

21  
209



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA"

ESTUDIO DE ALGUNAS RELACIONES DEL  
FITOPLANCTON CON SU AMBIENTE EN  
DOS LAGUNAS COSTERAS DE OAXACA,  
MEXICO.

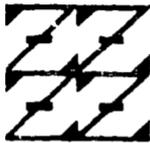
## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

JORGE MANUEL LOPEZ REYNOSO



LO NUMERO 112  
DE NUESTRA REFLEXION

MEXICO, D. F.

1995

### FALLA DE ORIGEN



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

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

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

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

*A mis padres y hermanos.*

*A Mary y Paola Nayeli.*

## AGRADECIMIENTOS

Muchas personas han contribuido para que el presente trabajo haya llegado a su conclusión. En particular deseo agradecer al Biól. Ernesto Mendoza Vallejo y al M. en C. José Luis Gómez Márquez el haberme permitido participar en el proyecto Lagunas de Chacahua, así como la dirección, asesoría y apoyo incondicional en el trabajo de campo y de laboratorio, además de sus consejos para la elaboración del escrito. Al Biól. Antonio Valencia Hernandez le agradezco su interés en el trabajo, sus observaciones, comentarios y su asesoría en la elaboración de los mapas. También agradezco a los sinodales Biól. Angélica E. González Schaff y Biól. Luis Samuel Campus Lince sus valiosas sugerencias para la corrección del escrito final. Quiero reconocer de manera especial a la M. en C. María José Marques Dos Santos su decidido apoyo e interés para que este documento pudiera terminarse, al igual que sus comentarios y observaciones en la elaboración de las tablas. La estructuración inicial del estudio fue supervisada por el M. en C. Hermilo Santoyo Reyes, quien por diversas circunstancias no pudo continuar con la dirección del trabajo. Quiero darle las gracias a mis compañeros del proyecto Lagunas de Chacahua, Esperanza, Silvia, Aida, José Octavio, Javier y Fidel, sin cuya participación el trabajo de campo hubiera sido imposible. También agradezco las facilidades que se me dieron para efectuar los análisis de laboratorio en las instalaciones de la entonces E.N.E.P., hoy F.E.S. Zaragoza, al M. en C. Ramiro Cisneros Ibáñez.

Finalmente, deseo expresar que la amistad que me han brindado todas las personas mencionadas anteriormente es algo invaluable.

## INDICE

	<i>PAGINA</i>
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
ANTECEDENTES	3
ZONA DE ESTUDIO	5
OBJETIVOS	8
MATERIAL Y METODOS	9
RESULTADOS	15
ANALISIS Y DISCUSION	57
CONCLUSIONES	73
SUGERENCIAS	75
BIBLIOGRAFIA CITADA	77

## RESUMEN

El fitoplancton del sistema lagunar costero Chacahua-La Pastoría fue estudiado con el propósito de determinar su densidad, composición, abundancia, distribución y diversidad, así como su relación con algunos parámetros ambientales. Para ello se tomaron muestras de agua en dos niveles de profundidad, en cada una de ocho estaciones ubicadas en la laguna Chacahua, de las doce ubicadas en La Pastoría y una estación en el canal que las comunica, durante seis campañas bimensuales que cubrieron un ciclo anual, se hicieron arrastres con una red fitoplanctónica para el análisis cualitativo de la comunidad; con cada muestra de agua se hicieron determinaciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fosfatos, nitratos, nitritos y clorofila *a*, además de los conteos de organismos, se registraron la profundidad y transparencia del agua lagunar, se calculó el índice de diversidad de Shannon-Weaver, finalmente, la información obtenida se analizó estadísticamente.

Se observó que, a pesar de su cercanía geográfica, las dos lagunas son diferentes desde un punto de vista hidrobiológico. Además, la temporada de lluvias y el cierre de la barrera lagunar en Chacahua modificaron en forma importante la hidrología del sistema.

En el fitoplancton se reconocieron 113 especies de diatomeas, 57 especies de dinoflagelados, 14 especies de cianofitas, 6 especies de clorofitas y un silicoflagelado. Las densidades totales de organismos fitoplanctónicos fueron del orden de magnitud de  $10^4$  a  $10^6$  U/l. Las diatomeas fueron dominantes numéricamente en ambas lagunas, aunque en Chacahua los dinoflagelados llegaron a ser los más abundantes en dos muestreos. La luz, temperatura y concentración de fosfatos no parecieron limitar el crecimiento de la comunidad fitoplanctónica, pero los nitratos posiblemente sí. La diversidad del fitoplancton es menor en Chacahua, lo que podría indicar inestabilidad ambiental en esa laguna.

Se sugiere continuar este tipo de estudios, de manera que sean más completos, para entender y conservar la riqueza biológica del lugar.

## INTRODUCCION

Las lagunas litorales son masas de agua confinadas sobre el margen de los continentes, de poca profundidad, cercanas a la costa y en comunicacion limitada con el mar (Margalef, 1969). Por su productividad biologica, tienen gran importancia desde el punto de vista pesquero. La base de dicha productividad esta determinada por los procesos fotosinteticos del fitoplancton, de las macrofitas acuaticas y del perifiton, comunidades de las que dependen todas las otras formas de vida en estos ecosistemas.

Ya que existe la necesidad de aprovechar y al mismo tiempo conservar estos cuerpos acuaticos costeros, se hace indispensable un estudio integral y sistemático de todos y cada uno de ellos, para evaluar racionalmente su potencialidad como fuente alimenticia. Uno de los aspectos de mayor interes e importancia en ese tipo de estudios es la investigacion cualitativa y cuantitativa del fitoplancton. Los principales aspectos que deben ser considerados son la productividad, la biomasa y la composicion de especies (Welch, 1980). Sin embargo, estos aspectos no se presentan aislados, sino que estan en intima relacion con las condiciones ambientales. En particular el fitoplancton requiere para su crecimiento luz, dióxido de carbono y agua para la fotosíntesis, nutrientes minerales en solución y una temperatura ambiental apropiada para su actividad metabólica (Boeey, 1975). Se hace necesario, por lo tanto, un análisis de estos factores correlativamente con el de las características poblacionales de las especies fitoplanctónicas para obtener un mejor entendimiento de su papel dentro de los ecosistemas acuáticos y concretamente en las lagunas costeras.

En México se adolece en general de informacion sobre la magnitud de los recursos bióticos existentes en el país. Por ello se requiere efectuar investigaciones enfocadas a la determinación cualitativa y cuantitativa de tales recursos, informacion que coadyuva a resolver los problemas relacionados con su aprovechamiento, mejoramiento y conservación. Las lagunas costeras, dentro de estos recursos, constituyen ecosistemas poco estudiados, pero que poseen un gran potencial biótico que debe ser evaluado para los usos racionales que cada ambiente amerite. La importancia de estos cuerpos de agua no debe ser soslayada, ya que hay un mínimo de 123 lagunas costeras en México (Lankford, 1977), las cuales ocupan una superficie total aproximada de 12 500 Km<sup>2</sup> (Cardenas, 1969). Desde otro punto de vista, estos cuerpos acuáticos cubren del 30 al 35% de los 10 000 Km del litoral mexicano (Contreras, 1985).

El sistema lagunar Chacahua-Pastoria es parte de esa riqueza todavía poco conocida. Como la vida vegetal microscópica flotante en los medios acuáticos es la productora primaria de materia orgánica sobre la cual todas las otras formas de vida dependen (Fogg, 1965), es importante la realización de estudios como el presente para evitar que lo inadecuado de nuestro conocimiento en este aspecto limite la eficiencia con la cual puedan ser utilizados como fuente de alimento.

## ANTECEDENTES

Se han estudiado problemas diversos relacionados al fitoplancton de las lagunas costeras mexicanas. Así, por ejemplo, Gómez-Aguirre (1974) realizó algunos reconocimientos en la Laguna de Términos, Campeche, con objeto de evaluar la hidrología y la productividad del plancton lagunar. Reporta la composición relativa de los elementos del fitoplancton y señala algunos puntos generales acerca de la variación estacional.

Loyo-Rebolledo (1966) hizo un análisis sobre la sistemática y la distribución de las diatomeas planctónicas de la Laguna de Términos, Campeche, en donde menciona la influencia que tienen los vientos dominantes en las aguas lagunares.

Licca-Durán (1974) estudió la flora diatomológica de la Laguna de Agiabampo, Sonora-Sinaloa, haciendo énfasis en aspectos sistemáticos y de distribución. Discute la influencia de la marea y de la salinidad sobre la distribución de organismos.

Santoyo (1972) reporta aspectos hidrológicos y de la variación estacional de algunos grupos del fitoplancton de la Laguna de Yavaros, Sonora, usando métodos de sedimentación.

Coss-Tirado y Chávez-Cortez (1976) describen cualitativamente el fitoplancton de la laguna litoral Bahía de Coahuila, Sinaloa, donde además discuten la estructura y la estabilidad de la comunidad en función de algunos parámetros, entre los cuales está la diversidad.

Gómez-Cardell (1980) estudió las variaciones cualitativas y cuantitativas del fitoplancton de la Laguna de Chautengo, Guerrero, en donde además registró algunos parámetros hidrológicos, los cuales variaron por el aporte de aguas continentales y por el periodo que dura la comunicación de la laguna con el mar.

Luna-Reyes *et al* (1982) estudiaron algunos parámetros hidrológicos en las lagunas de Mandinga, buscando su relación con el fitoplancton lagunar y la concentración de clorofila *a*.

Estos pocos ejemplos muestran la variada naturaleza de los estudios existentes sobre el fitoplancton de las lagunas costeras mexicanas y algunos de los aspectos relacionados con esta comunidad biótica que los investigadores nacionales consideran importantes.

Sin embargo, la literatura referente al sistema lagunar Chacahua-Pastoria no es abundante.

Berzunza (1936) hizo una breve descripción de la laguna de Chacahua, e informó sobre el análisis de cuatro muestras de plancton animal de red.

Sosa (1937) describió la zona que rodea a las lagunas, considerando aspectos de vegetación, clima, geología, población humana y agricultura, con lo cual recomendó la creación de un Parque Nacional.

González *et al.* (1977) y Fuentes *et al.* (1978) hicieron estudios que abarcaron aspectos físicos, químicos, biológicos y socio-económicos dentro de la zona comprendida dentro del Parque Nacional Lagunas de Chacahua. Reportan algunos datos hidrológicos y del zooplancton.

Cargamo S.A. (1979) elaboró un proyecto para el establecimiento de una zona de reserva e investigación en el Parque Nacional Lagunas de Chacahua, e incluyó estudios de diagnóstico en recursos tales como depósitos acuíferos, vegetación y fauna.

Alcalá-Farías y Sánchez-Béjar (1984) realizaron un estudio preliminar sobre la vegetación del Parque, los tipos de suelo y la relación entre ellos.

Zárate-Vidal (1985) analizó la composición, distribución y variación del fitoplancton de las lagunas Chacahua y Pastoria, así como su relación con algunos factores abióticos.

Cruz-Lazo e Ibarra-Trujillo (1987) estudiaron el espectro trófico de cuatro especies icticas dentro de la Laguna de Chacahua y la influencia de algunos parámetros físico-químicos.

Ortiz-Ortiz y Teodoro-Salvador (1990) efectuaron un estudio sobre la comunidad mesozooplancónica de las lagunas Chacahua y Pastoria, relacionando la abundancia de grupos con factores hidrológicos.

Santoyo *et al.* (1980) realizaron dos campañas de muestreo hidrobiológico en el sistema lagunar Chacahua-La Pastoria. El estudio comprendió aspectos hidrológicos, fitoplancton, zooplancton y pesquerías. En particular se reportaron densidades de células fitoplanctónicas/litro en muestras de veinte estaciones, además de una breve lista de 25 géneros de diatomeas, 3 de dinoflagelados y 1 cianofita, con algunos nombres específicos y el reporte de presencia de euglenídeos y clorofitas y algunos organismos no identificados.

Es importante, de acuerdo a la información anterior, aumentar el conocimiento de la riqueza biótica de las lagunas de Chacahua con estudios que abarquen otros aspectos relevantes de ellas, al igual que se ha hecho en otras lagunas costeras de México. En particular, el estudio de las comunidades productoras debe ser prioritario. En el caso del fitoplancton, es claro que las investigaciones apenas comienzan y deberán, en lo sucesivo, ser más completas, para contestar algunas interrogantes y plantear nuevos problemas por resolver.

## ZONA DE ESTUDIO

Las lagunas Chacahua y Pastoria se localizan en el Parque Nacional Lagunas de Chacahua, dentro del municipio de Tuntepec, en la costa del Estado de Oaxaca. De acuerdo a las cartas topográficas E14D84, E14D85 y D14B15 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, la laguna Chacahua se encuentra entre los 97° 39' y 97° 43' de longitud oeste y entre los 15° 58' y 16° 00' de latitud norte, mientras que la laguna Pastoria se halla entre los 97° 32' y 97° 38' de longitud oeste y entre los 15° 58' y 16° 01' de latitud norte (ver figura 1).

Ambas lagunas están comunicadas entre sí por medio de un canal, llamado Canal del Corral, el cual tiene una longitud superior a los dos kilómetros y una anchura de algunos pocos metros. La laguna Chacahua se comunica también en su parte occidental con una laguna que recibe los nombres de Tianguisto, Las Salinas o Salina Grande, la cual es menor en tamaño y profundidad que las consideradas dentro del presente estudio.

La laguna Chacahua tiene comunicación con el mar por medio de una entrada en la parte oeste de la barrera lagunar. De acuerdo a lo reportado por Santoyo (1980), dicha comunicación se establece en intervalos irregulares de tiempo y su duración es variable. Lo anterior depende del aporte de aguas continentales, cuyo volumen en la región, a su vez, depende directamente de la cantidad de precipitación. En la laguna Pastoria la comunicación con el mar es permanente por medio de un canal abierto en la parte oriental de la barrera lagunar.

Dos ríos de temporal aportan sus aguas al sistema lagunar. El Río San Francisco escurre su caudal en terrenos inundables localizados al norte de las lagunas. Parte de dicho caudal llega a la parte norte de la laguna Pastoria, pero es factible que sus aguas lleguen también a la laguna Chacahua. El Río Chacalapa desemboca directamente en la parte norte de la laguna Pastoria.

El río más importante de la región es el Río Verde, cuyo caudal llega al mar en el límite occidental del Parque Nacional. A pesar de que en la actualidad no tiene comunicación directa con las lagunas, es importante en la dinámica del sistema lagunar, ya que aporta los sedimentos que las corrientes transportan a lo largo de la línea costera y que, finalmente, contribuyen al cierre de la barrera en la laguna Chacahua.

El clima de la región según la clasificación de Köppen, modificada por García (1973), es del tipo Aw, esto es, cálido subhúmedo con lluvias en verano. Se han reportado los subtipos Aw1 (cociente P/T entre 43.2 y 55.3) y Aw2 (cociente P/T mayor de 55.3), siendo el primero de ellos el predominante en el Parque Nacional. En

cualquier caso, el porcentaje invernal de lluvias es menor de 5% del total anual y la oscilación de las temperaturas medias mensuales es inferior a los 5 °C.

La temporada de lluvias puede abarcar desde finales de mayo hasta principios de noviembre, con ocurrencia de huracanes que pueden presentarse aún después del periodo señalado.

La laguna Chacahua es clasificada como III-A (III-B) y la laguna Pastoria como III-A por Lankford (1977). De acuerdo a este autor las lagunas se originaron por inundación de depresiones en el margen interior de la plataforma continental. Limitadas por tierra en sus partes interiores y protegidas del mar por barreras arenosas producidas por olas y corrientes, la formación de tales barreras ocurrió dentro de los últimos 5000 años con el establecimiento del moderno nivel del mar. El eje mayor de las lagunas es paralelo a la costa y la batimetría es muy somera excepto en canales formados por la erosión debida a procesos de la zona litoral, los cuales incluyen actividad de huracanes y sedimentación terrígena localizada.

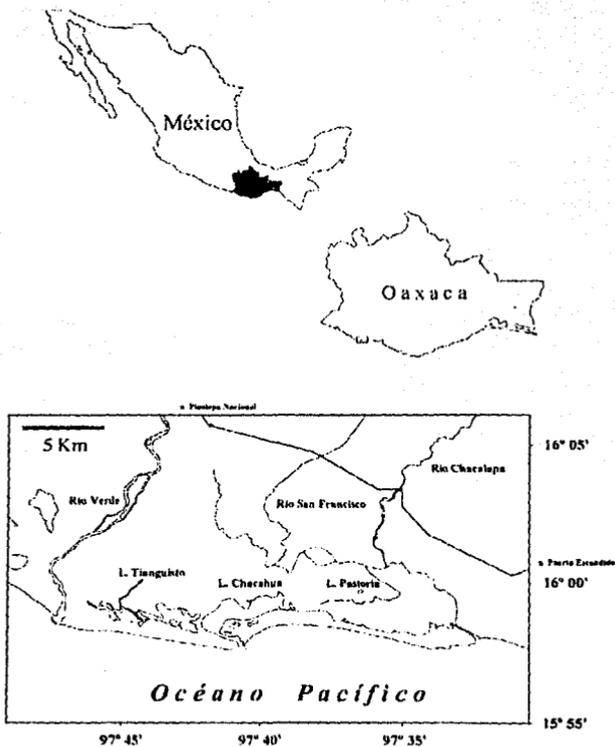
Se han reportado diversos tipos de vegetación existentes dentro del Parque Nacional. El más conspicuo desde las lagunas es el manglar, el cual bordea prácticamente toda la laguna Chacahua y gran parte de la laguna Pastoria, pero también se encuentran selva baja y mediana, tular, sabana y vegetación de dunas costeras. Se observó adicionalmente la introducción de algunos cultivos en zonas localizadas, entre los que destaca el cultivo de cocotero.

En el Parque Nacional Lagunas de Chacahua hay diferentes tipos de suelo relacionados con el tipo de vegetación que soportan. De acuerdo con Alcalá-Farías y Sánchez-Béjar (1984) los suelos de la zona, en general, son poco evolucionados y con pocos compuestos húmicos. Alrededor de las lagunas predominan suelos de tipo solonchak, acrisoles en los cerros y fluviosoles y regosoles en la barrera lagunar.

En las orillas del canal que comunica la laguna Chacahua con el mar se encuentran los poblados Chacahua y La Grúa. En las proximidades del canal abierto al mar en la laguna Pastoria se localizan los poblados El Zapotalito y El Copalito. En el canal de intercomunicación lagunar hay otro poblado llamado El Corral.

Puede llegarse a las lagunas a través de la carretera federal 200 (Acapulco-Puerto Escondido) y tomar una desviación hacia el sur en San José del Progreso. El camino de terracería pasa por los poblados Charco Redondo (a la entrada del Parque Nacional) y El Azufre, de donde se prosigue hacia el este hasta llegar a La Grúa. En la temporada de lluvias el camino de terracería mencionado es intransitable. Otra vía de acceso es por medio de otro camino de terracería hacia el sur que conduce directamente al pueblo El Zapotalito. Dicho camino entronca con la carretera federal 200 a unos 8 Km al oeste del pueblo Río Grande.

Figura 1. Localización del sistema lagunar Chacahua-Pastoría



## OBJETIVOS

### Objetivo general.

Determinar durante un ciclo anual la densidad, abundancia, composición, diversidad y distribución del fitoplancton del sistema lagunar Chacahua-Pastoria y su relación con algunos parámetros físicos, químicos y meteorológicos.

### Objetivos particulares.

- 1.- Caracterizar hidrológicamente a las lagunas Chacahua y Pastoria, determinando su profundidad, transparencia, salinidad y temperatura.
- 2.- Evaluar las concentraciones de oxígeno, nitratos, nitritos y fosfatos disueltos en las aguas lagunares.
- 3.- Presentar un listado de las especies fitoplanctónicas del sistema lagunar.
- 4.- Determinar la densidad del fitoplancton lagunar.
- 5.- Estimar la cantidad de clorofila *a* contenida por la comunidad fitoplanctónica.
- 6.- Cuantificar la diversidad del fitoplancton por medio del índice de Shannon-Weaver.
- 7.- Analizar cuantitativamente la variación espacial y temporal de los parámetros estudiados y su relación con el fitoplancton lagunar.

## MATERIAL Y METODOS

### Trabajo de campo.

Se efectuaron muestreos en las lagunas aproximadamente cada dos meses, hasta completar seis campañas de colecta que cubrieran un ciclo anual (tabla 1).

En cada campaña, se recogieron muestras en ocho estaciones dentro de la Laguna Chacahua, en doce estaciones dentro de la Laguna Pastoria y una estación adicional en el canal del Corral (figura 2), ubicadas en una campaña prospectiva de acuerdo al tamaño y forma de las lagunas, a su proximidad con posibles aportes de agua dulce, a su cercanía con asentamientos humanos y a la presencia de canales de comunicación interlagunares y con el mar.

**Tabla 1. Relación de las fechas en las que se efectuaron las campañas de muestreo.**

Campaña de muestreo	Fecha
1	20-21 de agosto de 1982
2	15-16 de octubre de 1982
3	11-13 de diciembre de 1982
4	18-19 de febrero de 1983
5	21-22 de abril de 1983
6	18-19 de julio de 1983

Durante la campaña prospectiva se observó que la profundidad de las lagunas no era muy grande y dado el número de estaciones se decidió tomar, en cada estación, una muestra de agua de una profundidad de 0.2 m (muestra de superficie) y una muestra de agua de la profundidad máxima (muestra de fondo), con una botella muestreadora tipo Van Dorn con capacidad de 3 litros, para examinar el efecto de este factor sobre la distribución del fitoplancton.

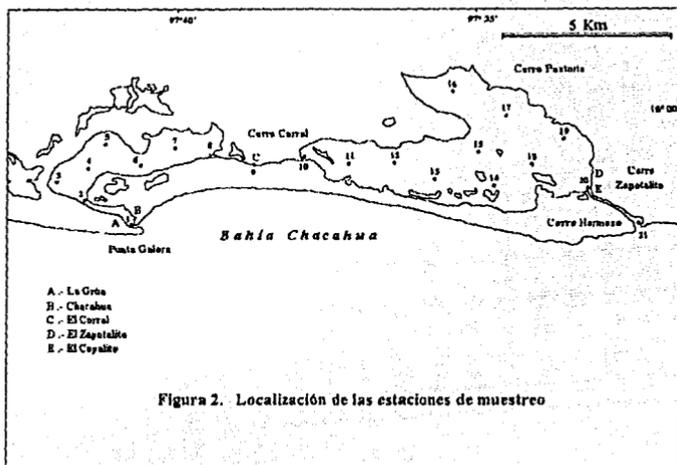


Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo

Al momento de sacar una muestra, además de registrar el lugar y la hora del día, se hicieron las siguientes mediciones:

- temperatura del agua y temperatura atmosférica a la sombra, con un termómetro de 0.5°C de precisión.
- profundidad máxima, usando una cuerda con ancla y un flexómetro
- transparencia del agua, con un disco de Secchi de 0.3 m de diámetro.

Cada muestra se dividió en submuestras para determinar posteriormente en laboratorio oxígeno disuelto, salinidad, nutrientes, densidad de fitoplancton y clorofila *a* (a partir de la tercera campaña de muestreo)

Las submuestras para la determinación de oxígeno fueron tratadas inmediatamente, añadiéndoles a cada una 1 ml de una solución de sulfato manganeso, 1 ml de una solución alcalina de yoduro de potasio-azida de sodio y mantenidas a resguardo de la luz solar, y transportadas a tierra para completar su procesamiento según el método modificado de Winkler (Strickland y Parsons 1972; Golterman *et al.* 1978)

Las submuestras para la determinación de salinidad no requirieron conservador, pero se mantuvieron cerradas herméticamente para evitar cambios en la concentración de sales por evaporación.

A cada submuestra de 500 ml para la cuantificación de nutrientes se le añadió una pizca de  $HgCl_2$  como conservador, a la vez que se mantuvo en hielo mientras se trasladó al laboratorio para su procesamiento.

Cada submuestra de 500 ml para la cuantificación de clorofilas fue filtrada en un aparato de filtración Millipore, usando filtros de fibra de vidrio a los que se añadió una pequeña cantidad de carbonato de magnesio, para ayudar a la retención y como precaución contra el desarrollo de acidez (Vollenweider, 1969). Los filtros secos fueron aislados de la luz y mantenidos a baja temperatura hasta su procesamiento en laboratorio.

A cada submuestra de 125 ml para la cuantificación de densidad fitoplanctónica se le agregó un promedio de 0.5 ml de una solución ácida de yodo como conservador de los organismos (Thraudsen, 1978; Shwoerbel, 1975) y se le mantuvo protegida de la luz directa hasta su análisis en el laboratorio.

Después de extraer las muestras con la botella Van Dorn, se hizo un arrastre con una red cónica de fitoplancton de 19 cm de diámetro en la boca y 165 cm de longitud total, con una luz de malla de 54 micras. Los arrastres tuvieron una duración de 1 a 3 minutos. Las muestras obtenidas fueron fijadas con 1 ó 2 ml de la solución ácida de yodo y guardadas en la oscuridad para el análisis cualitativo de fitoplancton.

#### Trabajo de laboratorio

Cada submuestra para salinidad se analizó con un refractómetro óptico con compensación automática de temperatura marca American Optical, modelo 10419.

Cada submuestra para nutrientes fue dividida, a su vez, en alícuotas más pequeñas para hacer las siguientes determinaciones:

- fosfatos, por medio de la técnica del ácido ascórbico (Strickland y Parsons, 1972)
- nitritos, con la técnica de la sulfanilamida (Strickland y Parsons, 1972)
- nitratos, por reducción a nitritos en columnas de casbino (Strickland y Parsons, 1972), sólo a partir de la cuarta campaña de muestreo

Las clorofilas se determinaron por un método espectrofotométrico, previa extracción de los pigmentos por maceración de los filtros con acetona al 90% (Strickland y Parsons, 1972, Golterman *et al.*, 1978), a partir de la tercera campaña de muestreo.

El conteo de los organismos vegetales se llevó a cabo con las submuestras para fitoplancton de la botella Van Dorn siguiendo el método de Ulmer (Hasle, 1978a; Shwoerbel, 1975) y usando un microscopio de

objetivos invertidos (Hasle, 1978b) con aumentos 10X, 20X y 40X, marca American Optical, modelo 1810 con oculares 20X.

La densidad fitoplanctónica se expresó en unidades físicas por litro (U/l), donde una unidad física (U) puede ser una cadena, una colonia o un organismo individual (Patten, 1962).

Cuando se efectuaron los conteos se hizo al mismo tiempo parte del trabajo de determinación de especies, el cual se complementó observando alicuotas de las muestras obtenidas en los arrastres de la red fitoplanctónica en un microscopio de contraste de fases marca Carl Zeiss, con objetivos normales 10X y 40X, un objetivo de inmersión en aceite 100X y oculares 10X. Frecuentemente se observaron también en este microscopio alicuotas de las submuestras para fitoplancton obtenidas con la botella muestreadora Van Dorn. Las características morfológicas de los organismos hallados se compararon exhaustivamente con las descripciones contenidas en los trabajos sobre plancton en general, como los de Massuti y Margalef (1950), Trégouboff y Rose (1957), Wimpenny (1966) y Smith (1977); claves y listas de algas continentales, como las de Smith (1950), Prescott (1978) y Ortega (1984); reportes sobre diatomeas, como los de Boyer (1926), Cupp (1943) y Hervey (1964), trabajos sobre dinoflagelados, como los de Chatton (1952) y Wood (1968); el trabajo sobre cianofitas marinas de Humm y Wicks (1980); y listas regionales, como las de Curl (1959) y Licca (1974). De esta forma se les pudo asignar un nombre específico, o genérico al menos a cada uno de los organismos fitoplanctónicos.

#### Trabajo de gabinete

La información obtenida en el campo y el laboratorio fue recopilada inicialmente en hojas tabulares diseñadas específicamente para ello. Posteriormente los datos fueron capturados en una hoja electrónica de cálculo (Lotus 123) para poder manejarlos adecuadamente, dado su volumen. Se editaron los datos cuidadosamente y se hizo el análisis estadístico con la ayuda de los paquetes estadísticos Statgraphics, Stata y Systat para PC.

Inicialmente se analizaron los datos mediante técnicas exploratorias. En particular, se hicieron gráficos cuantil normal-cuantil (Chambers et al., 1983) para observar informalmente el ajuste a la normalidad de la distribución de las variables estudiadas. También se construyeron gráficas de dispersión nivel (Emerson y Stronio, 1983, Salgado-Ugarte, 1992) de cada variable, considerando los diferentes niveles de laguna, profundidad relativa de la muestra y campaña de muestreo, ya que posteriormente se estudiaría el efecto de estos tres factores sobre las observaciones, mediante un análisis de varianzas. Como los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas de los errores en la medición son requisitos importantes para que un análisis de varianzas tenga validez, se propuso la re-expresión de las variables que se desviaron sensiblemente de estos supuestos. Se

probaron diversas transformaciones con el objeto de promover la simetría de las distribuciones que mostraron fuertes sesgos o para estabilizar la dispersión de los valores de las variables que presentaron frecuentes casos extraordinarios en los distintos niveles de los factores propuestos. En todos los casos donde se requirió, una transformación simple sobre los datos logró ambos propósitos. Emerson y Stoto (1983) han señalado que esto es frecuente e indican además que la transformación puede promover también una estructura aditiva en el lote de datos. En el caso de la transparencia (Socchi) y de los nutrientes la mejor transformación  $x^*$  fue

$$x^* = \ln x;$$

para la densidad del fitoplancton y la concentración de clorofila o una expresión adecuada fue

$$x^* = \ln(1 + x);$$

Las otras variables se analizaron con sus valores originales  $x$ .

Coincidentemente, Margalef (1965) ha señalado que una transformación logarítmica es adecuada para los parámetros referentes a poblaciones (contenido clorofílico, producción, número de células) y a los factores ambientales fuertemente influenciados por los organismos (concentraciones de nutrientes), mientras que otras variables (temperatura, salinidad) frecuentemente no requieren transformación. En particular, la transformación  $\log(1 + x)$  ha resultado ser exitosa en diversos estudios estadísticos con datos de plancton (Venrick, 1978). Al analizar nuevamente los datos re-expresados, se observaron una mejoría notable en la simetría de su distribución y una nivelación de la dispersión, lo cual hizo que desaparecieran casi totalmente los posibles casos extraordinarios. La mejoría en normalidad se confirmó mediante el análisis visual de los datos en gráficos cuantil normal-cuantil y analíticamente con pruebas de Kolmogorov-Smirnov. La nivelación de la variabilidad se observó con diagramas de dispersión-nivel.

Posteriormente se hizo un análisis de varianza para cada variable, original o reexpresada según el caso, de acuerdo al modelo aditivo

$$x_{ijk} = \mu + L_i + M_j + P_k + LM_{ij} + LP_{ik} + MP_{jk} + LMP_{ijk} + E_{i(j,k)} \quad (\text{modelo 1})$$

donde:  $\mu$  es el promedio general de la variable,  $x$  es el valor observado de la variable,  $L$  es el efecto del factor laguna;  $M$  es el efecto del factor campaña de muestreo,  $P$  es el efecto del factor profundidad relativa,  $E$  es el error aleatorio y los productos representan los efectos de las interacciones de los factores.

En el caso de la profundidad real de las lagunas y la transparencia del agua lagunar el modelo fue más sencillo, ya que no se tomaron mediciones superficie-fondo, quedando

$$x_{ij} = \mu + L_i + M_j + LM_{ij} + E_{i(j)} \quad (\text{modelo 2})$$

Los niveles de los factores considerados en el análisis fueron:

Laguna = Chacahua, Pastoría.

Campaña de muestreo = 1, 2, 3, 4, 5 y 6 (ver tabla 1)

Profundidad relativa de la muestra = superficie, fondo.

El nivel de significancia considerado fue 0.05 para las diversas pruebas estadísticas que se efectuaron durante el estudio.

Es importante señalar que en el análisis no se incluyeron los datos provenientes de la estación 9, porque dicho lugar de muestreo se localizó exactamente entre las dos lagunas estudiadas y su inclusión dentro de una u otra hubiera sido muy arbitraria. Además, de haberse considerado dentro del análisis como un tercer nivel del factor laguna, hubiera provocado un problema insoluble en el algoritmo del programa estadístico para el cálculo de la tabla de análisis de varianza con el modelo 1. Sin embargo, la información relativa a dicha estación de muestreo no se descartó, sino que se analizó aparte.

Las estaciones de muestreo tienen características propias, por las cuales fueron seleccionadas. Dada esa diferencia reconocida entre las estaciones, este factor no fue considerado dentro del análisis de varianza de las variables, pero sí en la discusión de la distribución espacial del fitoplancton.

El grado de relación entre las variables fue cuantificado con el coeficiente de correlación de Pearson.

Finalmente, se construyeron diagramas de caja múltiples con muesca, del análisis exploratorio de datos, para ilustrar las diferencias de las variables con relación a las lagunas, a la profundidad relativa, a las campañas de muestreo o a sus interacciones, cuando tales diferencias fueron estadísticamente significativas. Cabe señalar que estos diagramas se construyen con base en la mediana, los cuartos y la dispersión de los cuartos de una distribución de datos (Salgado-Ugarte, 1992), por lo que tal vez pudieran parecer poco adecuados para ilustrar diferencias de medias aritméticas, como las detectadas en un análisis de varianza. Sin embargo, como las variables analizadas tuvieron distribuciones aproximadamente normales o fueron transformadas para promover normalidad, la mediana y la media aritmética tuvieron siempre valores iguales o casi iguales para una variable dada, bajo las mismas condiciones, por lo que se puede afirmar que los diagramas de caja muestran en forma adecuada la tendencia central de los diferentes grupos de datos considerados en el presente estudio.

## RESULTADOS

### Parámetros ambientales.

Durante el estudio se registró el cierre paulatino del canal de comunicación laguna-mar en la barrera de Chacabua de forma tal que, a partir de la campaña de diciembre, fue completo. En la laguna Pastoría el canal en la barrera se mantuvo abierto durante todas las campañas de muestreo.

Otro fenómeno ambiental importante registrado fue la ocurrencia de una temporada de lluvias alrededor de la campaña de octubre. Sin embargo, no se pudo disponer de mediciones precisas de la cantidad de precipitación en la zona de estudio durante esa época.

### Salinidad.

El análisis exploratorio inicial de esta variable reveló varias cosas importantes acerca de su distribución:

- falta de ajuste a la normalidad, que posteriormente se confirmó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov.
- diferencias marcadas en la variabilidad para los niveles de al menos uno de los factores, la campaña de muestreo.

- ausencia de una transformación sencilla que promoviera la normalidad y la igualdad de varianzas.

- presencia de muchos posibles casos extraordinarios al comparar las lagunas

Bajo las condiciones anteriores, hubiera sido inadecuado efectuar el análisis de varianza de estos datos. Sin embargo, una exploración adicional de ellos mostró la existencia de dos modas. Una de ellas se localizó aproximadamente en el rango de 10 a 20 ‰, encontrándose todos estos valores en el muestreo de octubre. Se decidió por ello explorar los datos de salinidad del muestreo de octubre por una parte y por la otra los restantes datos. Ambos grupos mostraron un mayor simetría y ya no se encontraron casos extraordinarios a excepción de unos pocos. El conjunto de salinidades sin aquellas del muestreo de octubre tuvo una mayor homogeneidad en la varianza para los diferentes niveles del factor muestreo. Por todo lo anterior, se hicieron dos análisis de varianza para los datos de salinidad.

- uno sin incluir la campaña de muestreo de octubre de acuerdo al modelo 1.
- otro para los datos del muestreo de octubre de acuerdo al modelo aditivo

$$x_{ijk} = \mu + L_i + P_k + LP_{ik} + E_{(ijk)} \quad (\text{modelo 3})$$

En el análisis de los datos de salinidad sin incluir los de la campaña de octubre se encontraron diferencias significativas entre lagunas y entre campañas de muestreo, así como por la interacción de ambos factores. La profundidad a la que se tomó la muestra no tuvo influencia importante sobre los valores de salinidad (tabla 2).

**Tabla 2. Análisis de varianza de la salinidad, sin incluir los datos del muestreo de octubre.**

Factor analizado	Niveles encontrados
Laguna	1 = Chacahua      2 = Pastoria
Muestreo	1    3    4    5    6
Profundidad relativa	1 = superficie      2 = fondo
Número de datos: 200	r mult: 0.969    r <sup>2</sup> mult: 0.939

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	1023.977	1	1023.977	950.745	0.000
Muestreo	1813.993	4	453.498	421.065	0.000
Profundidad relativa	2.210	1	2.210	2.052	0.154
Laguna*Muestreo	411.693	4	102.923	95.562	0.000
Laguna*Profundidad relativa	0.000	1	0.000	0.000	0.989
Muestreo*Profundidad relativa	0.818	4	0.204	0.190	0.943
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	1.128	4	0.282	0.262	0.902
Error	193.865	180	1.077		

En el análisis del conjunto de valores de salinidad correspondientes a la campaña del mes de octubre se observó una diferencia significativa entre superficie y fondo, mientras que las lagunas tuvieron salinidades estadísticamente similares (tabla 3)

En las distintas campañas de muestreo se observaron valores promedio de 32 a 33 ‰ en agosto, los cuales disminuyeron a 20 ‰ en octubre, para volver a tener en diciembre niveles medios similares a los de agosto. En las tres últimas campañas de muestreo se observa un aumento en la salinidad media del sistema, alcanzando un

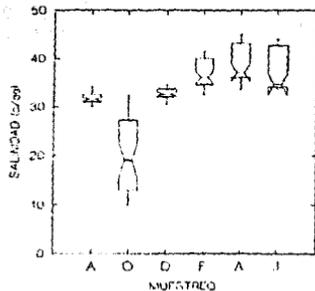
máximo en el mes de abril (figura 3). Los promedios aumentaron en Chacahua, hasta alcanzar de 40 a 43 ‰, mientras que en La Pastoria la salinidad media fluctuó de 34 a 36‰.

**Tabla 3. Análisis de varianza de la salinidad, durante el muestreo de octubre.**

Factor analizado	Niveles encontrados
Laguna	1 = Chacahua      2 = Pastoria
Profundidad relativa	1 = superficie      2 = fondo
Número de datos: 40	r mult: 0.749    r <sup>2</sup> mult: 0.561

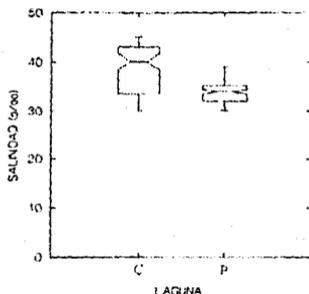
Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	6.338	1	6.338	0.238	0.628
Profundidad relativa	1210.504	1	1210.504	45.526	0.000
Laguna*Profundidad relativa	80.504	1	80.504	3.028	0.090
error	957.208	36	26.589		

**Figura 3. Variación estacional de la salinidad en el sistema Chacahua-Pastoria**



La salinidad en la laguna Chacahua fue evidentemente mayor que la de la laguna la Pastoría durante todo el estudio, excepto durante la campaña de muestreo de octubre (figura 4). En esa época ambas lagunas tuvieron salinidades similares, pero destacó la formación de un estrato de agua de salinidad reducida en la superficie con 14 ‰ en promedio, mientras que en el fondo se observó una capa de salinidad media igual a 25 ‰ (figura 5). En esta campaña se detectaron un valor extraordinario moderado y dos severos para las muestras de superficie en las estaciones 1, 20 y 21 (cercanas al mar) respectivamente, mientras que para las muestras de fondo se hallaron tres posibles datos extraordinarios en las estaciones 15, 16 y 17 (cercanas a la desembocadura del río Chacalapa).

Figura 4. Salinidad de las lagunas Chacahua y Pastoría, excluyendo el muestreo de octubre



#### Profundidad

Esta variable se distribuyó en forma aproximadamente normal, aunque hubieron de considerarse por separado los valores determinados en la estación 2, ya que siempre aparecieron como casos aberrantes de profundidad. El análisis de varianza mostró diferencias significativas en la profundidad entre las lagunas estudiadas, no así entre las diferentes campañas de muestreo (tabla 4).

Se observó un promedio de profundidad de 2.6 m en la laguna La Pastoría con una observación extraordinaria en la estación 20 durante la campaña de agosto y otra en la estación 21 durante el muestreo de

abril. La laguna Chacahua fue la más somera, ya que en promedio su profundidad fue 1.5 m, pero en la estación 2 se registraron profundidades de 6 a 7.2 m, que fueron las mayores de todo el sistema lagunar (figura 6).

Figura 5. Salinidad en diferente profundidad de muestreo, en la campaña de octubre

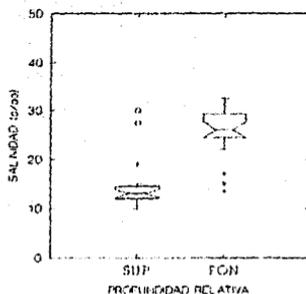
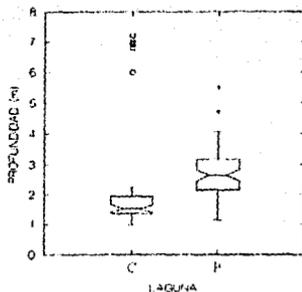


Tabla 4. Análisis de varianza de la profundidad real.

Factor	Niveles encontrados
Laguna	1 = Chacahua 2 = Pastoria
Muestreo	1 2 3 4 5 6
Número de datos	114
	$r$ mult. 0.679 $r^2$ mult. 0.461

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	32 731	1	32 731	76 490	0.000
Muestreo	1 394	5	0.279	0.652	0.661
Laguna*Muestreo	2 129	5	0.426	0.995	0.425
Error	43 647	162	0.428		

Figura 6. Profundidad de las lagunas Chacahua y Pastoría



#### Transparencia del agua.

El análisis exploratorio de las mediciones hechas con el disco de Secchi mostró una distribución asimétrica. El logaritmo natural de las mediciones de transparencia fue, en este caso, una reexpresión de la variable original que se ajustó mejor a una distribución normal. El análisis de variación de los datos transformados reveló que hubo diferencias significativas debidas a la laguna, a la campaña de muestreo y a la interacción de ambos factores (tabla 5).

En general, se observó que las aguas de la laguna La Pastoría fueron más transparentes que las de la laguna Chacahua. El valor medio de la transparencia en La Pastoría fue de 1.2 m, mientras que en Chacahua fue de 0.7 m. Se observó un valor extraordinario en la estación 21 durante el mes de abril (figura 7).

En conjunto, la transparencia media aumentó en el sistema a partir del muestreo de agosto hasta alcanzar un máximo en la campaña de diciembre, con 1.0 m en Chacahua y 1.9 m en La Pastoría. Luego hubo un descenso general hasta llegar a valores similares a los iniciales del ciclo observado. Los posibles datos extraordinarios se observaron sólo en los muestreos de octubre y abril (figura 8).

**Tabla 5. Análisis de varianza de los valores logarítmicos de la transparencia del agua, determinada con el disco de Secchi.**

Factor analizado	Niveles encontrados:
Laguna	1 = Chacahua      2 = Pastoria
Muestreo	1   2   3   4   5   6
Profundidad relativa	1 = superficie      2 = fondo
Número de datos: 120	$r$ mult: 0.700 $r^2$ mult: 0.489

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	7.662	1	7.662	45.979	0.000
Muestreo	7.103	5	1.421	8.525	0.000
Laguna*Muestreo	2.625	5	0.525	3.150	0.011
Error	17.997	108	0.167		

**Figura 7. Transparencia del agua de las lagunas Chacahua y Pastoria**

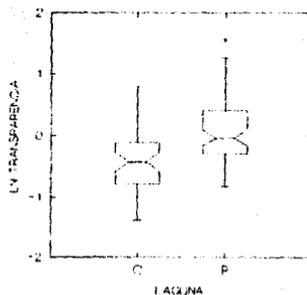
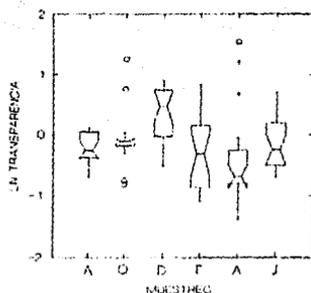


Figura 8. Variación estacional de la transparencia en el sistema lagunar Chacahua-Pastoria



#### Temperatura del agua.

La distribución de temperaturas fue aproximadamente normal y el análisis de varianza detectó diferencias significativas entre lagunas, campañas de muestreo y la interacción de estos factores. La profundidad relativa a la que se hizo la toma tuvo alguna influencia en la temperatura de ésta, pero no se consideró significativa (tabla 6).

La temperatura del agua lagunar nunca fue menor de 25°C ni mayor de 35°C durante todo el periodo estudiado. Dentro de este estrecho rango de valores cualquier variación de 1 ó 2°C fue lo suficientemente grande como para marcar diferencias. De esta manera, se puede señalar que la laguna Chacahua tuvo aguas más calientes que las de La Pastoria.

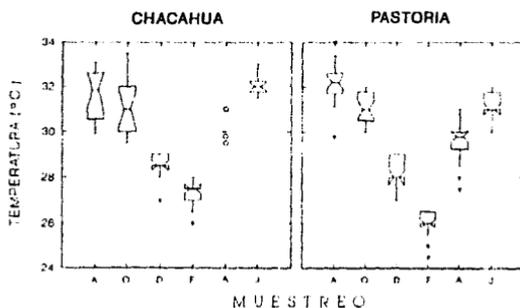
Sin embargo, ambas lagunas se comportaron de una forma similar a través de los muestreos. Inicialmente hubo temperaturas alrededor de 32°C durante el muestreo de agosto, las cuales fueron bajando paulatinamente hasta llegar a los valores mínimos alrededor de 27°C registrados en la campaña de febrero. Finalmente, las temperaturas volvieron a incrementarse gradualmente, llegando en la última campaña a alcanzar valores similares a los del primer muestreo (figura 9).

Tabla 6. Análisis de varianza de la temperatura del agua.

Factor analizado	Niveles encontrados:
Laguna	1 = Chacahua      2 = Pastoria
Muestreo	1   2   3   4   5   6
Profundidad relativa	1 = superficie      2 = fondo
Número de datos: 240	r mult: 0.940   r <sup>2</sup> mult: 0.883

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	9.785	1	9.785	17.771	0.000
Muestreo	799.938	5	159.988	290.582	0.000
Profundidad relativa	2.033	1	2.033	3.692	0.056
Laguna*Muestreo	19.257	5	3.851	6.995	0.000
Laguna*Profundidad relativa	0.270	1	0.270	0.489	0.485
Muestreo*Profundidad relativa	1.144	5	0.229	0.416	0.838
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	1.858	5	0.372	0.675	0.643
error	118.925	216	0.551		

Figura 9. Variación estacional de la temperatura del agua de las lagunas Chacahua y Pastoria



Oxígeno disuelto.

El análisis exploratorio de esta variable reveló una distribución aproximadamente normal. En el análisis de varianza se hallaron diferencias significativas en la concentración de oxígeno debidas a la laguna, al muestreo, a la profundidad de donde se tomó la muestra y a la interacción de laguna y muestreo (tabla 7).

En conjunto, las concentraciones de oxígeno en las aguas de la laguna Chacahua fueron menores que las que hubo en las aguas de La Pastoria, hallándose en particular promedios de 5.4 y 6.7 mg/l, respectivamente. Se observaron valores extraordinariamente bajos en esta última laguna, casi todos provenientes de muestras de fondo y frecuentemente de la estación 10 (figura 10).

**Tabla 7. Análisis de varianza del oxígeno disuelto.**

Factor analizado	Niveles encontrados:
Laguna	1 = Chacahua    2 = Pastoria
Muestreo	1   2   3   4   5   6
Profundidad relativa	1 = superficie    2 = fondo
Número de datos: 231	9 casos eliminados debido a datos perdidos
	r mult: 0.620    r <sup>2</sup> mult: 0.385

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	85.446	1	85.446	29.923	0.000
Muestreo	104.784	5	20.957	7.339	0.000
Profundidad relativa	24.800	1	24.800	8.685	0.004
Laguna*Muestreo	144.861	5	28.972	10.146	0.000
Laguna*Profundidad relativa	0.771	1	0.771	0.270	0.604
Muestreo*Profundidad relativa	8.314	5	1.663	0.582	0.714
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	7.652	5	1.530	0.536	0.749
Error	591.089	207	2.856		

Figura 10. Concentración del oxígeno disuelto en las lagunas Chacahua y Pastoria

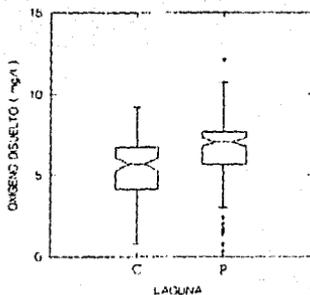
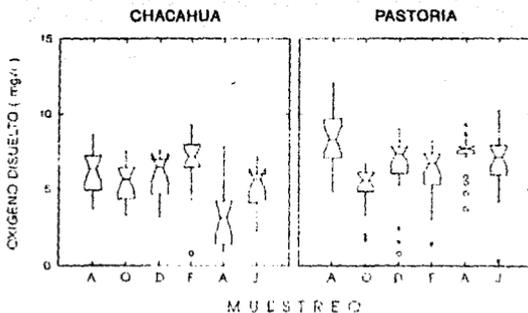


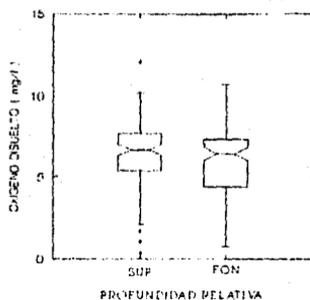
Figura 11. Variación estacional de oxígeno disuelto en las lagunas Chacahua y Pastoria



La variación estacional no tuvo un patrón claro. En Chacahua el máximo valor medio por muestreo de la variable (6.8 mg/l) ocurrió durante el mes de febrero para disminuir abruptamente en la siguiente campaña de muestreo (3.2 mg/l), en abril. En La Pastoría el promedio mayor de oxígeno disuelto se observó en el muestreo de agosto (8.2 mg/l), disminuyendo rápidamente en la campaña de octubre (5.2 mg/l), donde se observó la tendencia central de menor cuantía (figura 11)

Las concentraciones medias de oxígeno en el agua de las muestras obtenidas en la capa superficial de las lagunas fueron estadísticamente mayores que las de las muestras de fondo. El promedio en el nivel superficial del sistema fue de 6.5 mg/l, mientras que en el fondo fue de 5.9 mg/l. Algunos valores extraordinarios bajos se localizaron en superficie y correspondieron a la estación 10 (figura 12).

**Figura 12. Oxígeno disuelto en las muestras de superficie y fondo en el sistema lagunar**



#### Nutrientes inorgánicos.

Los valores originales de las concentraciones de fosfatos, nitratos y nitritos disueltos tuvieron una distribución asimétrica, con variabilidad cambiante para algunos niveles de los factores analizados. El análisis exploratorio preliminar reveló que una transformación simple con logaritmo natural aproximaba la distribución de los valores reexpresados a una normal, con estabilización de la varianza y la subsecuente desaparición de posibles casos extraordinarios.

Fosfato soluble.

El análisis de los datos reexpresados de fosfato disuelto, medido originalmente en  $\mu\text{g-at P-PO}_4^3/\text{l}$ , mostró diferencias significativas entre lagunas y entre campañas de muestreo, así como por la interacción de estos factores entre sí y de cada uno de ellos con la profundidad relativa a la que se tomó la muestra (tabla 8).

**Tabla 8. Análisis de varianza de los valores logarítmicos de la concentración de fosfatos solubles.**

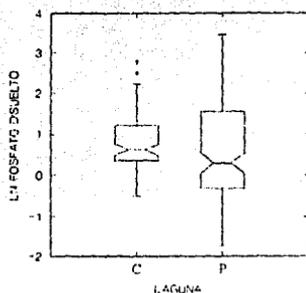
Factor analizado	Niveles encontrados:
Laguna	1 = Chacahua      2 = Pastoria
Muestreo	1    2    3    4    5    6
Profundidad relativa	1 = superficie      2 = fondo
Número de datos: 239	1 caso eliminado debido a un dato perdido
	r mult: 0.833    r <sup>2</sup> mult: 0.694

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	4.888	1	4.888	17.272	0.000
Muestreo	102.152	5	20.430	72.198	0.000
Profundidad relativa	0.531	1	0.531	1.876	0.172
Laguna*Muestreo	10.185	5	2.037	7.198	0.000
Laguna*Profundidad relativa	1.330	1	1.330	4.699	0.031
Muestreo*Profundidad relativa	6.361	5	1.272	4.496	0.001
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	1.046	5	0.209	0.739	0.595
Error	60.840	215	0.283		

La laguna Chacahua tuvo en promedio 2.9  $\mu\text{g-at P-PO}_4^3/\text{l}$  y La Pastoria 2.8  $\mu\text{g-at P-PO}_4^3/\text{l}$ , pero estas medidas fueron fuertemente afectadas por datos extraordinarios. En este caso la tendencia central estuvo mejor representada por la mediana, que en Chacahua fue 1.9  $\mu\text{g-at P-PO}_4^3/\text{l}$  y en La Pastoria 1.3  $\mu\text{g-at P-PO}_4^3/\text{l}$  (figura 13).

A través de los muestreos ambas lagunas mostraron variaciones similares, ya que al inicio del ciclo estudiado hubo concentraciones medias de 6.9 y 6.3  $\mu\text{g-at P-PO}_4^3/\text{l}$  en Chacahua y La Pastoria, respectivamente,

Figura 13. Fosfato disuelto en las lagunas Chacahua y Pastoria



que fueron las mayores observadas, las cuales fueron disminuyendo progresivamente hasta llegar a un promedio mínimo en la laguna Chacahua de  $1.1 \mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$ , el cual ocurrió en el muestreo de diciembre, mientras que para La Pastoria el promedio menor se presentó en febrero con  $0.9 \mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$ . En las últimas campañas de muestreo el nutriente aumentó ligeramente en ambas lagunas (figura 14).

En Chacahua en general la concentración media de fosfato en las muestras de fondo fué mayor, aunque esa situación se invirtió claramente durante el muestreo de octubre. Sin considerar ese muestreo, los valores promedio para superficie y fondo fueron respectivamente  $2.6$  y  $2.7 \mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$ , aunque nuevamente cabe señalar la influencia de los valores extraordinarios sobre estas medidas estadísticas. Las medianas fueron consideradas estadísticos descriptivos más representativos de la tendencia central de las concentraciones de fosfatos en esta situación, siendo respectivamente  $1.5$  y  $2.0 \mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$  en muestras de superficie y fondo. En octubre, el promedio de fosfato en superficie fue  $5.5 \mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$  y en fondo  $2.1 \mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$  (figura 15). En La Pastoria las concentraciones del nutriente fueron  $2.3$  y  $3.2 \mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$  en superficie y fondo, respectivamente, mientras que las medianas fueron  $1.2$  y  $1.5 \mu\text{g-at P-PO}_4/\text{l}$ , en el mismo orden. Estos datos muestran que, en esta laguna, la concentración de fosfatos es mayor en las muestras de fondo (figura 16).

Figura 14. Variación estacional del fosfato disuelto en las lagunas Chacahua y Pastoría

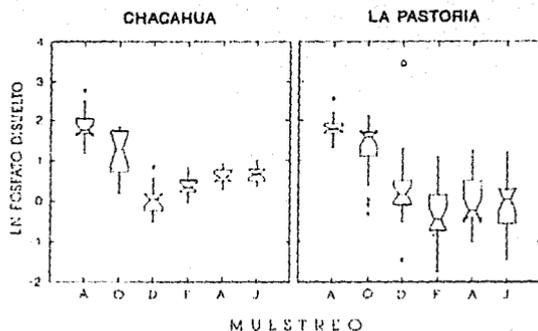


Figura 15. Fosfato disuelto en muestras de superficie y fondo en la laguna Chacahua

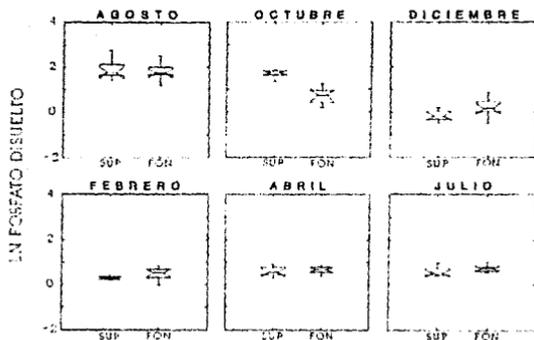
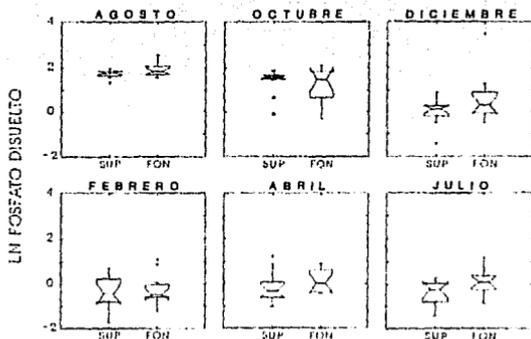


Figura 16. Fosfato disuelto en muestras de superficie y fondo en la laguna Pastoría



#### Nitratos.

La concentración de nitratos en el agua del sistema lagunar, medida en  $\mu\text{g-at N-NO}_3/\text{l}$ , sólo fue determinada en los tres últimos muestreos. El análisis de estos datos, reexpresados, muestra diferencias significativas atribuibles a las lagunas y a las diferentes campañas de muestreo. Aunque la profundidad relativa a la que se tomaron las muestras parece influir en las concentraciones de nitrato, no se consideró aquella como un factor altamente significativo (tabla 9)

En conjunto, la laguna de La Pastoría presentó las mayores concentraciones del nutriente. En este cuerpo acuático se calculó una media aritmética y una mediana de 1.5 y 1.3  $\mu\text{g-at N-NO}_3/\text{l}$ , respectivamente, mientras que en Chacahua estas medidas fueron 1.4 y 0.9  $\mu\text{g-at N-NO}_3/\text{l}$ , en el mismo orden. Se observaron valores extraordinarios que ocurrieron durante el muestreo de julio en algunas estaciones de la laguna Chacahua (figura 17).

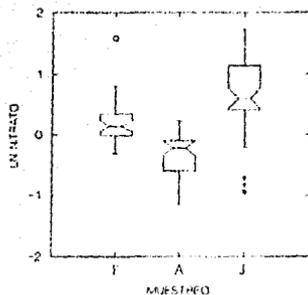
En las campañas de muestreo consideradas se observó un mínimo de 0.8  $\mu\text{g-at N-NO}_3/\text{l}$  en la concentración media de nitrato durante la campaña de abril, seguido de un máximo de 2.3  $\mu\text{g-at N-NO}_3/\text{l}$  que se presentó en el muestreo de julio. En esta última campaña se presentaron valores extraordinarios en tres estaciones de la laguna Chacahua (figura 18)

**Tabla 9. Análisis de varianza de los valores logarítmicos de la concentración de nitratos.**

Factor analizado	Niveles encontrados:	
Laguna	1 = Chacahua	2 = Pastoria
Muestreo	4    5    6	
Profundidad relativa	1 = superficie	2 = fondo
Número de datos: 119	121 casos eliminados debido a datos perdidos	
	$r$ mult: 0.676 $r^2$ mult: 0.457	

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	1.065	1	1.065	4.681	0.033
Muestreo	16.063	2	8.031	35.294	0.000
Profundidad relativa	0.712	1	0.712	3.127	0.080
Laguna*Muestreo	0.442	2	0.221	0.970	0.382
Laguna*Profundidad relativa	0.001	1	0.001	0.006	0.936
Muestreo*Profundidad relativa	0.002	2	0.001	0.004	0.996
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	0.431	2	0.215	0.947	0.391
Error	24.348	107	0.228		

Figura 18. Variación estacional del nitrato en el sistema lagunar Chacahua-Pastoria



### Nitritos.

Los valores transformados de la concentración de nitritos, medida originalmente como  $\mu\text{g-at N-NO}_2/\text{l}$ , mostraron diferencias significativas por el muestreo y por una interacción de muestreo y laguna. La posible influencia en la concentración de nitritos ejercida por la profundidad de donde se extrajo la muestra no fue estadísticamente significativa (tabla 10)

Se pudo observar que, como en el caso del fósforo, en la campaña de agosto se presentaron concentraciones medias relativamente altas de nitrato (0.90  $\mu\text{g-at N-NO}_2/\text{l}$ ), las cuales disminuyeron progresivamente hasta llegar a un promedio mínimo en febrero (0.07  $\mu\text{g-at N-NO}_2/\text{l}$ ), para elevarse ligeramente en los muestreos posteriores (figura 19).

Si bien el patrón estacional en ambas lagunas fue similar, debe hacerse notar que en el muestreo de febrero la laguna Chacahua tuvo concentraciones ínfimas de nitritos en sus aguas en comparación con las de La Pastoria (figura 20)

**Tabla 10. Análisis de varianza de los valores logarítmicos de la concentración de nitritos.**

Factor analizado	Niveles encontrados:
Laguna	1 = Chacahua      2 = Pastoria
Muestreo	1   2   3   4   5   6
Profundidad relativa	1 = superficie      2 = fondo
Número de datos: 185	55 casos eliminados debido a datos perdidos
	r mult: 0.820   r <sup>2</sup> mult: 0.672

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	1.759	1	1.759	2.477	0.117
Muestreo	204.376	5	40.875	57.540	0.000
Profundidad relativa	1.989	1	1.989	2.800	0.096
Laguna*Muestreo	9.886	5	1.977	2.783	0.019
Laguna*Profundidad relativa	0.212	1	0.212	0.299	0.585
Muestreo*Profundidad relativa	2.651	5	0.530	0.746	0.590
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	1.424	5	0.285	0.401	0.848
Error	114.371	161	0.710		

Figura 19. Variación estacional del nitrato en el sistema lagunar Chacahua-Pastoria

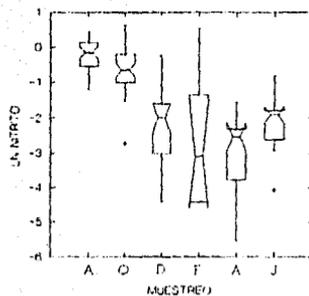
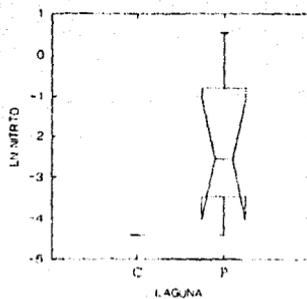


Figura 20. Concentración de nitrato durante el muestreo de febrero en Chacahua y Pastoria



### Análisis cualitativo del fitoplancton.

En general, al examinar tanto las muestras de botella como las de red fitoplanctónica, se reconocieron 113 especies de diatomeas pertenecientes a 44 géneros; 57 especies de dinoflagelados repartidas en 21 géneros; 14 especies de cianofitas ubicadas dentro de 7 géneros; 6 especies de clorofitas provenientes de 4 géneros; 1 especie de silicoflagelado; finalmente, varias diatomeas, dinoflagelados y flagelados no ubicados ni en el nivel genérico (tabla 11).

La longitud de los fitoplanctones estudiados varió de unos 5  $\mu$  a unos pocos cientos de micras. Sin embargo, la mayoría de los organismos hallados en los conteos tuvieron longitudes entre 20 y 60  $\mu$ . Las especies de mayor tamaño se encontraron invariablemente en las muestras colectadas con red.

Frecuentemente la forma de vida fue unicelular en dinoflagelados y diatomeas, pero no fue raro encontrar organismos coloniales, como en las especies del género *Chaetoceros* y otras diatomeas centrales, además de las cianofitas filamentosas.

**Tabla 11. Lista de organismos hallados en el sistema lagunar  
Chacahua-Pastoría, de agosto de 1982 a julio de 1983.**

#### BACILLARIOPHYCEAE

*Achnanthes* sp. 1  
*Achnanthes* sp. 2  
*Actinopteryx splendens* (Shad.) Ralfs.  
*Actinopteryx undulatus* (Bair.) Ralfs.  
*Amphiprora gigantea* (O'M.) Cl.  
*Amphiprora hyalina* Eulenstein ex van Heurck  
*Amphiprora pulchra* Bair  
*Amphiprora* sp. 1  
*Amphiprora* sp. 2  
*Amphiprora* sp. 3  
*Amphora* sp. 1  
*Amphora* sp. 2  
*Amphora* sp. 3  
*Amphora* sp. 4  
*Amphora* sp. 5  
*Amphora* sp. 6  
*Amphora* sp. 7  
*Asterionella japonica* Cl  
*Asteromphalus* sp  
*Bacteriastrium* sp. 1

Tabla 11. Lista de organismos hallados en el sistema lagunar Chacabun-Pastoria,  
de agosto de 1982 a julio de 1983 (continuación)

*Bacteriastrum* sp.  
*Biddulphia alternans* Bail.  
*Biddulphia aurita* (Lyng.) Brch. et God.  
*Biddulphia longicirrus* Grev.  
*Biddulphia mobilensis* Bail.  
*Biddulphia sinensis* Grev.  
*Biddulphia* sp.  
*Campylodiscus* sp.  
*Ceratulina berganti* Perag.  
*Ceratulus* sp. 1  
*Ceratulus* sp. 2  
*Chaetoceros affinis* Laud.  
*Chaetoceros coarctatus* Laud.  
*Chaetoceros diversus* Cl.  
*Chaetoceros peruvianus* Brightw.  
*Chaetoceros socialis* Laud.  
*Chaetoceros* sp.  
*Chlamydomium frauenfeldianum* Grun.  
*Cochrothron criophilum* Castr.  
*Coscinodiscus grami* Gough.  
*Coscinodiscus* sp.  
*Coscinodiscus* sp.  
*Cyclotella* sp.  
*Ditylum brightwellii* (West.) Grun.  
*Grammatophora oceanica* Ehr.  
*Gumardia floccida* (Castr.) Perag.  
*Gyrosigma balticum* (Ehr.) Cl.  
*Gyrosigma wunsbeckii* (Donkai) Cl.  
*Gyrosigma* sp.  
*Hemidius hanckii* Grun.  
*Hemidius sinensis* Grev.  
*Leptocylindrus danicus* Cl.  
*Leptocylindrus* sp.  
*Lacmophora abbreviata* Agardh.  
*Lacmophora* sp.  
*Lithodesmium undulatum* Ehr.  
*Melosira sulcata* (Ehr.) Kutz.  
*Melosira* sp.  
*Navicula* sp. 1  
*Navicula* sp. 2  
*Navicula* sp. 3  
*Navicula* sp. 4  
*Navicula* sp. 5  
*Navicula* sp. 6  
*Navicula* sp. 7  
*Navicula* sp. 8

Tabla 11. Lista de organismos hallados en el sistema lagunar Chacabua-Pastoria,  
de agosto de 1982 a julio de 1983 (continuación)

*Navicula* sp. 9  
*Nitzschia closterium* (Ehr.) W. Smith  
*Nitzschia delicatissima* Cl.  
*Nitzschia longissima* (Breb.) Ralfs.  
*Nitzschia pacifica*  
*Nitzschia paradoxa* (Gmelin) Grun.  
*Nitzschia* sp. 1  
*Nitzschia* sp. 2  
*Nitzschia* sp. 3  
*Nitzschia* sp. 4  
*Nitzschia* sp. 5  
*Nitzschia* sp. 6  
*Nitzschia* sp. 7  
*Pinnularia* sp.  
*Plagiogramma* sp.  
*Planktoniella sol* (Wall) Shutt  
*Pleurosigma angulatum* (Queckett) W. Smith  
*Pleurosigma* sp. 1  
*Pleurosigma* sp. 2  
*Pleurosigma* sp. 3  
*Pleurosigma* sp. 4  
*Pleurosigma* sp. 5  
*Pleurosigma* sp. 6  
*Pleurosigma* sp. 7  
*Pseudocunyota doliohis* (Wallich) Grun.  
*Rhaphoneis surirella* (Ehr.) Grun.  
*Rhizosolenia alata* Brightw.  
*Rhizosolenia calcar-avis* Schultz.  
*Rhizosolenia robusta* Norm.  
*Rhizosolenia setigera* Brightw.  
*Rhizosolenia stofferfothii* Perag.  
*Rhizosolenia styliformis* Brightw.  
*Schöderella delicatula* (Perag.) Pavill.  
*Skeletonema costatum* (Grev.) Cl.  
*Streptotheca tamesis* Shrubsole  
*Surirella fastuosa* (Smith) Cl.  
*Surirella gemma* Ehr.  
*Surirella* sp.  
*Synedra* sp. 1  
*Synedra* sp. 2  
*Synedra* sp. 3  
*Terpsinoe musica* Ehr.  
*Thalassionema nitzschioides* Grun.  
*Thalassiothrix mediterranea* Pavill.  
*Thalassiothrix* sp.

Tabla 11. Lista de organismos hallados en el sistema lagunar Chacabua-Pastorín,  
de agosto de 1982 a julio de 1983 (continuación)

*Triceratium favius* Ehr.  
*Tropidoneis maxima* (Gregory) Cl.  
*Tropidoneis pusilla* (Gregory) Cl.  
 Diatomea pennada 1  
 Diatomea pennada 2  
 Diatomea pennada 3  
 Centrales indeterminadas  
 Pennadas indeterminadas  
 Indeterminadas

#### DINOPHYCEAE

*Amphidinium* sp.  
*Anphisolenia* sp.  
*Ceratocorys armata* (Shutt.) Kof.  
*Ceratocorys gourretii* Pauls.  
*Ceratocorys* sp.  
*Ceratium contrarium* (Gourr.) Schill.  
*Ceratium furca* (Ehr.) Clap y Lachn.  
*Ceratium fusus* (Ehr.) Dujard  
*Ceratium limulus* Gourr.  
*Ceratium massiliense* (Gourr.) Jörg  
*Ceratium pavillardii* Jörg  
*Ceratium pentagonum* Gourr.  
*Ceratium setaceum* Jörg  
*Ceratium teres* Kof.  
*Ceratium tripos* (Mull.) Nitzsche  
*Dimophysis caudata* Kent  
*Dimophysis hastata* Stein  
*Dimophysis schutti* Murr. y Whit.  
*Exoniocella* sp.  
*Glenodinium* sp.  
*Gonyaulax* sp.  
*Gymnodinium* sp.  
*Gyrodinium* sp. 1  
*Gyrodinium* sp. 2  
*Noctiluca miliaris* Surtt.  
*Ornithocercus magnificus* Stein  
*Oxytoxum scolopax* Stein  
*Oxytoxum variabile*  
*Oxytoxum* sp. 1  
*Oxytoxum* sp. 2  
*Oxytoxum* sp. 3  
*Oxytoxum* sp. 4  
*Oxytoxum* sp. 5  
*Pendulum grande* Kof.

Tabla 11. Lista de organismos hallados en el sistema lagunar Chacahua-Pastoría,  
de agosto de 1982 a julio de 1983 (continuación)

*Peridinium oblongum* Cl.  
*Peridinium obtusum*  
*Peridinium pentagonum* Gran. et La.  
*Peridinium* sp. 1  
*Peridinium* sp. 2  
*Peridinium* sp. 3  
*Peridinium* sp. 4  
*Phalacroma doryphorum* St. L.  
*Phalacroma mitra* Schütt  
*Phalacroma* sp.  
*Podolampyx bipes* Steen  
*Podolampyx elegans* Schütt  
*Pronocluca spinifera*  
*Prorocentrum arcuatum*  
*Prorocentrum gibbosum*  
*Prorocentrum nitens* Ehr.  
*Prorocentrum sigmoides*  
*Prorocentrum* sp. 1  
*Prorocentrum* sp. 2  
*Pyrocystis elegans* Pavill.  
*Pyrocystis fusiformis* (Thoms.) Murray  
*Pyrophucus horologicum* Stein  
*Spiraulax* sp.  
 Dinoflagelado pendulido 1  
 Dinoflagelado pendulido 2  
 Dinoflagelado pendulido 3  
 Dinoflagelado pendulido 4  
 Dinoflagelado pendulido 5  
 Dinoflagelado gimnodinido  
 Indeterminados

#### CYANOPHYCEAE

*Anabaena* sp.  
*Lyngbya aestuarii* Liebm. ex Gom.  
*Merismopedia* sp.  
*Nodularia harveyana* (Thwaites) Thuret  
*Oscillatoria acuminata* Gomont  
*Oscillatoria brevis* Kütz. ex Gom.  
*Oscillatoria corallinae* Gomont  
*Oscillatoria margaritifera* Kützang  
*Oscillatoria miniata* Hauck  
*Oscillatoria* sp. 1  
*Oscillatoria* sp. 2  
*Oscillatoria* sp. 3  
*Rhizelia intracellularis* Schmidt

Tabla 11. Lista de organismos hallados en el sistema lagunar Chacahua-Pastoria, de agosto de 1982 a julio de 1983 (continuación)

*Spirulina major* Kütz. ex Gom.  
Cianofita indeterminada

#### CHLOROPHYCEAE

*Clasterium* sp. 1  
*Clasterium* sp. 2  
*Eudorina elegans* Ehr.  
*Pediastrum duplex* Meyen  
*Scenedesmus bicaudatus* (Hansg.) Chod.  
*Scenedesmus* sp.  
Indeterminadas

#### CHRYSOPHYCEAE

*Dictyocha fibula* Ehr.

#### OTROS ORGANISMOS

Flagelados  
Indeterminados

#### Densidad fitoplanctónica.

El análisis exploratorio de los datos de la densidad global de organismos fitoplanctónicos (originalmente en U/l), así como los de la densidad por grupos de organismos, mostró que tenían una distribución asimétrica positiva. También se observó que la variabilidad de los datos cambiaba de acuerdo a los niveles del factor campaña de muestreo. Adicionalmente, la ocurrencia frecuente de posibles valores extraordinarios en todos los muestreos para las dos lagunas hizo necesaria la búsqueda de una transformación de los datos originales. Una reexpresión de la densidad fitoplanctónica que eliminó en gran medida los anteriores inconvenientes para efectuar el análisis de varianza fue el logaritmo de la suma de 1 más la densidad original.

El análisis de varianza de los valores transformados de densidad indicó que hubo diferencias significativas debido a las lagunas, a la profundidad de donde se extrajo la muestra, a la campaña de muestreo y a las interacciones de este último factor con cada uno de los dos primeros (tabla 12)

**Tabla 12. Análisis de varianza de los datos reexpresados de la densidad global del fitoplancton, ln (densidad+1)**

Factor analizado	Niveles encontrados:
Laguna	1 = Chacahua      2 = Pastoria
Muestreo	1   2   3   4   5   6
Profundidad relativa	1 = superficie      2 = fondo
Número de datos: 232	8 casos eliminados debido a datos perdidos
	$r$ mult: 0.665 $r^2$ : 0.443

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	54.856	1	54.856	23.619	0.000
Muestreo	190.901	5	38.180	16.439	0.000
Profundidad relativa	22.720	1	22.720	9.782	0.002
Laguna*Muestreo	61.108	5	12.222	5.262	0.000
Laguna*Profundidad relativa	0.164	1	0.164	0.071	0.791
Muestreo*Profundidad relativa	35.546	5	7.109	3.061	0.011
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	16.183	5	3.237	1.394	0.228
Error	483.093	208	2.323		

Figura 21. Densidad del fitoplancton en las lagunas Chacahua y Pastoria

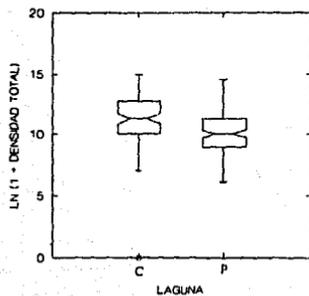
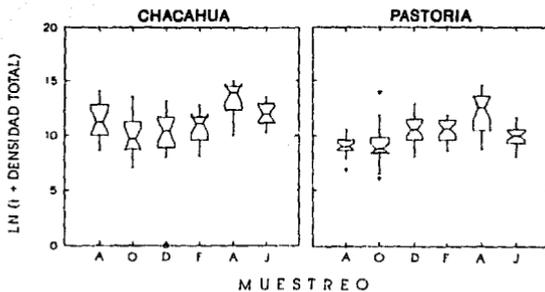


Figura 22. Variación estacional de la densidad de fitoplancton lagunar en Chacahua y Pastoria

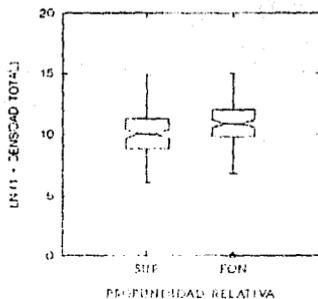


En conjunto, la laguna Chacahua tuvo una mayor densidad de microorganismos vegetales, aunque se observó un caso aberrante en una muestra tomada en el fondo de la estación I durante la campaña correspondiente al mes de diciembre, ya que se registró una densidad cero en la muestra correspondiente a la estación I, en fondo. En esa muestra se observó una gran cantidad de detritus (figura 21)

La variación estacional de la densidad del conjunto de organismos que conformaron el fitoplancton tuvo un patrón parecido en ambas lagunas, observándose el menor promedio en octubre, con  $9.3 \times 10^4$  U/l en Chacahua y  $6.4 \times 10^4$  U/l en La Pastoria, mientras que en la campaña de abril se registraron las mayores densidades medias, siendo en Chacahua  $1.2 \times 10^6$  U/l y en La Pastoria  $4.7 \times 10^5$  U/l (figura 22)

Las muestras de fondo, consideradas conjuntamente, tuvieron densidades mayores que las halladas en las muestras de superficie en el sistema lagunar (figura 23)

Figura 23. Densidad total del fitoplancton en superficie y fondo del sistema lagunar



Al efectuar el análisis de los datos transformados de la densidad calculada para los grupos principales de organismos fitoplanctónicos, se comprobó que las diferencias más importantes se debieron a las lagunas, a las campañas de muestreo y a la interacción de estos factores. En el caso de las diatomeas se encontró adicionalmente que la profundidad a la que se tomó la muestra afectó los valores de su densidad, así como también la interacción de este factor con la campaña de muestreo y la interacción de los tres factores analizados (tablas 13, 14 y 15).

**Tabla 13. Análisis de varianza de la datos reexpresados de la densidad de diatomeas, ln (densidad+1)**

Factor analizado	Niveles encontrados:	
Laguna	1 = Chacahua	2 = Pastoria
Muestreo	1 2 3 4 5 6	
Profundidad relativa	1 = superficie	2 = fondo
Número de datos: 232	8 casos eliminados debido a datos perdidos	
	r mult: 0.686 r <sup>2</sup> mult: 0.471	

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	17.580	1	17.580	5.939	0.016
Muestreo	343.132	5	68.626	23.184	0.000
Profundidad relativa	71.487	1	1.487	24.150	0.000
Laguna*Muestreo	23.408	5	4.682	1.582	0.167
Laguna*Profundidad relativa	1.242	1	1.242	0.420	0.518
Muestreo*Profundidad relativa	46.399	5	9.280	3.135	0.009
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	42.847	5	8.569	2.895	0.015
Error	615.702	208	2.960		

La visualización de los datos reexpresados de las densidades de los grupos principales de fitoplancton reveló que el más importante numéricamente en ambas lagunas fue el de las diatomeas, seguido por los dinoflagelados. Otros grupos no fueron tan numerosos, aunque en conjunto llegaron a superar la densidad de dinoflagelados durante el muestreo de octubre en la laguna La Pastoria. En la laguna Chacahua también se pudo observar que los dinoflagelados tuvieron mayores densidades que el grupo de diatomeas en los muestreos de agosto y de julio, es decir, al principio y al final del ciclo estudiado.

En promedio, la densidad transformada de las diatomeas tuvo un mínimo en el mes de octubre y un máximo en la campaña de abril en ambas lagunas. Los dinoflagelados tuvieron un patrón estacional diferente en las dos lagunas, ya que si bien en ambas se registró un mínimo en la densidad media de estos organismos durante el mes de octubre, el promedio máximo en la laguna Chacahua ocurrió en julio y en La Pastoria en febrero. El conjunto de organismos de otros taxa tuvo dos valores modales de densidad en ambas lagunas, uno en la campaña de octubre y el otro durante la campaña de abril (figuras 24 y 25).

**Tabla 14. Análisis de varianza de los datos reexpresados de la densidad de dinoflagelados, ln (densidad+1)**

Factor analizado	Niveles encontrados:
Laguna	1 = Chacahua      2 = Pastoria
Muestreo	1   2   3   4   5   6
Profundidad relativa	1 = superficie      2 = fondo
Número de datos: 232	8 casos eliminados debido a datos perdidos
	r mult: 0.631   r <sup>2</sup> mult: 0.398

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	75.731	1	75.731	20.012	0.000
Muestreo	303.423	5	60.685	16.036	0.000
Profundidad relativa	11.552	1	11.552	3.053	0.082
Laguna*Muestreo	139.452	5	27.890	7.370	0.000
Laguna*Profundidad relativa	2.805	1	2.805	0.741	0.390
Muestreo*Profundidad relativa	8.411	5	1.682	0.445	0.817
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	2.302	5	0.460	0.122	0.987
Error	787.127	208	3.784		

**Tabla 15. Análisis de varianza de los datos reexpresados de la densidad global de cianofitas, clorofitas y otros taxa menos abundantes,  $\ln(\text{densidad}+1)$**

Factor analizado	Niveles encontrados:
Laguna	1 = Chacahua      2 = Pastoria
Muestreo	1   2   3   4   5   6
Profundidad relativa	1 = superficie      2 = fondo
Número de datos: 232	8 casos eliminados debido a datos perdidos
	$r$ mult 0.599 $r^2$ mult 0.359

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	73.834	1	73.834	8.964	0.003
Muestreo	621.842	5	124.368	15.099	0.000
Profundidad relativa	31.449	1	31.449	3.818	0.052
Laguna*Muestreo	200.021	5	40.004	4.857	0.000
Laguna*Profundidad relativa	6.826	1	6.826	0.829	0.364
Muestreo*Profundidad relativa	18.805	5	3.761	0.457	0.808
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	23.155	5	4.631	0.562	0.729
Error	1713.318	208	8.237		

Figura 24. Densidad de los grupos del fitoplancton en la laguna Chacahua

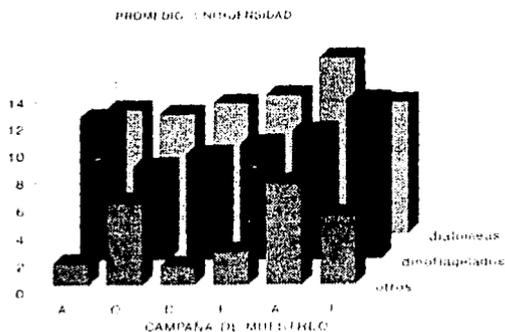
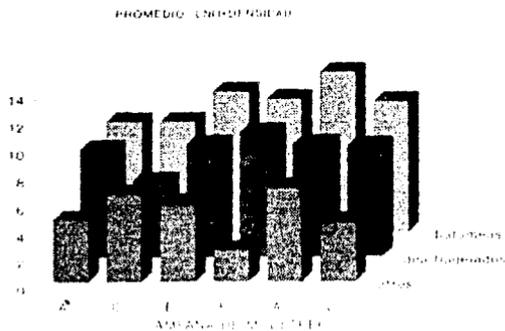


Figura 25. Densidad de los grupos del fitoplancton en la laguna Pastoria



### Diversidad

Los valores del índice de diversidad de Shannon-Weaver calculados para la comunidad fitoplanctónica del sistema lagunar se distribuyeron aproximadamente en forma normal. El análisis estadístico mostró diferencias atribuibles a las lagunas y a los muestreos, aunque su interacción no influyó significativamente en el comportamiento de la variable analizada (tabla 16).

La Pastoría fue la laguna que presentó, en general, los valores más altos del índice de diversidad, promediando 2.5 bits/U, en tanto que en Chacahua el promedio fue 1.9 bits/U (figura 26).

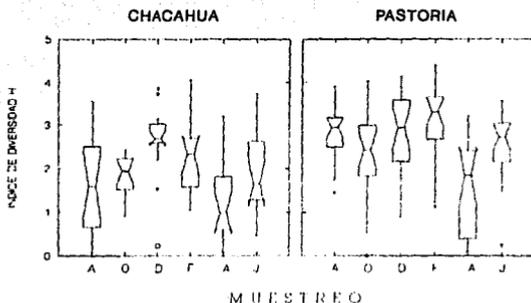
El promedio por muestreo del índice de diversidad en Chacahua alcanzó un máximo de 2.6 bits/U en diciembre y su valor mínimo de 1.3 bits/U en el mes de abril, mientras que en La Pastoría el promedio máximo de 3.0 bits/U ocurrió en febrero para llegar a un mínimo de 1.6 bits/U en la siguiente campaña de muestreo, en julio (figura 27).

**Tabla 16. Análisis de varianza del índice de diversidad fitoplanctónica, H**

Factor analizado	Niveles encontrados:
Laguna	1 = Chacahua      2 = Pastoría
Muestreo	1   2   3   4   5   6
Profundidad relativa	1 = superficie      2 = fondo
Número de datos: 231	9 casos eliminados debido a datos perdidos
	$r_{mult}: 0.544$ $r^2_{mult}: 0.296$

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	19.177	1	19.177	23.127	0.000
Muestreo	38.554	5	7.711	9.299	0.000
Profundidad relativa	0.035	1	0.035	0.042	0.838
Laguna*Muestreo	7.509	5	1.502	1.811	0.112
Laguna*Profundidad relativa	0.010	1	0.010	0.012	0.911
Muestreo*Profundidad relativa	1.823	5	0.365	0.440	0.820
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	1.364	5	0.273	0.329	0.895
Error	171.652	207	0.829		

Figura 27. Variación estacional de la diversidad del fitoplancton en el sistema lagunar



#### Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a*, originalmente expresada en  $\mu\text{g/l}$ , se determinó únicamente en los cuatro últimos muestreos. El análisis preliminar mostró falta de simetría en la distribución de los datos, así como cambios en la variabilidad con los diferentes muestreos. La reexpresión de los datos como el logaritmo natural de la suma de 1 más la concentración de clorofila *a* permitió efectuar el análisis de varianza, ya que los valores transformados se ajustaron mejor que los originales a los supuestos necesarios para efectuar el procedimiento estadístico de inferencia.

El análisis de varianza mostró que existieron diferencias en los valores reexpresados de la concentración de clorofila *a* debidas a las lagunas, a las campañas de muestreo y a la interacción de estos factores (tabla 17).

Debido a la influencia sobre el promedio aritmético de un valor extraordinario observado en la estación 8 en Chacahua ( $151.49 \mu\text{g/l}$ ) y de otro en la estación 11 en La Pastoria ( $192.86 \mu\text{g/l}$ ), ambos detectados en la campaña de abril, la mediana de los datos de la concentración de clorofila *a* se consideró como la medida descriptiva más representativa de estos. Así, la laguna con mayor tendencia central fue Chacahua con  $8.16 \mu\text{g/l}$ , mientras que La Pastoria tuvo  $4.21 \mu\text{g/l}$  del pigmento fotosintético (figura 28).

**Tabla 17. Análisis de varianza de los datos reexpresados de clorofila *a*, ln (1+clorofila *a*)**

Factor analizado	Niveles encontrados
Laguna	1 = Chacahua      2 = Pastoria
Muestreo	3    4    5    6
Profundidad relativa	1 = superficie    2 = fondo
Número de datos: 156	84 casos eliminados debido a datos perdidos
	r mult: 0.592    r <sup>2</sup> mult: 0.351

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Razón F	Probabilidad
Laguna	12.398	1	12.398	17.347	0.000
Muestreo	17.974	3	5.991	8.383	0.000
Profundidad relativa	0.792	1	0.792	1.108	0.294
Laguna*Muestreo	25.579	3	8.526	11.930	0.000
Laguna*Profundidad relativa	0.541	1	0.541	0.757	0.386
Muestreo*Profundidad relativa	0.405	3	0.135	0.189	0.904
Laguna*Muestreo*Profundidad relativa	1.704	3	0.568	0.795	0.499
Error	100.055	140	0.715		

Esta variable mostró diferentes patrones de variación en las lagunas a través de los muestreos. En Chacahua la tendencia central menor ocurrió en diciembre y la mayor en febrero, con valores de 2.44 y 22.66  $\mu\text{g/l}$ , respectivamente, disminuyendo en las dos últimas campañas de muestreo. En La Pastoria la tendencia central disminuyó de diciembre hasta abril, en donde la tendencia central mínima tuvo un valor de 2.30  $\mu\text{g/l}$  de clorofila *a*, contrastando este dato con el de julio, donde se calculó una mediana de 7.02  $\mu\text{g/l}$  del pigmento, que fue el máximo central en esta laguna (figura 29).

Figura 28. Concentración de clorofila a en las lagunas Chacahua y Pastoria

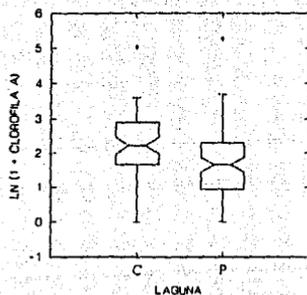
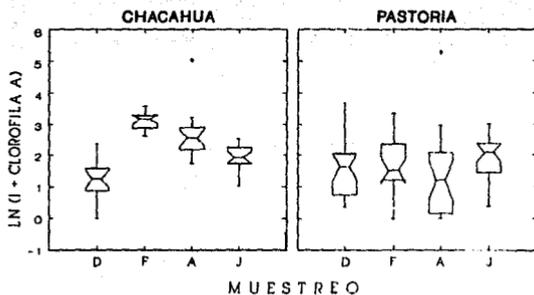


Figura 29. Variación de la concentración de la clorofila a en las lagunas Chacahua y Pastoria



### Distribución de las especies del fitoplancton más importantes.

Al principio del periodo de estudio, en Chacahua se presentó una dominancia numérica de dinoflagelados, debida fundamentalmente al proroocéntrido *Prorocentrum* sp. 1. Este fue el organismo predominante en casi todas las localidades, excepto en la boca lagunar, donde se presentaron densidades altas de *Gonyaulax* sp., en la estación 5 en cuyo fondo predominaron las diatomeas y en el fondo de la estación 2, donde dominó la diatomea *Navicula* sp. 5 y no se hallaron dinoflagelados.

En Pastoría también se distribuyó ampliamente *Prorocentrum* sp. 1, pero sólo en la capa superficial, ya que diversas especies de *Navicula* fueron dominantes en el estrato de fondo. Pero localmente hubo organismos que fueron igualmente importantes. En la zona más occidental (estación 10) de la laguna dominó la diatomea *Nitzschia closterium*, siguiéndole en importancia el dinoflagelado *Pyrophacus horologicum* y en la zona más oriental (estación 21) *Chaetoceros affinis* tuvo densidades significativas.

En la campaña de octubre Chacahua fue particularmente heterogénea. En la zona más cercana a la boca y hacia el centro de la laguna (estaciones 1, 2 y 4), en la capa más superficial, el organismo más frecuente fue el dinoflagelado *Glenodinium* sp., mientras que en el resto de las estaciones la especie dominante en el mismo nivel de agua fue el diásmido *Closterium* sp. 1. En el estrato de fondo dominaron diatomeas del género *Navicula*, en particular *Navicula* sp. 6, y localmente *Nitzschia closterium* en las estaciones 2, 3 y 8 y *Prorocentrum* sp. 1 en las estaciones 6 y 7.

Pastoría fue aún más heterogénea. En las estaciones 10, 11, 12 y 13 diversas especies dominaron en el fitoplancton de la capa superficial, como *Nitzschia closterium*, *Closterium* sp. 1 y la cianofita *Anabaena* sp.. En las muestras de fondo de esas localidades fueron importantes *Nitzschia* sp. 1, *Navicula* sp. 6 y el organismo 2 (*Cryptomonas* sp.?) En las estaciones 14, 15 y 16 los dinoflagelados fueron preponderantes en superficie, en particular *Prorocentrum* sp. 1, aunque también *Ocyropsis* sp. 5 y *Glenodinium* sp. lo fueron en la estación 14. En el fondo de la estación 15 fue *Navicula* sp. 6 la especie más importante, mientras que en la estación 16 se hallaron grandes cantidades de diatomeas cuyo tamaño reducido no permitió identificarlas positivamente. En el resto de las estaciones predominaron en general las diatomeas del género *Navicula*, tanto en superficie como en fondo, con excepción de la estación 17, donde el dinoflagelado *Peridinium obtusum* fue relativamente importante, y de la estación 20, donde también se encontró con frecuencia a *Closterium* sp. 1. *Nitzschia closterium* dominó aisladamente en la estación 21.

En diciembre, las diatomeas pennales fueron dominantes en Chacahua, tanto en superficie como en fondo. Las especies más abundantes fueron *Navicula* sp. 6, *Nitzschia closterium* y una pequeña diatomea pennal no

identificada ni en el nivel genérico. También se encontró al dinoflagelado *Prorocentrum* sp. 1 en las estaciones 5 y 8 representado con relativa importancia.

En la laguna Pastoria se encontraron ampliamente distribuidas diatomeas de las especies *Skeletonema costatum* y *Chaetoceros affinis*, las cuales fueron dominantes tanto en superficie como en fondo. *Nitzschia closterium* fue frecuente en las estaciones más cercanas al canal del Corral (10, 11 y 12) junto con la diatomea *Gyrosigma balticum*. Curiosamente, ambas especies también fueron las más abundantes en el nivel superficial de la estación 20, de manera aislada. *Prorocentrum* sp. 1 fue relativamente frecuente en las estaciones 16, 18 y 19.

En el cuarto muestreo, en febrero, se observó en Chacabua que *Nitzschia closterium* fue la especie mejor representada, dominando en la mayoría de las localidades de muestreo, en ambos estratos. Otra especie de diatomea bien representada fue *Pleurosigma* sp. 1, aunque en un menor número. *Prorocentrum* sp. 1 fue el organismo más frecuente en el nivel superficial de las estaciones 3, 6 y 8.

Pastoria se mostró nuevamente muy heterogénea. Una de las especies más abundantes fue *Glennodinium* sp., la cual tuvo sus mayores densidades en la capa superficial de agua en las estaciones 11, 12, 14, 15 y 20, aunque también ocurrió con abundancia en el fondo de las estaciones 11 y 13. *Nitzschia closterium* fue más frecuente en la estación 10, en ambos niveles de profundidad, pero también en el fondo de la estación 19. *Navicula* sp. 2 se presentó con frecuencias importantes en muestras del estrato profundo. Las diatomeas centrales coloniales (*Skeletonema costatum*, *Chaetoceros affinis* y *Leptocylindrus danicus*) fueron numéricamente importantes en las estaciones 13 a la 21, con algunas excepciones. En las estaciones 17 y 19, en la capa superficial, fue el dinoflagelado *Exuviaella* sp. el organismo fitoplanctónico que se presentó con mayor frecuencia. En la estación 18, también en superficie, la especie más abundante fue *Prorocentrum* sp. 1.

El gran crecimiento de la densidad fitoplanctónica observado en ambas lagunas durante el muestreo de abril, se debió fundamentalmente al incremento notable en el número de individuos de especies de diatomeas de tamaño pequeño, de entre las cuales se destacó *Nitzschia closterium*. Esta especie fue ampliamente dominante en la mayoría de las localidades muestreadas en el sistema lagunar, en los dos niveles de profundidad. Margalef (1969) menciona que las densidades muy altas del fitoplancton se deben a poblaciones en las que una gran proporción de los elementos son de muy pequeñas dimensiones. En Chacabua fue codominante la diatomea *Nitzschia* sp. 7. En Pastoria, en las estaciones 13 a la 16, otras especies de los géneros *Nitzschia* y *Navicula* fueron muy abundantes. Los dinoflagelados fueron hallados esporádicamente, aunque un gimnodinido cuya especie no pudo determinarse fue dominante en la estación 1 en Chacabua, y *Prorocentrum* sp. 1 dominó en el fitoplancton de la estación 10, en Pastoria.

En julio, durante el último muestreo, se observó un amplio dominio de los dinoflagelados en el plancton vegetal de la laguna Chacahua. La especie con mayor densidad en la mayoría de las estaciones fue *Prorocentrum* sp. 1, siendo también frecuente *Peridinium* sp. 2, en los dos niveles de profundidad estudiados.

En Pastoria, *Chaetoceras affinis* fue la especie más abundante en el nivel superficial de las estaciones 10, 11, 13 y 17, y en la capa profunda de las estaciones 11, 12, 13 y 14, además de estar presente en otras localidades con abundancias relativamente importantes. Otra diatomea frecuente en esa laguna fue *Nitzschia clasterium*, aunque sólo fue dominante en superficie en la estación 18 y en fondo en la estación 19. El dinoflagelado *Prorocentrum* sp. 1 tuvo densidades relativamente grandes en algunas localidades, pero dominó únicamente en la superficie de la estación 12 y en el fondo de la 10.

#### El Corral.

El Corral fue, desde un inicio, una localidad de naturaleza singular. Ubicada la estación 9 en el Canal del Corral, las mediciones obtenidas ahí tuvieron que separarse del análisis estadístico principal, ya que no podían formar parte arbitraria del conjunto de datos de una u otra laguna. Por lo tanto, después del análisis anterior, se hizo un breve resumen estadístico de los valores originales de algunas de las variables estudiadas, obtenidos en la estación del Corral, calculándose también los estadísticos correspondientes de los datos de las lagunas de Chacahua y La Pastoria con un doble propósito, comparativo e informativo (tabla 18). La observación de los valores resumidos (mas no su análisis estadístico riguroso) reveló dos patrones de comportamiento de las variables en relación al conjunto lagunas Chacahua-Corral-Pastoria. El primero fue que el Canal del Corral representó realmente un punto medio entre las dos lagunas con respecto a algunas variables, como en el caso de la transparencia o de la salinidad. El segundo patron revela al Canal del Corral como un sitio donde otras variables alcanzan sus valores extremos. De acuerdo a esto, se puede constatar que mientras la densidad de organismos fitoplanctónicos y la concentración de clorofila *a* tuvieron sus mayores promedios en El Corral, las concentraciones de oxígeno y fosfatos disueltos, así como también la diversidad del fitoplancton, se redujeron a sus valores medios más pequeños en esta misma estación de muestreo.

**Tabla 18. Algunas medidas estadísticas descriptivas generales de las variables observadas en Chacahua, El Corral y Pastoria**

	TRANSPARENCIA (cm)			TEMPERATURA (°C)		
	Chacahua	Corral	Pastoria	Chacahua	Corral	Pastoria
No. de datos	48	6	72	96	12	144
mínimo	0.25	0.50	0.44	26.0	27.5	24.5
máximo	2.20	1.70	4.70	33.5	33.7	34.0
media aritmética	0.70	1.02	1.23	30.11	30.44	29.70
desviación estándar	0.33	0.54	0.77	1.87	2.19	2.17
sesgo	2.01	0.39	0.21	0.08	0.45	2.06
	SALINIDAD (%)			FOSFATO SOLUBLE ( $\mu\text{g-at PO}_4/\text{l}$ )		
	Chacahua	Corral	Pastoria	Chacahua	Corral	Pastoria
No. de datos	96	12	144	96	12	144
mínimo	10.5	6.0	10.0	0.60	0.79	0.00
máximo	45.0	40.5	39.0	16.02	6.91	31.96
media aritmética	35.38	32.04	31.40	2.86	2.76	2.75
desviación estándar	8.48	9.62	6.28	2.52	1.92	3.46
sesgo	1.35	1.80	2.09	2.48	0.92	4.57
	OXIGENO DISUELT0 (mg/l)			CLOROFILA <i>a</i> ( $\mu\text{g/l}$ )		
	Chacahua	Corral	Pastoria	Chacahua	Corral	Pastoria
No. de datos	95	12	136	64	8	92
mínimo	0.79	0.00	0.33	0.00	2.94	0.00
máximo	9.25	8.34	12.09	151.49	148.17	192.86
media aritmética	5.42	3.34	6.72	12.96	26.64	8.13
desviación estándar	1.94	2.50	1.95	19.55	49.39	20.56
sesgo	0.50	0.54	0.79	2.22	5.70	8.05
	DENSIDAD FITOPLANCTONICA ( $\mu\text{l}$ )			DIVERSIDAD H		
	Chacahua	Corral	Pastoria	Chacahua	Corral	Pastoria
No. de datos	94	11	138	93	11	138
mínimo	0	4825	443	0.09	0.01	0.00
máximo	3159695	6492627	2053486	4.06	3.53	4.40
media aritmética	328847	1079354	115495	1.93	2.06	2.53
desviación estándar	609721	2367173	288909	0.95	1.17	1.02
sesgo	2.89	1.71	0.69	0.80	4.407	0.01

**Tabla 18. Algunas medidas estadísticas descriptivas generales de las variables observadas en Chacahua, El Corral y Pastoría (continuación)**

	NITRATO ( $\mu\text{g-at NO}_3/\text{l}$ )			NITRITO ( $\mu\text{g-at NO}_2/\text{l}$ )		
	Chacahua	Corral	Pastoría	Chacahua	Corral	Pastoría
No. de datos	48	6	72	96	12	144
mínimo	0.318	0.510	0.000	0.000	0.000	0.000
máximo	5.616	3.871	4.876	1.889	1.692	1.712
media aritmética	1.383	1.623	1.468	0.324	0.288	0.309
desviación estándar	1.289	1.230	0.884	0.432	0.476	0.387
sesgo	2.229	1.077	1.446	1.621	2.366	1.248
PROFUNDIDAD (m)						
	Chacahua	Corral	Pastoría			
No. de datos	48	6	72			
mínimo	0.980	3.190	1.140			
máximo	7.200	4.000	5.500			
media aritmética	2.204	3.685	2.657			
desviación estándar	1.791	0.315	0.784			
sesgo	2.157	0.4490	.612			

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

### Fenómenos ambientales, morfología y salinidad.

El cierre del canal en la barrera de la laguna Chacahua fue, sin duda, un hecho que influyó definitivamente en la dinámica lagunar. Como ya se ha mencionado, la apertura y cierre de la boca en Chacahua es un fenómeno que ocurre alternadamente con duración variable. Tendencias cíclicas similares son típicas en muchas de las lagunas costeras mexicanas de la costa del Pacífico (Lankford, 1977). Sin embargo, en la laguna Pastoria no se observó este comportamiento, ya que la comunicación con el mar por medio del canal en el extremo oriental del sistema se mantuvo durante todo el tiempo que duró el estudio.

La temporada de lluvias que se registró alrededor del mes de octubre fue de gran intensidad. Los valores de precipitación anual registrados en la región donde se encuentra el sistema lagunar fluctúan dentro de los 2719 a 3737 mm (Conteras, 1985). En la época de mayor precipitación pluvial, la cantidad de agua que entró en las lagunas alteró temporalmente, pero en forma pronunciada, la hidrología y la biología de las lagunas.

El comportamiento de la salinidad ilustra convenientemente la influencia de estos fenómenos ambientales. Al comienzo del estudio la salinidad, casi uniforme en el sistema lagunar, estuvo determinada por la constante comunicación con el mar. En la siguiente campaña fue notable el descenso en los valores de esta variable, indudablemente a causa de la entrada de agua dulce al sistema proveniente de las intensas precipitaciones ocurridas entonces. De hecho, se observó una estratificación de las aguas lagunares, con una capa de agua de baja salinidad sobre una capa de agua con salinidad mayor. Una vez que pasó la temporada de lluvias, el sistema volvió a tener los niveles de salinidad iniciales, sin estratificación, pues la comunicación con el mar todavía existía en ambas lagunas. Pero cuando se cerró totalmente la entrada en la barrera de Chacahua, la falta de intercambio de agua con el mar, la ausencia de aportes de aguas continentales importantes y la evaporación se conjugaron para que la salinidad alcanzara 40‰ en esa laguna. La comunicación constante con el mar de la laguna Pastoria impidió un aumento en la salinidad similar al observado en Chacahua. Al conservarse las condiciones de aislamiento en esta última laguna, la salinidad aumentó en tal forma que en los últimos muestreos pudo ya considerarse como una laguna hiperhalina, lo que no ocurrió en Pastoria debido al intercambio con las aguas marinas.

Esto muestra la importancia que los fenómenos ambientales citados tienen sobre la dinámica lagunar. Con relación a lo anterior Yáñez-Arancibia (1986) menciona que las condiciones climáticas influyen la hidrografía y, consecuentemente, la química del medio ambiente lagunar-estuarino, pero la respuesta al clima es diferente aún para lagunas tan cercanas entre sí como lo son Chacahua y Pastoria. La morfología de las lagunas y la cantidad de escurrimiento que reciben determinan el tiempo y frecuencia de su comunicación con el mar (Yáñez-Arancibia, 1986). Debe considerarse entonces que la extensión y la profundidad de las lagunas, así como el aporte del Río Chacalapa constituyeron parámetros definitivos en el funcionamiento del sistema lagunar. De acuerdo a Barnes (1980), la característica ambiental más importante de las lagunas costeras, después de la salinidad, es su escasa profundidad, la cual afecta a su vez a muchas otras. Chacahua fue característicamente más somera que La Pastoria. Si se toma en cuenta que la extensión superficial de Chacahua es de 632 Ha, mientras que La Pastoria cubre 2025 Ha (Aritio, 1988), debe considerarse que los procesos de cambio que ocurrieron en ellas debieron efectuarse a velocidades diferentes. Otro punto en el que difirieron las lagunas es en la cantidad de agua dulce que recibieron. Mientras en Chacahua no hubo escurrimientos definidos que llegaran a sus aguas regularmente, el Río Chacalapa desembocó en la parte más septentrional de la laguna Pastoria de una manera regular. Al cierre y apertura de la barrera de Chacahua contribuyeron, fundamentalmente también, los procesos costeros de acarreo y depósito de materiales, los que podrían ser diferentes para las dos lagunas, cualitativa y cuantitativamente. Con relación a este punto hay que observar que la boca de la laguna Pastoria se localiza a un poco más del doble de la distancia que guarda la boca de Chacahua con la desembocadura del Río Verde, el cual es, con mucho, el más importante en toda la región que rodea al sistema lagunar (figura 1).

Aunque la salinidad fue la variable más directamente afectada por los fenómenos ambientales, otras variables fueron influenciadas claramente por éstos.

#### Luz y fitoplancton.

Las mediciones de transparencia, obtenidas con el disco de Secchi, dependen principalmente de las propiedades ópticas del agua y sólo parcialmente de la cantidad de luz (Golterman *et al.*, 1978), ya que tanto la teoría como la observación muestran que tales medidas son en gran parte independientes de la iluminación (Hutchinson, 1975). Sin embargo, bajo condiciones favorables se pueden usar como una medida aproximada de la energía radiante disponible para los organismos fotosintetizadores. De acuerdo a los hallazgos de varios autores, el orden de magnitud de la intensidad de la luz en el límite de visibilidad del disco es alrededor del 15% de la intensidad subsuperficial (Vollenweider, 1969). Para los organismos vegetales del plancton este porcentaje es suficiente para capturar mediante la fotosíntesis mayor cantidad de energía que la consumida en la propia

respiración. El punto donde estos dos procesos metabólicos opuestos tienen la misma magnitud energética se conoce como profundidad de compensación o límite eufótico, y puede verse convenientemente como el nivel donde la luz disponible es 1% de la superficial (Boney, 1975). Recordando que las mediciones de transparencia dependen de varias condiciones que pueden variar ampliamente de estudio a estudio, se ha estimado que el límite eufótico es alrededor de 2½ veces la profundidad a la que se ve el disco de Secchi (Golterman *et al.*, 1978). De acuerdo a esto se pudo observar en ambas lagunas que la profundidad de compensación, estimada mediante las mediciones de transparencia, fue similar a la profundidad total, en promedio. Esto quiere decir que en el sistema lagunar estudiado la cantidad de luz no fue limitante para la existencia de fitoplancton, a pesar de la diferencia real en la transparencia del agua de las dos lagunas.

La variación estacional de la transparencia que se observó en el sistema estuvo relacionada probablemente con la magnitud de la producción fitoplanctónica. Diversos investigadores han discutido la relación de las medidas obtenidas con el disco de Secchi y las mediciones de clorofila (Lorenzen, 1980; Edmonson, 1980), el estado trófico del agua (Megard, 1980) y algunos problemas adicionales que complican el análisis de la relación entre estas variables (Carlson, 1980). En particular, el estudio de los datos de transparencia y las mediciones de clorofila en el sistema lagunar mostró algunas correlaciones de Pearson de magnitud importante, como la observada entre los valores transformados de clorofila *a* y de transparencia durante el muestreo de diciembre en Chacahua (-0.745) y la que existió en Pastoria durante la campaña de julio (-0.612). Sin embargo, en los restantes muestreos, la correlación entre las variables fue más bien baja, no siendo raros los valores con signos opuestos. En resumen, de acuerdo a los antecedentes teóricos podría suponerse la existencia de una relación inversa entre la transparencia del agua y la magnitud de la producción del fitoplancton, pero la naturaleza contradictoria de las observaciones, valorada estadísticamente, impide confirmar tal suposición plenamente. La materia particulada suspendida en la columna de agua debió contribuir en forma sustancial a esta relación inconsistente.

#### Temperatura, oxígeno y fitoplancton

La temperatura está relacionada con la densidad de las masas de agua, la capacidad que tienen éstas para retener oxígeno disuelto y en forma directa con el metabolismo de los organismos fitoplanctónicos y su tolerancia a las condiciones del ambiente.

La densidad del agua, determinada en parte por la temperatura, es importante para los organismos del plancton, ya que uno de los problemas básicos de su forma de vida es el mantenerse a flote a pesar de la persistente tendencia a la sedimentación. La sedimentación de las algas es un importante factor que controla la

producción de materia orgánica y puede ser un factor de importancia en la sucesión estacional del fitoplancton (Walsby y Reynolds, 1980). Esto adquiere particular importancia en el caso de las algas fitoplanctónicas, ya que su existencia está limitada a la capa superior de agua, donde la luz es suficiente para sus procesos fotosintéticos. En condiciones de estabilidad ambiental, la temperatura induce una estratificación de capas de agua de diferente densidad, pero en el sistema estudiado es poco probable que se presentara este fenómeno térmico. Las lagunas costeras Chacahua y Pastoria en particular no son masas de agua estáticas, sino que son afectadas por vientos y olas, por mareas y corrientes que impiden una estratificación térmica al estilo de los cuerpos acuáticos continentales en zonas templadas, debido a la mezcla turbulenta vertical. Sin embargo, no se tuvieron mediciones de esos importantes factores ambientales que sin duda influyeron en la distribución del fitoplancton.

A pesar de que el sistema lagunar costero se encuentra en una de las latitudes más meridionales de nuestro país, la temperatura del agua mostró claros cambios estacionales dentro de un rango relativamente estrecho de valores. Estos cambios parecieron estar relacionados con la concentración del oxígeno disuelto en el agua lagunar, por lo menos parcialmente. En Chacahua, durante los meses más fríos, se observaron las mayores concentraciones del gas, las cuales disminuyeron en los meses siguientes de una manera clara, cuando la temperatura se incrementó. En Pastoria la concentración de oxígeno disuelto pareció estar determinada también por otras variables, como durante el muestreo de agosto en el que los valores de concentración del gas en el agua lagunar fueron los mayores del ciclo observado, a pesar de registrarse altas temperaturas. Ello pudo deberse a la acción de los vientos incidentes en la laguna, a las corrientes inducidas por mareas o a una combinación de estos factores. Otra diferencia notable en el contenido de oxígeno disuelto entre las lagunas se presentó en los muestreos de abril y julio, ya que mientras en Chacahua se observaron los contenidos medios más bajos, en Pastoria hubo cantidades altas del gas disueltas en el agua lagunar. En este caso ya se señaló que la salinidad en Chacahua se vio aumentada notablemente en relación a Pastoria, lo cual disminuyó la solubilidad del oxígeno, aunque se debe hacer notar que Chacahua también tuvo en promedio una mayor temperatura en sus aguas que Pastoria, lo cual incrementó el efecto del aumento en la salinidad. Finalmente, la diferencia observada entre las temperaturas de los cuerpos lagunares se correspondió inversamente con las concentraciones de oxígeno. Considerando que la solubilidad del oxígeno depende tanto de la temperatura como de la salinidad en aguas tranquilas, se calculó el límite teórico de saturación de oxígeno disuelto en mg/l de cada muestra, transformando la información dada por Grasshoff (1972), el cual se comparó con los contenidos reales de oxígeno y se estimó el porcentaje de saturación correspondiente. Un análisis estadístico básico (tabla 19) mostró tendencias interesantes.

**Tabla 19. Resumen estadístico descriptivo de los porcentajes de saturación de oxígeno disuelto**

<b>CHACAHUA</b>						
	<b>AGOSTO</b>		<b>OCTUBRE</b>		<b>DICIEMBRE</b>	
	superficie	fondo	superficie	fondo	superficie	fondo
No. de datos	8	8	8	8	8	7
mínimo	72.63	62.33	56.90	51.97	60.51	49.92
máximo	144.03	134.96	107.30	109.03	119.59	109.73
media aritmética	104.86	99.30	84.65	80.37	95.39	86.69
desviación estándar	27.44	22.36	17.79	22.33	21.1	24.28
sesgo	0.30	-0.27	-0.36	-0.07	-0.43	-0.43
<b>FEBRERO</b>						
	superficie	fondo	superficie	fondo	superficie	fondo
No. de datos	8	8	8	8	8	8
mínimo	80.81	12.25	17.77	16.00	38.24	62.48
máximo	148.71	127.01	129.33	97.33	115.32	122.55
media aritmética	120.27	95.08	66.42	41.03	89.34	87.22
desviación estándar	20.89	38.31	34.89	27.72	24.64	23.13
sesgo	-0.64	-1.41	0.45	1.09	-1.13	0.30

<b>PASTORIA</b>						
	<b>AGOSTO</b>		<b>OCTUBRE</b>		<b>DICIEMBRE</b>	
	superficie	fondo	superficie	fondo	superficie	fondo
No. de datos	10	12	12	7	12	12
mínimo	79.01	86.01	25.26	31.50	37.42	11.73
máximo	197.55	172.51	98.97	98.07	140.31	121.93
media aritmética	138.15	132.72	82.74	68.95	110.05	90.72
desviación estándar	34.18	27.94	19.53	24.49	26.09	36.60
sesgo	-0.15	0.04	-2.29	-0.26	-1.91	-1.35
<b>FEBRERO</b>						
	superficie	fondo	superficie	fondo	superficie	fondo
No. de datos	12	12	12	12	12	11
mínimo	44.18	21.49	76.92	60.76	5.31	69.89
máximo	123.64	110.58	143.79	138.03	169.93	146.65
media aritmética	98.47	88.07	119.34	117.94	109.46	111.69
desviación estándar	21.98	25.64	18.00	21.15	42.07	25.01
sesgo	-1.31	-1.55	-1.33	-1.81	-1.18	-0.47

En primer lugar, la laguna Pastoria tuvo en promedio porcentajes de saturación mayores a los de Chacahua, debido a su mayor grado de exposición a los vientos; como era de esperarse, los porcentajes de saturación fueron mayores en las muestras de superficie en ambas lagunas; se observó que en el muestreo de octubre se incrementó la solubilidad teórica del oxígeno al disminuir la salinidad en el sistema y, por ende, se abatieron los porcentajes de saturación del gas; finalmente, en los dos últimos muestros disminuyeron los porcentajes de saturación de oxígeno en Chacahua, tal vez no como una consecuencia directa del aumento en la salinidad o de la temperatura del agua, sino más bien por el agotamiento del gas por parte de los organismos animales y descomponedores, aunado a una falta de intercambio con la atmósfera y con el mar adyacente. Sin embargo, en general los porcentajes de saturación de oxígeno nunca fueron menores de 50%, en promedio, excepto en Chacahua durante el muestreo de abril, habiendo estado más bien cercanos a 100% y frecuentemente rebasando el límite teórico de saturación. En relación a esto, fue evidente que factores abióticos ambientales como los vientos, corrientes, precipitación pluvial, comunicación con el mar, etc., y otros influenciados por éstos, tales como la salinidad y la temperatura del agua en las lagunas determinaron fundamentalmente los contenidos de oxígeno en ellas, siendo mínima la influencia del fitoplancton. En particular, las correlaciones de los datos de densidad fitoplanctónica y de clorofila *a* con los de oxígeno disuelto y sus porcentajes respectivos de saturación fueron no solamente bajas, sino cercanas a cero. Pudo verse en Chacahua, por muestra, que los menores valores de densidad fitoplanctónica ocurrieron en octubre y los mayores durante el muestreo de abril, pero en ambos muestros los porcentajes de saturación de oxígeno fueron bajos. De hecho, podría haberse esperado que en abril los porcentajes fueran mayores debido a la mayor densidad de algas, pero ocurrió exactamente lo contrario. Este ejemplo, uno de muchos, ilustra la escasa determinación del fitoplancton sobre la concentración de oxígeno en el sistema lagunar.

#### Nutrientes y fitoplancton

El proceso de producción fitoplanctónica requiere fundamentalmente de luz, bióxido de carbono y nutrientes. Los nutrientes son sales inorgánicas, aportadas al sistema por ríos o arroyos y por reciclamiento interno debido a las bacterias que degradan la materia orgánica y la convierten en compuestos inorgánicos reutilizables. Sólo excepcionalmente el carbono inorgánico puede llegar a ser un factor limitante para la fotosíntesis (González, 1988), pero frecuentemente se ha señalado que diversos elementos desempeñan tal papel limitativo. Este es casi siempre el caso para el nitrógeno (sobre todo en el mar) y el fósforo (principalmente en agua dulce) (Terradas, 1982).

El ortofosfato es una forma de fósforo ampliamente utilizada por los organismos, incluyendo al fitoplancton y en aguas naturales es la fuente mayor de este elemento junto con otras formas disueltas, por

ejemplo compuestos orgánicos de fósforo, las que juegan un rol menor (Nalewajko y Lean, 1980). Por otra parte, el decremento temporal de nitrato y el incremento concomitante en la biomasa del fitoplancton, seguido de una declinación en la biomasa fitoplanctónica cuando el nitrato se ha agotado, ha llevado a los observadores a juzgar que la utilización del nitrato domina la nutrición nitrogenada del fitoplancton (McCarthy, 1980). Empero, no debe soslayarse que otras formas de nitrógeno, tales como el nitrito y el amonio inorgánicos, e incluso la urea y algunos aminocompuestos orgánicos también forman una parte no despreciable del abastecimiento del elemento para las algas planctónicas.

En el sistema lagunar estudiado, las variaciones observadas en la concentración de nutrientes estuvieron relacionadas con los factores ambientales ya discutidos anteriormente, con el tamaño de las lagunas y con la actividad metabólica de los organismos pertenecientes a la comunidad fitoplanctónica.

Las mayores concentraciones de fosfatos solubles se determinaron en los primeros dos muestreos, en ambas lagunas. En particular, durante el muestreo de octubre se observó una clara relación inversa entre las concentraciones del nutriente y los valores de salinidad. Los valores más altos de fosfatos estuvieron asociados a la capa superficial de baja salinidad, mientras que en la capa inferior de agua con mayor salinidad hubo registros consistentemente pobres en fosfatos. Como se mencionó con anterioridad, la estratificación salina fue determinada por el ingreso masivo al sistema lagunar de aguas epicontinentales, durante la temporada de lluvias. En consecuencia, una gran cantidad de sales aloctonas disueltas entraron al stock lagunar de nutrientes. En los dos siguientes muestreos hubo una disminución notable de la concentración de fosfatos, sin que se registrara un aumento significativo de la densidad fitoplanctónica. Esto pudo deberse en parte a la deposición de las sales de fósforo en los sedimentos del piso lagunar. De la Lanza (1987) ha señalado la importancia de la fase sedimentaria de los nutrientes en los cuerpos de agua costeros para conocer la capacidad productiva de sus recursos y su posible manejo. Otro factor que influyó en la disminución de fosfatos fue el intercambio con el mar adyacente al sistema. De acuerdo al volumen de agua dulce descargado en la laguna, al régimen de mareas y a la temperatura de las masas de agua adyacentes, es probable que durante el muestreo de octubre se haya establecido un patrón de circulación estuarino en las bocas lagunares, con lo que el agua poco salina de la capa superior (rica en fosfatos) debió de salir del sistema lagunar hacia el mar, entrando una capa de agua marina de mayor salinidad y densidad (pobre en fosfatos) por debajo de la capa anterior hacia la laguna (Groen, 1969). Este tipo de circulación ya no se presentaría posteriormente en la laguna Chacahua debido al cierre de la boca en la barrera. Finalmente, en los dos últimos muestreos la concentración de fosfatos siguió siendo relativamente pequeña y uniforme. Ya se ha señalado que en el muestreo de abril se registró el máximo de la densidad fitoplanctónica en ambas lagunas. Pese a la diferencia en el conteo de organismos con respecto al muestreo de julio, los niveles de fosfatos fueron muy similares en ambos casos. Esto muestra que los fosfatos no se comportaron como limitantes

para el crecimiento de la comunidad de algas planctónicas. También se debe mencionar que las concentraciones de fosfatos fueron en promedio mayores en Chacahua, gracias a un posible efecto de resuspensión del nutriente a partir de los sedimentos. Tal efecto sería de diferente magnitud en cada laguna, debido a la morfometría propia de ésta. Por ejemplo, en la laguna más somera, Chacahua, debe ser más fácil la resuspensión debido a que los sedimentos están más cerca de la superficie, con lo que vientos y corrientes tienen una mayor probabilidad de alterarlos. La factibilidad de ocurrencia de este fenómeno puede ilustrarse al comparar las concentraciones de fosfato disuuelto en muestras superficiales y de fondo exceptuando el muestreo de octubre, ya discutido, cuando existieron diferencias la mayor cantidad proviendo de fosfato siempre se asoció con las muestras de fondo, es decir, aquellas que se tomaron de la capa de agua más cercana al sedimento.

Los nitratos tuvieron un comportamiento estacional similar al de los fosfatos. La correlación de ambas variables fue relativamente alta (0.636). Debe señalarse que en el muestreo de abril, es decir, cuando el fitoplancton alcanzó su máxima densidad, la concentración media del nutriente fue particularmente baja. Durante la campaña de febrero se observó una tendencia hacia una concentración mínima de nitrato en el sistema, pero ello se debió a que en Chacahua ocurrieron valores de nitrato significativamente menores a los de Pastoría. Una explicación plausible a lo anterior, es que en Chacahua hubo localmente condiciones reductoras para este nutriente, debidas al cierre de la boca lagunar y los incrementos de salinidad correspondientes, conjuntamente con la posible utilización del nitrato por parte de los organismos fotosintetizadores y la deposición en sedimentos.

Desafortunadamente, por imponderables metodológicos, sólo se pudieron hacer las determinaciones de nitratos en las tres últimas campañas de muestreo, por lo que fue imposible observar el efecto de la temporada de lluvias y el proceso de cierre en la barrera de Chacahua en las concentraciones de este importante nutriente. Aún así, se pudo observar una menor concentración de nitratos en Chacahua. También se pudo estimar un mínimo global en la concentración de esta sal de nitrógeno durante el muestreo de abril. Este par de hechos tienen importancia significativa: en la comparación de lagunas se debe recordar que Chacahua es la que tuvo una mayor densidad fitoplanctónica; en la comparación de campañas de muestreo, es precisamente durante abril cuando se observaron las máximas densidades de algas en ambas lagunas. Esto significa que existió una relación inversa entre la concentración de nitratos y la densidad del fitoplancton. El valor del coeficiente de correlación para las variables transformadas fue -0.417, valor que, sin ser excepcionalmente significativo, sí resultó ser el mayor que se calculó entre la densidad fitoplanctónica y los diferentes nutrientes cuantificados. Esto no debe ser considerado como algo accidental, ya que diversos investigadores han reconocido en diferentes ecosistemas costeros relaciones similares.

En el sistema Chacahua-Pastoría la concentración de nutrientes en el agua lagunar está regulada tanto por factores ambientales físicos como por factores biológicos, en particular por la comunidad fitoplanctónica. De

acuerdo a la información obtenida, se puede afirmar que el control biológico es más importante en el caso de los nitratos, un poco menos para los nitritos, mientras que los niveles de fosfato están determinados en mayor grado por los procesos físico-químicos y ambientales.

#### Composición del fitoplancton.

Tanto por el número de especies como por el número de individuos las diatomeas fueron el grupo dominante del fitoplancton en el sistema lagunar, seguido por los dinoflagelados en orden de importancia. El tercer grupo mejor representado fue el de las cianofitas. Los otros grupos se presentaron en forma esporádica o en condiciones específicas. Aunque, como en otros ambientes acuáticos, las diatomeas son componentes importantes del fitoplancton, las lagunas costeras muestran típicamente un aporte comparativamente grande de dinoflagelados, clorofitas, criptofitas y otros microflagelados (Barnes, 1980). La dominancia de las diatomeas en la comunidad fitoplanctónica ha sido reportada por muchos investigadores en lagunas costeras mexicanas (Gómez-Aguirre, 1974; Gómez-Aguirre *et al.*, 1974; Santoyo, 1972; Gómez-Carléll, 1980, Luna-Reyes *et al.*, 1982 y otros), pese a la heterogeneidad metodológica. Debe puntualizarse que en el presente trabajo se analizaron muestras obtenidas con red de arrastre, así como muestras colectadas con botella Van Dorn y en ambos tipos de muestras se observó la misma importancia relativa de las diatomeas, los dinoflagelados y los restantes grupos. En ambientes costeros diferentes al del sistema Chacabun-Pastoria el grupo que sigue en importancia a las diatomeas puede ser el de cianofitas, clorofitas o los mismos dinoflagelados, dependiendo de la salinidad y otros factores relacionados, llegando incluso a relegar a las diatomeas a un lugar secundario.

Aproximadamente 45% de las diatomeas encontradas pertenecen al grupo de las centrales, muchas de ellas planctónicas de red. El 55% restante fueron diatomeas periales, de las cuales algunas especies pequeñas de *Nannula* y *Nitzschia* son de vida euplanctónica, siendo la mayoría de las otras bentónicas y picoplanctónicas, como muchas especies de los géneros *Amphora* y *Plectrosigma*. Esta riqueza relativa de las diatomeas bentónicas presentes accidentalmente en el plancton es indicadora de la mezcla vertical del agua lagunar. El intercambio turbulento vertical entre el fondo y el agua y dentro del agua es ocasionado por corrientes y por la acción de las olas (Groen, 1969), lo que provoca la suspensión de las algas microscópicas que crecen sobre el sustrato. Este fenómeno ha sido observado en aguas costeras, pero no ampliamente examinado (Garrison, 1984). Tal mezcla vertical ha sido mencionada anteriormente para explicar la concentración y distribución de oxígeno, así como las de otras variables.

Entre los dinoflagelados, más del 85% de las especies halladas se caracterizaron por poseer algún tipo de teca celulósica gruesa, con patrones de placas reconocibles, lo que facilitó su identificación. Las formas

"desnudas" (con una teca muy fina) de este grupo de organismos fueron más difíciles de reconocer. Todos los dinoflagelados encontrados son planctónicos, aunque algunos no necesariamente autótrofos, como los de los géneros *Noctiluca*, *Pyrocistis* y *Prorocentrum*. Es posible que el número de especies de este grupo de organismos presentes en el sistema lagunar sea mayor al reportado, ya que muchos dinoflagelados tienen ciclos de vida complejos que incluyen enquistamientos temporales y cigóticos, lo que hace difícil su reconocimiento en esas etapas. Tales estados son parte de los mecanismos que ha desarrollado evolutivamente este grupo para su dispersión y supervivencia (Walker, 1984).

Las cianofitas colectadas fueron todas coloniales, perteneciendo el 70% de las especies detectadas a la familia Oscillatoriaceae. Se hallaron tres especies de la familia Nostocaceae, aunque una de ellas, *Richelia intracellularis*, siempre como endosimbionte de la diatomea *Rhizosolenia styliformis*. De la familia Crocococaceae sólo se halló en las muestras una especie del género *Micromastix*. Dentro de esta familia de cianofitas está el género *Asterocystis*, el cual muy probablemente está representado en el plancton lagunar. La observación de una muestra de ictioplancton, del estudio realizado por Zárate-Vidal (1985) reveló una abundante cantidad de organismos del género mencionado. Pese a ello, no se halló ningún organismo en las muestras de red o de botella colectadas para el presente trabajo. Una justificación es que las muestras de ictioplancton fueron colectadas con una red tipo trapecio con abertura de malla muy superior a la de la red fitoplanctónica, haciendo los arrastres a una velocidad mayor a la que se hicieron los arrastres para coleccionar fitoplancton y de manera que la red ictioplanctónica quedara semisumergida atrapando a los organismos de la capa más superficial del agua, mientras que en los arrastres con la red fitoplanctónica, ésta quedó totalmente sumergida. Estas diferencias hicieron que la fracción colectada de plancton fuera diferente a su vez, cualitativa y cuantitativamente. Boltovskoy (1981) menciona que la velocidad, la abertura de malla, el tipo de red y otros factores relacionados afectan la eficiencia de la colecta de plancton. Por otra parte, se sabe que varias especies de cianofitas, algunas de las cuales pertenecen al género *Asterocystis*, han sido encontradas frecuentemente en la interfase agua-aire, debido a mecanismos de flotación característicos de ese grupo de algas (Walsby, 1977). Ponderando todo lo anterior, es perfectamente posible que esa cianofita y otras algas con un tipo de vida similar no fueran colectadas con la botella Van Dorn ni con la red fitoplanctónica.

Las clorofitas fueron organismos de ocurrencia rara, en número escaso. Sin embargo, el désmido *Closterium* sp. 1 fue un organismo frecuente en la campaña de octubre, asociado con la entrada de agua dulce, producto de las lluvias, al sistema lagunar.

El silicoflagelado *Thalassiosira fibulata* fue relativamente abundante en el muestreo de abril, aunque en los restantes muestreos se le encontró sólo en forma esporádica.

El hallazgo de pequeños flagelados fue favorecido por el tipo de conservador usado para las muestras. La principal ventaja de usar una solución de lugol al fijar muestras de fitoplancton es que un gran número de flagelados conservan sus flagelos (Thronsdon, 1978). Pese a lo anterior, para efectuar la determinación específica de flagelados de tamaño similar al del flagelado 1, hallado con cierta frecuencia en el muestreo de abril, se requiere observar la ultraestructura de los organismos, concentrados mediante centrifugación o filtrado con membranas, de tal forma que puedan discernirse caracteres como el número de microtúbulos en el haptonema o la forma del pirenoide por medio del microscopio electrónico (Leadbeater, 1978). Esto quedó fuera de las posibilidades metodológicas disponibles. Por otra parte, en las muestras de la campaña de octubre se halló con cierta frecuencia un organismo que no pudo ser identificado, debido principalmente a la falta de flagelos. No obstante, la estructura corporal, la distribución de organelos, los cloroplastos parietales y el tamaño del organismo lo asemejan al género *Cryptomonas*. No se pudo encontrar material conservado adecuadamente para confirmar la identificación, por lo que el nombre genérico tampoco se incluyó en la lista de organismos.

No se encontraron otros grupos de algas que a veces son frecuentes en aguas marinas, como los coccolitofóridos. En particular, si éstos hubieran estado presentes en el plancton lagunar, la solución ácida de lugol hubiera disuelto sus estructuras calcáreas externas (coccolitos), haciéndolos irrecognoscibles. Esta es la principal desventaja de usar tal fijador. Margalef (1969) sugiere que la aparente escasez de este grupo de organismos en lagunas costeras podría estar relacionado con la disponibilidad de fósforo en el agua.

#### Variación temporal de la densidad fitoplanctónica.

En Chacahua se observaron densidades fitoplanctónicas medias durante el muestreo de agosto, dominado por dinoflagelados, el cual fue sucedido por dos muestreos de menor densidad en los cuales las diatomeas fueron numéricamente más importantes. En octubre, en particular, se observaron las menores densidades fitoplanctónicas. Posteriormente, en febrero, se vió aumentada nuevamente la concentración de algas hasta llegar al máximo de abril, en el que la composición del fitoplancton fue dominada ampliamente por el grupo de las diatomeas. Finalmente, en el muestreo de julio, las algas fitoplanctónicas dominantes fueron las dinoflageladas, observándose densidades similares a las registradas al principio del ciclo. Es evidente que el comportamiento estacional del fitoplancton en esta laguna siguió un patrón similar en algunos aspectos al que se presenta en aguas de regiones templadas meridionales, con un gran máximo primaveral en el que las diatomeas son el grupo más importante seguido por un máximo de menor intensidad en otoño, dominado por los dinoflagelados (Odum, 1972). Este hecho es bastante singular, ya que la laguna Chacahua está ubicada en una zona climática subtropical, por lo que podrían esperarse cambios poco pronunciados a través de un ciclo anual de los diferentes

parámetros físicos y biológicos. Sin embargo, ha sido discutida ya la estacionalidad de la temperatura del agua en el sistema lagunar, la cual estuvo ligada posiblemente tanto a la disponibilidad de nutrientes como a las variaciones del número de algas. Factores tales como los vientos, mareas y la temporada de lluvias seguramente contribuyeron también a los cambios en la densidad algal, junto con el cierre de la boca en la barrera de Chacahua. Concretamente, la entrada de agua dulce a la laguna en octubre por los escurrimientos temporales, con los consecuentes cambios en la salinidad, debió provocar también una tensión ambiental poco favorable en ese momento a la producción fitoplanctónica. Sin embargo, los factores que controlan varios cambios estacionales obvios aún permanecen entendidos inadecuadamente (Boney, 1975).

En la laguna Pastoría también se observaron cambios en la densidad fitoplanctónica, pero siempre determinados por el número de diatomeas. En esta laguna los dinoflagelados no fueron dominantes en ninguno de los muestreos, aunque fueron el segundo grupo mejor representado. No obstante, en el muestreo de octubre, el cual tuvo en promedio las menores densidades fitoplanctónicas, las clorofitas y cianofitas en conjunto superaron numéricamente al grupo de flagelados. En este caso, igualmente es probable que los cambios en la salinidad originados por la temporada de lluvias provocaran un ambiente poco favorable al crecimiento del fitoplancton en conjunto. Por otra parte, el incremento relativo en la cantidad de cianofitas y clorofitas pudo deberse al acarreo de estas algas hacia el cuerpo lagunar, por medio de las aguas de temporal y del río Chacalapa. En la laguna Pastoría, el máximo en la densidad del fitoplancton se observó también en abril, siendo las diatomeas el grupo dominante. Los mecanismos que actuaron en esta laguna debieron ser similares a los que se presentaron en Chacahua durante el mismo mes.

#### Distribución del fitoplancton.

En Chacahua hubo una alternancia de comunidades fitoplanctónicas, dominadas principalmente por dinoflagelados y por diatomeas. En octubre se presentó una estratificación vertical del fitoplancton lagunar, observándose una dominancia de clorofitas en superficie y de diatomeas en el fondo. En abril ocurrió un crecimiento excepcional de la densidad de organismos, debido básicamente a *Nitzschia closterium*. Estos cambios estuvieron asociados a los fenómenos ambientales discutidos con anterioridad. En particular, la temporada de lluvias explicó la separación en estratos del fitoplancton lagunar en el segundo muestreo ya que, como se mencionó anteriormente, hubo un acarreo de agua de temporal hacia las lagunas, estableciéndose una capa de menor densidad y baja salinidad en la superficie. Muy probablemente también penetraron en la laguna al mismo tiempo muchos organismos fitoplanctónicos dulceacuicolas, de los cuales muchos no resistieron el ambiente lagunar, sobreviviendo solo algunos como *Closterium* sp. Los cambios de salinidad posiblemente también

afectaron a algunas especies estenohalinas de origen marino ya presentes en la laguna, lo cual trajo como consecuencia una disminución global de la densidad de algas, tal como se observó, y la estratificación de grupos de organismos. El proceso de cierre de la comunicación con el mar, el consecuente aumento de salinidad y tal vez la disminución de la temperatura asociada a la temporada invernal se reflejaron en las modestas densidades de fitoplancton observadas en diciembre y febrero. Tal vez el fenómeno más sobresaliente sea el del aumento explosivo de algas en abril. Diversos autores han señalado muchas posibles interacciones de mecanismos externos e internos que determinan este tipo de "pulsaciones" primaverales en comunidades naturales. Odum (1972), por ejemplo, señala como causa del crecimiento exponencial del fitoplancton en primavera a la acumulación invernal de nutrientes debida a la reducción de la temperatura y la cantidad de luz, traducida en una baja intensidad de fotosíntesis. Al llegar condiciones de luz y temperatura favorables, los organismos del fitoplancton que tienen alto potencial biótico (diatomeas) crecen hasta que se agotan los nutrientes y entonces el fenómeno termina. También se ha reconocido la importancia del zooplancton herbívoro como factor limitante de los crecimientos de algas en primavera (Stoele, 1959; Prescott, 1968). Sin embargo, no debe de olvidarse que estas relaciones se han hallado en aguas localizadas en zonas templadas, por lo que una extrapolación simple no parecería adecuada, en primera instancia, para explicar la variación del fitoplancton en Chacalua. En este caso, deben considerarse además la influencia de los cambios en la salinidad y el efecto de las corrientes inducidas por vientos y mareas, cuya importancia es insoslayable.

El rasgo más sobresaliente del fitoplancton de la laguna Pastoria fue su heterogeneidad espacial. Este no es un fenómeno aislado, ya que en otras lagunas costeras se han reportado situaciones similares. Por ejemplo, Santoyo y Signoret (1979) mostraron diversos patrones de distribución espacial del fitoplancton en la laguna del Mar Muerto, la cual se localiza en el extremo sur del estado de Oaxaca, en confluencia con Chiapas. Dentro de la laguna Pastoria, específicamente, se pudieron distinguir tres regiones definidas: una región I con influencia marina, que abarcó las estaciones 20 y 21, una región II meso-polihalina, situada al norte del cuerpo lagunar costero y restringida generalmente a la estación 16, una región III lagunar interna, generalmente euhalina, que comprendió las estaciones 10, 11 y 12, las que a su vez fueron diferentes en forma local. Los límites entre estas regiones no fueron de manera alguna estáticos, sino que fluctuaron ampliamente de muestreo a muestreo cubriendo las restantes estaciones de muestreo. La región I se caracterizó por la ocurrencia de diversos organismos de estirpe marina, como *Chaetoceros affinis* y *Skeletonema costatum*, y se extendió muy adentro de la laguna cubriendo todas las localidades, excepto las más alejadas de la boca lagunar, hacia el norte y hacia el oeste. En el muestreo de octubre esta región estuvo reducida a su mínima expresión. La región II tuvo como organismos dominantes a pequeñas diatomeas perennes no identificadas y dinoflagelados, en aguas de salinidad reducida cerca de la estación 16, por la influencia de río Chacalapa. Sin embargo, en el segundo muestreo este

ambiente local se extendió a la mayoría de las estaciones de Pastoria. La región III pareció estar más influenciada por condiciones locales de semejanza con el canal del Corral, o inclusive con la laguna Chacahua. En cada muestreo los organismos hallados en esta región fueron distintos, en general, de los encontrados en el resto de la laguna, aunque cambiaron de muestreo a muestreo. En la laguna Pastoria también fue notable el efecto de la temporada de lluvias sobre la salinidad y la composición del fitoplancton, aunque no se presentó una estratificación como en el caso de Chacahua. El efecto mayor de las precipitaciones pluviales de octubre fue sobre la distribución horizontal de organismos, ya que el aumento en la descarga del río Chacalapa determinó una mayor dispersión de los organismos característicos de la región II.

Aunque de menor magnitud absoluta, se observó en Pastoria un incremento notable de la densidad fitoplanctónica, similar al que ocurrió en la laguna Chacahua. La explicación del fenómeno es similar a la discutida anteriormente. En opinión de Gómez-Aguirre (1987), al llenarse los sistemas salobres por ingresos de agua marina, se realiza una remoción de enormes volúmenes de materiales del fondo, produciendo una fertilización de las aguas y, con ello, propiciando los florecimientos del fitoplancton.

#### Clorofila $a$ y fitoplancton.

Aún cuando pudiera esperarse una relación directa significativa entre la densidad fitoplanctónica y la concentración de clorofila  $a$ , ya que esta última ha sido frecuentemente considerada como indicador de la biomasa, las correlaciones de los datos transformados fueron de sólo 0.360 y 0.232 para las lagunas Chacahua y Pastoria, respectivamente. Esto posiblemente tan sólo refleje que ambas medidas representan aspectos distintos de un mismo problema, cada una con sus propias características. Margalef (1965), hablando del fitoplancton marino, menciona que el número de células no puede ser puesto simplemente como una función de la cantidad de clorofila  $a$ . Desafortunadamente, por dificultades metodológicas no se pudo observar el efecto que la temporada de lluvias pudo tener sobre las concentraciones del pigmento fotosintético, ni la influencia de la comunicación con el mar en Chacahua, ya que sólo se pudo hacer la determinación de clorofila  $a$  de la campaña de diciembre en adelante. Además, en el muestreo de abril, cuando se observó la floración primaveral del fitoplancton, las cantidades de clorofila no cambiaron en el mismo sentido ni en la misma magnitud que la densidad numérica de los organismos vegetales microscópicos. Tal vez por todo ello no se observó una mayor correlación entre las densidades numéricas del fitoplancton y sus contenidos clorofílicos respectivos. A pesar de lo anterior, se pudo establecer dentro del sistema lagunar que Chacahua fue la laguna con mayor concentración de clorofila  $a$ , al mismo tiempo que fue la que tuvo mayor densidad fitoplanctónica en términos globales, lo que finalmente indicó que ambas variables realmente se relacionaron de alguna manera en el sentido esperado. Es posible que otros

factores oculten en algún grado la relación entre la densidad de organismos y la cantidad de clorofila  $\alpha$  contenida en ellos, entre los cuales están la composición específica del fitoplancton y su contenidos pigmentarios relativos, el nivel de nutrientes, y problemas prácticos como la eficiencia en la extracción y la precisión del método de análisis.

#### Diversidad del fitoplancton lagunar.

Uno de los aspectos estructurales más interesantes de las comunidades naturales es la diversidad biótica que poseen y se han usado diferentes índices para medirla (Dickman, 1968; Pielou, 1977). Este tipo de mediciones ha sido usada en muchas investigaciones, en las cuales se ha logrado relacionar la diversidad con la estabilidad ambiental, sucesión de especies, heterogeneidad espacial y productividad de la comunidad (Krebs, 1985), aunque algunos autores también han criticado su uso en ecología (Green, 1977). La diversidad biótica ha sido definida por Margalef (1961) como la capacidad del ecosistema de transmitir información al nivel de los individuos que la componen, por lo que un índice basado en la teoría de la información podría ser adecuado para medir la diversidad del fitoplancton. El índice  $H$  (de Shannon) es uno de los mejores para efectuar comparaciones (Odum, 1972), además de que está distribuido en forma normal (Hutchinson, 1970), con lo que pueden aplicarse pruebas paramétricas comunes a los valores del índice.

En el sistema lagunar se observó una menor diversidad en la laguna Chacahua, mientras que en Pastoria, en general, la diversidad fué mayor. Además en esta última laguna se observó un gradiente de diversidad, que aumentó de las regiones II y III hacia la región I. Ya antes se mencionó que Chacahua se comportó como un ambiente relativamente homogéneo en comparación con la laguna Pastoria, más heterogénea. Este hecho, que se reflejó en el número de especies presentes, se combinó con las mayores densidades de fitoplancton observadas en Chacahua para que, en conjunto, la diversidad del fitoplancton en esa laguna se viera reducida, como podría esperarse por la expresión matemática del índice. El gradiente de diversidad detectado en Pastoria se debió, sin duda, al aporte masivo de especies planctónicas hacia la laguna, lo que enriqueció la composición específica de ésta.

Lo anterior indicó que hubo diferencias locales en la estabilidad ambiental para el fitoplancton. La hidrología de Chacahua, en general, fue la más afectada por los diferentes sucesos ambientales, entre los que destacó el cierre de la boca en la barrera. Además, la menor extensión y la escasa profundidad de Chacahua la convirtieron en una laguna más vulnerable al efecto de lluvias, vientos y mareas, lo cual hizo que, en general, sólo algunas pocas especies fitoplanctónicas con gran capacidad de adaptación fueran ampliamente dominantes,

disminuyendo la diversidad. Por otra parte, la mayor extensión superficial de la laguna Pastoria, su profundidad y su estable comunicación con el mar permitieron el establecimiento de regiones locales relativamente nuevas variables, pero con intercambio de organismos.

La alta variabilidad en el índice de diversidad en ambas lagunas es un síntoma de la gran cantidad de ambientes locales en los que se pueden hallar condiciones de todo tipo. A esta heterogeneidad deben contribuir también las condiciones de turbulencia y mezcla vertical del agua. Con el aporte de especies bentónicas, en el corto plazo la diversidad del fitoplancton se incrementa. Por otra parte, el "ruido" provocado por la inestabilidad ambiental provoca un descenso en la diversidad (Margalef, 1961) en el mediano plazo. Esto es claro al observar, a través del tiempo que duró el estudio, los cambios estacionales de la diversidad: los periodos donde ésta disminuyó notablemente en el sistema correspondieron a los muestreos de octubre y abril. En el primer caso, la temporada de lluvias fue un factor ambiental que únicamente soportaron algunos pocos organismos, los cuales tuvieron además baja densidad numérica. En abril, por el contrario, la densidad del fitoplancton fue alta, pero debida igualmente al crecimiento de unas pocas especies, con el consiguiente descenso de la diversidad. Probablemente las mismas causas que originaron el crecimiento explosivo de algunos elementos del grupo de diatomeas, fundamentalmente la circulación de nutrientes por corrientes turbulentas asociada con cambios de temperatura y luz, fueron las responsables de una entropía ambiental poco propicia para el desarrollo de variadas especies de algas del plancton. Margalef (1978) ha discutido cómo las condiciones ambientales inestables y turbulentas afectan funcionalmente a las formas de vida dominantes del fitoplancton.

## CONCLUSIONES

A pesar de su cercanía geográfica y de que están interconectadas, las lagunas estudiadas son diferentes desde un punto de vista hidrobiológico. La más pequeña, Chacahua, tuvo en promedio mayor temperatura, salinidad, concentración de fosfato y de clorofila a, así como las más altas densidades de fitoplancton. La laguna La Pastoria, en cambio, tuvo el promedio mayor de transparencia, concentración de oxígeno y de compuestos oxidados de nitrógeno. Desde otro punto de vista, Chacahua es un cuerpo acuático costero con gradientes horizontales poco marcados, mientras que La Pastoria es una laguna con gradientes horizontales definidos.

La temporada de lluvias y el grado de comunicación con el mar fueron fenómenos que determinaron en buena medida los cambios observados en la hidrología de las lagunas.

Chacahua es una laguna que cambia de meso-polihalina en la temporada de lluvias, a euhalina en periodo de estiaje con comunicación marina, o a hiperhalina cuando se cierra el canal en la barrera lagunar; La Pastoria es meso-polihalina en la época de lluvias y euhalina en épocas de estiaje.

Las lagunas estudiadas son cuerpos acuáticos costeros de poca profundidad, que tienen corrientes turbulentas originadas por vientos y mareas. Esto evitó la estratificación vertical del agua lagunar en el periodo estudiado.

De acuerdo al número de especies y de individuos, el grupo taxonómico más importante en el sistema lagunar es el de las diatomeas, seguido por el de los dinoflagelados. Las cianofitas, clorofitas y otros grupos de algas fueron menos abundantes. En la laguna Chacahua se observó un ciclo de dominancia alterna de diatomeas y dinoflagelados. En La Pastoria las diatomeas siempre fueron dominantes.

Las especies fitoplanctónicas más frecuentes fueron de tamaño celular pequeño, como la diatomea *Nitzschia closterium* y el dinoflagelado *Prorocentrum* sp. 1. Diatomeas coloniales como *Skeletonema costatum* y *Chaetoceros affinis*, así como pequeñas especies individuales de los géneros *Navicula*, *Nitzschia* y *Amphora* se observaron también con frecuencia.

La diversidad específica del fitoplancton en Chacahua es menor que en La Pastoria, lo que podría indicar una menor estabilidad ambiental para dicha comunidad en la primera laguna.

Las épocas de diversidad fitoplactónica baja están asociadas con fenómenos contingentes que alteran la estabilidad de la comunidad de algas, de manera que sólo una o unas pocas especies llegan a ser dominantes.

## SUGERENCIAS

Es importante continuar trabajos como el presente para un mayor conocimiento de la riqueza biótica que existe en nuestro país.

En el caso del sistema lagunar Chacahua-Pastoria, deben evaluarse vientos, corrientes, mareas y precipitación pluvial, para una comprensión cuantitativa de su relación con las lagunas y la dinámica de las comunidades de organismos que viven en ellas.

Las campañas de muestreo deberían ser más frecuentes, ya que muchos de los cambios dentro de la comunidad fitoplanctónica comienzan y terminan en periodos cortos de tiempo. En cualquier caso, se debe cubrir un ciclo anual.

Es importante diseñar estadísticamente el estudio, para que los resultados puedan ser contrastados cuantitativamente. En el caso del fitoplancton, se puede hacer uso de varios grupos de herramientas estadísticas y no de uno solo. Dependiendo del tipo de variable medida, de la cantidad de información y del grado de precisión deseado, una secuencia propuesta es efectuar un análisis exploratorio de los datos para detectar tendencias y características de su distribución, tales como asimetría, cambios en la dispersión, subgrupos modales, valores extraordinarios, etc., seguido de un análisis confirmatorio (paramétrico o no paramétrico). La secuencia de análisis debe ser retroalimentativa, hasta llegar a un mejor conocimiento del fenómeno estudiado.

Es necesario incorporar las investigaciones fraccionadas del ecosistema acuático Chacahua-Pastoria en un estudio integral que comprenda al plancton (vegetal y animal), al bentos, al necton, a las macrofitas sumergidas y emergentes, así como a los ecosistemas con los que las lagunas mantienen un intercambio material, energético y biótico: el mar que llega a la Bahía de Chacahua, el Río Verde, la laguna de Tianguis, las comunidades de vegetación terrestre con su fauna característica, y las poblaciones humanas aledañas a las lagunas. Esta será la única forma de entender y conservar para las futuras generaciones la riqueza biológica de este lugar.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

- ALCALA-FARIAS, Y. y P. SANCHEZ-BEJAR (1984). *Estudio preliminar de algunas relaciones entre los suelos y la vegetación de selva en la parte noroeste del Parque Nacional de Chacahua, Municipio de Tututepec, Oax.* Tesis profesional, E.N.E.P. Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. 144 p.
- ARITIO, L.B. (1988). *Parques nacionales iberoamericanos.* Anaya, Madrid. 127 p.
- BARNES, R.S.K. (1980). *Coastal lagoons.* Cambridge University Press, Cambridge. 106 p.
- BERZUNZA, C.R. (1936). Informe sobre la exploración en la Laguna de Chacahua, Oax: *Bol. Dept. Fial. Caza y Pesca.* 2(5), 183-193.
- BOLTOVSKOY, D. (1981). Rods. En *Atlas del zooplankton del atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplankton marino* (ed. Boltovskoy, D.), 15-35. Instituto Nacional de Investigación y desarrollo pesquero, Mar del Plata.
- BONEY, A.D. (1975). *Phytoplankton.* E. Arnold, Londres. 116 p.
- BOYER, C.S. (1926). Synopsis of north american Diatomaceae. *Proc. Acad. nat. Sci. Philad.*, 78(1), 1-228.
- CARDENAS, M. (1969). Pesquerías de las lagunas litorales de México. En *Lagunas costeras, un simposio* (eds. Ayala-Castañares, A. y Phleger, F.B.), 645-652. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- CARLSON, R.E. (1980). More complications in the chlorophyll-Secchi disk relationship. *Limnol. Oceanogr.* 25 (2), 379-382.

CARGAMO S.A., CONSTRUCTORA (1979). *Estudio del Parque Nacional Lagunas de Chacahua, Oax.* Proyecto integral para el establecimiento de zona de reserva y de investigación de fauna silvestre, México.

CHAMBERS, J.M., et al. (1983). *Graphical methods for data analysis.* Wadsworth & Brooks/Cole, Pacific Grove. 395 p.

CHATTON, E. (1952). Classe des Dinoflagelles ou Peridiniers. En *Traité de Zoologie* (ed. P.P. Grassé), 309-406. Masson, Paris.

CONTRERAS, F. (1985). *Las lagunas costeras mexicanas.* Centro de Ecodesarrollo, S.P., México. 253 p.

COSS-TRADO, V.H. y J.M. CHAVEZ-CORTEZ (1976). *Composición, estructura y estabilidad de una comunidad fitoplanctónica en una laguna litoral.* Tesis profesional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 35 p.

CRUZ-LAZO, J. y T.F.M. IBARRA-TRUJILLO (1987). *Estudio del espectro trófico de cuatro especies licticas en la laguna de Chacahua, Oax.* Tesis profesional, E.N.E.P. Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. 121 p.

CUPP, E.E. (1943). Marine plankton diatoms of the west coast North America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.* 5(1), 1-238.

CURL, H. (1959). The phytoplankton of Apalachee Bay and the Northeastern Gulf of Mexico. *Publ. Inst. Mar. Sci. U. of Texas*, 6, 277-320.

DE LA LANZA, G. (1987). Química de la fase sedimentaria en las lagunas costeras. En *Contribuciones en hidrobiología* (eds. Gómez-Aguirre S. y V. Arenas-Fuentes), 135-153. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

DICKMAN, M. (1968). Some indices of diversity. *Ecology*, 49(6), 1191-1193.

EDMONSON, W.T. (1980). Secchi disk and chlorophyll. *Limnol. Oceanogr.* 25 (2), 378-379.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

EMERSON, J.D. y M.A. STOTO (1983). Transforming data, en *Understanding robust and exploratory data analysis* (eds. Hoaglin, D.C., F. Mosteller y J.W. Tukey), 97-128. Wiley & Sons, Nueva York.

EMERSON, J.D. y J. STRENIO (1983). Boxplots and batch comparison, en *Understanding robust and exploratory data analysis* (eds. Hoaglin, D.C., F. Mosteller y J.W. Tukey), 58-96. Wiley & Sons, Nueva York.

FOGG, G.E. (1965). *Algal cultures and phytoplankton ecology*. University of Wisconsin Press, Madison.

FUENTES, L.A. et al. (1978). *Estudio interdisciplinario sobre la conservación y aprovechamiento de un Parque Nacional (Lagunas de Chacahua, Oax.) con una población establecida*. Biología de campo (reporte), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

GARCIA, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 217 p.

GARRISON, D.L. (1984). Planktonic diatoms. En *Marine plankton life cycle strategies* (eds. Steidinger, K. y L. Walker), 1-17. CRC Press, Boca Raton.

GOLTERMAN, H.L. et al. (1978). *Methods for physical & chemical analysis of fresh waters*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 213 p.

GOMEZ-AGUIRRE, S. (1974). Reconocimientos estacionales de hidrología y plancton en la Laguna de Términos, Campeche, México (1964/1965). *An. Centro del Mar y Limnol. Univ. Nat. Auton. México*, 1 (1): 61-82

GOMEZ-AGUIRRE, S. et al. (1974). Ciclo anual del plancton en el sistema Huizache-Caimanero, México (1969-1970). *An. Centro del Mar y Limnol. Univ. Nat. Auton. México*, 1 (1): 83-98

GOMEZ-CARDELL, M.E. (1980). *Fitoplancton de la Laguna de Chautengo. Giro. en un ciclo anual (1974-1975)*. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

GONZALEZ, A.C. et al. (1977). *Estudio interdisciplinario sobre la conservación y aprovechamiento de un Parque Nacional (Lagunas de Chacahua, Oax.) con una población establecida*. Biología de campo (reporte), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

GONZALEZ, A. (1988). *El plancton de las aguas continentales*. Secretaría General O.E.A., Washington. 126 p.

GRASSHOFF, K. (1972). Chemical Methods. En *Research methods in marine biology* (ed. Schlieper, C.), 1-25, University of Washington Press, Seattle.

GREEN, R.H. (1979). *Sampling design and statistical methods for environmental biologist*. Wiley & Sons, Nueva York. 385 p.

GROEN, P. (1969). Physical hidrology of coastal lagoons. En *Lagunas costeras, un simposio* (eds. Ayala-Castañares, A. y Phleger, F.B.), 275-280. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

HASLE, G.R. (1978a). The inverted-microscope method. En *Phytoplankton manual* (ed. Sournia A.), 88-96. U.N.E.S.C.O., Paris.

HASLE, G.R. (1978b). Using the inverted microscope. En *Phytoplankton manual* (ed. Sournia A.), 191-196. U.N.E.S.C.O., Paris.

HENDEY, N.I. (1964). An introductory account of the smaller algae of british coastal waters; part v. Bacillariophyceae. *Fishery Invest., ser. IV*, Londres.

HUMM, J.H. y S.R. WICKS (1980). *Introduction and guide to the marine bluegreen algae*. John Wiley & Sons, Nueva York

HUTCHESON, K. (1970). A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *J. theor. Biol.*, 29, 151-154.

- KREBS, C.J. (1985). *Ecología, estudio de la distribución y la abundancia*. Harla, México. 753 p.
- LANKFORD, R.R. (1977). Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification. En *Estuarine Processes* (ed. Wiley M.), 182-215. Academic Press, Nueva York.
- LEADBEATER, B.S.C. (1978). Other flagellates. En *Phytoplankton manual* (ed. Sournia A.), 151-153. U.N.E.S.C.O., Paris.
- LJCEA-DURAN, S. (1974). Sistemática y distribución de diatomeas de la Laguna de Agiabampo, Son./Sin., México. *An. Centro Cien. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón. México*, 1(1), 99-156.
- LORENZEN, M.W. (1980). Use of chlorophyll-Socchi disk relationships. *Limnol. Oceanogr.* 25 (2), 371-372.
- LOYO-REBOLLEDO, M.E. (1966). *Sistemática y distribución de las diatomeas del plancton de la Laguna de Términos, Campeche, México*. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 169 p.
- LUNA-REYES, M.M. et al. (1982). *Estudio preliminar de algunos parámetros hidrológicos de las Lagunas de Mandinga, Ver., Mex., durante dos épocas climáticas diferentes*. Tesis profesional, E.N.E.P. Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.
- MARGALEF, R. (1961). Communication of structure in planktonic populations. *Limnol. Oceanogr.*, 6, 124-128.
- MARGALEF, R. (1965). Ecological correlations and the relationship between primary productivity and community structure. En *Primary productivity in aquatic environments* (ed. Goldman, C.R.), *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 18 Suppl., 355-364. University of California Press, Berkeley.
- MARGALEF, R. (1969). Comunidades planctónicas en lagunas litorales. En *Lagunas costeras, un simposio* (eds. Ayala-Castañares, A. y Phleger, F.H.), 545-562 Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- MARGALEF, R. (1978). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unestable environment. *Oceanol. Acta*, 1 (4), 493-509.
- MASSUTI M. y R. MARGALEF (1950). *Introducción al estudio del plancton marino*. Patronato Juan de la Cierva de Investigación Técnica, Barcelona.
- MCCARTHY, J.J. (1980). Nitrogen. En *The physiological ecology of phytoplankton* (ed. Morris, I), 191-233. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- MEGARD, R.O. *et al.* (1980). Light, Secchi disk and trophic states. *Limnol. Oceanogr.* 25 (2), 373-377.
- NALEWAIKO, C. y D.R.S. LEAN (1980). Phosphorus. En *The physiological ecology of phytoplankton* (ed. Morris, I), 235-257. Blackwell Scientific Publications, Oxford
- ODUM, P.E. (1972). *Ecología Interamericana*, México. 639 p.
- ORTEGA, M.M. (1984). *Catálogo de algas continentales recientes de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 566 p.
- ORTIZ-ORTIZ, J.O. y M.E. TEODORO-SALVADOR (1990). *Algunos aspectos ecológicos del zooplancton en las lagunas de Chacahua y Pastoria, Oax.* Tesis profesional, E.N.E.P. Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. 52 p.
- PATTEN, B.C. (1962). Species diversity in net phytoplankton of Raritan Bay. *J. Marine Res.*, 20, 57-75.
- PIELOU, R.H. (1977). *Mathematical ecology*. Wiley & Sons, Nueva York. 385 p.
- PRESCOTT, G.W. (1968). *The algae: a review*. Houghton Mifflin Co., Boston.
- PRESCOTT, G.W. (1978). *How to know the freshwater algae*. Wm. C. Brown Co. Publ., Dubuque.

- SALGADO-UGARTE, I.H. (1992). *El análisis exploratorio de datos biológicos*. E.N.E.P. Zaragoza, U.N.A.M., México. 243 p.
- SANTOYO, H. (1972). *Variación estacional del fitoplancton y la hidrología en la Laguna de Yavaros, Sonora*. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 71 p.
- SANTOYO, H. *et al.* (1980). *Estudio hidrobiológico del sistema lagunar de Chacahua y La Pastoria, Oax.* Construcciones y Proyectos Civiles, S.A., México.
- SANTOYO, H. y M. SIGNORET (1979). Fitoplancton de la laguna del Mar Muerto en el sur del Pacífico de México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón. México*, 6(2), 71-80.
- SCHWOERBEL, J. (1975). *Métodos de hidrobiología*. H. Blume, Madrid.
- SMITH, D.L. (1977). *A guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae*. Kendall Hunt Publ. Co., Dubuque.
- SMITH, G.M. (1950). *The fresh-water algae of the United States*. McGraw-Hill, Nueva York.
- SOSA, A.H. (1937). El Parque Nacional "Chacahua" en el Estado de Oaxaca. *Bol. Dept. Fial. Caza y Pesca*, 3, 263-298.
- STEELE, J.H. (1959). The quantitative ecology of marine phytoplankton. *Biol. Rev.*, 34, 129-158.
- STRICKLAND, J.D.H. y T.R. PARSONS (1972). A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 167.
- TERRADAS, J. (1982). *Ecología, hoy*. Teide, Barcelona. 203 p.
- THRONDSSEN, J. (1978). Preservation and storage. En *Phytoplankton manual* (ed. Sournia A.), 69-74. U.N.E.S.C.O., Paris.

TRÉGOUBOFF, G. y M. ROSE (1957). *Manuel de planctonologie méditerranéenne*. I, II. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. 587 p.

VENRICK, E.L. (1978). Statistical considerations. En *Phytoplankton manual* (ed. Sournia, A.), 238-250. U.N.E.S.C.O., Paris.

VOLLENWEIDER, R.A. ed. (1969). *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 220 p.

WALKER, L.M. (1984). Life histories, dispersal, and survival in marine, planktonic dinoflagellates. En *Marine plankton life cycle strategies* (eds. Steidinger, K. y L. Walker), 19-34. CRC Press, Boca Raton.

WALSBY, A.E. (1977). The gas vacuoles of blue-green algae. *Sci. Am.* 237 (2), 90-97.

WALSBY, A.E. y C.S. REYNOLDS (1980). Sinking and floating. En *The physiological ecology of phytoplankton* (ed. Morris, I.), 371-412. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

WELCH, E.B. (1980). *Ecological effects of wastewater*. Cambridge University Press, Cambridge.

WIMPENNY, R.S. (1966). *The plankton of the sea*. Jarrold & Sons, Londres. 426 p.

WOOD, E.J.F. (1968). *Dinoflagellates of the Caribbean Sea and adjacent areas*. University of Miami Press, Coral Gables. 143 p.

YAÑEZ-ARANCIBIA, A. (1986). *Ecología de la zona costera*. A.G.T. Editor, México. 189 p.

ZARATE-VIDAL, S.E. (1985). *Algunos aspectos ecológicos del ictioplancton de las lagunas de Chacahuat y Pastoria, Oax.* Tesis profesional, E.N.E.P. Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. 121 p.