0.982	0.723	0.989	0.261	1.0								
SONS	-0.003	0.962	0.911	0.913	0.001	0.908	1.0							
SONL	0.207	0.973	0.656	0.995	0.254	0.993	0.881	1.0						
CORS	0.279	0.419	0.803	0.346	0.273	0.386	0.599	0.308	1.0					
CORLL	0.262	0.970	0.677	0.992	0.309	0.995	0.886	0.997	0.369	1.0				
CARS	-0.261	0.101	0.682	-0.045	-0.174	0.025	0.326	-0.081	0.782	-0.044	1.0			
CARLL	0.190	0.968	0.646	0.988	0.262	0.994	0.868	0.997	0.285	0.993	-0.081	1.0		
CHAS	-0.010	0.110	0.673	-0.010	0.061	0.064	0.327	-0.040	0.886	0.014	0.967	-0.046	1.0	
CHALL	0.200	0.971	0.648	0.992	0.258	0.994	0.874	0.999	0.293	0.995	-0.087	0.999	-0.048	1.0

Pueblo Viejo.- Durante el período de secas sólo mantiene relación significativa (0.921) con la cercana laguna de Tamiahua; en cambio, durante lluvias manifiesta elevadas correlaciones con casi todas las lagunas.

Tamiahua.- En el período de estiaje sólo mantiene correlaciones significativas con dos lagunas, Sontecomapan y Corralero (situada en el Pacífico y curiosamente con la temporada lluviosa); durante lluvias, al igual que Pueblo Viejo, mantiene elevadas correlaciones con casi todas las lagunas de este estudio.

Tampamachoco.- No presenta correlaciones significativas con ninguna laguna durante la temporada de secas. Durante lluvias manifiesta elevadas correlaciones con casi todas las lagunas.

Sontecomapan.- En esta laguna resalta el hecho de que, durante su época de secas, manifiesta correlaciones positivas y todas significativas, con la temporadas lluviosas de todas las lagunas.

Corralero.- Las únicas correlaciones significativas y positivas, las mantiene con las lagunas de Tamiahua, Carretas durante el mismo período climático y con lluvias en Chantuto. En cambio en

lluvias, esta laguna tiene correlaciones con todas las lagunas y con la de Sontecomapan durante el estiaje.

Carretas.- Sólo posee dos correlaciones significativas con las lagunas de Corralero y Chantuto durante la época de secas. En cambio, en lluvias sigue el comportamiento de todas las lagunas, esto es, el de mantener relaciones significativas con la mayoría de los ecosistemas restantes.

Chantuto.- Como en las anteriores, mantiene correlaciones significativas y positivas con las lluvias del resto de las lagunas. En cambio, durante el período de estiaje sus correlaciones se limitan hacia las lagunas de Corralero y Carretas.

Con base en los resultados de las correlaciones es posible detectar que son las lluvias un período en donde las similitudes entre lagunas son muy elevadas, lo que no sucede en el estiaje. Esta característica permanece en el análisis de componentes principales como se verá mas adelante.

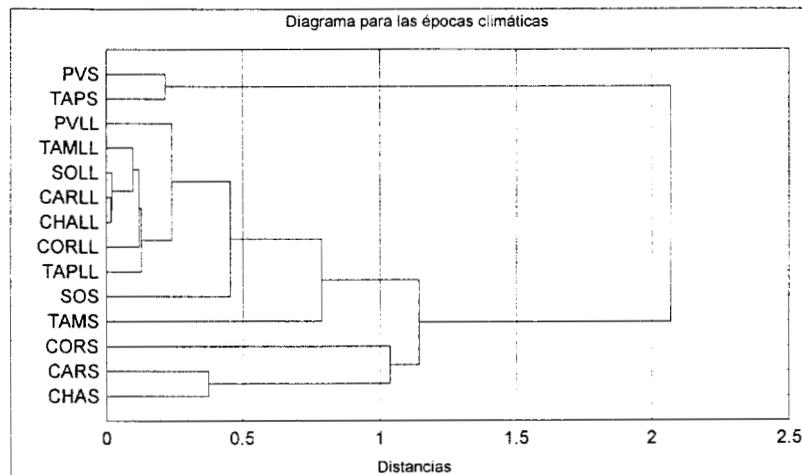


Figura 2.2.17. Diagrama de clusters para las épocas climáticas

Tabla.2.2.15. Distancias Euclidianas para las épocas climáticas

	PVS	PVLL	TAMS	TAMLL	TAPS	TAPLL	SOS	SOLL	CORS	CORLL	CARS	CARLL	CHAS	CHALL
PVS	0.00													
PVLL	2.80	0.00												
TAMS	2.76	1.22	0.00											
TAMLL	2.70	0.28	1.45	0.00										
TAPS	0.22	2.67	2.64	2.57	0.00									
TAPLL	2.70	0.24	1.37	0.13	2.57	0.00								
SOS	2.84	0.46	0.79	0.71	2.71	0.65	0.00							
SOLL	2.65	0.37	1.52	0.10	2.53	0.18	0.80	0.00						
CORS	2.18	2.11	1.15	2.23	2.07	2.17	1.78	2.27	0.00					
CORLL	2.63	0.37	1.47	0.14	2.50	0.13	0.77	0.12	2.21	0.00				
CARS	2.59	3.07	2.08	3.20	2.54	3.16	2.75	3.24	1.29	3.22	0.00			
CARLL	2.65	0.39	1.53	0.12	2.52	0.20	0.82	0.04	2.28	0.14	3.24	0.00		
CHAS	2.37	2.97	1.98	3.09	2.32	3.04	2.65	3.12	1.04	3.09	0.38	3.12	0.00	
CHALL	2.65	0.39	1.53	0.12	2.52	0.20	0.82	0.02	2.28	0.14	3.24	0.02	3.13	0.00

El diagrama de “clusters” a diferencia de otros aplicadas anteriormente reflejan distancias cortas y muy bien definidas en el agrupamiento de las lagunas en secas y lluvias.

2.2.5.1. Componentes principales

Como puede apreciarse en la tabla de autovalores las lluvias tienen un peso significativo en la explicación del 62% de la variación total en el primer componente. El componente anterior junto a algunos valores de secas (en Tampamachoco, Pueblo Viejo y Carretas), explicaron el 93.8 %, de la variación total, cifra altamente significativa. Gráficamente destaca el agrupamiento de lagunas en la época de lluvias y contrariamente durante el estiaje muestra una mayor dispersión en las lagunas.

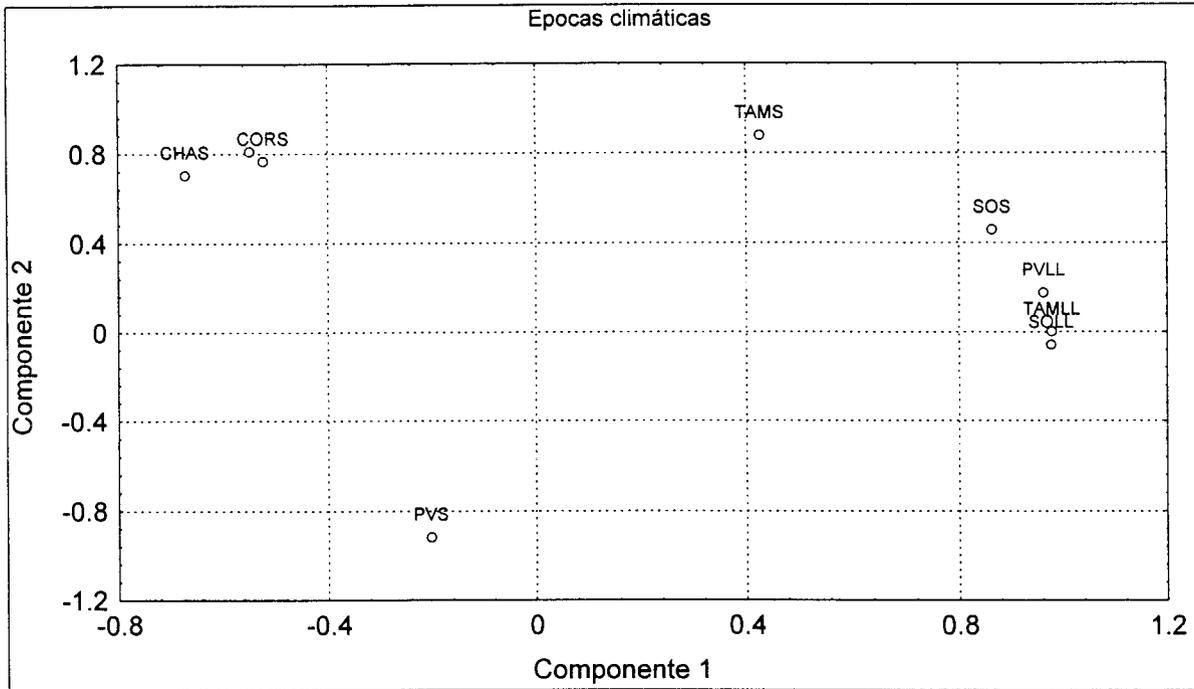


Figura 2.2.18. Gráfica de las épocas climáticas en dos componentes

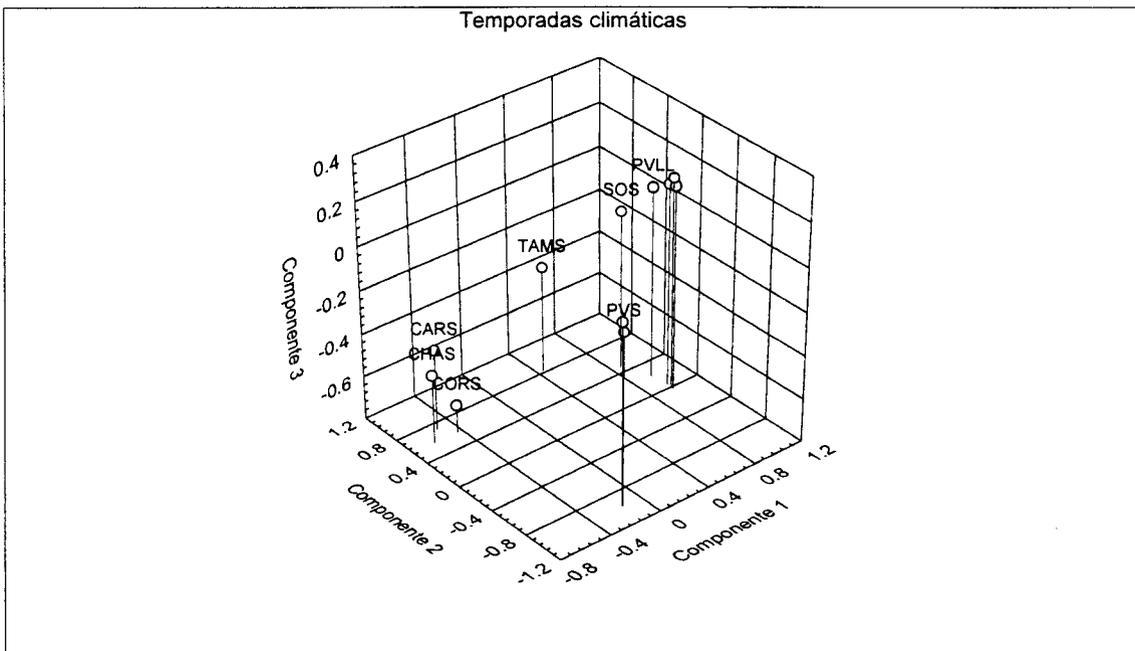


Figura 2.2.19. Gráfica de las épocas climáticas en tres ejes

Tabla.2.2.16. Tabla de pesos y autovalores para las épocas climáticas.

	Pesos			Autovalores			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
PVS	-0.143	-0.976	-0.009				
PVLL	0.951	0.214	0.088	1	8.685	62.039	8.685 62.039
TAMS	0.442	0.822	-0.304	2	4.457	31.837	13.143 93.876
TAMLL	0.968	0.046	0.137	3	0.322	2.302	13.465 96.178
TAPS	-0.150	-0.971	0.036				
TAPLL	0.968	0.062	0.133				
SONS	0.862	0.461	-0.058				
SONLL	0.965	-0.008	0.164				
CORS	-0.440	0.577	-0.670				
CORLL	0.968	-0.026	0.144				
CARS	-0.523	0.712	-0.423				
CARLL	0.962	-0.008	0.177				
CHAS	-0.628	0.579	-0.481				
CHALL	0.963	-0.011	0.172				
Var. Expl.	8.343	4.012	1.110				
Porc.Tot	0.596	0.287	0.079				

Con base en todo lo anterior es posible afirmar que en las lagunas de este estudio el fenómeno más significativo en el comportamiento hidrológico y por lo tanto en las pautas ecológicas subsecuentes es la influencia que tienen las dos épocas climáticas conocidas como lluvias y estiaje. De hecho el fenómeno de las lluvias agrupa a las lagunas, lo que no hace el estiaje, por lo que podría interpretarse como que el comportamiento hidrológico durante este período adquiere características locales.

2.2.6. Variable por laguna

En este subcapítulo se presentan y discuten las posibles relaciones que manifiestan las lagunas entre sí, tomando como base a cada uno de los parámetros tratados con anterioridad, con el objetivo de ubicar si alguna de estas variables pudiese servir de base a una clasificación y/o en su defecto, de característica propia.

Se llevó a cabo el análisis de correlación entre las siete lagunas tomando como base a las nueve variables ya conocidas: a) la salinidad, b) la temperatura, c) el oxígeno disuelto, d) el pH, e) la clorofila a, f) el Nitrógeno total, g) los ortofosfatos, h) la relación N:P e, i) la precipitación pluvial.

a) Correlaciones de cada variable por laguna

2.2.17. Tabla de las correlaciones para Salinidad

	PV	TAMI	TAMP	SONTE	CORR	CARR	CHAN
PV	1.00						
TAMI	0.17	1.00					
TAMP	-0.21	0.35	1.00				
SONTE	0.53	0.28	-0.49	1.00			
CORR	-0.37	0.13	0.20	-0.34	1.00		
CARR	0.44	-0.18	-0.61	0.42	-0.48	1.00	
CHAN	0.41	-0.06	-0.47	0.52	-0.25	0.47	1.00

Salinidad.- Se manifiestan diez correlaciones significativas en total, tanto negativas (4) como positivas (6), resaltando la que mantiene la laguna de Sontecomapan con la de Pueblo Viejo.

2.2.18. Tabla de las correlaciones para Temperatura

Temp.	PV	TAM	TAMP	SONT	CORR	CARR	CHAN
PV	1.00						
TAM	-0.29	1.00					
TAMP	-0.46	0.39	1.00				
SONT	-0.48	0.32	0.48	1.00			
CORR	-0.23	0.63	0.62	0.52	1.00		
CARR	0.42	-0.07	-0.62	-0.29	-0.16	1.00	
CHAN	0.32	-0.29	-0.45	-0.33	-0.39	0.29	1.00

Temperatura.- Cuatro son las lagunas con correlaciones positivas y significativas entre sí, de este parámetro, Tamiahua, Tampamachoco, Sontecomapan y Corralero y siete las negativas.

2.2.19. Tabla de las correlaciones para el oxígeno disuelto

	PV	TAM	TAMP	SONT	CORR	CARR	CHAN
PV	1.00						
TAM	-0.25	1.00					
TAMP	0.04	0.01	1.00				
SONT	-0.03	-0.14	-0.45	1.00			
CORR	0.19	0.22	0.00	0.02	1.00		
CARR	-0.16	0.41	-0.01	-0.36	-0.18	1.00	
CHAN	0.21	-0.11	-0.02	0.02	0.02	-0.04	1.00

Oxígeno disuelto.- En el análisis de correlación de este gas hay sólo una correlación positiva entre Tamiahua y Carretas y otra negativa entre Tampamachoco y Sontecomapan.

2.2.20. Tabla de las correlaciones para el pH

	PV	TAM	TAMP	SONT	CORR	CARR	CHAN
PV	1.00						
TAM	0.08	1.00					
TAMP	-0.16	0.03	1.00				
SONT	-0.01	-0.23	0.13	1.00			
CORR	-0.16	0.14	0.40	-0.19	1.00		
CARR	-0.18	-0.30	0.00	0.06	-0.02	1.00	
CHAN	-0.34	-0.19	0.01	0.36	-0.20	0.14	1.00

pH.- La única correlación (positiva), existe entre la laguna de Tampamachoco y la de Corralero.

2.2.21. Tabla de las correlaciones para la clorofila a

	PV	TAM	TAMP	SONT	CORR	CARR	CHAN
PV	1.00						
TAM	0.27	1.00					
TAMP	0.17	-0.44	1.00				
SONT	0.32	0.26	-0.33	1.00			
CORR	0.26	0.86	-0.29	0.22	1.00		
CARR	-0.10	-0.20	0.07	0.30	-0.14	1.00	
CHAN	-0.31	0.37	-0.20	0.31	0.26	-0.10	1.00

Clorofila a.- Sólo Corralero y Tamiahua reflejan una relación positiva y significativa.

2.2.22. Tabla de las correlaciones para el Nitrógeno total

	PV	TAM	TAMP	SONT	CORR	CARR	CHAN
PV	1.00						
TAM	-0.10	1.00					
TAMP	0.31	-0.12	1.00				
SONT	-0.16	-0.11	-0.04	1.00			
CORR	0.20	-0.10	0.61	-0.02	1.00		
CARR	-0.11	-0.26	-0.22	0.21	-0.39	1.00	
CHAN	-0.20	-0.07	0.00	0.47	-0.15	0.08	1.00

Nitrógeno total.- También con este parámetro, sólo entre Corralero y Tampamachoco, además de Sontecomapan con Chantuto reflejan una relación positiva y significativa.

2.2.23. Tabla de las correlaciones para los ortofosfatos

	PV	TAM	TAMP	SONT	CORR	CARR	CHAN
PV	1.00						
TAM	-0.32	1.00					
TAMP	0.33	-0.45	1.00				
SONT	0.20	-0.37	0.73	1.00			
CORR	0.45	-0.35	0.71	0.66	1.00		
CARR	-0.28	-0.25	-0.28	-0.18	-0.32	1.00	
CHAN	-0.23	-0.08	0.03	-0.17	-0.02	0.50	1.00

Ortofosfatos.- Correlaciones positivas entre Corralero, Pueblo Viejo, Tampamachoco, Sontecomapan, Carretas y Chantuto y una negativa entre Tampamachoco y Tamiahua.

2.2.24. Tabla de las correlaciones para la relación N:P

	PV	TAM	TAMP	SONT	CORR	CARR	CHAN
PV	1.00						
TAM	-0.35	1.00					
TAMP	-0.01	-0.46	1.00				
SONT	0.27	-0.35	0.31	1.00			
CORR	0.17	-0.33	0.24	0.25	1.00		
CARR	-0.13	-0.22	0.48	0.06	-0.27	1.00	
CHAN	-0.25	-0.19	0.45	0.29	-0.21	0.44	1.00

Relación N:P.- Tamiahua con Tampamachoco (negativa); Carretas y Chantuto con Tampamachoco y Carretas con Chantuto (positivas).

2.2.25. Tabla de las correlaciones para la precipitación pluvial

	PV	TAM	TAMP	SONT	CORR	CARR	CHAN
PV	1.00						
TAM	-0.38	1.00					
TAMP	-0.05	-0.50	1.00				
SONT	-0.63	0.71	-0.47	1.00			
CORR	-0.45	0.65	-0.81	0.77	1.00		
CARR	0.78	-0.59	0.48	-0.84	-0.86	1.00	
CHAN	0.73	-0.61	0.42	-0.90	-0.78	0.91	1.00

Precipitación pluvial.- En esta variable destaca que prácticamente la mayoría de las lagunas manifiestan correlaciones significativas con este parámetro. En total se manifiestan 20 correlaciones tanto negativas (12) como positivas (8).

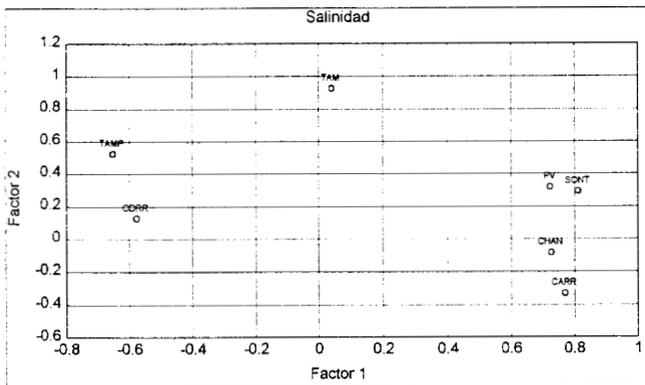
Tabla 2.2.26. En resumen el número de correlaciones son:

Salinidad	Temperatura	Oxígeno dis.	pH	Clor. a
10	11	2	1	1
N Tot	P-PO4	N:P	Prec. Pluv.	
2	6	4	20	

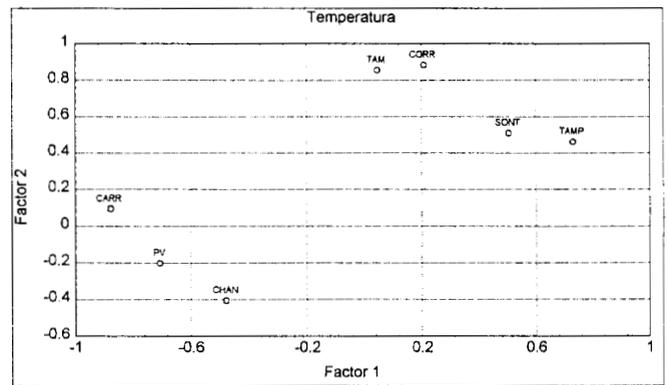
Como puede apreciarse la precipitación pluvial, la temperatura y la salinidad, tres variables fuertemente relacionadas entre sí y derivadas de las variaciones estacionales climáticas, son las que manifiestan correlaciones estadísticamente significativas. Lo anterior, viene a reforzar el concepto de que los sistemas estuarino-lagunares son, en primera instancia, un fenómeno hidrológico.

2.2.6.1. Componentes principales

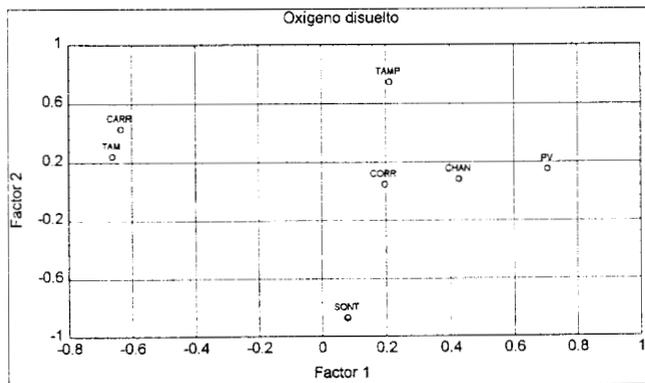
El peso del porcentaje de la varianza total para las diferentes variables es muy heterogéneo, como se puede observar, a continuación, se presentan las gráficas en los dos componentes.



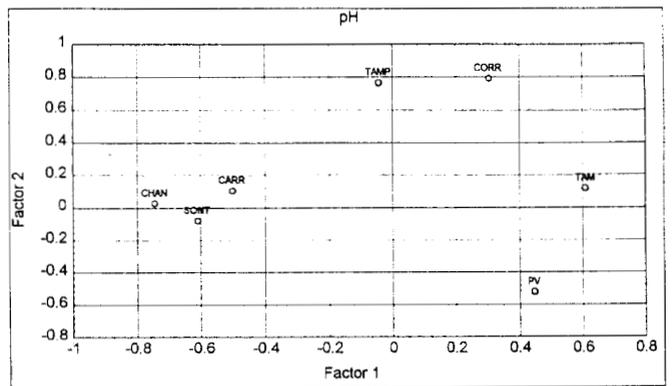
2.2.20. Salinidad



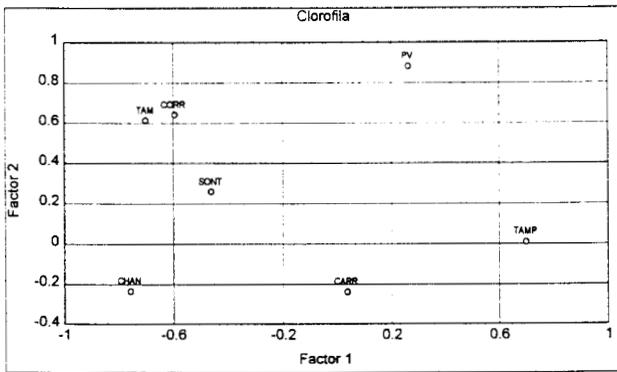
2.2.21. Temperatura



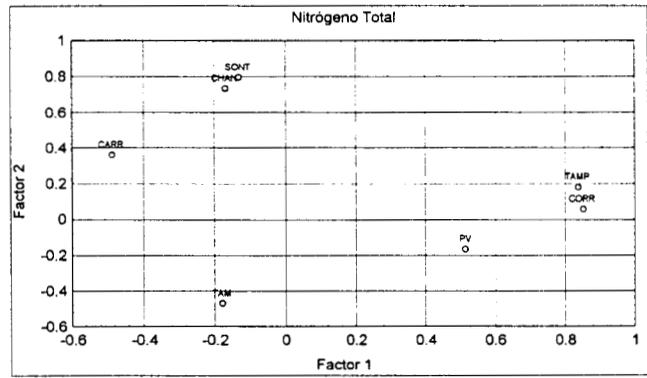
2.2.22. Oxígeno disuelto



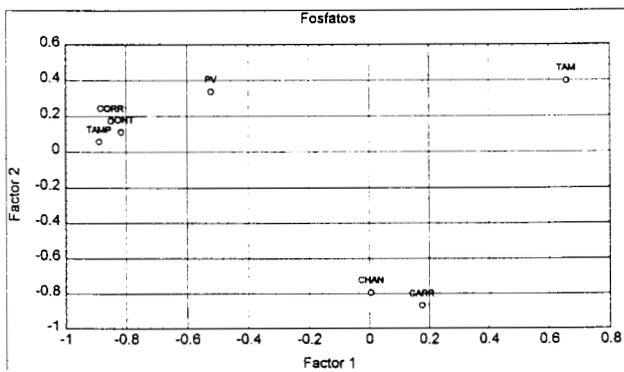
2.2.23. pH



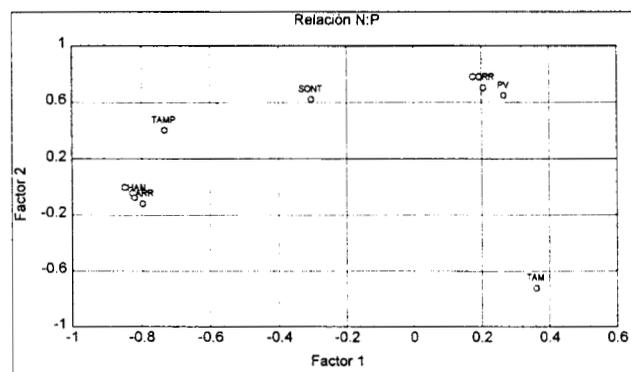
2.2.24. Clorofila a



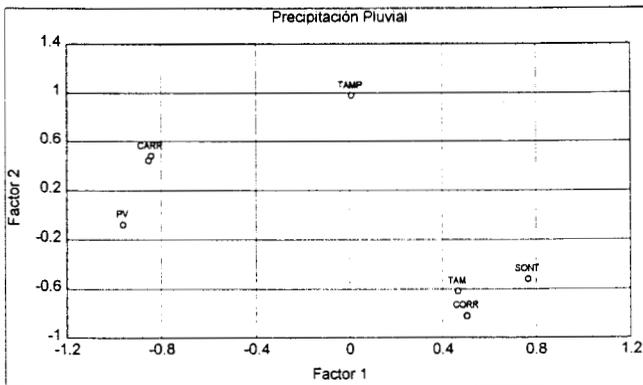
2.2.25. Nitrogeno total



2.2.26. Fosfatos



2.2.27. Relacion N:P



2.2.28. Precipitacion pluvial

Con base en los valores y sobretodo en la parte grafica se aprecia que no existe algun agrupamiento en especial, salvo en el caso de los fosfatos y la relacion N:P, que coinciden tanto en el componente como su signo, los pesos de los fosfatos son todos positivos y del N:P, todos negativos.

Tabla 2.2.27. Resumen de pesos y autovalores para las variables por laguna

Pesos				Pesos			
	Factor	Factor	Factor		Factor	Factor	Factor
Salinidad	1	2	3	Temp.	1	2	3
PV	-0.391	0.437	-0.568	PV	-0.096	0.301	-0.828
TAM	0.125	0.918	0.095	TAM	0.835	0.025	0.189
TAMP	0.852	0.329	0.070	TAMP	0.455	-0.704	0.302
SONT	-0.700	0.476	-0.272	SONT	0.416	-0.155	0.713
CORR	0.090	0.078	0.928	CORR	0.879	-0.197	0.155
CARR	-0.635	-0.171	-0.535	CARR	0.100	0.847	-0.307
CHAN	-0.778	0.105	-0.146	CHAN	-0.446	0.625	0.037
Var. Expl.	2.403	1.415	1.580	Var. Expl.	2.069	1.757	1.441
Porc.Tot	0.343	0.202	0.226	Porc.Tot	0.296	0.251	0.206

Autovalores				Autovalores					
	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.		Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
1	3.102	44.311	3.102	44.311	1	3.348	47.825	3.348	47.825
2	1.411	20.163	4.513	64.474	2	1.186	16.940	4.534	64.765
3	0.885	12.639	5.398	77.113	3	0.733	10.468	5.266	75.233

Pesos				Pesos			
	Factor	Factor	Factor		Factor	Factor	Factor
O dis.	1	2	3	pH	1	2	3
PV	0.573	0.211	0.441	PV	0.238	-0.473	0.467
TAM	-0.827	0.068	0.326	TAM	0.274	0.194	0.618
TAMP	0.115	0.780	-0.001	TAMP	-0.194	0.792	0.099
SONT	0.199	-0.857	0.034	SONT	-0.829	-0.048	0.064
CORR	-0.092	-0.057	0.915	CORR	0.328	0.786	0.005
CARR	-0.656	0.340	-0.203	CARR	0.033	-0.014	-0.839
CHAN	0.368	0.129	0.208	CHAN	-0.759	0.016	-0.244
Var. Expl.	1.638	1.527	1.225	Var. Expl.	1.542	1.509	1.377
Porc.Tot	0.234	0.218	0.175	Porc.Tot	0.220	0.216	0.197

Autovalores				Autovalores					
	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.		Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
1	1.794	25.634	1.794	25.634	1	1.843	26.330	1.843	26.330
2	1.407	20.093	3.201	45.727	2	1.510	21.567	3.353	47.897
3	1.189	16.988	4.390	62.715	3	1.075	15.362	4.428	63.259

Tabla 2.2.27. (continúa) Resumen de pesos y autovalores para las variables por laguna

Pesos				Pesos					
Clor. a	Factor 1	Factor 2	Factor 3	N tot.	Factor 1	Factor 2	Factor 3		
PV	0.276	0.899	0.126	PV	0.442	0.427	0.302		
TAM	0.943	0.056	0.029	TAM	-0.172	0.070	-0.824		
TAMP	-0.522	0.399	-0.246	TAMP	0.853	-0.019	0.086		
SONT	0.340	0.082	0.830	SONT	0.006	-0.816	0.172		
CORR	0.875	0.140	0.012	CORR	0.862	0.032	-0.083		
CARR	-0.360	-0.012	0.771	CARR	-0.488	-0.125	0.677		
CHAN	0.452	-0.636	0.163	CHAN	-0.024	-0.837	0.010		
Var. Expl.	2.456	1.400	1.389	Var. Expl.	1.935	1.572	1.273		
Porc.Tot	0.351	0.200	0.198	Porc.Tot	0.276	0.225	0.182		
Autovalores				Autovalores					
	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.		Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
1	2.526	36.089	2.526	36.089	1	2.093	29.903	2.093	29.903
2	1.402	20.024	3.928	56.113	2	1.494	21.347	3.587	51.249
3	1.317	18.811	5.245	74.924	3	1.192	17.032	4.780	68.281
Pesos				Pesos					
PO4	Factor 1	Factor 2	Factor 3	N:P	Factor 1	Factor 2	Factor 3		
PV	0.177	0.311	0.823	PV	0.155	0.036	0.931		
TAM	-0.368	0.422	-0.694	TAM	0.493	-0.371	-0.532		
TAMP	0.903	0.022	0.189	TAMP	-0.803	0.332	0.020		
SONT	0.875	0.080	0.086	SONT	-0.415	0.294	0.479		
CORR	0.830	0.140	0.255	CORR	0.045	0.947	0.088		
CARR	-0.267	-0.866	0.060	CARR	-0.748	-0.364	-0.027		
CHAN	0.079	-0.795	-0.234	CHAN	-0.787	-0.172	-0.166		
Var. Expl.	2.513	1.683	1.326	Var. Expl.	2.264	1.395	1.416		
Porc.Tot	0.359	0.240	0.189	Porc.Tot	0.323	0.199	0.202		
Autovalores				Autovalores					
	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.		Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.
1	3.007	42.955	3.007	42.955	1	2.360	33.715	2.360	33.715
2	1.611	23.013	4.618	65.968	2	1.811	25.864	4.171	59.580
3	0.904	12.916	5.522	78.885	3	0.904	12.920	5.075	72.500
Pesos				Autovalores					
PP	Factor 1	Factor 2	Factor 3	PP	Autoval.	% total	Aumul.	% Acumul.	
PV	-0.946	-0.129	-0.148	1	4.889	69.839	4.889	69.839	
TAM	0.271	-0.294	0.905	2	1.238	17.687	6.127	87.527	
TAMP	-0.012	0.963	-0.223	3	0.496	7.088	6.623	94.614	
SONT	0.695	-0.369	0.508						
CORR	0.515	-0.782	0.301						
CARR	-0.847	0.440	-0.236						
CHAN	-0.826	0.355	-0.335						
Var. Expl.	3.117	2.099	1.407						
Porc.Tot	0.445	0.300	0.201						

Tabla 2.2.27. (continúa). Resumen de pesos y autovalores para las variables por laguna

	1° Comp.	% total	2° Comp.	% Acumul.		1° Comp.	% total	2° Comp.	% Acumul.
SAL.	TAMP.	44	TAM.	64	N TOT.	TAMP.	30	SONT.	51
	SONT.					CORR.		CHAN.	
	CHAN.								
TEMP.	TAM.	48	TAMP.	65	PO4	TAMP.	43	CARR.	66
	CORR.		CARR.			SONT.		CHAN.	
O DIS.	TAM.	25	TAMP.	46	N:P	TAMP.	33	CORR.	59
			SONT.			CARR.		CHAN.	
pH	SONT.	26	TAMP.	48	PREC. PLUV.	P.V.	70	TAMP.	87
	CHAN.		CORR.			CARR.		CORR.	
CLOR	TAM.	36	P.V.	56					
	CORR.								

2.2.7. Análisis predictivos

Una vez realizados los análisis estadísticos de corte descriptivo, se llevaron a cabo los modelos estadísticos predictivos programados en el proyecto original. En esta etapa se aplicaron la prueba de regresión múltiple y la de discriminante múltiple.

Al aplicar la prueba de regresión múltiple fue necesario destacar que ésta necesitaba cumplir con el supuesto de homogeneidad de varianza, esto es, que cada parámetro analizado mostrara una variación definida por un mismo origen, condición que por las características altamente heterogéneas en el comportamiento natural de las variables físico-químicas en lagunas costeras, dificultó el análisis estadístico mencionado.

Con base en lo anterior, se tuvo que realizar un análisis de regresión múltiple paso a paso y escalonado, esto quiere decir que se pasó por el mismo análisis desde la matriz original con todas las variables; después, sólo las lagunas del Golfo de México (Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco y Sontecomapan), las del Pacífico (Corralero, Carretas-Pereyra y Chantuto-Panzacola). Finalmente, para cada una de las lagunas costeras contempladas, utilizando las variables derivadas de la ordenación realizada previamente con el Análisis de Componentes Principales.

Por otro lado, la prueba de análisis de varianza llevada a cabo para cada parámetro mostró, en la mayoría de las variables, diferencias significativas en función del cuerpo lagunar, lo que viene a corroborar la particularidad del comportamiento de las variables en cada una de ellas. Finalmente, a cada matriz se le aplicó la prueba de regresión múltiple.

A partir del análisis de regresión múltiple se concluye que los datos sin una normalización sólo explican el 8% de la variación pero además presentan un DW (Dubin-Watson) de 2.14, lo que indica la poca o escasa independencia de estos parámetros, que por cierto resultaron ser la salinidad y la precipitación pluvial. Al obtener lo anterior y después de normalizar los datos, resultaron la relación NH₄/N tot y la precipitación pluvial, las dos variables con mayor significancia y explicando el 14% de la variación, pero con un DW 2.372 (aún mayor que el resultante de los datos en bruto).

En la matriz realizada para las lagunas situadas en el Golfo (Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco y Sontecomapan), las variables significativas de los datos en bruto fueron la salinidad, la relación $\text{NH}_4/\text{N tot}$ y la precipitación pluvial, explicando el 13% de la variación y con un DW de 2.26; con los datos normalizados fueron las mismas variables con la diferencia que de este modo se explicó el 21% y el DW fue de 2.28. En el caso de la matriz del Pacífico, que incluye sólo las lagunas de Corralero, Carretas y Chantuto, tanto en el primer caso (la de los datos en bruto), como la de los datos normalizados la variación se explicó sólo por la precipitación pluvial, en el primer caso explicando el 5% (DW=1.84) y en el segundo el 20% (DW=1.87). De este último análisis es posible deducir la utilidad de la normalización.

En los casos de las restantes matrices o sea las calculadas para cada laguna costera, resaltó el hecho de la relativa constancia en la aparición de algunas variables; sobresale la precipitación pluvial, quien aparece en 4 lagunas y la relación $\text{NH}_4/\text{N tot}$, y finalmente la salinidad. Cabe destacar que el análisis realizado en la laguna de Corralero no refleja ninguna variable como significativa tomando los datos en bruto y que sólo de forma normalizada aparece el fósforo total.

Posteriormente y con base en el análisis de discriminantes, todo parece indicar que un modelo predictivo y para las lagunas tomadas como ejemplo, resulta poco confiable. Lo que se puede deducir hasta el momento es que una relativa confiabilidad se da sólo a nivel local, esto es, para cada laguna, y aún así desde una perspectiva estadística, resulta aventurado afirmar alguna hipótesis.

3. Conclusiones

La investigación científica alrededor de los sistemas costeros lagunares de México se ha desarrollado en los últimos 30 años. En la actualidad la información sobre estos ecosistemas es amplia, principalmente en lo que respecta a la estructura de los ecosistemas, más no suficiente en términos de la función de éstos.

Sin embargo, resulta innegable que un ordenamiento de la zona costera mexicana es imprescindible y urgente. Los problemas generados para el uso, manejo y aprovechamiento integral de los recursos acuáticos costeros, ha puesto de manifiesto la necesidad de implementar a la brevedad, programas de desarrollo con sólidas bases metodológicas para llevarlos a cabo.

Desde una perspectiva hidrológica la problemática en la zona costera es compleja, debido principalmente a que estas áreas:

- Conforman un mosaico de interrelaciones tierra-agua-atmósfera,
- Que la influencia de las descargas acuáticas de tierras altas, son fundamentales en el funcionamiento ecológico de muchas áreas lagunares,
- Asimismo, la apropiada mezcla de aguas constituye la clave de la elevada productividad primaria que caracterizan a la mayoría de estos ecosistemas y,
- La usualmente elevada concentración de nutrientes, forma parte de estas características.

Consecuentemente, uno de los principales problemas para poder establecer medidas de conservación, preservación y aprovechamiento de las áreas costeras, es la carencia de una cantidad suficiente y representativa de datos puntuales de algunas de las características que podrían ser utilizadas para una comparación entre diferentes ecosistemas y que coadyuvaría además a la implementación de estrategias para el monitoreo, que es, en primera instancia, una medida impostergable para nuestras costas.

Con base en los datos obtenidos en 39 lagunas costeras del país, expuestos como primera parte del capítulo de resultados, se hizo un seguimiento de algunas características para sugerir alguna clasificación que resultara útil. Así, algunos elementos monitoreados a lo largo de estos años permiten ordenar, de manera general, a los ecosistemas estudiados. Como ejemplos, para la salinidad y el oxígeno disuelto se sugieren algunas clasificaciones que se exponen en las páginas 29 y 32 respectivamente.

En las gráficas presentadas en el capítulo 2.1, puede apreciarse que en un gran número de lagunas los valores más elevados en la concentración de nutrientes ocurre precisamente en el período posterior a las lluvias. Otro fenómeno de importancia en la disponibilidad de nutrientes, es el de los procesos de regeneración de los mismos, que son llevados a cabo en la interfase sedimento-agua por medio de actividades bacterianas y en donde existe una relación muy estrecha entre el suministro de materia orgánica y la presencia de nutrientes (Hargrave y Connolly, 1978, Klump y Martens, 1982); lo anterior corrobora una vez, más el concepto de que las lagunas costeras mantienen un estado de eutroficación constante.

Según muchos autores, las cantidades normales de nutrientes en las lagunas costeras sitúan a estos ecosistemas con tendencias a la eutrofia, por lo que un suministro adicional de éstos, pone en serio peligro su ya relativa estabilidad. La eutroficación ha sido planteada como una alteración grave en muchos ecosistemas acuáticos incluyendo zonas costeras y donde el aumento de sales nutritivas ha ocasionado, indirectamente, severos problemas de salud (Vollenweider *et al.*, 1992). Derivado de este planteamiento y con base en la información presentada a lo largo de este documento, cabe resaltar como una conclusión la tabla de valores obtenidos a partir de ésta.

- **Con base en la información obtenida en 39 lagunas costeras del país y que involucra cerca de 800 datos puntuales, es posible establecer algunos agrupamientos basados en variables características y compartidas.**
- **Por las cantidades normales de nutrientes detectadas en las lagunas costeras, sitúan a estos ecosistemas con tendencias a la eutrofia.**
- **El proceso de la productividad primaria fitoplanctónica es un fenómeno sumamente local y está condicionada por factores biogeoquímicos de características igualmente locales.**
- **La cantidad de clorofila a no mantiene una relación estadísticamente confiable con el proceso de la productividad primaria fitoplanctónica. Frecuentemente, cantidades significativas de clorofila a no son correspondientes a valores elevados de productividad y viceversa. Por lo anterior, este pigmento es tomado como un índice de la biomasa fitoplanctónica, pero no como un factor indicativo de producción primaria.**
- **Con base en las correlaciones de las quince variables que se cuantifican normalmente en lagunas costeras, fueron nueve los que resultaron con un mayor peso para una interpretación ecológica: salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, Nitrógeno total, ortofosfatos, relación N:P y la precipitación pluvial.**
- **El método estadístico de correlaciones resultó una herramienta muy útil para interpretar algunos procesos hidrológicos a nivel particular, esto es, cuando es aplicado por laguna. En el análisis realizado para ubicar alguna variable que tuviera representación en todas las lagunas, ésta fue la precipitación pluvial.**
- **De las variables que resultaron más significativas en todos los análisis estadísticos realizados y que fueron las más importantes para una interpretación ecológica, resalta la variación climática estacional, esto es, las épocas de lluvias y secas, manifestando una influencia dominante en el comportamiento hidrológico.**
- **Tanto el método de análisis de componentes principales como el de correlaciones, resultaron muy significativos para interpretar procesos hidrológicos a nivel particular, por lo tanto su empleo es muy recomendable.**
- **Ocho de las nueve variables seleccionadas aparecen con pesos significativos en los autovalores del primer componente, siendo la precipitación pluvial la de mayor incidencia.**
- **Se explica del 46 hasta el 71 % de la variación total en los dos primeros componentes.**
- **Con base en los análisis todo parece indicar que un modelo predictivo y para las lagunas tomadas como ejemplo, resulta poco confiable. Lo que se puede deducir hasta el momento es que una relativa confiabilidad se da sólo a nivel local, esto es, para cada laguna, y aún así desde una perspectiva estadística, resulta aventurado afirmar alguna hipótesis, a pesar de la cantidad de datos manejados.**
- **Todos los análisis estadísticos realizados indican la compleja variabilidad y elevada heterogeneidad de las lagunas costeras y manifiestan que los fenómenos que las rigen y procesos que las gobiernan, son especialmente particulares.**

4. Bibliografía

- Acuña R., F. Contreras y J. Kerekes, 1994. Aquatic bird densities in two coastal lagoon systems in Chiapas State, Mexico, a preliminary assessment. *Hydrobiologia* **279/280**: 101-106.
- Ake C., J., Meave, C., M. E. y D. U. Hernández, 1994. Morfología y distribución de especies de la diatomea del género *Skeletonema* en una laguna tropical. Res. VII SOMPAC. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Alvarez S., C, 1989. Copépodos de dos lagunas costeras del estado de Veracruz. Res. IV SOMPAC. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Alvarez, S., C. y Gómez, A., S., 1993. Seasonal behavior of *Labidocera* spp in Tamiahua lagoon, Veracruz, Mexico. Fifth International Conference on Copepoda. Baltimore, Maryland. Junio 6-12. Cartel pp. 49. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Amador, A., N., Sánchez, R., M. P., Ramírez, G. E. y Padilla, G. M. A., 1994. Distribución y abundancia de peces juveniles en la porción sur de la laguna de Tamiahua. Res. IV Congreso Nacional de Ictiología. 79. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Avelino, G. y J. F. López, S., 1993. El manglar y su productividad primaria anual en el estero Conchal, Edo. de Chiapas. Tesis de Licenciatura. ENEP-Zaragoza, UNAM. 81 p.
- Avendaño, S., H, 1972. Contribución al conocimiento de las diatomeas (Chrysophyta: Bacillariophyceae), del plancton de Tamiahua, Ver., México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. 47 p.
- Banase, K., 1974. On the role of bacterioplankton in the tropical ocean. *Mar. Biol.*, **24**: 1-5.
- Barba, T., J. F. y J. Sánchez, R., 1981. Abundancia, distribución y estructura de la comunidad ictiplanctónica, en la laguna de Tamiahua, Veracruz a través de un ciclo anual. Tesis profesional. Fac. Ciencias. 57 p.
- Barnes, R. S. K. (Ed.), 1980. *Coastal lagoons*. Cambridge -Studies in modern biology. Cambridge Univ. Pres. 106 p.
- Barrera, E., G., 1995. Contaminación exógena de origen fecal en la laguna de Tamiahua, Veracruz y su influencia en tres especies de importancia comercial. Tesis de maestría. Fac. de Ciencias, UNAM. 60 p.
- Batllori, S., E. A, 1988. Producción secundaria en el estero de Celestúm. Tesis de maestría. IPN. 140 p.
- Bedia, S., C. M. y J. A. Martínez, P., 1981. Ictioplancton del sistema estuarino de Tuxpam, Veracruz. Res. V Congreso Nacional de Zoología. 65. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Bedia, S., C. M., 1990. Aspectos ecológicos del ictioplancton del sistema estuarino de Tuxpam, Veracruz, México. Tesis profesional. UNAM-ENEP-Iztacala. 59 p.

- Bendschneider, K. y R. J. Robinson, 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea-water. *J. Mar. Res.* **11**: 87-96.
- Berman, T. y U. Pollinger, 1974. Annual and seasonal variations of phytoplankton, chlorophyll, and photosynthesis in lake Kinneret. *Limnol. and Oceanogr.*, **19** (1): 31-53.
- Beyers, R. J. y H. Odum, 1960. Differential filtration with strong acids or bases vs CO₂ water for productivity studies. *Limnol. Oceanogr.*, **5**: 228-230.
- Biefang, P. K., 1975. Steady state analysis of nitrate-ammonium assimilation by phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* **20** (3): 402-411.
- Bonilla, B., J. R. G. Z. Morales, G. y M. G. Pastor, D., 1989. Estudio florístico-ecológico del manglar de la laguna de Tampamachoco, Ver. Res. Coloq. Invest. Hidrobiol. Tampamachoco. UAM-X. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Botello, V. A., 1978. Variación de parámetros hidrológicos en las épocas de sequías y lluvias (mayo y noviembre de 1974) en la laguna de Términos, Campeche, México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. UNAM* **5** (1): 159-177.
- Bulit, C. y M. Signoret, 1988. Phytoplankton distribution and tidal currents in a tropical coastal lagoon. (Distribución del fitoplancton y corrientes mareales en una laguna costera tropical). 23rd European Marine Biology Symposium. Poster Abstract. Swansea, 5th-9th September. 4. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Camacho-Barrera, M., A., J. L. Cisneros, L. y F. Cosío, P., 1983. Estudio de la comunidad zooplanctónica de la laguna de Tamiahua, Ver. Tesis profesional. ENEP-Zaragoza. UNAM. 80 p.
- Camacho, R., P., Flores, R., Flores, F., Salas, A., Juárez, A., Vega, J., Lara, M. y Licea, S., 1994. Ciclo circadiano del fitoplancton de la laguna de Sontecomapan, Veracruz (octubre-1993). Res. VII SOMPAC. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Carison, R. E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, **22** (2): 361-368.
- Carpenter, E. J., CH. D. Van Raalte y I. Valiela, 1978. Nitrogen fixation by algae in a Massachusetts salt marsh. *Limnol. Oceanogr.* **21** (1): 108-117.
- Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995a. **Addendum 1994**. Serie "Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros". Vol. V. UAMI. 216p.
- Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995b. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM. UAMI- CONABIO.
- Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1997. **Addendum 1997**. Serie "Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros". Vol. VI. UAMI. 216p.
- Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1999. **Addendum 1999**. Serie "Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros". Vol. VII. UAMI. 239p.
- Castillo, T., A. G., 1983. Productividad primaria en la laguna de Pueblo Viejo, Ver., en el período mayo-octubre de 1982. Tesis profesional. Fac. Ciencias. UNAM. 85 p.

- Castillo, R., M., 1995. Aspectos ecológicos de la ictiofauna de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. Tesis de maestría. Fac. de Ciencias, UNAM. 96 p.
- Castillo, R., M., A. Kobelkowsky, S. Zambrano, 1992. Patrones de abundancia de las especies de peces dominantes de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. Res. III Congreso Nacional de Ictiología. 38. **En:** Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI-CONABIO. CD ROM.
- Castillo, R., V. y A. Kobelkowsky, 1993. Comportamiento ambiental de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, México. **BIOTAM 5** (2): 1-12.
- Castro- Aguirre, J.L.1978. **Catálogo sistemático de los peces marinos que penetran a las aguas continentales de México con aspectos zoogeográficos y ecológicos**. Departamento de Pesca. Instituto Nacional de la Pesca. Serie Científica No. 19. 298 p.
- CECODES. (1981). **Las lagunas costeras de Tabasco**. Centro de Ecodesarrollo. 109 p.
- Clark, J., 1974. **Coastal ecosystems**. Conserv. Found. 178 p.
- COMISION PERMANENTE DEL PACIFICO, 1984. Atlas regional de areas críticas, recursos vulnerables y prioridades de protección de la zona costera y medio marino del Pacífico Sudeste contra la contaminación por petróleo. Instructivo para su identificación y ubicación. ed. CPPS Unidad Regional del Plan de Acción en colaboración con PNUMA, Programa de Mares Regionales.
- Contreras, E., F., 1981. Algunos índices y relaciones de la productividad primaria en la laguna de Tamiahua, Ver., México. **Mem. VII Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol.** 183-200.
- Contreras, E. F., 1983. Variación en la hidrología y las concentraciones de nutrientes del área estuarino-lagunar de Tuxpam-Tampamachoco, Ver., México. **Biótica 8** (2): 201-213.
- Contreras, E. F., 1985. Comparación hidrológica de tres lagunas costeras del estado de Veracruz, México. **Univ. y Ciencia. UJAT 2**: 47-56.
- Contreras, E. F., 1991. Clasificación trófica de laguna costeras. **Ciencia 42** (2): 227-232
- Contreras, E. F., 1993. **Ecosistemas costeros mexicanos**. CONABIO-UAMI. México. 415 p.
- Contreras, E. F., 1994. La clorofila a, como base para un índice trófico en lagunas costeras. **An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. 21** (1-2): 55-66.
- Contreras, E. F., 1995. La productividad primaria fitoplanctónica en lagunas costeras. **Rev. Invest. Mar. 16** (1-3):11-21.
- Contreras, E. F. y O. Castañeda L., 1992. Contribución del nanofitoplancton en la cantidad de clorofila a de dos sistemas lagunares del estado de Chiapas, México. **Invest. Mar. CICIMAR, 7** (1): 61-73.
- Contreras, E. F. y L. Zabalegui M. 1988. **Aprovechamiento del Litoral Mexicano**. Cecodes - Sepesca. 132 p.
- Contreras, E. F. y L. M. Zabalegui, 1991. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en la laguna La Joya Buenavista, Chis., Méx. **An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. 18**: 207-215 .

- Contreras, E. F. y J. Kerekes, 1992. Total phosphorus-chlorophyll relationships in tropical coastal lagoons in Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **25** : 448-451.
- Contreras E., F., O. Castañeda L., F. Gutiérrez M. y R. Torres A. 1996. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas". *Rev. Biol. Trop.* **44** (2): 421-429.
- Copeland, B. J. y R. S. Jones. 1965. Community metabolism in some hyperhaline waters. *Texas J. Sci.* **17**: 188-205.
- Cota, F., V. y J. Franco L., 1993. Parámetros ecológicos de la comunidad íctica en la laguna de Tampamachoco, Ver. (1991-1992). Res. V Congr. Latinoamer. de Cienc. del Mar. 2. *En*: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Chávez, O., E. A., 1967. Estudio ecológico parcial de un sistema estuarino en la costa oriental de México. Res. III Congreso Nacional Oceanografía. *En*: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Chinolla, R., M. C. P., 1984. Contribución al conocimiento de la macrofauna bentónica intermareal en Sontecomapan, Ver. Tesis profesional. UNAM-ENEP-Iztacala. 66 p.
- De la Campa, J., S. R. Guadarrama, G., S. R. Mille, P. y H. Ríos, 1989. Análisis ecológico del zooplancton de la laguna de Tampamachoco, Ver. Res. Coloq. Invest. Hidrobiol. Tampamachoco. UAM-X. *En*: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- De la Cruz-Agüero, G., J. Franco, L. y L. J. Abarca, A., 1985. Caracterización ictiofaunística de las lagunas del estado de Veracruz. Mem. VIII Congreso Nacional de Zoología. 175-187 *En*: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- De la Lanza- Espino, G. 1965. Algunas características hidrográficas del sistema litoral de Veracruz, Ver. *An. Inst. Biol.* **36**: 47-52.
- De la Lanza- Espino, G. y U. Arenas, 1986. Disponibilidad de nutrimentos a partir de materia orgánica en un sistema lagunar. *Ciencia* **37** (4): 247-256.
- De la Lanza-Espino, G. y J. L. Garcia-Calderon, (Comp.). 1995. *Lagos y presas de México*. Centro de Ecología y Desarrollo. 320 p.
- Doremus, C. M., S. W. Nixon, P. F. Roques y S. K. Seitzinger, 1980. Nitrogen limitation in the ocean versus phosphorus limitation in lakes: An analysis of possible regulatory mechanisms. *En*: P. G. Falkowski (E.). *Primary productivity in the sea*. Environmental Science Research, Vol. 19. Poster 8. Plenum Press.
- Dreckmann, K. M. y M. A. Pérez, H., 1994. Macroalgas bentónicas de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Rev. Biol. Trop.* **42** (3): 715-717.
- Edwards, R. R. C., 1978. Ecology of a coastal lagoon complex in Mexico. *Est. Coast. Mar. Sci* **6**: 75-92.
- Esquivel-Herrera, A., H. Santoyo y M. Signoret, 1980. Estudios ecológicos del zooplancton de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, I. Generalidades. Res. IV Congreso Nacional de Zoología. 133. *En*: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. *Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.

- Esquivel-Herrera, A., 1986. Análisis de la afinidad ecológica del zooplancton de la laguna de Tampamachoco, Ver. (Abril 1979-Junio 1980). Res. I Coloq. de Plancton y Fertilidad de las Aguas. Soc. Mex. Planctología, pag. 27. **En:** Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Esquivel-Herrera, A., 1989. Caracterización de las comunidades del zooplancton de la laguna de Tampamachoco, Ver. Res. Coloq. Invest. Hidrobiol. Tampamachoco. UAM-X. **En:** Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Flores-Coto, C, 1985. Estudio comparativo del ictioplancton de las lagunas costeras de Tamiahua, Alvarado y Términos, del Golfo de México. Tesis de maestría. UNAM. 145 p.
- Flores, A., F. y García-Cubas, A., 1986. Sistemática y ecología de moluscos en la laguna Sontecomapan, Veracruz, México. Res. III Reunión Nacional de Malacología y Conquiliología. 4. **En:** Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Franco, L., J., L. G. Abarca y R. Chávez, 1987b. Síntesis sobre el conocimiento de la ictiofauna de la laguna de Tamiahua, Veracruz. Res. IX Congreso Nacional de Zoología. pag. 6. **En:** Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Franco, L., J. y Chávez, L. R., 1993. Síntesis sobre el conocimiento de la ictiofauna de la laguna de Tamiahua, Veracruz, México. **Hidrobiológica** 3/4: 53-63
- Fuentes, M., P., H. Espinosa, P. y J. Luna, W., 1989. Nuevos registros de peces en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México. **An. Inst. Biol. UNAM, Ser. Zool.** 60 (2): 257-262.
- Gaarder T. y H. H. Gran, 1927. Investigation of the production of plankton in the Oslo fjord. **Rapp. Proc. Verb., Cons. Int. Explor Mer.,** 42: 1-8.
- García, Enriqueta. 1987. **Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen**. UNAM. 217 p.
- García-Nagaya,, A. y O. Castañeda, L., 1994. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en dos sistemas costeros del estado de Chiapas, México. **Rev. Invest. Mar.** 15 (3): 171-190
- Giovanardi, G, y E. Tromellini, 1992. Interrelationships between phytoplankton biomass and nutrients in the eutrophicated areas of the north-western Adriatic Sea. **En:** R. A. Vollenweider, R. Marchetti y R. Viviani. (E.). **Marine coastal eutrophication**. Elsevier Sci. Pub. 211-234.
- Goldman, R. C. (Ed.), 1974. **Primary productivity in aquatic environments**. University of California Press. 464 p.
- Gómez-Aguirre, S., 1988. Dinoflagelados de la laguna de Tamiahua durante el período Abril de 1984-Abril de 1986. Res. II SOMPAC. pag. 53. **En:** Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- González, G., M., 1975. Algunos aspectos sobre la distribución de la flora acuática de una laguna costera tropical. Res. VI Congreso Mexicano de Botánica. 112. **En:** Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.

- González, F., A., A. Vázquez-Botello, S. Vilanueva F. y G. Ponce V., 1994. Presencia de metales en sedimentos recientes y organismos de la laguna Sontecomapan, Veracruz, México. ***Hidrobiológica*** 4 (1 y 2): 35-43.
- Hargrave, B. T. y G. F. Conolli, 1978. A device to collect supernatant water for measurement of the flux of dissolved compound across sediment surface. ***Limnol. and Oceanogr.*** 23: 1005-1010.
- Head, P. C., 1976. Nutrient studies and primary productivity in inshore waters. ***En***: Pearce, J. B. (Ed.). ***Man's influence on the marine environment***.
- Herrera, G., J. E. y J. Moreno, R., 1989. Análisis de las diatomeas bénticas del género *Nitzschia* (Hassall) en la laguna de Tamiahua, Veracruz. Res. IV SOMPAC. ***En***: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. ***Ecosistemas costeros mexicanos***. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- INEGI-SEPESCA, 1987. ***Carta básica nacional de información pesquera***. DGI. SNIIP.
- Kerekes, J., 1982. The application of phosphorus load-trophic response relationships to reservoirs. ***Canadian Water Resources Journal***, 7 (1): 349-354.
- Kerekes, J., 1983. Predicting trophic response to phosphorus addition in a Cape Breton Island ***Lake***. ***Proc. N. S. Inst. Sci.***, 33: 7-18.
- Klump, J. V. y C. S. Martens, 1981. Biochemical cycling in an organic-rich coastline marine basin 2. Nutrient sediment-water exchanges processes. ***Geochim. Cosmochim. Acta***, 45: 101-121.
- Kobelkowsky, D., A., 1985. Ictiofauna de la laguna de Tampamachoco, Ver., México. ***Biótica*** 10 (2): 145-156.
- Kobelkowsky, A., 1991. Ictiofauna de las lagunas costeras del estado de Veracruz. ***En***: Figueroa, T., M. G., C. Alvarez S., A. Esquivel, H. y M. E. Ponce M. (eds.). ***Fisicoquímica y biología de las lagunas costeras mexicanas***. UAM-I. 74-93.
- Kobelkowsky, D., A. y N. Zúñiga, G., 1992. Los peces de la familia Gobiidae de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. Res. III Reunión Alejandro Villalobos. 11. ***En***: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. ***Ecosistemas costeros mexicanos***. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Lankford, R. R., 1977. Coastal lagoon of Mexico. Their origin and classification. ***En***: Wiley, M. (ed.). ***Estuarine Processes***. Academic Press Inc. 182- 215.
- Lickens, G. E. (Ed.), 1972. Nutrients and eutrophication. ***Limnol. Oceanogr. Pub. Esp.***, 1. 378 p.
- Lugo, A. E. y Snedaker, S. C., 1974. ***The ecology of mangroves***. Ann. Rev. Ecol. Syst. 5: 39-64.
- Malone, T. C., 1971. The relative importance of nannoplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities. ***Limnol. and Oceanogr.***, 16: 633-639.
- Mandelli, E. y A. Vázquez-Botello, 1976. Informe final de la tercera etapa de estudio sobre uso de la zona costera de los estados de Michoacán y Guerrero. Informe inédito. 126 p.
- Margalef, R. 1969. Comunidades planctónicas en lagunas litorales. 545-562. ***En***: Ayala-Castañares, A y F. B. Phleger (Eds.). ***Lagunas Costeras, un Simposio***. Mem. del Simposio Internacional sobre Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO, Nov. 28-30, 1967, México, D. F.

Margalef, R., 1974. **Ecología**. Ed. Omega. 953 p.

Martens, C. S., 1982. Biogeochemistry of organic-rich coastal lagoon sediment. **Oceanologica Acta Vol. Special**: 161-168.

Martínez, H., M. G. M., 1987. Distribución y abundancia estacional del ictioplancton de la laguna de Sontecomapan, Veracruz. Tesis profesional. UNAM-ENEP-Iztacala. 136 p.

Martínez, M., M. E. y M. A. Aladro, L., 1993. Ciliados epibiontes en algas de la laguna de Tamiahua, Veracruz, México. Res. XII Congreso Nacional de Zoología. 12. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.

Matamoros, M., J., 1988. The annelid polychaetes associated to the oyster beds in two tropical coastal lagoons: laguna de Terminos and laguna de Tamiahua, Mexico. Res. Joint Oceanographic Assambly. México. pag. 67. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.

McCarthy, J. J., W. Rowland, y M. E. Loftus, 1974. Significance of nanoplankton in the Chesapeake Bay Estuary and problems associated with the measurements of nanoplankton productivity. **Mar. Biol.**, **24**: 7-16.

Mc Garigal, S. Cushman y S. Stafford. 2000. **Multivariate statistics for wildlife and ecology research**. Springer – Verlag. New York. 283 p.

Mee, D., 1977. Coastal lagoons. **En**: J. P. Riley y R. Chester (Eds.) **Chemical Oceanography**, 7. Cap. 42: 441-490.

Méndez, U., M. N., 1989. Influencia del proceso de dragado en las poblaciones de poliquetos de la laguna de Tampamachoco, Ver. Res. Coloq. Invest. Hidrobiol. UAM-X. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.

Menéndez, F., 1976. Los manglares de la laguna de Sontecomapan, Los Tuxtlas, Ver. Estudio florístico-ecológico. Tesis profesional. Fac. Ciencias. UNAM. 115 p.

Mihnea, P. E., 1992. Conventional methods applied in pollution control of the Romanian coastal waters of the Black Sea. **En**: R. A. Vollenweider, R. Marchetti y R. Viviani. (Eds.). **Marine coastal eutrophication**. Elsevier Sci. Pub.1165-1178.

Morán, S. A., Contreras, E., F., Chávez L., R., Franco, L., J. Cházaro, O., S. y Peláez, R., E., 1994. Caracterización espacio-temporal basada en la hidrología nutrientes y clorofila a de la laguna de Sontecomapan, Ver. Res. X Simp. Intern. Biol. Mar. 131. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.

Murphy J. y J. P. Riley, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphates in natural waters. **Anal. Chim. Acta**. **27**: 31-36.

Nava-Montes, A., D., M. N. Méndez, U. y V. Solis, W., 1988. Relationships between the annelid polychaete populations and the sediment composition in laguna de Tamiahua, Mexico. Res. Joint Oceanographic Assambly. México. pag. 75. **En**: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.

Nava, M., A. D., 1989. Los anélidos poliquetos de la laguna de Tamiahua, Ver. Tesis profesional. Fac. Ciencias. UNAM. 82 p.

- Nichols, M. 1966. A study of production and phosphate in a Sonoran Lagoon. *Pub. Inst. Mar. Science. Univ. of Texas. 11*: 159-167.
- Nixon, W. S., 1980. Between coastal marshes in estuarine productivity and water chemistry. *En: Hamilton, P. y McDonald, K. (Eds.). Estuarine and Wetland Processes*. Plenum Press. Nueva York. 437 p.
- Nixon, S. W., 1981. Freshwater inputs and estuarine productivity. *En: Cross, R. D. y D. L. Williams (Eds.). Proceedings of the National Symposium on Freshwater inflow to Estuaries*. 31-57. U. S. Fish and Wildlife Service.
- Nixon, W. S., 1998. Physical energy inputs and the comparative ecology of lake and marine ecosystems. *Limnol. Oceanogr., 33* (4, part 2): 1005-1025.
- Ochoa, F., E. y M. F. Ramírez, 1981. Variación estacional de algunos dinoflagelados en la laguna de Tamiahua, Ver., México. Res. VII Simp. Latinoamér. Oceanogr. Biol. 265-274. *En: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Odum, H. T y B. J. Copeland, 1974. A functional classification of the coastal ecological systems. *En: Odum, H. T., B. J. Copeland y E. A. McMahan (eds.). Coastal ecological systems of the United States*. I. Conserv. Found. Washington. NOAA. I: 5-84.
- Ortega, B., R., S. Díaz, R. y O. Pérez, S., 1998. Ictiofauna de dos lagunas costeras tropicales del sur del Golfo de Tehuantepec. *Res. VI Congreso Nacional de Ictiología*. 21-24 de Octubre, Tuxpam, Ver. *En: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1999. Addendum 1999*. Serie "Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros". Vol. VII. UAMI. 239p.
- Pérez, H., M. A., E. Peralta, A. y P. S. Cárdenas, L., 1994. Análisis comparativo de la composición de especies de la ictiofauna del sistema lagunar Tuxpam-Tampamachoco, Veracruz. Res. IV Congreso Nacional de Ictiología. 86. *En: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Pérez, H., M. A., P. S. Cárdenas, L. y E. Peralta, A., 1994. Distribución y abundancia de *Anchoa mitchilli* (Cuvier & Valenciennes 1848) en áreas marginales con vegetación sumergida de la laguna de Tampamachoco, Veracruz. Res. IV Congreso Nacional Ictiología. 87. *En: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. Ecosistemas costeros mexicanos*. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Pérez, G., N., V. Vega, V. y F. Gutiérrez, M., 1999. Caracterización anual fitoplanctónica del sistema lagunar-estuarino de Carretas-Pereyra, Chiapas, México. *Res. 3er. Congreso Mexicano de Ficología*. La Paz, B. C. S., 25-29 Octubre. *En: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1999. Addendum 1999*. Serie "Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros". Vol. VII. UAMI. 239p.
- Pérez, G., N., Vega, V., V. y Gutiérrez, M., F., 1998. Variación estacional de la comunidad fitoplanctónica del sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Res. VII Congreso Latinoamericano de Botánica y XIV Congreso Mexicano de Botánica*. México, D. F. *En: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1999. Addendum 1999*. Serie "Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros". Vol. VII. UAMI. 239p.
- Portilla, G., L. E., 1989. Aspectos taxonómicos y ecológicos de los moluscos bentónicos en la laguna de Tamiahua, Veracruz. Tesis profesional. UNAM-ENEP-Iztacala. 38 p.
- Postma, H., 1969. Chemistry of coastal lagoons. *En: Ayala, C. A. y F. B. Phleger (eds.). Lagunas costeras. Un Simposio*. UNAM/UNESCO. 421-430.

- Raz-Guzmán, A., A. J. Sánchez, F. Mondragón, G. y E. Macías, B., 1991. Catálogo ilustrado de cangrejos braquiuros y anomuros de laguna de Tamiahua, Veracruz y laguna Madre, Tamaulipas (Crustacea: Brachyura, Anomura). Res. XI Congreso Nacional de Zoología. Cartel 14. **En:** Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Redfield, A. C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment. **Am. Sci.**, **46**: 206-221.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum y F. A. Richards, 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. **En:** M. N. Hill (E.). **The sea**, 2: 26-77. Wiley-Interscience.
- Reguero, M., A. García-Cubas, y G. Zúñiga, 1991. Moluscos de la laguna Tampamachoco, Veracruz, México: Sistemática y ecología. **An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM 18** (2): 289-328.
- Reguero, M. y García-Cubas, A., 1992. Estructura comunitaria de moluscos bénticos en la laguna Pueblo Viejo, Veracruz. Res. V Reunión sobre Malacología y Conquiliología. 33. **En:** Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- Reséndez, M., A., 1983. Hidrología e ictiofauna de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México. **An. Inst. Biol. UNAM. 53** (1982), **Ser. Zool.** (1): 385-417, 28-XII-1983.
- Reyes, R., R., 1989. Contribución al conocimiento de la biología de las jaibas *Callinectes sapidus* y *C. rathbunae* Contreras, en la laguna de Pueblo Viejo, México. Tesis profesional. UABC. 82 p.
- Rhee, G-Yull, 1978. Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition, and nitrate uptake. **Limnol. and Oceanogr.** **23**: 10-25.
- Rinaldi, A., G. Montanari, A. Ghetti, C.R. Ferrari y A. Ferrari, 1992. Eutrophy and dystrophy in the Goro lagoon. **En:** R. A. Vollenweider, R. Marchetti y R. Viviani. (Eds.). **Marine coastal eutrophication**. Elsevier Sci. Pub. 457-470.
- Russell-Hunter, H. D., 1970. **Aquatic productivity: an introduction to some basic aspects of biological oceanography and limnology**. Macmillan Publishing Co., Inc. New York. 306 p.
- Rzedowsky, J., 1981. **La vegetación en México**. Limusa-Wiley. 431 p.
- Saad, M. A. H. y E. I. M. Hemed, 1992. Effect of pollution on the Western Harbour of Alexandria. I. Environmental characteristics. **En:** Vollenweider, R. A., R. Marchetti y R. Viviani. (Eds.). **Marine coastal eutrophication**. 737-753. Elsevier Sci. Pub. 1310 p.
- Sánchez-Hidalgo, M., 1989. Flora diatomológica de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. Res. IV Reunión Nacional de la SOMPAC. **En:** Castañeda L. O. y F. Contreras E. 1995. **Ecosistemas costeros mexicanos**. UAMI- CONABIO. CD ROM.
- SCOR-UNESCO, 1980. **Determination of chlorophyll in sea water**. Technical papers in marine science, 35 p.
- Snedaker, S. C. y M. S. Brown, 1982. Primary productivity of mangroves. **En:** C. Black y A. Mitsui (Eds.). CRC. **Handbook on biosolar resources**. Vol. 1. CRS Press. pp. 477-485.
- Snedaker, C. S. y CH. D. Getter, 1985. **Costas. Pautas para el manejo de los recursos costeros**. Serie de Información sobre Recursos Renovables. Publicación No. 2 sobre Manejo de Costas. National Park Service. USD. 286 p.

- Solórzano L., 1969. Determination of ammonia in natural water by the phenol-hypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* **14**: 799-801.
- Steeman-Nielsen, E., 1952. The use of radioactive carbon for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **18** : 117-140.
- Strickland, J. D. H., 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Fish. Res. Bd. Canada Bull.* **122**. 172 p.
- Suchil, V., M. A., 1990. Determinación de la variación estacional de fitoplancton, y su relación con los parámetros físicos y químicos de las lagunas de: Sontecomapan y del Ostión/Ver. para el año de 1985. Tesis profesional. UNAM. ENEP-Z. 124 p.
- Tabachnick, B.G. y L.S. Fidell.1989. *Using multivariate statistics*. New York. Harper and Row.
- Verduin, J., 1956. Primary producton in lakes. *Limnol. and Oceanogr.*, **1**: 85-91.
- Villalobos, F. A., J. Cabrera, F. Manrique, S. Gómez, V. Arenas y G. de la Lanza. 1969. Relación entre poslarvas planctónicas de *Penaeus* sp. y caracteres ambientales en la laguna de Alvarado, Veracruz, Mexico. 601-620. *En*: Ayala-Castañares, A y F. B. Phleger (Eds.). *Lagunas Costeras, un Simposio*. Mem. del Simposio Internacional sobre Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO, Nov. 28-30, 1967, México, D. F.
- Vollenweider, R. A. (Ed.), 1969. *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. IBP Handbook No. 12. 2da. ed. Blackwell Sci. Pub. Oxford. 213 p.
- Vollenweider, R. A., 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **44**: 53-83.
- Vollenweider, R. A. y J. Kerekes, 1982. Eutrophication of waters, monitoring, assesment and control. Final report. OECD Coperative program on monitoring of inland waters (Eutrophication control), Environment Directorate, OECD. Paris. 154 p.
- Vollenweider,, R. A., R. Marchetti, y R. Viviani, (Eds.), 1992. *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci. Pub. 1310 p.
- Wetzel, G. R., 1975. *Limnology*. W. B. Saunders Co., Pha. 283 p.
- Williams, P. J., R. C. T. Raine y J. R. Bryan, 1979. Agreement between the C14 land oxygen methods of measuring phytoplankton production: reassessment of the photosynthetic quotient. *Oceanologica Acta*, **2** (4): 411-416.
- Williams, P. J., K. R. Heinemann, J. Marra y D. A. Purdie, 1983. Comparision of C¹⁴ and O₂ measurements of phytoplankton production in oligotrophic waters. *Nature*, **305**: 49-50.
- Zúñiga, V., G. D. M., 1984. Estudio preliminar de la fauna malacológica de laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. Tesis profesional. Fac. Cienc. UNAM. 102 p.

Agradecimientos

Hace 27 años, el Dr. **Enrique Mandelli** me “bautizó” en la laguna de Términos, hoy como siempre, le agradezco haberme enseñado a trabajar. A lo largo del tiempo, debo agradecer a muchas personas, sobre todo pescadores, que me educaron en el campo. Esta ocasión, especial mención merece la solidaridad de mi Comité del Doctorado: Dr. **Alfonso Vázquez Botello**, Dr. **Francisco Flores Verdugo**, Dr. **José Luis Arredondo Figueroa**, Dra. **Margarita Gallegos Martínez** y Dr. **Francisco Gutiérrez Mendieta**. Esta tesis no hubiera sido posible sin las enseñanzas, paciencia y empecinamiento de mis colegas **Ernesto Bravo Nuñez**, **Marco Aurelio Pérez Hernández** y **Francisco Gutiérrez** que me demostraron lo ignorante que soy. Gracias.

Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas

Francisco Contreras E., O. Castañeda L., R. Torres-Alvarado y F. Gutiérrez M.

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Depto. de Hidrobiología. Apdo. Postal 55-532. C.P. 09340. México, D.F.

(Rec. 23-V-1994. Rev. 30-VIII-1995. Acep. 7-III-1995)

Abstract: An analysis of 39 Mexican coastal lagoons most in tropical environments, shows no nutrient limitation for primary productivity: even minimum nutrient values are higher than those of similar systems (mostly of temperate zones). In some cases, nutrient variations are large and indicative of heterogeneity. The N:P ratio is more important than simple nutrient concentrations. Using this ratio, coastal lagoons are classified as limited in nitrogen (<5) or phosphorus (>10).

Key words: Nutrients, N:P ratio, coastal lagoons, Mexico.

Es indudable que las variaciones en la cantidad de nutrientes y sus fuentes, juegan un papel primordial en todos los ecosistemas acuáticos (Nixon 1981). También es cierto y ha sido comprobado reiteradamente, que las concentraciones usuales de estas sales en los ecosistemas costeros sobre todo los situados en latitudes tropicales, rebasan por mucho a sus similares en otras latitudes (Contreras 1985, 1993).

La presencia de nutrientes determina en primera instancia la cantidad de productividad primaria del sistema, base fundamental de una parte sustancial de la trama trófica acuática. La relación es tan estrecha que otros factores como son la luz y la presencia de CO₂ han sido relegados como posibles limitantes de este proceso, claro que lo anterior no es una regla. Los fenómenos más comunes asociados a los nutrientes son: o su carencia o su exceso; ambos con severas consecuencias en la biota acuática. La escasez de nutrientes está asociada a aguas oligotróficas, esto es, con áreas o sistemas acuáticos completos con una mínima producción primaria. En el otro extremo, se encuentran las aguas o sistemas distróficos o hipereutróficos, en donde la generación continúa y masiva de bio-

masa, principalmente fitoplanctónica, auspicia serios problemas en los flujos energéticos.

El problema de la eutrofización (correctamente dicho, eutrofización) se ha estudiado en todo el mundo, sobretodo porque representa una amenaza constante y en los últimos años se ha acelerado debido a los aumentos de la población y los asentamientos humanos en las costas. De las conclusiones más relevantes a que se ha llegado es la que asocia la actividad humana a los incrementos de la eutrofización, ocasionados por la carencia de control en el vertimiento de desechos. Para contrarrestar lo anterior, varios países han tomado serias medidas en el control de la calidad del agua que es vertida, tanto en el océano como en los ecosistemas costeros, por lo que es necesario implementar políticas regionales para lograr beneficios comunes.

Lo anterior debió, desgraciadamente, a algunos problemas en la salud humana como lo son diversos tipos de intoxicaciones por ingestión de mariscos (causados indirectamente por surgencias masivas de fitoplancton, tipo marea roja), que obligó a tomar estas medidas. Estas surgencias masivas de fitoplancton son causadas

principalmente por insumos inusuales de nutrientes asociados a otros factores secundarios (Vollenweider *et al.* 1992).

Independientemente de lo anterior, en los ecosistemas costeros tropicales o subtropicales no ha existido una investigación metódica sobre estos problemas y actualmente, sólo se cuenta con algunos datos aislados para poder establecer cuales serían las concentraciones normales de nutrientes en algunas áreas costeras de nuestro país. Bajo esta perspectiva, en el presente documento se presentan los resultados derivados de muestreos realizados a lo largo de quince años y en 39 lagunas costeras, con el objetivo de contribuir a un mejor conocimiento sobre los fenómenos asociados a la presencia, casi siempre excesiva, de nutrientes en los ecosistemas costeros mexicanos.

Áreas de estudio: Las lagunas estudiadas en la costa del Golfo de México están distribuidas a lo largo de 2,250 km de línea litoral. Las del Pacífico en 853 km (Secretaría de Pesca

1987). Los ecosistemas aquí descritos representan aproximadamente 508,900 ha de superficies estuarinas, esto es, el 32% del total nacional. Fig. 1. La lista de lagunas se da a continuación, anotando sus extensiones. Los números de la figura son los que se usan en las gráficas posteriores.

NOMBRE	EXTENSION (HA)
GOLFO DE MÉXICO	
1.- Lag. Madre. Tamps.	200 000
2.- Lag. Pueblo Viejo, Ver.	1 000
3.- Lag. Tamiahua, Ver.	77 000
4.- Lag. Tampamachoco, . Ver. 1980	1 500
5.- Lag. Tampamachoco, Ver. 1990	1 500
6.- Estuario Tuxpan, Ver.	
7.- Lag. La Mancha, Ver.	150
8.- Lag. Mandinga, Ver.	3 250
9.- Lag. Camaronera, Ver.	
10.- Lag. Alvarado, Ver.	10 000
11.- Lag. Tlalixcoyan, Ver.	1 800
12.- Lag. Sontecomapan, Ver.	900
13.- Rio Calzadas, Ver.	
14.- Lag. el Ostión, Ver.	1 270

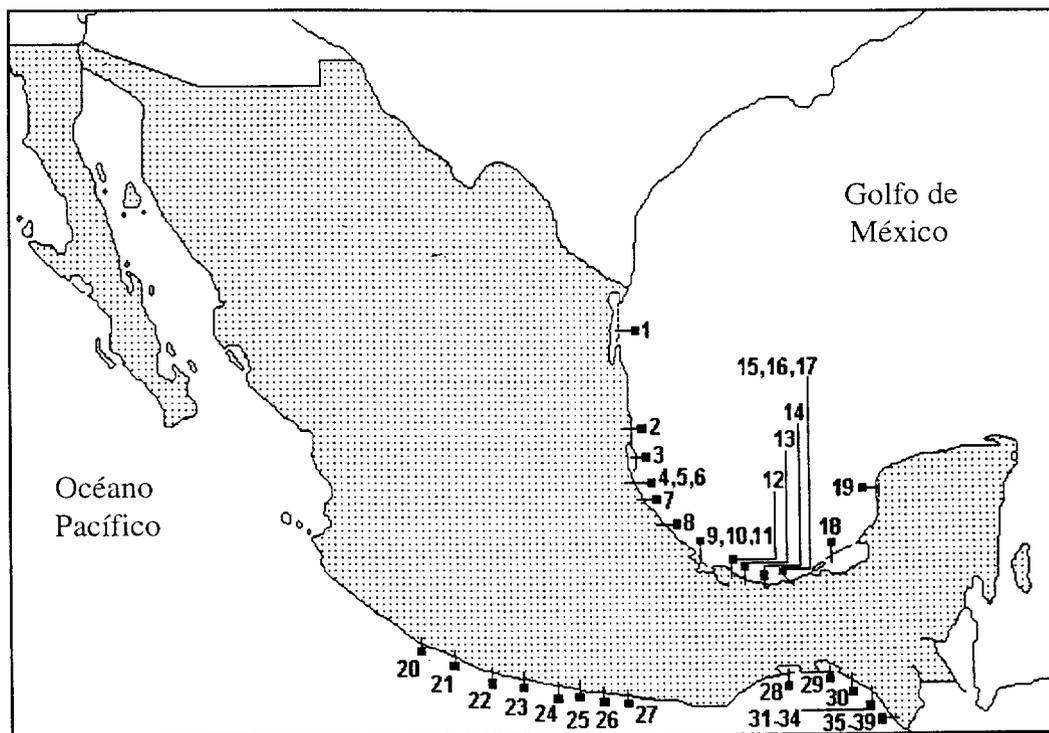


Fig. 1. Lagunas costeras en este estudio.

15.- Lag. el Carmen, Tab.	8 800
16.- Lag. Machona, Tab.	6 500
17.- Lag. Mecoaacán, Tab.	5 200
18.- Lag. Términos, Camp.	196 000
19.- Lag. Celestúm, Yuc.	3 000
PACIFICO	
20.- Lag. Nuxco, Gro.	6 300
21.- Lag. Mitla, Gro.	36 000
22.- Lag. San Marcos, Gro.	21 000
23.- Lag. Chautengo, Gro.	34 000
24.- Lag. Corralero, Oax.	3 500
25.- Lag. Chacahua, Oax.	1 000
26.- Lag. Pastoría, Oax.	2 100
27.- Lag. Manialtepec, Oax.	1 640
28.- Lag. Superior e Inf, Oax.	74 000
29.- Lag. Mar Muerto, Oax./Chis.	68 000
30.- Lag. La Joya-Buenavista, Chis.	6 180
31.- Lag. Buenavista, Chis.	600
32.- Lag. Carretas, Chis.	2 000
33.- Lag. Pereyra, Chis.	1 300
34.- Lag. Bobo, Chis.	250
35.- Lag. Cerritos, Chis.	1 000
36.- Lag. Chantuto, Chis.	710
37.- Lag. Teculapa, Chis.	400
38.- Lag. Panzacola, Chis.	150
39.- Lag. Campón, Chis.	900

MATERIAL Y METODOS

Las técnicas de evaluación fueron las siguientes: la salinidad por medio de un salinómetro de inducción marca Beckman RS-07C; el oxígeno disuelto por el método de Winkler modificado por Strickland y Parsons (1968), el nitrógeno total inorgánico es la suma de amonio, nitratos y nitritos (Solórzano 1969, Bendschneider y Robinson 1952, respectivamente); los fosfatos por Murphy y Riley (1962) y el fósforo total por medio de la técnica sugerida por la Inland Waters Directorate (1974), originalmente Menzel y Corwin (1965). Se calculó la relación $N-NH_4^+/N$ tot. y el índice N:P (inorgánico).

Las gráficas que se presentan con el fin de comparar las diferentes lagunas, tienen las siguientes características: Los límites mínimo y máximo presentados en los intervalos, corresponden al promedio mensual del muestreo, no así el promedio, el cual está calculado sobre la totalidad de muestras tomadas a lo largo del ciclo anual. Lo anterior es con la finalidad de tener un valor que reflejara, de algún modo, la "tendencia" del ecosistema en cuestión con respecto al parámetro elegido. Algunos de estos promedios "reales" son el resultado de más de 200 mediciones.

RESULTADOS

Amonio. El intervalo promedio en lagunas costeras ocurre generalmente entre los 5 y los 10 $\mu\text{g-at/l}$ (70-140 mg/m^3). De las 39 lagunas muestreadas, en 21 se obtuvieron estos valores lo que equivale al 62% del total. El amonio es una forma muy común en estos ecosistemas y su permanencia es constante a lo largo del ciclo anual. Al calcular la relación entre el amonio y el resto de las formas nitrogenadas ($N-NH_4^+/N-NH_4^++N-NO_3^-+N-NO_2^-$) en la mayoría de los casos, el valor oscila entre 50 y 90%, en ocasiones su disminución está relacionada con una mayor actividad fotosintética o una mayor oxigenación del agua, aunque no es una regla. Los valores máximos promedio detectados están ligados con sistemas de características distróficas como es el caso de la zona pantanosa del río Calzadas (13) que llegó a manifestar 526 $\mu\text{g-at/l}$ de promedio, equivalentes a 7,364 mg/m^3 . En ecosistemas relativamente comunicados con el mar como lo son las lagunas costeras, los promedios más elevados correspondieron a sistemas con problemas de alteración ambiental como es el caso de la laguna del Ostión (14) y Tampamachoco 1990 (5). En cambio, los mínimos están relacionados con sistemas con una mayor influencia de aguas oceánicas como lo es el estuario Tuxpan (6) o de aguas oligotróficas como en Celestúm (19). En general la cantidad de amonio presente en las aguas lagunares, está íntimamente relacionada con procesos biológicos de características heterotróficas, tanto en la columna de agua como en los sedimentos.

Nitratos más nitritos. Los valores promedio de estas formas nitrogenadas tienden a ser más bajos comparados con los del amonio. En 33 de las 39 lagunas (82%), el intervalo oscila entre cantidades que van de 0.01, a un eventual máximo de 5 $\mu\text{g-at/l}$ (70 mg/m^3). Un promedio estadístico de todos los valores arroja una cifra de 3.5 $\mu\text{g-at/l}$ (49 mg/m^3). Frecuentemente los máximos se alcanzan durante la época de lluvias. Las seis lagunas restantes, quienes presentan los promedios más elevados, son ecosistemas que reflejan una influencia dulceacuícola dominante a lo largo del año; de hecho, tres de éstas (24, 25 y 27) se encuentran incomunicadas del océano adyacente. La excepción, por lo que respecta a sus extremadamente elevados

valores, sigue siendo la zona pantanosa del río Calzadas (13), cuyo promedio anual es de 32.3 $\mu\text{g-at/l}$ (452.2 mg/m^3).

Nitrógeno total. Calculado por la suma de las formas nitrogenadas inorgánicas, los intervalos promedio más comunes son entre 5.0 y 10.0 $\mu\text{g-at/l}$ y de 10.0 a 15.0 $\mu\text{g-at/l}$ (70 a 210 mg/m^3). Este promedio se debe promordialmente a la contribución del amonio al nitrógeno total.

Ortofosfatos. El intervalo promedio fluctúa entre los 0.01 y los 5.0 $\mu\text{g-at/l}$ (0.31 y 155 mg/m^3). Este valor se presenta en 27 lagunas (69%), por lo que podría considerarse como el valor normal. Cabe destacar que las tres lagunas del Golfo de México que sobresalen son Tampamachoco (1990) y el río Calzadas; en el primer caso se trata de un ecosistema que ha resentido severas alteraciones y en el segundo, de un sistema pantanoso cuyas características propias lo sitúan con tendencias naturales hacia la hipertrofia. Las lagunas que rebasan los 5 $\mu\text{g-at/l}$ por parte del Pacífico, a excepción de Corralero, corresponden a sistemas situados en la parte meridional del estado de Chiapas.

Fósforo total. En 15 lagunas (44%) se manifiesta un intervalo entre 5.0 y 10.0 $\mu\text{g-at/l}$

(70-140 mg/m^3), aunque hay lagunas que llegan a alcanzar 20, 25 o 30 $\mu\text{g-at/l}$ de valor promedio anual (240, 775 y 930 mg/m^3 , respectivamente).

Fósforo orgánico. Obtenido de la resta entre el fósforo total y los ortofosfatos, refleja actividades biológicas importantes en el ciclo del fósforo. Se detectó una fuerte tendencia a su incremento, junto con la temperatura, hacia la región del Pacífico Sur.

Índice N:P. El índice N:P (inorgánico) en lagunas costeras tiende a ser bajo, esto es, que manifiesta una relativa limitación de formas nitrogenadas. Una relación mayor a 6:1 está relacionada con ecosistemas con influencia marina a lo largo del ciclo anual. En la región del sur de México (estados de Oaxaca y Chiapas) se manifiesta una tendencia al incremento de formas de fósforo lo que hace que el índice N:P llegue a ser inverso, esto es, una mayor cantidad de fósforo que de nitrógeno. Se detectaron lagunas que llegan a reflejar valores tan bajos como 0.027 lo que equivale a 37:1 de P:N. Lo anterior es un extremo, pero cabe hacer notar que en algunas lagunas, se presentan valores inversos de este índice en alguna época del año.

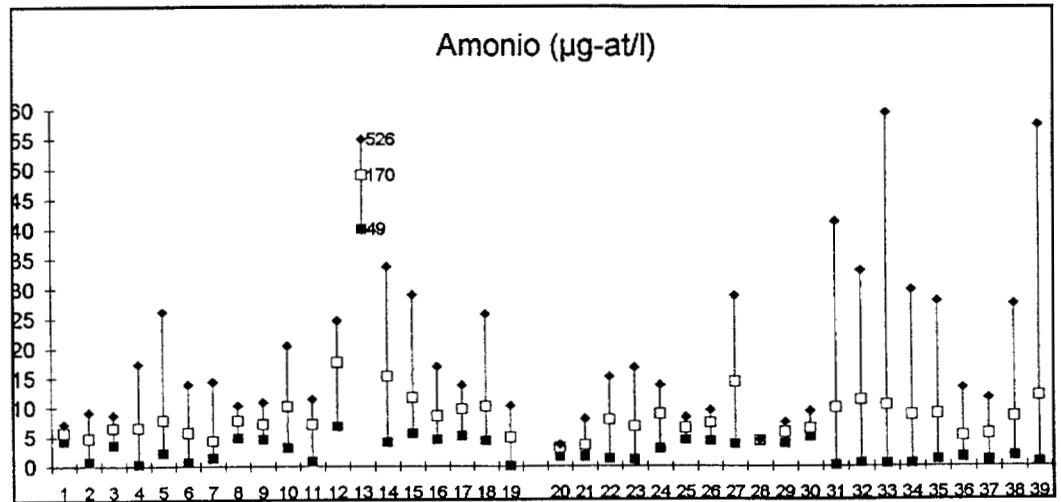


Fig. 2. Variación en la concentración de amonio para 39 Lagunas costeras.

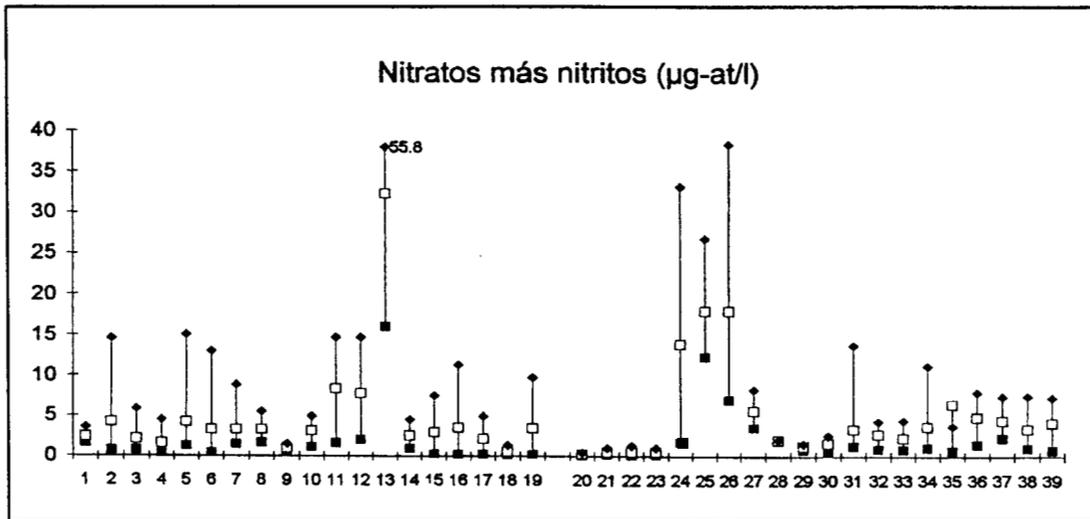


Fig. 3. Variaciones en la concentración de nitratos mas nitritos para 39 lagunas costeras.

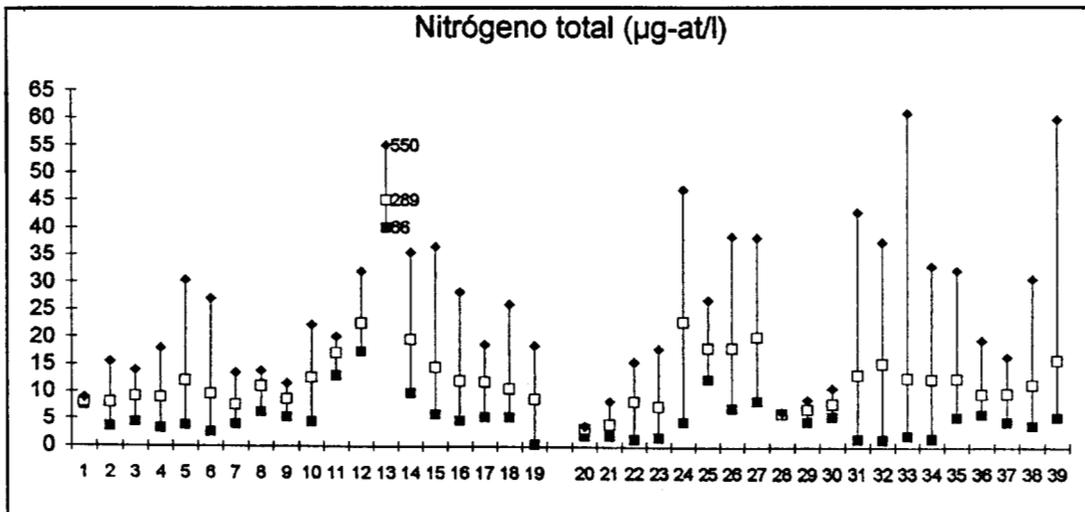


Fig. 4. Variaciones en la concentración de nitrógeno total para 39 lagunas costeras.

DISCUSION

Las variaciones estacionales de los nutrientes son amplias. Las concentraciones más elevadas se sitúan después del período de lluvias, cuando además de los elementos autóctonos, se suman los provenientes del arrastre terrígeno originado por los ríos (Postma 1969, Lickens 1972, Head 1976, Barnes 1980, Nixon 1980, 1981). Las concentraciones mínimas se detectan después del florecimiento fitoplanctónico

primaveral; pero aún en estos meses los nutrientes se detectan en cantidades superiores a las disponibles en la zona marina cercana.

En las gráficas presentadas puede apreciarse que en un gran número de lagunas, los valores más elevados en la concentración de nutrientes ocurre precisamente en este período. Otro fenómeno de importancia en la disponibilidad de nutrientes son los procesos de regeneración de los mismos, que son llevados a cabo en la interfase sedimento-agua por medio de actividades

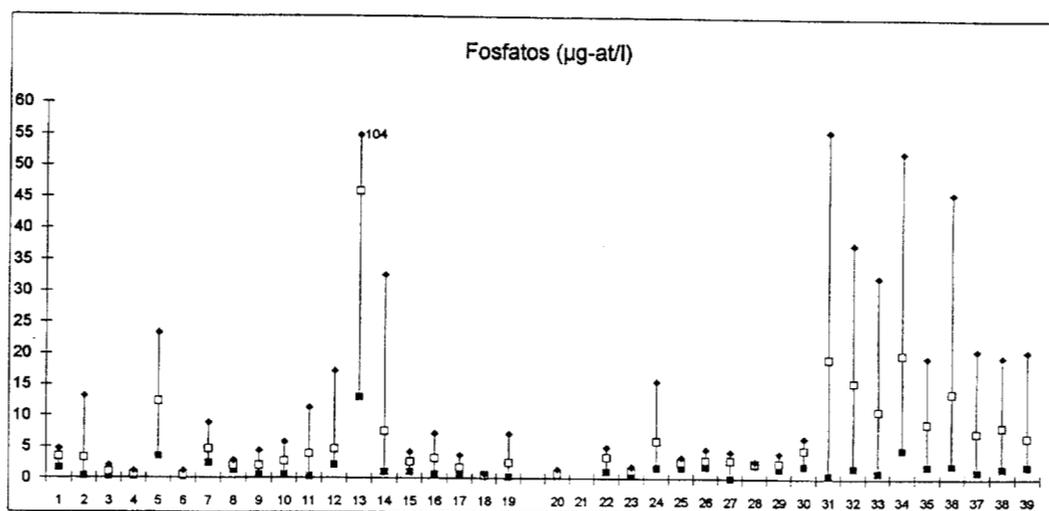


Fig. 5. Concentración de ortofosfatos para 39 lagunas costeras.

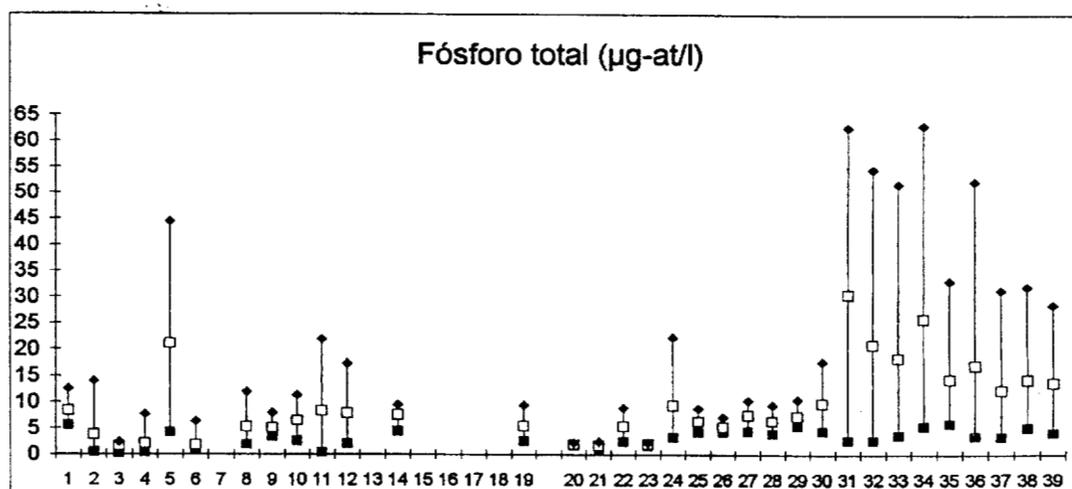


Fig. 6. Variaciones en la concentración de fósforo total para 39 lagunas costeras.

bacterianas, en donde existe una relación muy estrecha entre el suministro de materia orgánica y la presencia de nutrientes (Hargrave y Connolly 1978, Klump 1980, Klump y Martens 1981); lo anterior corrobora una vez, más el concepto de que las lagunas costeras mantienen un estado de eutroficación constante.

Con respecto a las formas nitrogenadas, la dominante es el amonio y cuya relación con respecto al nitrógeno total inorgánico va del 60 al 98 %, lo anterior tiene una fuerte relación

con la presencia y dominancia con formas nanofitoplanctónicas quienes manifiestan una considerable aportación a la biomasa total del fitoplancton (Malone 1970, McCarthy *et al.* 1974, Contreras y Castañeda 1992), ya que como se ha comprobado, el nanofitoplancton capta preferentemente nitrógeno regenerado (amonio), mientras que el microfitoplancton lo hace con formas nitrogenadas nuevas (nitratos).

Los mínimos valores en esta relación suceden durante la época de secas y cuando se detecta

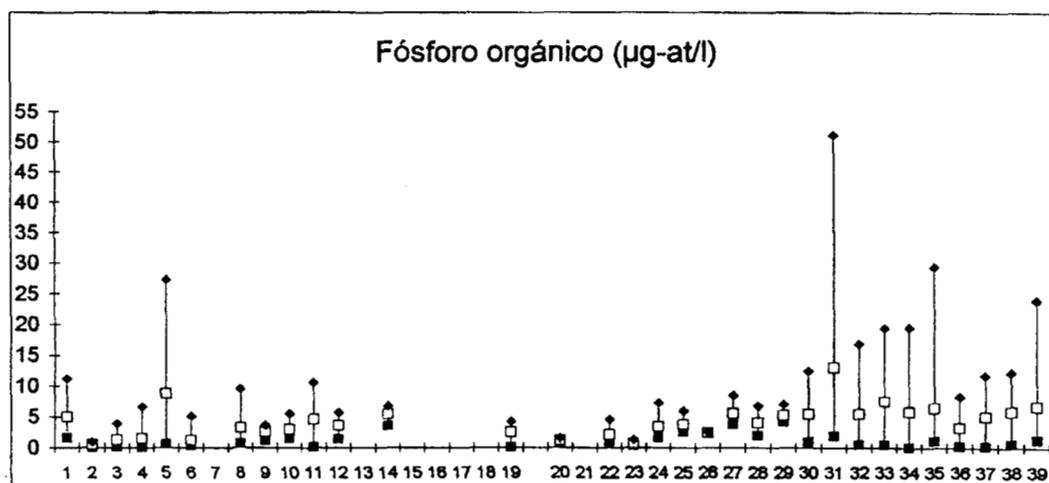


Fig. 7. Concentración de fósforo orgánico para 39 laguna costeras.

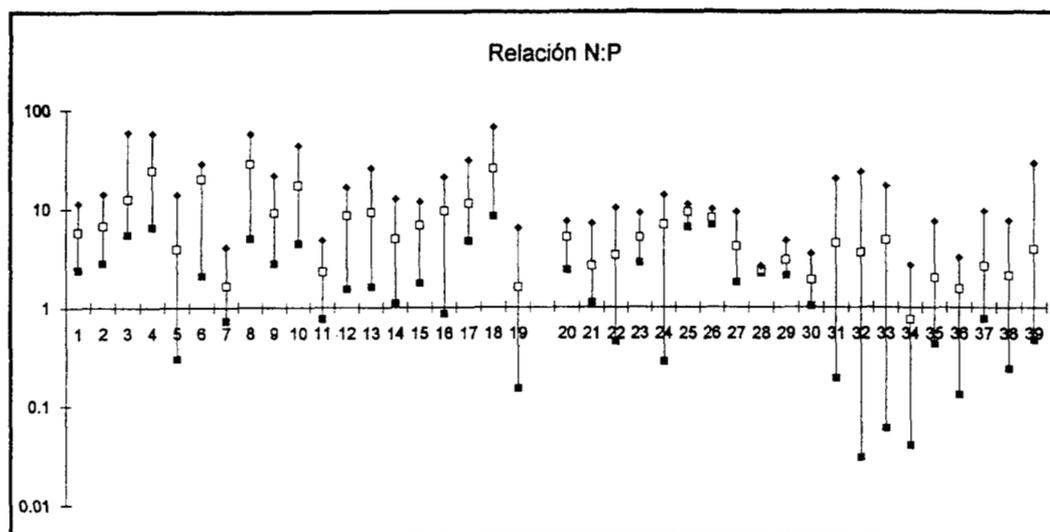


Fig. 8. Variaciones en la relación N.P. para 39 lagunas costeras.

una mayor oxigenación del sistema. Los máximos se ubican en lapsos de características heterotróficas (invierno) y en zonas aisladas en donde los procesos de descomposición de la materia orgánica dominan, como en el caso del fondo lagunar.

Las formas fosfatadas son frecuentes en las lagunas, su presencia y cantidad son considerablemente mayores a las reportadas en sistemas similares de otras latitudes. Un efecto de estas

concentraciones es la respuesta que se detecta en la presencia de la clorofila *a*, con quien guarda una estrecha relación (Vollenweider y Kerekes 1983, Contreras y Kerekes 1993). Los fosfatos son la causa fundamental de los fenómenos de eutroficación tan comunes en los sistemas costeros (Mee 1977). Como puede apreciarse en las gráficas, las lagunas en donde la concentración de fosfatos es elevada, éstas se caracterizan por poseer estados tróficos altos y

de hecho han sido considerados como tales por ejemplo el río Calzadas (13) y la laguna de la Joya-Buenavista (30) (Contreras y Zabalegui 1991).

Por las concentraciones detectadas en las lagunas costeras, todo parece indicar que éstas distan por mucho de ser limitantes para los procesos de la producción primaria. Sin embargo en áreas y ecosistemas costeros, no es tanto la presencia sino la relación entre nutrientes lo que adquiere relevancia (Redfield 1958, Redfield *et al.* 1963, Rhee 1978, Doremus *et al.* 1980). Así, una relación N:P menor a 5 es interpretada como una limitación de nitrógeno; una mayor a 10 se considera como indicativa de una limitación de fósforo y se establece que de 5 a 10 es indiferente (Rinaldi *et al.* 1992).

Los valores de N:P mayores de 10 están asociados a sistemas con una marcada influencia oceánica como las lagunas de Tamiahua (3), Tampamachoco (4,5), Tuxpan (6), Alvarado (10) y Términos (18). Las que poseen una relación menor a 5, están asociadas con elevados suministros de formas fosfatadas que regularmente se introducen en las lagunas por medio de los escurrimientos continentales, en estos casos pueden ser naturales o culturales. En la laguna de Celestún (19), en donde aparentemente existe una limitación de nitrógeno, éste podría ser explicado por la presencia de una profusa vegetación sumergida, lo que provocaría una baja disponibilidad de sales nutritivas en la columna de agua.

Las cantidades normales en la concentración de los nutrientes en las lagunas costeras sitúan a estos ecosistemas con tendencias a la eutrofia, por lo que un suministro adicional de éstos, pone en serio peligro su ya relativa estabilidad. La eutroficación ha sido planteada como una alteración grave en muchos ecosistemas acuáticos incluyendo zonas costeras y donde el aumento de sales nutritivas ha ocasionado, indirectamente, severos problemas de salud (Vollenweider *et al.* 1992).

Además de lo anterior e independientemente de la importancia que como recurso natural poseen estos ecosistemas, son muchas las incógnitas alrededor de las interacciones entre los productores primarios y los nutrientes, base fundamental de la trama trófica acuática.

Finalmente, existen numerosos trabajos científicos alrededor de la cantidad de nutrientes en lagunas costeras; sin embargo, esta es la

primera ocasión en que se pretende establecer, con base en un número significativo de ecosistemas costeros, una proposición con fines comparativos.

RESUMEN

Con base en investigaciones realizadas en 39 lagunas costeras mexicanas, que en su mayoría están situadas en latitudes de características tropicales, se determinó que no existe una limitación de nutrientes hacia el proceso de la productividad primaria, porque aún en las épocas cuando se presentan las concentraciones mínimas, éstas son por arriba de las detectadas en otros sistemas similares, sobre todo los situados en latitudes templadas. En algunos casos las variaciones de nutrientes son amplias y delatan la heterogeneidad en el comportamiento de estas sales. De lo anterior se deduce que la relación entre nutrientes, esto es, el índice N:P juega un papel más importante que la concentración de cada uno de los nutrientes por si mismo. Con base en este índice es posible clasificar a las lagunas con limitación de nitrógeno (<5) o de fósforo (>10).

Palabras clave: Nutrientes, índice N:P, lagunas costeras, México.

REFERENCIAS

- Barnes, R. S. K. (ed.). 1980. Coastal lagoons. Cambridge - Studies in modern biology. Cambridge Univ. 106 p.
- Bendschneider K. & R. J. Robinson. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea-water. *J. Mar. Res.* 11: 87-96.
- Contreras E. F. 1985. Comparación hidrológica de tres lagunas costeras del estado de Veracruz, México. *Univ. y Ciencia. UJAT* 2: 47-56.
- Contreras E. F. 1993. Ecosistemas costeros mexicanos. CONABIO-UAMI, México. 415 p.
- Contreras, E. F. & O. Castañeda L. 1993. Contribución del nanofitoplancton en la cantidad de clorofila *a* de dos sistemas lagunares del estado de Chiapas, México. *Inv. Mar. CICIMAR* 7: 61-73.
- Contreras, E. F. & J. Kerekes. 1993. Total phosphorus-chlorophyll relationships in tropical coastal lagoons in Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 448-451.
- Contreras, E. F. & L. M. Zabalegui. 1991. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en la laguna La Joya Buenavista. Chis., Méx. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* 18: 207-215.
- Doremus, C. M., S. W. Nixon, P. F. Roques & S. K. Seitzinger. 1980. Nitrogen limitation in the ocean versus phosphorus limitation in lakes: An analysis of possible regulatory mechanisms, *Environmental Science Research*, Vol. 19. Poster 8 *In* P. G. Falkowski (ed.). Primary productivity in the sea. Plenum.

- Hargrave, B. T. & G. F. Conolli. 1978. A device to collect supernatant water for measurement of the flux of dissolved compound across sediment surface. *Limnol. Oceanogr.* 23: 1005-1010.
- Head, P. C. 1976. Nutrient studies and primary productivity in inshore waters. *In* J. B. Pearce (ed.). *Man's influence on the marine environment.*
- Inland Waters Directore. 1974. *Analytical methods manual.* Ottawa.
- Klump, J. V. 1980. Benthic nutrient regeneration and the mechanisms of chemical sediment-water exchange in an organic-rich coastal marine sediment. Ph.D. Dissertation, University of North Caroline, Chapel Hill, North Caroline.
- Klump, J. V. & C. S. Martens. 1981. Biochemical cycling in an organic-rich coastline marine basin 2. Nutrient sediment-water exchanges processes. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 45: 101-121.
- Lickens, G. E. (ed.). 1972. *Nutrients and eutrophication.* *Limnol. Oceanogr. Pub. Esp.* 1: 378 p.
- Malone, T. C. 1971. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities. *Limnol. and Oceanogr.* 16: 633-639.
- McCarthy, J. J., W. Rowland & M. E. Loftus. 1974. Significance of nanoplankton in the Chesapeake Bay estuary and problems associated with measurements of nanoplankton productivity. *Mar. Biol.* 24: 7-16.
- Mee, D. 1977. Coastal lagoons, p. 441-490 *In* J. P. Riley y R. Chester (eds.). *Chemical Oceanography* 7.
- Menzel D. W. & N. Corwin. 1965. The measurements of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fractions by persulfate oxidation. *Limnol. Oceanogr.* 10: 282-282.
- Murphy J. & J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphates in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27: 31-36.
- Nixon, W. S. 1980. Between coastal marshes in estuarine productivity and water chemistry. *In* P. Hamilton & McDonald, K. (eds.). *Estuarine and Wetland Processes.* Plenum. Nueva York.
- Nixon, S. W. 1981. Freshwater inputs and estuarine productivity, p. 31-57 *In* R. D. Cross, & D. L. Williams (eds.). *Proceedings of the National Symposium on Freshwater inflow to Estuaries.* U. S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services. (FWS/OBS-81/04, Vol 1.)
- Postma, H. 1969. Chemistry of coastal lagoons, p. 421-430 *In* A. C. Ayala & F. B. Pheger (eds.). *Lagunas costeras. Un Simposio.* UNAM/UNESCO., Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Redfield, A. C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.* 46: 206-221.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum & F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater, p. 26-77 *In* M. N. Hill (ed.). *The sea 2.* Wiley-Interscience, Nueva York.
- Rhee, G-Yull. 1978. Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition, and nitrate uptake. *Limnol. and Oceanogr.* 23: 10-25.
- Rinaldi A., G. Montanari, A. Ghetti., C. R. Ferrari & A. Ferrari. 1992. Eutrophy and dystrophy in the Goro lagoon, p. 457-470 *In* R. A. Vollenweider, R. Marchetti & R. Viviani. (eds.). *Marine coastal eutrophication.* Elsevier Sci. Pub.
- Secretaría de Pesca. 1987. *Carta básica nacional de información pesquera.* DGI. SNIIP.
- Strickland J. D. H. & T. R. Parsons. 1968. *A manual of sea water analysis.* Fish. Res. Bd of Canada, Ottawa. 310 p.
- Solórzano L. 1969. Determination of ammonia in natural water by the phenol-hypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14: 799-801.
- Vollenweider, R. A. & J. Kerekes. 1982. *Eutrophication of waters, monitoring, assesment and control. Final report.* OECD Coperative program on monitoring of inland waters (Eutrophication control), Environment Directorate, OECD. Paris. 154 p.
- Vollenweider, R. A., R. Marchetti & R. Viviani (eds.). 1992. *Marine coastal eutrophication.* Elsevier Sci. Pub. 1310 p.