



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

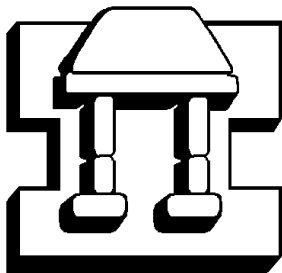
Variación temporal y estacional de las bacterias planctónicas de la laguna de Mecoacán, Tabasco

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I O L O G A
P R E S E N T A:

EUSEBIA PEREZ QUIRINO

DIRECTORA DE TESIS:

Dra. María Del Rosario Sánchez Rodríguez



IZTACALA

LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MEX. 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Con mucho cariño dedico el presente trabajo:

A la discreta fortaleza pendiente de mis tropiezosmi mamá.

A quien sembró la más grande de mis inquietudes y me enseñó a volar
...mi papá†.

Al bando rudo que siempre alienta y acompaña mis pasos...mis hermanas.

A mis incorregibles compañeros de infancia que tanto extraño....mis hermanos

A los que derrochan talento en sus travesuras y me llaman tía!

A mi testarudo apoyo y soporte que me comparte su vida...Sebastián

A la compañera de mis aventuras y atento oído de mis pesares...Luisa.

Al irreverente poeta de la familia que no comprendo pero tengo la fortuna de
contar con él....Ray

Porque los quiero.

Quiero expresar mi agradecimiento:

Con admiración, respeto y cariño a la Dra. Ma. Del Rosario Sánchez Rodríguez por su inagotable paciencia y el invaluable apoyo que me otorgó en la realización del presente trabajo.

A mi profesor el DR. Alfonso Lugo Vázquez por sus valiosas aportaciones y soporte técnico.

Con profundo afecto a mis revisores:

La Q.F.B. Esperanza del Socorro Robles Valderrama que me abrió las puertas del proyecto CyMa, FES Iztacala.

La M. en C. Laura Peralta Soriano que me brindó su confianza e incondicional apoyo en el soporte técnico.

Mi querida maestra Biol. Blanca Nieves Martínez Rodríguez, que me mostró la maravillosa persona que es.

El Dr. Salvador Rodríguez Zaragoza que me regaló parte de su tiempo y conocimiento.

Al proyecto CyMa que me brindó la oportunidad de seguir creciendo.

A todos ellos, mis más infinitas gracias!

CONTENIDO

Resumen	1
Introducción	2
Antecedentes	4
Objetivos	5
Área de estudio	6
Metodología	8
Resultados y discusión	11
Densidades bacterianas. Comportamiento general	11
Variación temporal	12
Variación espacial	14
Morfotipos bacterianos	16
Parámetros físicos y químicos	20
Temperatura	20
Oxígeno disuelto	23
Salinidad	25
pH	27
Análisis de correlación	30
Análisis de agrupamientos	33
Conclusiones	34
Bibliografía	36

RESUMEN

Las lagunas costeras son sistemas altamente productivos que funcionan en base a un balance natural de interrelaciones bióticas fuertemente controladas por procesos de mezcla de agua dulce y agua de mar. En ellos la comunidad planctónica bacteriana constituye uno de los eslabones básicos dentro de las cadenas tróficas a la fecha conocido como “circuito microbiano”. El presente trabajo consistió en el recuento total y diferenciación por morfotipos de las bacterias planctónicas (cocos y bacilos) en la laguna de Mecoacán, mediante la técnica de fluorescencia con DAPI (4-6-diamidino-2-fenil-indol). Se determinó además, la variación espacio-temporal de la densidad de bacterias y su relación con algunos parámetros ambientales. Las densidades de las poblaciones bacterianas del plancton en general oscilaron entre 1.04×10^4 y 3.68×10^6 bacterias/mL (bac/mL), indicando que sus aguas van de poco contaminadas a muy contaminadas y ubican la laguna dentro de la escala trófica correspondiente a los sistemas eutróficos, con características físico-químicas y biológicas espaciales y verticales muy irregulares y temporalmente estratificada. El 93.5% de la abundancia de bacterias estuvo representada por los cocos que variaron entre 1.74×10^3 y 3.52×10^6 bac/mL, mientras que los bacilos fueron consistentemente bajos representando el 6.5%, cuyos números fluctuaron entre 2.61×10^3 y 1.98×10^5 bac/mL. Los diámetros de los cocos oscilaron entre 0.36 y 1.47 μm , mientras que los bacilos midieron entre 0.36 de ancho y 3.63 μm de longitud. Temporalmente, el comportamiento de ambos morfotipos fue similar, con números mayores durante el mes de abril y menores en agosto para los cocos y en noviembre para los bacilos. El análisis de correlación mostró que los fosfatos ($r = -0.57$), el fósforo total ($r = -0.28$) y los nitratos ($r = -0.27$) influyen en las abundancias y actividad de los cocos. En tanto que los bacilos respondieron ante factores como el oxígeno disuelto ($r = 0.38$), temperatura ($r = 0.27$), pH ($r = 0.26$), y los nitritos ($r = -0.26$). Espacialmente dada la heterogeneidad de la laguna las estaciones 1, 2s y 3 que corresponden al agua salada y mas fría del sistema presentan una concentración de oxígeno y un pH similares, aunque biológicamente manifiestan ciertas diferencias. La estación 4, comparte salinidades altas y aguas de desecho, y un tercer conglomerado (2f y 2h) se caracteriza por la presencia de una holoquina. Estas últimas estaciones, cada una con sus particularidades muestran un gradiente vertical tanto en sus parámetros físicos y químicos como biológicos. Y finalmente la estación 5 difiere de las demás por tratarse completamente de agua dulce. Mecoacán muestra ser un ambiente muy diverso donde no es fácil inferir el patrón que causa las fluctuaciones de las bacterias debido a que ya sea en el espacio o en el tiempo, se ven involucrados tanto componentes físicos (hidrodinámica, salinidad y la estratificación de la temperatura) como biológicos o antropogénicos, o incluso de la interacción de todos estos procesos.

INTRODUCCIÓN

La contaminación antropogénica de los sistemas acuáticos es una de las principales preocupaciones en la investigación hidroecológica debido a la introducción de materiales orgánicos e inorgánicos y sustancias de desecho que tienen efecto directo sobre los recursos vivos que habitan en los cuerpos de agua (Bañuelos 1982 y Botello *et al.* 1992). El impacto de la actividad del hombre es aún mayor en las aguas costeras y estuarinas debido a la explotación de los recursos naturales, esto provoca una serie de modificaciones químicas, físicas y biológicas que derivan generalmente en cambios radicales en la fisiografía y ecología, por el efecto de obras portuarias e industriales (De la Cruz y Navarrete 1980). La práctica de estas actividades, incluida la pesca, guardan una estrecha relación con los ciclos de nutrientes y materia orgánica (De la Lanza y Arenas 1986) que sostienen tramas tróficas delicadas de incalculable valor (Contreras 1985).

Las lagunas costeras son cuerpos de agua someros, semicerrados, de volúmenes variables dependiendo de las condiciones climáticas e hidrológicas locales. Tienen temperaturas y salinidades variables, fondos predominantemente fangosos, alta turbidez y topografía irregular. La flora y la fauna son variadas presentando alto grado de adaptaciones a las diferentes presiones ambientales que pueden ser también de origen marino, dulce-acuícola y/o terrestres (Yáñez 1986). Estos cuerpos de agua se diferencian de los estuarios sobre bases geomorfológicas, mientras que un estuario es considerado comúnmente como boca de un río, una laguna costera es un embaimiento separado del mar por islas de barrera. Sin embargo, desde el punto de vista ecológico, constituyen un ecosistema similar y se puede hablar del ambiente lagunar-estuarino, complejo e interdependiente con otros sistemas como: marismas, manglares, pantanos, ríos y playas. Su importancia ecológica es muy representativa, dado que son áreas muy ricas en peces, moluscos y crustáceos, que las hace zonas de intensa actividad humana (Yáñez 1986).

Este tipo de ecosistemas se caracterizan por su abundante fuente de nutrientes, la eficiente forma de conservarlos y su alta tasa de reciclamiento (Contreras 1985). La producción orgánica es elevada, siendo las áreas más productivas las que están cerca de las marismas, debido al constante intercambio de materiales biológicos y no biológicos con otros ecosistemas (Yáñez 1986).

En las lagunas costeras, particularmente en la laguna de Mecocacán en Tabasco, existen diversos organismos: Bacterias, fitoplancton, protozoos (bacterívoros y alguívoros), zooplancton (carnívoros y herbívoros) constituido por una gran variedad de larvas y adultos de copépodos y crustáceos, peces demersales, entre otros; que participan en complicados ciclos energéticos, minerales y materia orgánica (Yáñez 1986 y Campbell 1987). Dentro de esta diversidad biológica, las bacterias son generalmente muy pequeñas (del orden de un micrómetro), el morfotipo ha resultado ser una variable más dentro del estudio de estos organismos y su relación con otros parámetros (Margalef 1983). Son habitantes tan comunes que las podemos encontrar en el neuston, plancton o adheridas a partículas, principalmente de materia orgánica. Aunque las formas esféricas aisladas son las mejor adaptadas a la existencia planctónica (Margalef 1983 y Grant 1989).

Estos organismos constituyen uno de los mejores enlaces en las comunidades microbianas, son descomponedores de la materia orgánica que se genera dentro de los cuerpos de agua y también la externa que llega como contaminante (Branco 1984). A través de la digestión, asimilación y metabolización de los compuestos orgánicos participan de manera directa en la autodepuración de los medios acuáticos (Robles *et al.* 1993), liberando carbono, nutrimentos y energía para que sea útil al resto de los organismos (Bromark y Lars-Anders 1990). Esta transmisión de materia y energía dentro de las cadenas tróficas es fundamental y se ha considerado como un modelo de funcionamiento de la comunidad planctónica marina, propuesto por Azam y colaboradores (1983), conocido como “circuito microbiano” (microbial loop).

Aunque la biomasa de fitoplancton puede parecer dominante en muchos medios eutróficos, la biomasa bacteriana excede a la biomasa de fitoplancton de dos a tres veces (Kristiansen *et al.* 1992), pues al existir mayores cantidades de algas, hay mayor generación de materia orgánica que es aprovechada por las bacterias para su reproducción y crecimiento. De la misma manera, un elevado crecimiento del fitoplancton puede relacionarse también con un incremento en las clorofilas, lo que ha marcado una relación con el incremento de número de bacterias (Pinel-Alloul y Letarte 1991). Las mayores concentraciones de bacterias se han encontrado en los sistemas más productivos (eutróficos) que tienen la característica de haber experimentado un progresivo aumento de nutrimentos (nitratos y fosfatos principalmente) a través del tiempo, esto es aplicable tanto para ambientes marinos como de agua dulce (Bird y Kalff 1984), mientras que los lagos oligotróficos, con baja concentración de materia orgánica y pobres en producción primaria, albergan números considerablemente menores (Wetzel 1981 y Campbell 1987).

La aproximación más directa para conocer la densidad bacteriana es la enumeración, tanto por cultivos como por cuenta directa al microscopio (Wetzel 1981). Entre las diversas metodologías utilizadas para detectar el número de bacterias activas en muestras naturales, la fluorescencia ha permitido el recuento directo y total de las células con relativa rapidez y sensibilidad ya que tiene la capacidad de reaccionar con el ADN bacteriano haciéndolo visible al microscopio (Porter y Feig 1980).

La aplicación de esta técnica de fluorescencia en un sistema lagunar como Mecoacán permitió evaluar la variación en el espacio y en el tiempo de las densidades bacterianas y diferenciar morfotipos, establecer que es una técnica aplicable a pesar de que en un mismo cuerpo de agua se tienen particularidades en cuanto al aporte y tipo de agua, y la relevancia que reviste el conocer la función y relación de las bacterias con el ambiente.

ANTECEDENTES

La Laguna de Mecoacán, es una de las lagunas costeras del estado de Tabasco, cuya actividad primordial es la captura del ostión (*Crassostrea virginica*). El 3% del área estuarino-lagunar de Mecoacán lo ocupan bancos ostrícolas de *C. virginica* distribuidos de manera natural hacia el suroeste del sistema; se concentran específicamente en las islas cercanas a la boca de la laguna (Contreras 1985), aunque también se extraen peces, crustáceos y otros moluscos (Granados *et al.* 1992).

Se encuentra rodeada por una vegetación del tipo bosque mangle y popal (*Mucalaria* sp.), por lo que el aporte principal de materia orgánica proviene del manglar que rodea a la laguna, además del lirio acuático arrastrado por los ríos que desembocan en la misma (Contreras 1985). Los cambios en diversidad, cobertura y fisonomía de éste bosque los constituyen especies de *Avicennia germinans* (especie dominante), *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Laguncularia racemosa*, las cuales están relacionadas con los intervalos de salinidad por ciclo anual y con otros factores, tales como el nivel de inundación y el grado de anaerobiosis (López-Portillo 1982 y Domínguez *et al.* 1993).

Las comunidades fitoplanctónicas representan gran diversidad, y hay predominio de dinoflagelados, diatomeas centrales y penales. Del zooplancton se registran ostrácodos, copépodos, larvas zoea y larvas de ostión en general (Aguilera 1977). La fauna más compleja la componen organismos como los crustáceos: *Cardisoma guanhumio* o cangrejo azul que abunda en madriguera de éste sistema acuático, otro es el *Balanus* sp. y también tres especies de camarón: *Penaeus setiferus*, *P. aztecus* y *Xiphopenaeus krogeri*. Del grupo de los reptiles se encuentra la tortuga *Eretmochelys imbricata* y la tortuga verde (*Chelonia mydas*), peces: bancos de muchas especies comerciales, tales como mujil (*Mugil cephalus*), diversos "tronadores" (*Lutjanus* sp.), robalo (*Centropomus* sp.), mojarras de mar (*Gerridae* sp), el sábalo grande (*Tarpon atlanticus*) y pámpano (*Trachinotus* sp.) (Contreras 1985).

Contiene sedimentos altamente contaminados por bacterias coliformes de origen fecal, además de un elevado índice de contaminación por estafilococos y poblaciones del género *Vibrio*. En agua y sedimentos los valores son del orden de 300 células/100 ml, y en organismos bivalvos pueden encontrarse en números relativamente bajos. (CECODES 1981, Botello *et al.* 1992 y Granados *et al.* 1992). Rosas *et al.* (en Botello 1992), reportan que Mecoacán ocupa el tercer lugar de las lagunas costeras mexicanas con valores que rebasan el límite permisible de coliformes por varias ordenes de magnitud.

Según Bañuelos (1982), la densidad de las poblaciones bacterianas presentan una estrecha relación con la variación de la temperatura y salinidad del agua. En general la salinidad y la temperatura seguidas por el oxígeno disuelto, muestran una varianza semejante (30, 27 y 25% respectivamente) (Signoret 1981), mostrando condiciones adecuadas para el sostenimiento y desarrollo de sus comunidades, no obstante, el oxígeno disuelto presenta niveles de concentración bajos, con valores inferiores a 4.0 mg/ml. (Salas 1986).

La Laguna de Mecoacán, junto con el complejo lagunar Carmen-Machona en Tabasco, y la de Términos en Campeche, son algunos de los sistemas lagunares que por sus dimensiones y elevada productividad figuran dentro de los más importantes de la República Mexicana (Lezcano *et al.* 2000). Sin embargo, las actividades que en ellos se realizan son incompatibles con la conservación y buen funcionamiento de cualquier ecosistema acuático, y amenazan principalmente su sustentabilidad. Dichas lagunas presentan niveles elevados de componentes del petróleo en sus sedimentos (88 y 85 ppm), y en el agua (5 ppm), rebasando el límite permisible -de 70 ppm- (Botello *et al.* 1981). Además se ha registrado que en los moluscos bivalvos de la zona de Mecoacán, el plomo se encuentra en un nivel promedio de 0.24 ppm. (Botello *et al.* 1981 y CECODES 1981)

Con esta información puede afirmarse que Tabasco y en los últimos años Campeche forman parte de las áreas más afectadas de las costas de México debido a las actividades relacionadas con la industria petrolera (Botello 1978, Botello *et al.* 1981) y es preciso conocerlas desde muchos puntos de vista dado su carácter comercial y turístico para dar a conocer el estado físico, químico y biológico de estos importantes ecosistemas nacionales.

OBJETIVOS:

Determinar la variación en el espacio y en el tiempo de las bacterias planctónicas (cocos y bacilos) de la laguna de Mecoacán.

Comparar las fluctuaciones del número de las bacterias en los diferentes sitios de muestreo.

Establecer la influencia de parámetros ambientales (Temperatura, Oxígeno disuelto Salinidad y pH) sobre la comunidad de bacterias en los diferentes sitios de muestreo.

METODOLOGÍA

El presente trabajo constó de dos partes, una realizada en el campo y otra que se llevó a cabo en el laboratorio.

Trabajo de campo

Se realizaron 5 muestreos en la laguna de Mecoacán, en los que quedaron contemplados tanto el periodo de estiaje (meses de noviembre, enero y abril) como la temporada de lluvia (junio y agosto) de 1997.

Las muestras fueron obtenidas con una botella Van Dorn de 5 litros de capacidad en lugares estratégicos y más representativos de éste sistema (Fig. I), tomando en cuenta los siguientes factores: el tipo de agua, el aspecto sanitario (contaminación por *Vibrio cholerae* y coliformes), profundidades de la laguna y estudios anteriores. Se establecieron 5 sitios de muestreo y de acuerdo a la profundidad de la columna de agua se consideró la superficie (20 a 30 cm), medio (60 cm) y fondo (1 m) para conformar una total de 8 muestras. El horario de muestreo se realizó entre las 9 y 12 horas, y el volumen de agua necesario para el conteo bacteriano constó de 50 mL por muestra las cuales se fijaron con formol al 2% para su conservación y posterior análisis.

La caracterización ambiental consistió en la medición *in situ* de los parámetros fisicoquímicos, tales como temperatura del agua, pH (potenciómetro digital modelo 10), salinidad (salinómetro YSI modelo 33), transparencia (disco de Secchi) y oxígeno disuelto (oxímetro YSI modelo 51B), de acuerdo con los métodos establecidos por APHA *et al.* (1995).

Trabajo de laboratorio

El recuento de bacterias totales (cocos y bacilos) y la diferenciación por morfotipos, se llevó a cabo en el laboratorio mediante la técnica de fluorescencia (Fig. II) con DAPI (4,6-DIAMIDINO-2-FENIL-INDOL) Sigma, en una concentración (stock) de 0.1 mg/ml. (Porter y Feig 1980). Estos autores señalan que éste fluocromo químico es altamente específico para teñir ADN, y en la practica ha demostrado ser (entre otros) una de las técnicas más confiables para el reconocimiento de las formas bacterianas en el microscopio de epifluorescencia.

Fueron recortados filtros de membranas de policarbonato Millipore de 0.22 μ m de apertura de poro (tipo GS) de 47 mm de diámetro a 13 mm de diámetro para teñirse con una solución saturada de Negro clorazol (sigma) como fondo de contraste. Se utilizó una bomba manual de vacío y equipo de filtración Millipore de 13 mm de diámetro, el volumen a filtrar se determinó en función de poder realizar el recuento de las bacterias, evitar errores y obtener un alto nivel de significancia estadística. A 2 mL de muestra (final) se le agregó el DAPI, dejando reaccionar por al menos 5 minutos, transcurrido este tiempo

se concluyó el filtrado y se procedió a montar el filtro en portaobjetos para su observación al microscopio.

El conteo se llevó a cabo en un fotomicroscopio III Zeiss con iluminación vertical ultravioleta para epifluorescencia, filtros G 365, FT 395 y LP 420, campo plano y objetivo de 100 para aceite de inmersión, oculares de 10X y optovar de 1.25X, que permitió un total de 1250 aumentos. Las bacterias se contaron en un mínimo de 40 campos o 400 bacterias con lo cual se logró un intervalo de confianza para la media de $\pm 10\%$ (Wetzel y Likens 1979).

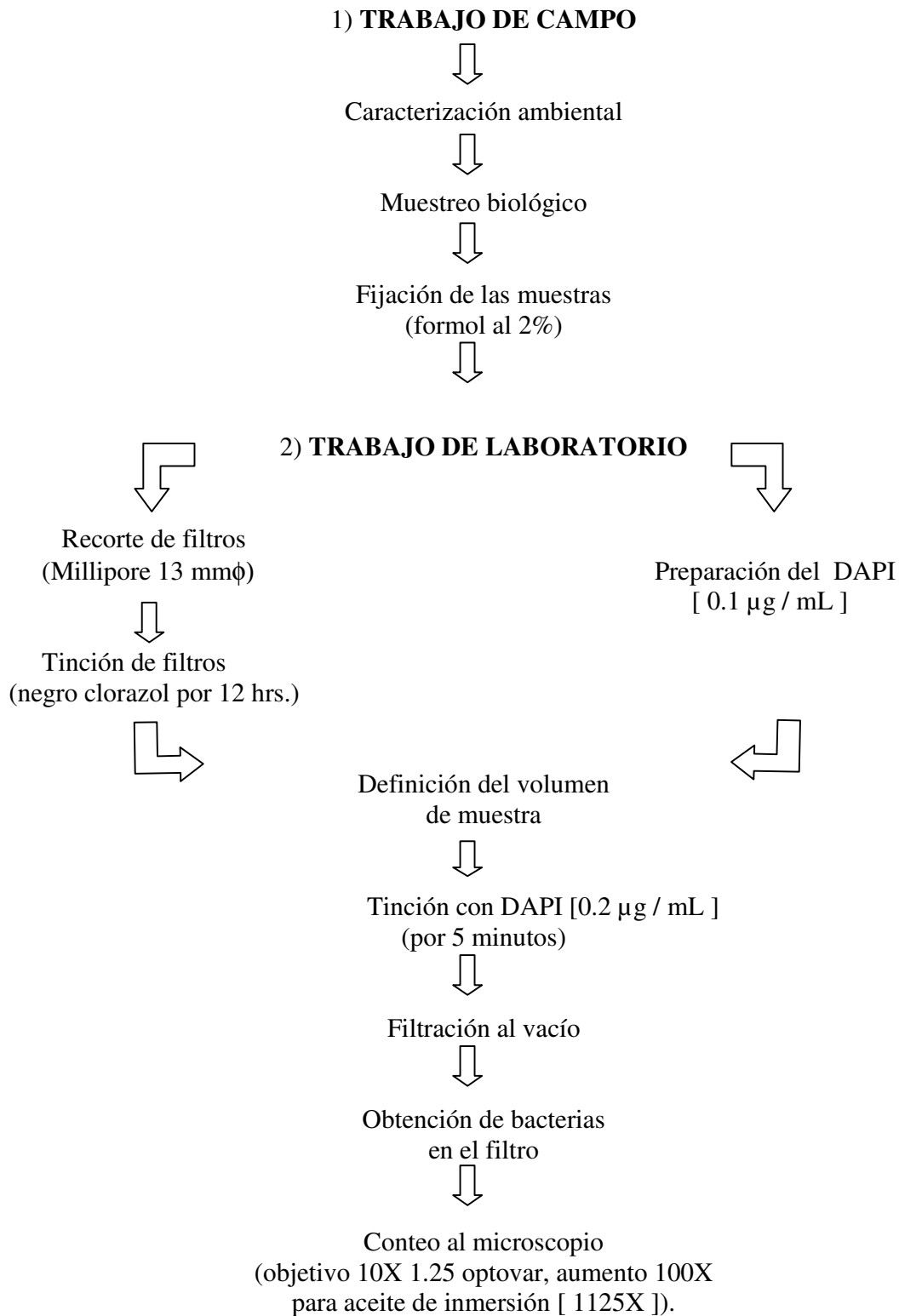


Fig. 2.- Metodología simplificada para el recuento de bacterias totales con DAPI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidades bacterianas, comportamiento general

La densidad de las poblaciones bacterianas del plancton en la laguna de Mecoacán oscilaron entre 1.04×10^4 y 3.68×10^6 bacterias/mL (bac/mL). Algunos autores señalan que la cantidad de bacterias en los cuerpos de agua dulce y marinos se relacionan directamente con el estado trófico, sugiriendo que los sistemas acuáticos más productivos (eutróficos) presentan las mayores abundancias, mientras que los más pobres en nutrientes (oligotróficos) tienen números considerablemente menores (Wetzel, 1981, Bird y Kalff (1984).

Mecoacán es un sistema lagunar con características heterogéneas (Gastelum 1979 y Castro 1981), pues mientras tiene entrada por el mar (estaciones 1 y 2), tiene ambientes salobres (estaciones 3 y 4) y de agua dulce (estación 5). En cuanto a niveles tróficos este cuerpo de agua, recibe agua de mar moderadamente contaminada, con números de bacterias que fluctúan alrededor de 5.60×10^5 bac/mL en la estación 1, el aporte de agua dulce y salobre (estaciones 3, 4 y 5) es generalmente contaminado por desechos de origen doméstico que provienen de los diferentes poblados que circundan el área de estudio. Dadas estas particularidades, se muestran valores promedio en la Figura 3, que dan una idea de las abundancias de las bacterias para cada sitio de colecta, pues se encontraron densidades que van de las aguas poco contaminadas a muy contaminadas.

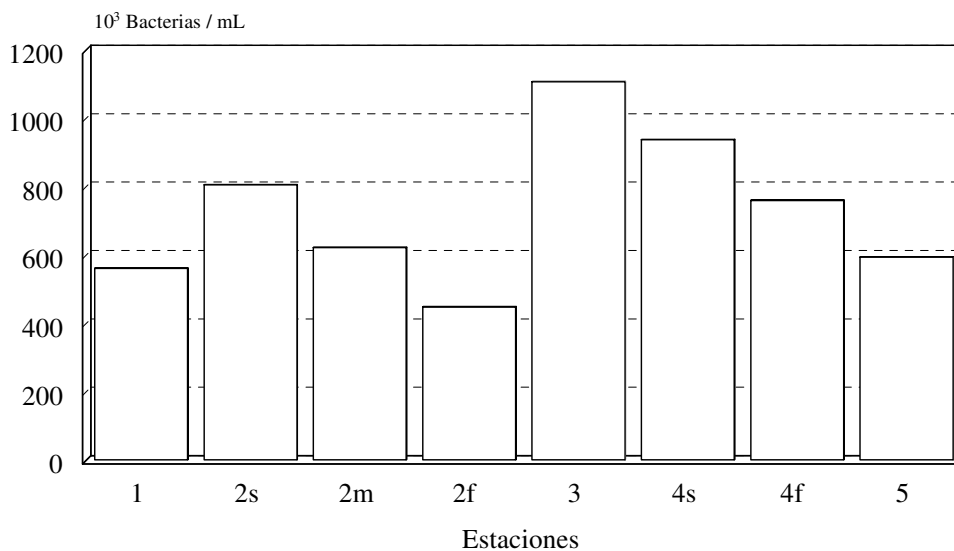


Fig. 3.- Bacterias totales (10^3 bac/mL) promedio por estación.

De ésta manera, según Kuznetsov (1970, citado en Wetzel, 1981), los lagos oligotróficos albergan densidades que van desde 5×10^4 a 3.4×10^5 bac/mL, mientras que los eutróficos de 2.2×10^6 a 1.2×10^7 bac/mL. Margalef (1983), menciona que los sistemas eutróficos varían entre 5^5 y 10^6 bac/mL, y de acuerdo con Grant (1989), en estos mismos cuerpos de agua, las abundancias oscilan entre 10^7 y 10^8 bac/mL. Los recuentos de bacterias en Mecoaacán fueron bajos respecto a los reportados en otros cuerpos de agua. Si se considera que la estación 1 es prácticamente agua de mar, estaría dentro de los valores que mencionan Barcina *et al.* (1992) para ambientes marinos, donde se estima que los números fluctúan entre 0.54 y 2.37×10^6 bac/mL y según Zweifel y Åke (1995), para el mar Báltico las cuentas de bacterias son del orden de 5×10^5 a 3×10^6 bac/mL; con base en lo mencionado en ambos trabajos, Mecoaacán estaría dentro de estos valores. Y para aquellos valores más bajos encontrados en este trabajo (en los muestreos de agosto y noviembre y en general en la estación 5) podrían ser comparados -si fuera el caso- con lagos oligotróficos como Michigan, Lawrence y Mirror de E.U.A. que reportan densidades de 0.67 a 1.04×10^6 bac/mL (Scavia y Laird 1987), 3.0 a 5.5×10^6 bac/mL (Coveney y Wetzel 1992) y 0.5 a 7×10^6 bac/mL (Ochs, *et al.* 1995), respectivamente.

Aunque en Mecoaacán el ámbito de variabilidad de las abundancias bacterianas fue mucho más amplio (entre 1.04×10^4 y 3.68×10^6 bac/mL) que lo señalado por diferentes autores, con esta información y los datos obtenidos se podría ubicar a la laguna en su conjunto como eutrófica. Sin embargo, las grandes discrepancias entre los datos reportados como orientación pueden tener un valor relativo, debido a que las técnicas que normalmente se utilizaban para la cuenta de bacterias, los números eran consistentemente más bajos que con las técnicas de fluorescencia actuales; por ejemplo, han sido observados números por abajo del 1% de la cuenta total, mientras que los números por arriba del 60 % están raramente establecidos (Zweifel y Åke 1995).

Variación temporal

En cuanto a la variación temporal (Fig. 4), las poblaciones bacterianas exhibieron marcadas variaciones, relacionadas principalmente con las condiciones climáticas que las afectaron significativamente. En el mes de enero los números de bacterias fueron relativamente bajos (1.50×10^5 - 1.53×10^6 bac/mL), comparados con las densidades registradas durante el mes de abril, correspondiendo probablemente a los cambios en la temperatura, oxígeno disuelto y pH que en enero también registraron valores bajos. Se sabe que las altas temperaturas y altas concentraciones de oxígeno favorecen el crecimiento de la mayoría de las bacterias y las pequeñas variaciones del pH representan un factor crítico para la comunidad bacteriana en general (Gomes *et al.* 1998). Otros factores que controlan el crecimiento de las bacterias planctónicas son la disponibilidad y calidad de los substratos, la adaptación estructural y fisiológica a los cambios ambientales (Schweitzer y Simon 1995), la producción del fitoplancton (Simon 1988) y la depredación por parte de los protozoos heterótrofos (Weisse 1990, Coveney y Wetzel 1992, Matz y Jürgens 2003) los cuales, en aguas dulces pueden eliminar arriba del 90% de la producción bacteriana (Simek *et al.* 1995; citado en Martínez *et al.* 2004) y según estimaciones de Martínez *et al.* (2004) en Mecoaacán pueden consumir al menos un 25 % de las bacterias.

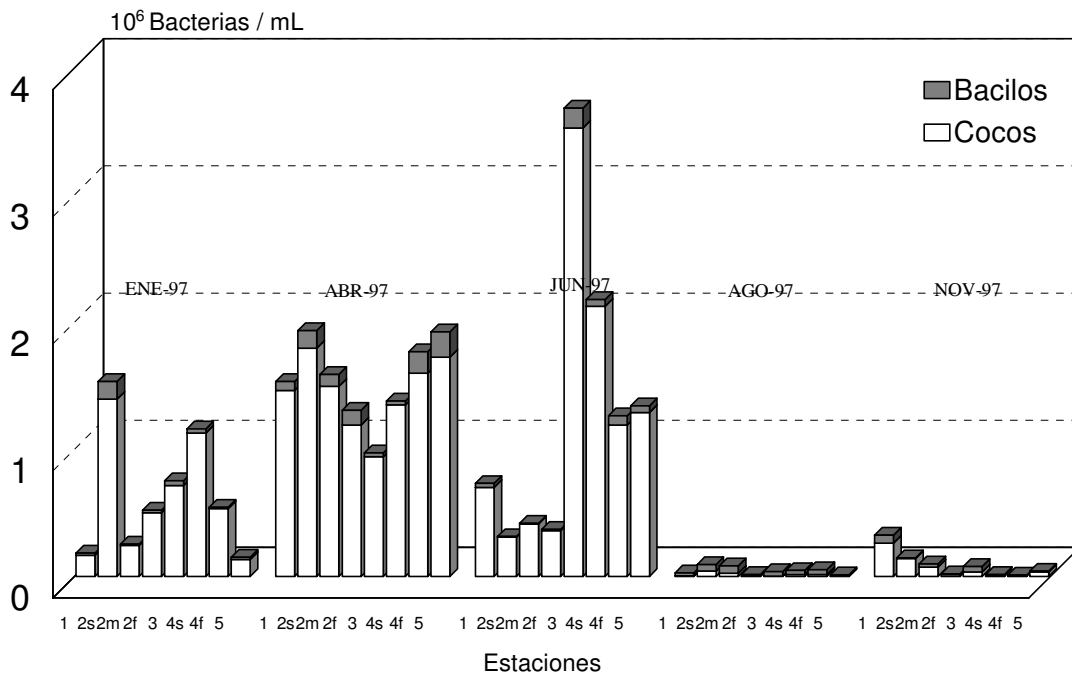


Fig. 4.- Variación temporal: densidades de bacterias totales de la Laguna de Mecoacán, Tabasco.

En abril, las densidades se vieron favorecidas por el poco movimiento del agua mostrando un aumento y cierta uniformidad de las poblaciones de bacterias entre las diferentes estaciones de muestreo (9.72×10^5 - 1.93×10^6 bac/mL) correspondiendo de alguna manera a la elevación de la temperatura y la concentración de oxígeno que registró sus niveles máximos. Datos reportados en Margalef (1983) mencionan que las poblaciones bacterianas durante el periodo de estratificación es de dos a cuatro veces mayor que en época de mezcla.

Durante el mes de junio tuvieron lugar las primeras precipitaciones y la densidad bacteriana registró el pico máximo (3.68×10^6 bac/mL), aunque la abundancia de bacterias en general descendió variando entre 3.13×10^5 y 3.68×10^6 bac/mL (Fig.4), debido probablemente a un incremento de la concentración de clorofila ($18 \mu\text{g l}^{-1}$ en promedio) propiciado por el florecimiento de fitoplancton, en este caso de las diatomeas *Coscinodiscus sp.* y *Schroederia sp.* (Yépez en prensa: Estudio de las comunidades fitoplanctónicas y de protozoos de la Laguna de Mecoacán Tabasco, México.). En Scavia y Laird (1987) las máximas abundancias bacterianas fueron medidas en el momento en que se observó un mínimo de clorofila.

Aunque existen fuertes relaciones positivas entre la abundancia bacteriana y la concentración de clorofila para una amplia variedad de sistemas acuáticos (Bird y Kalff 1984), la correlación entre la densidad de bacterias y densidad de fitoplancton es frecuentemente negativa, esta inhibición mutua se debe a la diferente dependencia de la luz y de la segregación de materiales (Margalef 1983), por lo que cabe la posibilidad de que esto haya sucedido durante el muestreo de agosto con los niveles altos de clorofila

(Martínez *et al.* 2004) y un registro mínimo de las densidades de bacterias. Posteriormente en noviembre las cuentas bacterianas fueron un poco mayores.

Es probable que en éstos dos últimos periodos (agosto y noviembre) también contribuyan las intensas lluvias y los abundantes escurrimientos continentales que se dan en ésta época conocidos como “nortes”; ésta etapa en la laguna, constituye un factor importante de dilución y/o resuspensión de los sedimentos terrígenos, principalmente arcillas, que en el último muestreo dificultaron los recuentos de las bacterias. Aunado a esto, los aportes de materia orgánica provocaron fuertes variaciones en la temperatura y la concentración de oxígeno que se vieron reflejados en las abundancias bacterianas. Felip *et al.* (1996) menciona que la temperatura puede limitar el crecimiento bacteriano durante ciertas épocas del año, sin embargo, cuando la temperatura es adecuada, otros recursos pueden regular dicho crecimiento. En Yannarell *et al.* (2003), los dramáticos cambios en las densidades bacterianas indican que las variaciones temporales son factores importantes en el comportamiento de las comunidades de bacterias.

En la Laguna de Mecocacán, los escurrimientos terrestres y las actividades constituidas por los desarrollos urbanos aportan grandes cantidades de materia orgánica proveniente de los desechos domésticos y de la industria petroquímica que se añaden directamente al sistema provocando fuertes cambios en los parámetros físico-químicos que merman de inicio la abundancia, el desarrollo bacterial heterótrofo y la actividad oxidativa de la materia orgánica. Estas prácticas, aunque incrementan la productividad de la laguna también aceleran el proceso de eutrofización reduciendo los usos que se le pueden dar a dicho sistema.

Variación espacial

Las diferencias entre las estaciones fueron evidentes. Las densidades más bajas se localizaron en las estaciones 1 y 5, con valores promedio similares entre ellas 5.60×10^5 y 5.85×10^5 bac/mL, respectivamente (ver figura 3). Ambas estaciones, además de resultar las menos contaminadas tienen como rasgo común la frecuente mezcla de sus aguas por diversos afluentes. La primera se ve influenciada directamente por las aguas del mar y la segunda recibe aportes continuos de agua dulce provenientes de los escurrimientos epicontinentales, de los ríos Escarbado y Cuzcuchapa. Ambos regímenes representan una interesante variable que pudo influir en los bajos números de bacterias encontrados. En la estación 1, la salinidad es alta, y según Aguilera (1977), en esta zona, los valores máximos de salinidad registrados son de 34‰ y 32‰, factor que afecta negativamente el desarrollo bacteriano (Bañuelos 1982), e incluso se prevé que podría tratarse de aguas limpias. Esta presunción no es nueva, en trabajos como los de Gastelum, (1979) y Castro (1981), se decidió dividir la laguna en dos masas de agua de acuerdo con el comportamiento hidrológico y la salinidad como la variable principal.

Las mayores abundancias promedio se presentaron en la superficie de las estaciones (estaciones 2, 3 y 4) más próximas a “La boca” -ver Fig.1-, que corresponden a la planta de PEMEX, los canales y cuerpo lagunar principal, respectivamente. Aunque la estación 3 (1.10×10^6 bac/mL) superó significativamente en números de bacterias a las estaciones 2

(8.04×10^5 bac/mL) y 4 (9.3×10^5 bac/mL). Esta situación coincide en que es el área que recibe más descargas de materia orgánica de origen doméstico, ya que se encuentra cerca de los sitios con elevada actividad comercial y turística, lo que provoca, junto con las corrientes que se generan en la laguna, que los contaminantes (como detergentes, componentes del petróleo y materia fecal) sean arrastrados hasta ese lugar, por lo tanto, puede considerarse la zona más contaminada. Bañuelos (1982), también menciona que ésta es una de las zonas con mayor incidencia bacteriana de origen fecal, con sedimentos que contienen densidades de 24,000 coliformes totales y 1,200 coliformes fecales (índice NMP/100 ml).

En las partes más profundas de la laguna (estaciones 2 y 4), se establecieron superficie (s): 20 a 30 cm, medio (m): 60 cm y fondo (f): 1 m; constituyendo 2s, 2m y 2f y 4s y 4f, que se diferenciaron en cuanto a las densidades bacterianas, temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y pH. Datos de Kunetsov 1970 (en Le Cren 1980), sostienen que el comportamiento vertical de las bacterias en lagos oligotróficos (Lago profundo Baikal) es un tanto análogo a la distribución bacteriana en océanos. Con algunas variantes, las concentraciones de bacterias son comúnmente altas cerca de la superficie, decrecen por debajo de la zona fótica y son más o menos uniformes a grandes profundidades. En el lago eutrófico Beløe la tendencia es un incremento de las densidades bacterianas con la profundidad, aunque el patrón es muy irregular estacionalmente, debido a los diferentes grados de estratificación en números bacterianos asociados a la estratificación de la disponibilidad de materia orgánica disuelta y particulada (Saunders 1971, en Le Cren *Op. cit.*).

En Mecocacán aunque existieron diferencias en función de la profundidad y momento del año, no se observó una estratificación tan marcada que pueda compararse con otros cuerpos de agua más profundos debido a la poca profundidad de dicho sistema y al efecto de los vientos imperantes en la zona, sobre todo en la época de lluvias (agosto) y nortes (noviembre); sin embargo, se logró apreciar un minigradiente bacteriano, en las estaciones que se midieron profundidades (2 y 4).

En el periodo de secas (enero y abril), durante enero, en el caso de la estación 2 las densidades de bacterias fueron mayores en la superficie (2s), disminuyeron en la parte media (2m) y se incrementaron ligeramente en la zona profunda (2f), aunque no son comparables a las concentraciones observadas en la superficie (1.53×10^6 , 2.54×10^5 y 5.22×10^5 bac/mL, respectivamente); y en la estación 4 (4s y 4f) las densidades se incrementaron de la superficie al fondo (1.16×10^6 - 5.43×10^5 bac/mL). Para abril, en la estación 2 las concentraciones descendieron conforme aumentó la profundidad (1.93×10^6 , 1.58×10^6 y 1.30×10^6 bac/mL), en cambio, en la estación 4 las mayores abundancias de bacterias se apreciaron en el fondo (1.37×10^6 a 1.76×10^6 bac/mL). En la época de lluvias (junio) aunque para este año (1997) (podría considerarse como una prolongación del periodo de secas con lluvias incipientes), se observó un comportamiento diferente de la estación 2; las bacterias fueron un poco más abundantes en la parte media (4.18×10^5 bac/mL), y mínimas en la superficie (3.13×10^5 bac/mL). En el sitio 4, las densidades disminuyeron de la superficie al fondo (2.17×10^6 - 1.26×10^6 bac/mL). Durante el apogeo de la época lluviosa (agosto) y el periodo de “nortes” (noviembre) en ambas estaciones los números de bacterias decrecieron en la medida que aumentó la profundidad (Fig.4).

La diferencia entre las profundidades que se reflejó en las densidades de ambas estaciones podría estar fundamentada en la estratificación de la temperatura, oxígeno disuelto y en los cambios de salinidad y pH que se observaron a lo largo de los muestreos, y aunque Gomes *et al.* (1998), mencionan que las bacterias son capaces de responder rápidamente a los cambios ambientales (entre 24 a 48 h), en aguas estratificadas el movimiento vertical de los solutos y de los gases es más lento (Grant 1989); para el otoño, cuando la estratificación se interrumpe por efecto de las turbulencias, se produce una mezcla de las aguas profundas y superficiales permitiendo el desarrollo de las especies de bacterias fisiológicamente tolerantes a los fuertes cambios ambientales, hecho que probablemente sucedió en Mecoacán.

Al respecto Margalef (1983), menciona que la estratificación permite la proliferación local de cepas mejor adaptadas a la explotación de las condiciones precisas de cada nivel. La mezcla vertical perturba esta situación y favorece especialmente a los oportunistas, señalando además, que la distribución vertical de las bacterias y su actividad se relacionan con el gradiente vertical de potencial de oxidorreducción y también con la luz.

Morfotipos bacterianos

La estructura morfológica estuvo representada por dos morfotipos: cocos y bacilos. Los primeros fueron los más frecuentes cuyas densidades variaron entre 1.74×10^3 y 3.52×10^6 bac/mL; mientras que para los bacilos fueron consistentemente bajos, fluctuando entre 2.61×10^3 y 1.98×10^5 bac/mL. Ambos, manifestaron un comportamiento similar, con números mayores durante el mes de abril y menores en agosto para los cocos y en noviembre para los bacilos (Fig. 5 -a y b-). Aunque en la mayoría de los muestreos el número de cocos fue superior al de las formas bacilares, en agosto se presentó la excepción, pues la densidad de cocos fue menor predominando los bacilos.

Estacionalmente, la densidad máxima de cocos se registró en la estación 3 durante el mes de junio (3.52×10^6 bac.mL⁻¹ -Fig. 5a-). Mientras que el mayor número de bacilos se observó en la estación 5 en abril (1.98×10^5 bac/mL⁻¹ -Fig. 5b-).

En relación al tamaño de las bacterias, se encontró un alto predominio de cocos generalmente pequeños, con diámetros que oscilaron entre 0.36 y 1.47 μ m, mientras que los bacilos midieron entre 0.36 de ancho y 3.63 μ m de longitud; es de tomarse en cuenta que las formas más grandes se encontraron durante el mes de agosto cuando la abundancia general fue mínima (Fig. 4), mostrando cierta correspondencia con lo establecido por Bird y Kalff (1984) y posteriormente por Krambeck (1988) quienes señalan que el tamaño de las bacterias del plancton tiende a decrecer cuando las densidades incrementan en la mayoría de los estados productivos. Por su parte, Pinel-Alloul y Letarte (1991) respaldan la idea de que el tamaño de las bacterias guarda relación con los gradientes tróficos, por lo tanto, las bacterias tienden a ser más grandes en lagos eutróficos en comparación con los lagos oligotróficos. Sin embargo, en un estudio realizado por Tumber *et al.* (1993) en el lago oligotrófico Redberry y el hipertrófico Humboldt (Canadá) no encontraron diferencias significativas entre los tamaños bacterianos promedio de ambos lagos.

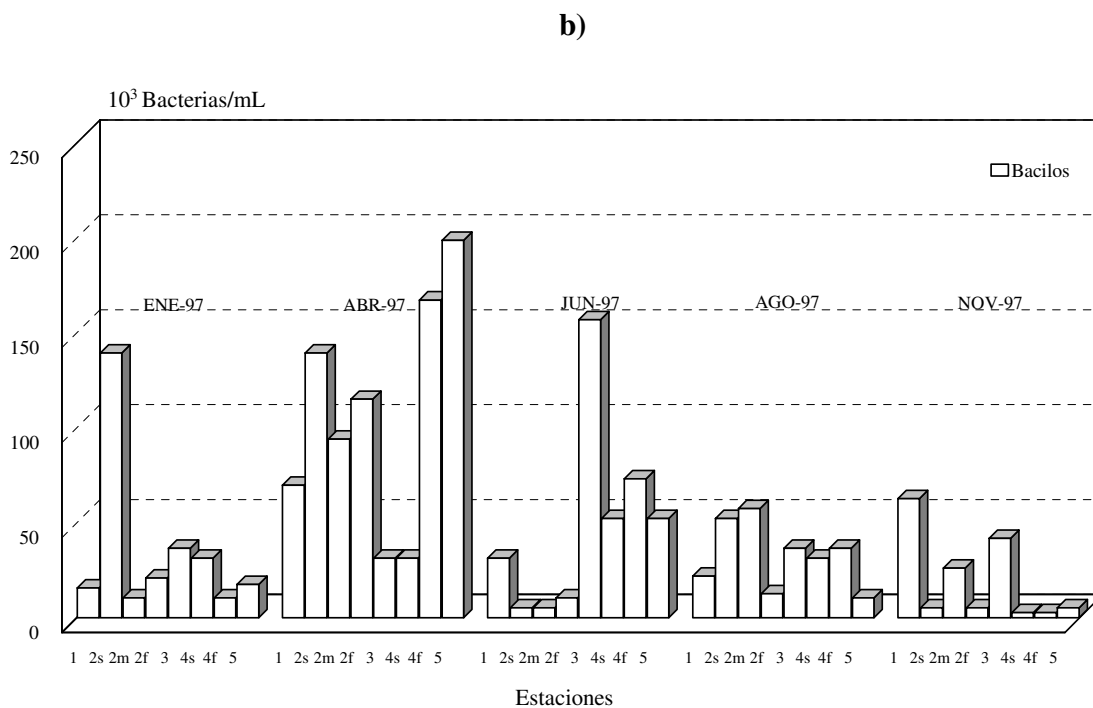
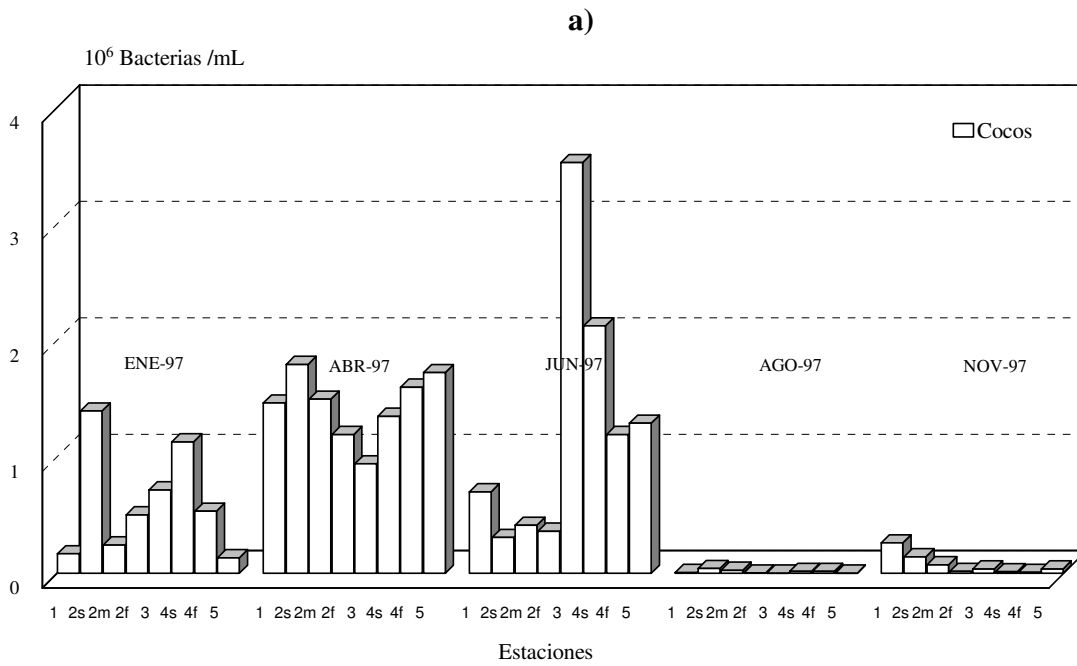


Fig. 5.- Densidades de bacterias totales por morfotipos (Nótese la diferencia exponencial): a) Coccos (10^6) y b) Bacilos (10^3).

En Pomeroy *et al.* (1995) los cocos de sistemas oligotróficos son ligeramente más pequeños a los encontrados en Mecoacán y miden de 0.2 a 0.4 x 0.2 μm , y en el lago mesotrófico Constanza las bacterias heterótrofas adheridas y de vida libre en general registran tamaños de 0.2 - 3.0 μm (Simon 1988). Los cocos del lago Humboldt alcanzan diámetros promedio de 0.43 μm y los bacilos promedian 0.87 μm de ancho con 1.70 μm de largo (Tumber *et al.* 1993).

En este mismo lago, la concentración de nitrógeno estuvo correlacionado con el tamaño de los cocos aunque las correlaciones más fuertes fueron con los parámetros biológicos y la temperatura del agua (Tumber *Op cit.* 1993). En el presente estudio, las modificaciones del tamaño bacteriano coinciden con los cambios en la concentración de oxígeno disuelto en el caso de los cocos y con la concentración de nitratos (NO_3^- -Aguilar 2002-) y de clorofila (Martínez *et al.* 2004) en los bacilos. Aunque lo más adecuado sería realizar un estudio mas profundo con mediciones continuas durante ciclos anuales.

Los tamaños de los bacilos en Mecoacán fueron más variables y tienden a ser más grandes de los tamaños arriba registrados, no obstante, ambas formas pueden ser un tanto comparables a los de estos lagos si se considera que en este trabajo se manejaron promedios y se encuentran ambientes diferentes tanto en época de secas como de lluvias (nortes incluidos) con aguas que pueden considerarse limpias (oligotróficas) hasta eutróficas en un periodo anual.

Así mismo, el tamaño de las bacterias tiende a incrementarse cuando aumenta la disponibilidad y calidad de los sustratos y decrecen al elevarse la temperatura del agua (Lind 1991). Pinel-Alloul y Letarte (1991) reportan que los exudados del fitoplancton son mejores sustratos para las bacterias mas grandes (1-3 μm), este hecho fue apreciable en Mecoacán, que presentó poblaciones de diatomeas que pudieron favorecer su crecimiento y funcionar como sustrato (Yépez en prensa: Estudio de las comunidades fitoplanctónicas y de protozoos de la Laguna de Mecoacán Tabasco, México.). Para el caso de las más pequeñas (<1 μm), Pinel-Alloul y Letarte (1991) mencionan que la reducción en el tamaño puede ser un mecanismo de adaptación a las condiciones pobres en nutrientes, aunque también podría manejarse como una estrategia de protección al consumo por parte del zooplancton o en este caso a las diferencias en salinidad, como es el caso de las estaciones 1 y 5 (agua de mar/agua dulce, respectivamente).

Entonces, los ciliados al parecer, ejercen una influencia considerable sobre las poblaciones bacterianas a través del consumo selectivo de las bacterias más grandes, sesgando por lo tanto la distribución del tamaño bacteriano hacia un tamaño más pequeño (Tumber *et al.* 1993) para evitar ser ingeridas. Puede suceder también, que las bacterias al ser consumidas por los ciliados, éstos formen lo que se llama “paquetes tróficos” (dentro del proceso del “circuito microbiano”) y ser más susceptibles de ser aprovechados por el zooplancton mayor (Caron y Goldman 1990) y no ser detectadas con el método utilizado.

La laguna de Mecoacán es un sistema con una elevada productividad que está sujeto a diversas presiones derivadas de las actividades acuícolas, pesqueras y de recreación que junto a las frecuentes y drásticas variaciones ambientales ponen en riesgo el equilibrio biológico interrumpiendo las estrechas interrelaciones que se dan entre los organismos que

componen los distintos niveles tróficos de la cadena alimenticia, la cual es sostenida principalmente por el circuito microbiano (“microbial loop”; -Azam *et al.* 1983-) y que a su vez también está regulado por los nutrientes y el consumo de microorganismos por otros organismos de mayor tamaño como algunos protozoos ciliados, cladóceros y copépodos (Weisse 1990, Coveney y Wetzel 1992; Matz y Jürgens 2003 y Simek *et al.* 1995 citado en Martínez *et al.* 2004).

Parámetros físicos y químicos

La hidrodinámica característica de los cuerpos de agua naturales conjunta los parámetros tanto físicos como químicos, que a su vez ejercen una fuerte influencia en los procesos biológicos especialmente en la sucesión que se da entre las comunidades acuáticas, como es el caso de las planctónicas.

Temperatura (°C)

La temperatura es una variable muy importante en el proceso de recambio debido a su conocido efecto sobre la densidad y por lo tanto sobre la estabilidad de la columna de agua (Wetzel 1981). Juega un papel relevante en la aceleración de los procesos de descomposición de la materia orgánica, en la solubilidad de las sales y por tanto en la conductividad eléctrica, en la determinación del pH, y en el conocimiento del origen del agua y sus eventuales mezclas (APHA *et al.*, 1995).

En la Laguna de Mecoacán, las temperaturas del agua variaron entre 22.5 a 32°C. Las mínimas se presentaron en enero y las máximas se registraron durante junio (Fig. 6). Estos datos coinciden parcialmente con lo expuesto por Aguilera (1977), que señala un intervalo de variación de temperatura similar a este (22 a 32.5 °C); sin embargo, describe las temperaturas más frías para el mes de febrero (finalizando el invierno) y las más cálidas en septiembre. Esto es comprensible si tomamos en cuenta que dicho parámetro no tiene un estricto patrón de comportamiento dada la influencia de factores como: la estación del año, las condiciones climáticas, las hora del día, la profundidad y los procesos de mezcla generados por las corrientes lagunares (Yáñez 1986 y Galaviz – Solis *et al.*, 1987)

En promedio, la temperatura mostró sus valores extremos en la temporada de secas. En enero la temperatura media mínima fue de 23.3 °C y en abril cuando el nivel del agua disminuye y la tasa de evaporación es alta, se observó una temperatura media máxima de 29.6 °C. El inicio de la época de lluvias se presentó con cierto retraso y se manifestó en junio con escasas precipitaciones, provocando un ligero descenso de la temperatura en éste mes (27.2 °C), para luego incrementarse en agosto (29.4 °C), cuando los aportes de agua de origen fluvial son abundantes. Y en noviembre, durante temporada de “nortes” la temperatura media descendió (26.5 °C) marcando la llegada del invierno.

De acuerdo con García-Cubas *et al.* (1990) las temperaturas más bajas están restringidas al invierno y coinciden con la época de “Nortes” (24 –25 °C), y las más altas se manifiestan a principios del otoño (28.5 – 32 °C), manteniéndose las aguas cálidas, con un promedio de 28 °C, y una variación anual alrededor de 7 °C, durante la mayor parte del año. La temperatura mínima promedio corresponde a los meses invernales, a partir de los cuales se registra un ascenso que coincide con la primavera. Al inicio de la época de lluvias, a partir del mes de junio, la temperatura disminuye como consecuencia de los aportes de agua dulce que recibe la laguna. Posteriormente, al finalizar los meses lluviosos se registra un ligero aumento en los valores promedio, seguido finalmente de un enfriamiento invernal.

Por su parte CECODES (1981), señala que las temperaturas al interior de la laguna oscilan entre 23.9 y 24 °C, para el mes más frío (enero), y varían de 28 a 32 °C en los meses de marzo (28 – 28.5 °C), junio (29 – 30 °C) y octubre (28.5 – 32 °C). De lo anterior se deduce que la temperatura del agua en la laguna durante un ciclo anual tiene un rango de variación entre 22 y 32 °C, salvo lo expuesto por Galaviz - Solis *et al.* (1987), quien menciona que las temperaturas en la laguna van desde los 12.50 hasta 29.98 °C y se ven influenciadas por la intensa insolación y por el ingreso de la marea y del agua fluvial.

Desde el punto de vista de Tom (1967, citado en López – Portillo y Ezcurra 1985), en Mecoaacán se pueden distinguir dos patrones estacionales: a) un periodo de altas temperaturas (27 –29 °C), de primavera a verano y b) un periodo de bajas temperaturas (15 – 20 °C), en otoño e invierno, causadas por la nubosidad en los meses de junio y septiembre, o por la entrada del periodo de “nortes”. Estos datos son semejantes a los resultados encontrados en el presente trabajo, pues las temperaturas registradas son similares en enero y aproximadas en los otros periodos.

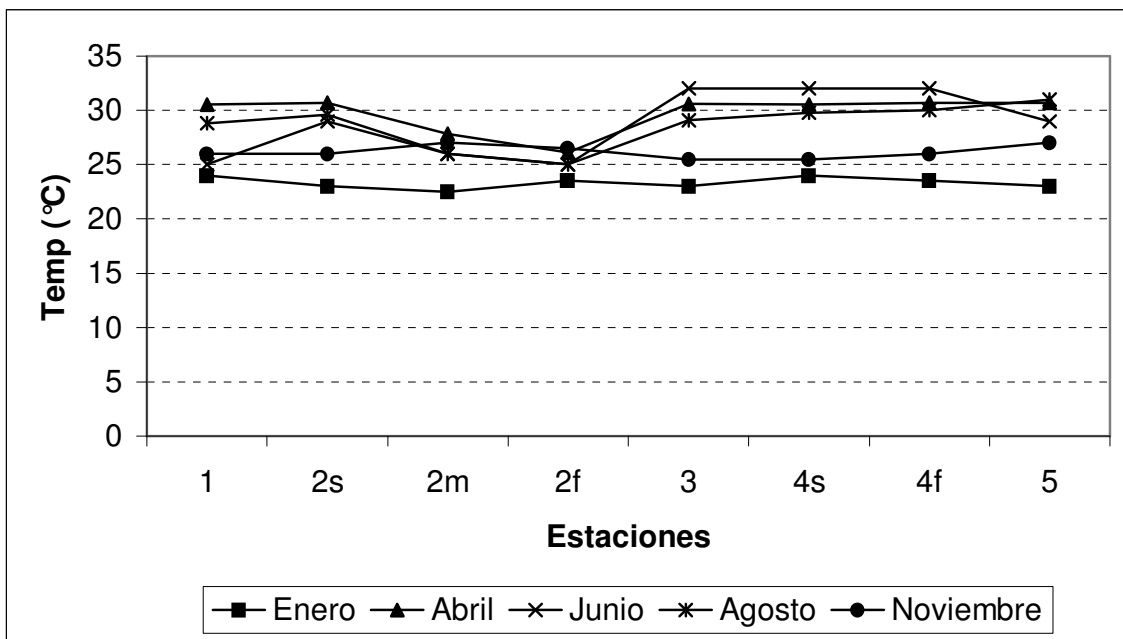


Fig. 6.- Variación temporal, espacial y vertical (estaciones 2 y 4) de la temperatura.

Estacionalmente, la temperatura superficial vario muy poco (alrededor de 1 °C). La diferencia más amplia se observó entre las estaciones próximas a la desembocadura al golfo (estaciones 1 y 2), cuyas temperaturas promedio mínimas fueron de 27.16 °C en la estación 1 y máximas de 28.18 °C en la 2 (Fig. 6). También en el trabajo de CECODES (1981), las aguas más frías se localizaron en la boca de la laguna, coincidiendo con que son las aguas más transparentes de este sistema.

Según Ramírez *et al.* (1995) las temperaturas se incrementan levemente de Oeste a Este, por lo que tienden a ser mas altas en las estaciones con menor profundidad (en este caso, las estaciones 3, 4 y 5). La influencia de las mareas y el gradiente de densidad provocadas por la salinidad y la temperatura producen una circulación rotativa en el sentido contrario a las manecillas del reloj en la parte Oeste de la laguna. Y en la parte Este, donde al parecer dominan los flujos de las aguas cálidas de las corrientes continentales, la circulación no es muy bien definida (Aguilera, 1977).

En las zonas de la laguna donde se manejaron profundidades (estaciones 2 y 4), se observó una estratificación de la temperatura que puede indicar que al menos en ciertas épocas del año no existe una mezcla total del agua en el sistema. En el primer caso dicho comportamiento fue más evidente. Durante enero la temperatura mínima (22.5 °C) se registró en la parte media (2m), y la máxima (23.5 °C) se localizó al fondo de la estación (2f); mientras que en la estación 4, la temperatura descendió ligeramente con la profundidad (de 24 a 23.5 °C). Y en abril -en la estación 2- fue posible observar que la temperatura disminuye en la medida que aumenta la profundidad (30.7 – 26.1 °C), patrón que se repitió también durante junio (29 –25 °C) y agosto (29.6 –25 °C), aunque en la época de nortes se observó un comportamiento distinto: la temperatura mas alta se registró en la parte media (27 °C) y la más baja en la superficie (26°C). Por el contrario, en la estación 4, durante los periodos de abril, agosto y noviembre, la temperatura del agua se incrementó (máximo 0.5 °C) al aumentar la profundidad y en junio se mantuvo constante (32 °C -Fig. 6-).

Vallentyne (1978), señala que la estratificación térmica implica una incompleta mezcla vertical de las aguas, y donde existe un gradiente vertical de temperatura debe haber un gradiente de densidad que podría como en este caso, estar relacionado también con la salinidad (ver tabla I). Estas diferencias de temperatura permiten además, deducir la probable existencia de una termoclina temporal que impide que se realice una mezcla completa de las aguas superficiales con las del fondo.

Oxígeno disuelto (mg L^{-1})

Las concentraciones máximas de oxígeno (O_2) en el agua a un nivel oceánico son de 14.6 mg L^{-1} a la anoxia que entre los diferentes ambientes acuáticos se ven disminuidas por los solutos, los incrementos de la presión atmosférica, la temperatura y por la demanda biológica (APHA *et al.*, 1995). En las aguas naturales la materia orgánica provoca que la cantidad de oxígeno disuelto (OD) descienda debido a que la degradación de la misma requiere de grandes cantidades de oxígeno. La descomposición en las zonas profundas puede dar lugar a la disminución del O_2 y a la acumulación de productos de fermentación y de H_2S hasta llegar a desarrollar un hipolimnion anóxico, característico de los sistemas ricos en nutrientes (Wetzel 1981).

La Laguna de Mecoacán se caracteriza por ser un sistema altamente productivo sin embargo, la cantidad del OD en la zona eufótica aún no alcanza los niveles (menores a 1 mg L^{-1}) considerados por Nürnberg (1995) equivalentes a la anoxia, no obstante, temporalmente se observó una tendencia al agotamiento de oxígeno en la zona más profunda de la laguna (2f) (fig. 7).

Durante el periodo estudiado los valores de oxígeno disuelto fueron mayores a los observados en otros trabajos realizados en Mecoacán, éstos oscilaron entre 1.6 y 7.6 mg L^{-1} , registrados durante los muestreos de agosto y abril respectivamente. Según la información aportada por CECODES (1981) el oxígeno en la laguna se encuentra dentro de un intervalo (0.85 a 4.91 mg L^{-1}) biológicamente tolerable con incrementos máximos en la época de secas (abril). Por el contrario, para Salas (1986) la concentración recomendable de dicho gas para la sobrevivencia de la mayoría de los organismos acuáticos con respiración aerobia apenas se alcanza durante el mes de abril (4.0 mg L^{-1}).

En la dinámica temporal se logró apreciar que el nivel de oxígeno se eleva en función a los incrementos de la temperatura observándose una relación positiva entre ambos parámetros (Fig. 6 y 7). Comúnmente se sabe que la solubilidad del oxígeno se ve reducida por los incrementos de la temperatura y la salinidad (Wetzel 1981). Sin embargo en este sistema deben considerarse otros factores que también pudieran tener influencia durante ciertas épocas del año. En enero, cuando las temperaturas disminuyen al parecer el factor que determinó las bajas concentraciones de O_2 (3.3 mg L^{-1}) fue la elevada salinidad, dado que en este mes alcanzó la concentración máxima (34‰) registrada a lo largo de todos los muestreos (-ver Tabla 1-). Durante abril, conforme las aguas se calentaron el oxígeno presentó la concentración promedio máxima (6.4 mg L^{-1}). En Bañuelos (1982), el OD presenta un incremento en la época de secas y explica se debe a que la descarga es mucho menor que en la época de lluvias. Aunque este incremento también podría estar asociado a algún florecimiento del fitoplancton, aunado a la transparencia del agua y a los aportes de oxígeno provenientes de la atmósfera.

Por su parte, en la disminución de oxígeno que se observó durante junio (5.6 mg L^{-1}) presumiblemente podría estar involucrada la estratificación del agua. En las masas de aguas estratificadas, el movimiento vertical de los solutos y de los gases a lo largo de la termoclina es muy lento. Como resultado los nutrientes orgánicos e inorgánicos liberados

por la descomposición (mientras perdure la estratificación) no retornan a la zona eufótica para mantener la producción por las diatomeas y otros organismos fotótrofos (Wetzel 1981)

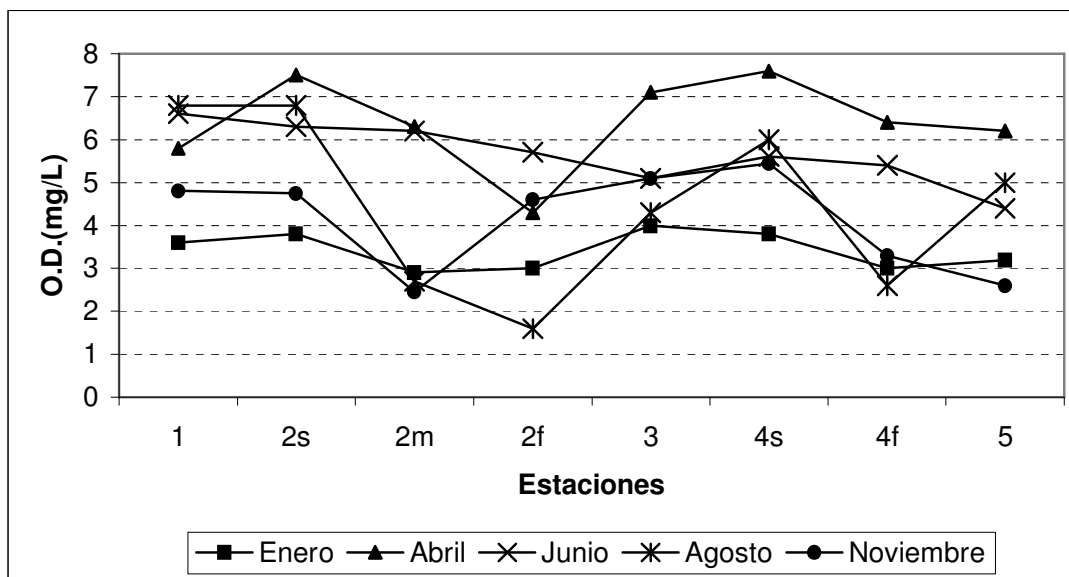


Fig. 7.- Variación temporal, espacial y vertical (estaciones 2 y 4) del oxígeno disuelto.

Opuesto a este último comportamiento, los valores de OD vuelven a incrementarse en agosto (6.3 mg l^{-1}), con el rompimiento de la estratificación. De acuerdo con (Grant 1989) la reincorporación de los nutrientes a la zona eufótica tiene lugar cuando la termoclina desaparece por los vientos otoñales, y podría representarse con un “bloom fitoplanctónico”, principalmente diatomeas, y a medida que los nutrientes y la sílice se encuentran disponibles. Martínez *et al.* (2004) -quién trabajó en esta misma época del año- establecen que en junio se da el primer pico de clorofila *a* por lo que se deduce una alta actividad fotosintética que se prolonga hasta agosto dado el florecimiento de las algas cuya acción posterior determinó la disminución del oxígeno que se pudo apreciar en noviembre (4.0 mg l^{-1}) con un descenso también de la temperatura (fig. 7).

Horizontalmente, las diferencias más amplias fueron vistas entre las estaciones 4 (5.9 mg l^{-1}) y 5 (4.0 mg l^{-1}). En cambio, en la distribución vertical, la concentración de O_2 fue muy variable principalmente en enero y noviembre, aunque los valores máximos estuvieron siempre situados en la superficie. En Wetzel (1981) la utilización de O_2 por la respiración y las oxidaciones químicas aumentan con la profundidad, y con frecuencia se revela por una disminución del oxígeno. En el sitio 2, durante enero y el periodo de nortes se registraron los niveles de oxígeno más altos en la superficie (2s), los mínimos en la parte media (2m) y se incrementaron al fondo (2f) de la estación. En enero, esta diferencia fue apenas apreciable ($3.8, 2.9$ y 3 mg l^{-1}) y se hizo más evidente en noviembre (en el mismo orden de ideas: $4.7, 2.4$ y 4.6 mg l^{-1}). Mientras que para los demás muestreos los niveles de OD disminuyeron con la profundidad y de igual manera sucedió en la estación 4 durante todos los muestreos.

Salinidad (‰)

La conductividad establece el grado de mineralización de un cuerpo de agua, y una estimación acerca de la concentración aproximada de las sales minerales presentes en el agua (APHA et al., 1995), por lo que en el presente trabajo (y mediante una conversión en la lectura), la salinidad se determinó a partir de los valores de la conductividad.

En el mar abierto, la salinidad varía por lo general de 32 a 37.55‰, debido a las diferencias que reflejan los efectos locales de evaporación, lluvia, heladas, fusión de los hielos, influjo de los ríos, entre otros factores (McConnaughey 1974 y Margalef 1983). En las lagunas costeras la salinidad cambia con el flujo de los ríos y las mareas, el efecto de humedad o sequedad y temperaturas extremas, mostrando aguas salobres con concentraciones halinas intermedias que se podrían considerar simplemente como agua de mar más o menos diluida, según el caso (Yáñez 1986).

Dentro del contexto general, la distribución del agua salada a lo largo del cuerpo lagunar de Mecoaacán responde a una corriente marina de aguas con alta salinidad proveniente del Golfo de México (estación 1), y agua dulce aportada por los ríos que desembocan en la laguna, originándose una masa de agua con valores intermedios de salinidad en la parte central de la laguna y una masa de agua de baja salinidad hacia la desembocadura del río Escarbado (estación 5), por consiguiente el rango de variación más amplio se observó entre ambas estaciones (fig. 8).

Los datos en el presente estudio demuestran que las diferencias más grandes tuvieron lugar entre la temporada de Nortes y el periodo de secas con salinidades respectivas de 0.8 ‰ más aproximadas a las aguas dulces (0-0.5 ‰) y 34 ‰, propias del agua de mar (Mc Connaughey 1974).

La variación temporal y estacional en la concentración de sales se dio conforme a la influencia de los diversos factores que se han venido mencionando. Durante enero las diferencias en la salinidad definen muy bien el origen de las dos masas de agua que entran al sistema reflejando la existencia de un ambiente de agua de mar mesohalina (Mc Connaughey 1974) en la boca de la laguna (estación 1) con valores de 34 ‰ y otra equivalente a las aguas salobres oligohalinas (Mc Connaughey *Op.cit.*) en la desembocadura del río Escarbado (estación 5) con valores de 6 ‰, donde a lo largo de todos los muestreos se registraron las concentraciones mínimas. En abril el efecto de los vientos así como los aportes continuos de agua de los ríos (Seco, Escarbado y Cuzcuchapa) se manifestó en el grado de dilución del agua que se diferenció entre 3.1 a 28.9 ‰ de salinidad (fig. 8).

En el mes de junio debido a la prolongación del periodo seco y por consiguiente a la elevada tasa de evaporación provocada por la incidencia de luz solar, la cantidad de sales disueltas se incrementó y fluctuó de 9.5 a 33.5 ‰. Y en el apogeo de la estación lluviosa –agosto– las concentraciones disminuyeron, mostrando valores de entre 3.0 y 28 ‰, incluso en noviembre (1997) con la presencia del huracán Paulina, se mantuvieron

salinidades de 0.8 a 29.3 ‰ que son bajas en comparación al comportamiento habitualmente salino en la mayoría de las estaciones.

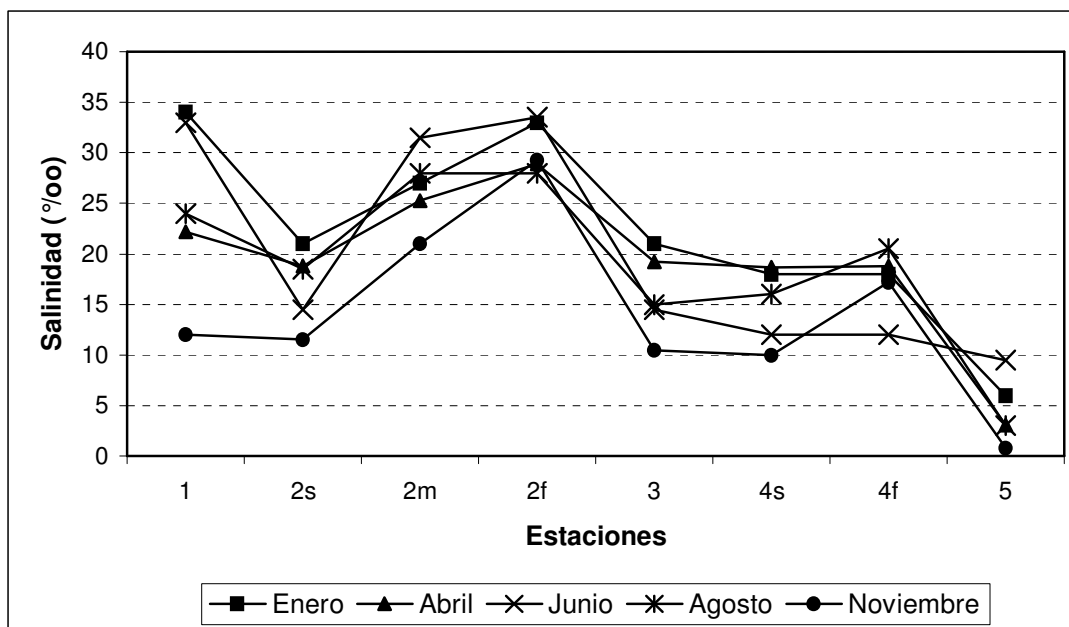


Fig. 8.- Variación temporal, espacial y vertical (estaciones 2 y 4) de la salinidad.

La distribución horizontal de la salinidad tuvo importantes diferencias, principalmente entre las estaciones 1 y 5, que registraron en promedio 22.7 y 3.9 ‰, respectivamente. Mientras que en las aguas superficiales de las estaciones 2, 3 y 4 se observaron los valores intermedios (ver tabla I).

En trabajos anteriores se han venido señalando amplias variaciones de salinidad que difieren en las porciones oriental y occidental de la cuenca lagunar principal, relacionadas principalmente con los aportes pluviales y con el movimiento circular de las corrientes (García-Cubas 1990). Sin embargo las grandes fluctuaciones señaladas por los diversos autores, se pueden atribuir a que los valores han sido medidos puntualmente durante años diferentes, ya que no existen mediciones continuas durante ciclos anuales cuyo régimen pluviométrico varía en intensidad y duración, así como por la presencia de "nortes" que azotan a la región (Galaviz-Solís *et al.* 1987).

Verticalmente, en las zonas más profundas (estaciones 2 y 4) se logró apreciar que la concentración de sal se ve afectada por la profundidad y como era de esperarse, deja entrever una estratificación con salinidades que se incrementan de la superficie al fondo. Los valores medios en la estación 2 fueron de 19.3 ‰ en la superficie (2s), 21.2 ‰ en la parte media (2m) y 28.9 ‰ al fondo (2f). De igual manera, en la estación 4 la salinidad se incrementó ligeramente de 11.8 ‰ en la superficie (4s) a 12.1 ‰ al fondo (4f).

pH

Éste parámetro describe el carácter ácido o básico de un medio químico. En un cuerpo de agua, la propiedad básica que le confieren los carbonatos y bicarbonatos de los metales alcalinos y alcalinotérreos existentes se ve modificada por los excesos en la respiración o por una intensa actividad fotosintética (Wetzel 1981). En condiciones de florecimiento, las algas pueden reducir los niveles de bióxido de carbono disuelto en el agua a un punto en el que se inhibe la fotosíntesis. Esto también hace que cambie el equilibrio del bicarbonato. La eliminación de bióxido de carbono o bicarbonato durante la fotosíntesis hace que aumente el pH y, por el contrario, la adición de bióxido de carbono a través de la respiración acidifica el medio menguando la capacidad amortiguadora del pH. (Campbell 1987).

El pH en el mar fluctúa entre 8.0 y 8.3, y en la mayoría de las aguas dulces es de 6.0 a 9.0 (Grant 1989). Bañuelos (1982) establece que las aguas de Mecoacán son ligeramente ácidas muy cercanas al neutro con un pH promedio de 6.8. Sin embargo, durante el presente estudio se observó que parten de la neutralidad hacia valores básicos (7.2 y 8.9), mayores a los señalados por éste autor.

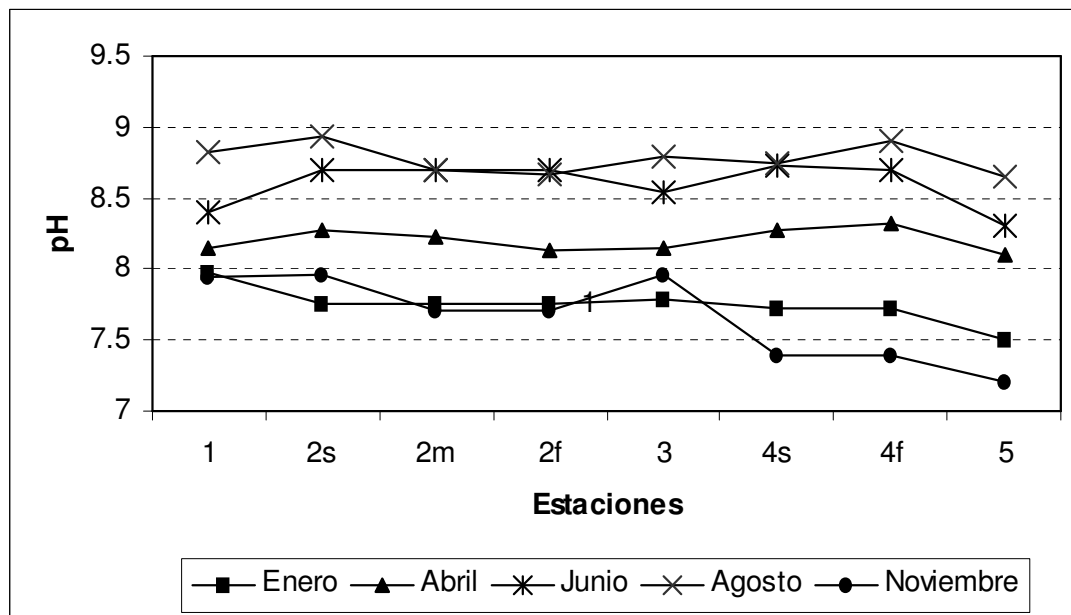


Fig.9.- Variación temporal, espacial y vertical (estaciones 2 y 4) del pH.

Temporalmente, aunque el pH tiende a elevarse ligeramente desde enero (7.7 en promedio) el incremento fue más notorio a partir de los periodos de abril (8.1) y junio (8.5), alcanzando un promedio máximo de 8.7 en agosto. Por su parte, en noviembre se observó que el pH descendió hasta 7.6 y es el más bajo registrado durante todos los muestreos.

Espacialmente, se encontró que el pH varía muy poco a lo largo del sistema. Los valores medios fluctúan entre 8.0 y 8.2, que corresponden a las estaciones 5 y 2s respectivamente (ver tabla 1).

Verticalmente, en la estación 2 no existieron diferencias de pH a lo largo de la columna de agua, entre enero y junio, al igual que en la estación 4 para enero y noviembre. No obstante, en los demás periodos (abril, agosto y noviembre) en el sitio 2 el agua se vuelve más ácida al aumentar la profundidad. Esta diferencia tiende a ser más amplia en el mes de agosto, cuyo pH en la superficie disminuyó de 8.9 a 7.6 al fondo. Por el contrario, en la estación 4 se observó que en las épocas de abril, junio y agosto el agua más alcalina se sitúa en la capa inferior de la columna de agua.

Tabla 1.- Parámetros ambientales de la Laguna de Mecoacán, Tabasco (1997).

	Estaciones	Temperatura (°C)	Oxígeno (mgL ⁻¹)	Salinidad (o/oo)	pH
E N E R O	1	24	3.6	34	7.97
	2s	23	3.8	21	7.76
	2m	22.5	2.9	27	7.76
	2f	23.5	3	33	7.76
	3	23	4	21	7.78
	4s	24	3.8	18	7.73
	4f	23.5	3	18	7.73
	5	23	3.2	6	7.51
A B R I L	1	30.5	5.8	22.2	8.14
	2s	30.7	7.5	18.8	8.28
	2m	27.8	6.3	25.3	8.22
	2f	26.1	4.3	28.9	8.13
	3	30.6	7.1	19.2	8.14
	4s	30.5	7.6	18.7	8.28
	4f	30.7	6.4	18.8	8.32
	5	30.7	6.2	3.1	8.1
J U N I O	1	25	6.6	33	8.4
	2s	29	6.3	14.5	8.7
	2m	26	6.2	31.5	8.7
	2f	25	5.7	33.5	8.7
	3	32	5.1	14.5	8.54
	4s	32	5.6	12	8.73
	4f	32	5.4	12	8.7
	5	29	4.4	9.5	8.3
A G O S T O	1	28.8	6.8	24	8.82
	2s	29.6	6.8	18.5	8.93
	2m	26	2.7	28	8.7
	2f	25	1.6	28	8.67
	3	29.1	4.3	15	8.79
	4s	29.8	6	16	8.74
	4f	30	2.6	20.5	8.9
	5	31	5	3	8.65
N O V.	1	26	4.8	12	7.94
	2s	26	4.75	11.5	7.96
	2m	27	2.45	21	7.7
	2f	26.5	4.6	29.3	7.7
	3	25.5	5.1	10.5	7.96
	4s	25.5	5.45	10	7.4
	4f	26	3.3	17.2	7.4
	5	27	2.6	0.8	7.2

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Para éste análisis se consideraron las variables ambientales y las densidades bacterianas diferenciadas por morfotipo (Statistica versión 5.0, 1991). Para obtener un análisis más completo sobre las posibles causas de la variación bacteriana se consideraron también los valores de nutrimentos obtenidos por Aguilar (2002). Se encontró una correlación positiva ($P < 0.01$) entre las densidades de cocos y bacilos ($r = 0.53$). En el caso de los cocos se relacionaron de manera negativa con los fosfatos ($r = -0.57$), así como con el fósforo total ($r = -0.28$) y los nitratos ($r = -0.27$). Mientras que los bacilos tienden a ser más susceptibles a los factores físicos, como el oxígeno disuelto ($r = 0.38$), temperatura ($r = 0.27$) y pH ($r = 0.26$), con los que mantiene una correlación positiva y una relación negativa con los nitritos ($r = -0.26$). Se sabe, que el oxígeno, así como el pH son algunos de los parámetros ambientales más importantes para la tasa de nitrificación (Prinčič *et al.* 1998).

De lo anterior se establece que las correlaciones entre las poblaciones de bacterias y los parámetros ambientales son muy bajas, sin embargo, dadas las características tan heterogéneas de la laguna, solo los nutrimentos parecen afectar las abundancias y actividad de los cocos quienes, en número, generalmente fueron mayores a los bacilos (-ver Fig.4 -); por su parte, al parecer, éstos últimos respondieron más a factores físicos.

El crecimiento de las bacterias además de condiciones ambientales adecuadas requiere de elevadas cantidades de carbón orgánico y nutrimentos (nitrógeno y fósforo orgánicos o inorgánicos) (Rheinheimer 1992 y Felip *et al.* 1996), por consiguiente, diversos estudios sostienen que en lagos y aguas costeras el crecimiento del bacterioplancton puede ser directamente estimulado por la adición de P inorgánico o incluso de otros nutriente inorgánicos (e.g., Toolan *et al.* 1991; Coveney y Wetzel 1995; Le *et al.* 1994); por ejemplo Vrede *et al.* (1999) citan algunos trabajos que establecen una estimulación indirecta a través del incremento del carbón orgánico liberado por el fitoplancton. Currie (1990) por su parte, propone que la correlación bacteria-fósforo total es en ocasiones mas débil que la correlación clorofila-fósforo total y sugiere, que el status trófico y la temperatura determinan la mayoría de las variaciones de las abundancias de las bacterias entre lagos.

Según Cotner y Wetzel (1992) la utilización del fósforo por las bacterias no es indispensable debido a la disponibilidad de C orgánico y otros nutrientes, por lo que los presentes resultados sugieren que dado las altas concentraciones de materia orgánica disuelta y demás nutrimentos en general (Aguilar 2002), en sus formas tanto orgánicas como inorgánicas que se producen o se suman a la laguna de manera alóctona, las bacterias probablemente desarrollaron diferentes afinidades por algún sustrato en especial (Payne y Wiebe, en Kristiansen *et al.* 1992; Kirchman y Rich 1997).

Margalef (1983) establece que la correlación entre la densidad de las bacterias y la densidad del fitoplancton es frecuentemente negativa o se correlacionan poco -(como es el caso de Mecoacán, $r = 0.29$; Martínez 2002)-. Simek (1986; citado en Currie 1990) señala que la variación de la abundancia bacteriana se relaciona algunas veces con los niveles de clorofila aunque para Bird y Kalff (1987) esta correlación es frecuentemente positiva para

una amplia variedad de sistemas acuáticos. Otros estudios en Scavia y Laird (1987) reportan una baja correlación total ($r=0.2$) entre la abundancia de bacterias y la concentración de clorofila y señalan además, que la liberación de metabolitos algales no puede ser una fuente mayor de carbono para la producción bacteriana. Vrede *et al.* (1999) sostienen que en el lago eutrófico Erken, el crecimiento de las bacterias y el fitoplancton no están directamente correlacionados y dejan entrever que la relación entre estas dos variables es indirecta y esta fundada en que ambas están reguladas por un mismo factor, añadiendo, que en un análisis de correlación absoluto podría estar correlacionados, pero en un análisis de correlación parcial esta relación se debe al hecho de que ambas variables muestran fuertes correlaciones positivas con la temperatura.

Martínez (2002) realizó un estudio en Mecoacán, de reducción de *Vibrio cholerae* en la misma época que el presente trabajo, la autora menciona en sus resultados de correlación que las bacterias se encuentran asociadas al fitoplancton, aunque en la mayoría de los muestreos la clorofila *a* tuvo valores menores a $1 \mu\text{g/l}$; sin embargo, en junio se presentó un pico de fitoplancton (diatomeas principalmente) de $25 \mu\text{g/l}$, (Martínez *et al.* 2004), lo cual podría coincidir con la aseveración de que las bacterias se relacionan positivamente con el fitoplancton ya que durante éste mes se observó la densidad máxima de bacterias (estación 3). No obstante, las bajas densidades que se registraron durante agosto, cuando la concentración de clorofila se reporta aun elevada correspondería con lo antes expuesto por Margalef (1983) y posteriormente citado por Vrede *et al.* (1999). Aunque también habrá que considerar las dificultades que se presentaron al realizar los recuentos bacterianos durante los dos últimos muestreos con los excesos de materiales suspendidos (arcillas) causados por la mezcla turbulenta.

Igualmente, algunos trabajos sostienen que la abundancia bacteriana además del fósforo, esta potencialmente determinada por la temperatura (e.g., Currie 1990; Unanue *et al.* 1992; Coveney y Wetzel 1992). Para White *et al.* (1991, citado en Ochs 1995) la variación temporal y espacial en la disponibilidad y calidad de los nutrientes puede debilitar el efecto de la temperatura sobre el crecimiento de las bacterias en sistemas de agua dulce comparado con sistemas de agua salada. Al respecto Felip *et al.* (1996) señala que aunque la temperatura puede limitar el crecimiento bacteriano durante ciertas épocas del año, cuando ésta es adecuada –como en Mecoacán– otros recursos pueden regular el crecimiento de las bacterias, por lo que en el verano el crecimiento puede estar limitado por el N y el P. Por otro lado, los estudios de Kirchman y Rich (1997) muestran que la temperatura y la materia orgánica disuelta interactúan para controlar el crecimiento de las bacterias en ecosistemas acuáticos naturales.

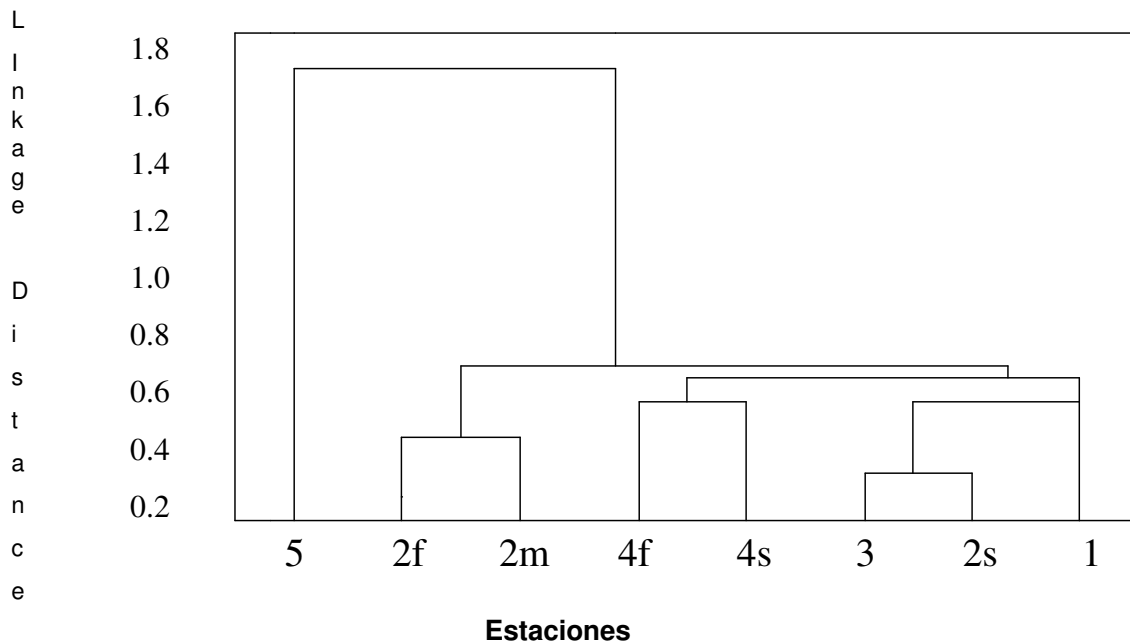
Simon y Wünsch (1988; en Gurung y Urabe 1999) demostraron que la temperatura puede afectar indirectamente el crecimiento bacteriano a través de la selección de bacterias que están mejor adaptadas a la temperatura del ambiente, ya que en ambientes naturales los cambios en los nutrientes inducen a la sucesión, favoreciendo que las bacterias se adapten mejor a la composición del medio actual (Kristiansen *et al.* 1992); por lo que el crecimiento de las bacterias planctónicas en la laguna de Mecoacán pudo encontrarse un tanto limitado por la temperatura durante el invierno y disminuido por el proceso de adaptación que deben sufrir en el otoño, dadas las bajas densidades observadas, principalmente durante éste último periodo.

Mecoacán es un ambiente diverso donde no es fácil inferir el patrón que causa las fluctuaciones de las bacterias debido a que – ya sea temporal o espacialmente – podrían estar involucrados tanto componentes físicos (hidrodinámica, salinidad y la estratificación de la temperatura) como biológicos o incluso de la interacción de ambos procesos (Ramírez *et al.* 1995, Aguilar 2002, Martínez *et al.* 2004). Al respecto Schweitzer y Simon (1995) mencionan que el crecimiento de las bacterias planctónicas puede estar controlado por diversos factores, esto incluye, la disponibilidad y calidad de los sustratos y la adaptación fisiológica y estructural de las bacterias a las condiciones ambientales dadas.

ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTOS

Este análisis se realizó utilizando los datos físicos y químicos, los datos fueron transformados a logaritmos –para eliminar las unidades diferentes y normalizar su distribución- excepto el pH (Statistica versión 4.5, 1993). El objetivo de llevarlo a cabo fue conocer que estaciones compartían características entre sí, observándose principalmente tres conglomerados: el primero incluye a las estaciones 1, 2s y 3, estas estaciones corresponderían a la zona de agua salada y fría, las más cercanas a la desembocadura al mar por lo que comparten características en cuanto a concentración de oxígeno, pH, aunque biológicamente solo podrían ser comparables con la estación 4 (4s y 4f) del segundo conglomerado.

Fig. 10.-Laguna de Mecocacán. Análisis de agrupamientos por estaciones
Enlace simple (Distancia Euclidiana)



La estación 4 (4s y 4f) está cercana a la zona urbana y es una de las más profundas, presenta salinidades altas y desecho de aguas negras. El tercer conglomerado (2f y 2m) corresponde a la zona de entrada de agua donde se podría decir que se presentó haloclina (2m) por la entrada de agua de mar y mezcla con agua dulce del Río Seco. Finalmente la estación 5 difiere de las demás porque está cercana al Río Escarbado que es agua dulce, en ésta última las densidades bacterianas fueron muy bajas comparada con el resto de las estaciones.

CONCLUSIONES

Las poblaciones de bacterias del plancton en la Laguna de Mecoacán presentan un amplio rango de variación, entre la densidad (bac/mL) mínima que indica aguas poco contaminadas y los números máximos que reflejan aguas muy contaminadas propias de sistemas eutróficos y que se ubican en la porción principal del cuerpo lagunar.

La abundancia bacteriana fue más uniforme en abril, aunque el pico máximo se manifestó en junio, y en agosto sufrió un dramático descenso.

Se presentó una débil estratificación durante la época de secas, lo que permitió detectar un minigradiente bacteriano, que fue roto durante la época de mezcla en la estación lluviosa del año.

La comunidad de bacterias estuvo representada principalmente por cocos (93.5%) generalmente pequeños de entre 0.36 y 1.47 μm , y un mínimo de bacilos (6.5%) con tamaños de entre 0.36 de ancho y 3.63 μm de longitud. Con excepción del mes de agosto los números de cocos fueron consistentemente superiores a los bacilos.

La heterogeneidad espacial y los cambios estacionales determinaron en gran medida la variación de las poblaciones bacterianas. Y dentro de los factores físico-químicos que revisten mayor importancia en la abundancia y actividad de los cocos se encuentran los fosfatos, y el oxígeno disuelto en los bacilos.

Para diferenciar espacialmente a la laguna de Mecoacán, se establecieron tres zonas en donde la salinidad y la temperatura influyeron sobre las densidades de bacterias.

El crecimiento bacteriano en Mecoacán pudo encontrarse limitado por la temperatura durante la época de frío y disminuido por el proceso de adaptación que deben sufrir en el periodo de lluvias, dadas las bajas densidades observadas principalmente durante éste último periodo.

Los altos números de bacterias evidencian la necesidad de implementar medidas serias que permitan reducir oportunamente los efectos de la eutrofización antropogénica que está siendo objeto la laguna de Mecoacán así como otros cuerpos de agua a nivel nacional.

Los resultados del presente trabajo sugieren que la técnica de fluorescencia es una herramienta de análisis sencilla que puede ser aplicable y eficaz en los cuestionamientos de numeración y morfometría bacteriológica funcional y su relación con el ambiente en los diversos sistemas acuáticos naturales.

Mecoacán es un ambiente heterogéneo en donde no es fácil inferir el patrón que causa las fluctuaciones de las bacterias debido a que – ya sea temporal o espacialmente – podrían estar involucrados tanto componentes físicos (hidrodinámica, salinidad y la estratificación de la temperatura) como biológicos o incluso de la interacción de ambos procesos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera G.F.A. (1977): Introducción al conocimiento hidrológico de la laguna de Mecoacán, Puerto Ceiba, Tabasco, Tesis Licenciatura. UABC, 83 p.
- Aguilar R. I. (2002): Estudio bacteriológico y Físicoquímico de la calidad del agua de la Laguna de Mecoacán Tabasco, Mexico. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Profesionales Iztacala.UNAM. 87 p.
- APHA, AWWA y WPCF. (1995): *Standard methods (for the examination of water) and wastewater*, American Public Health Association, United State. Pp: 103, 861-863.
- Azam F., Fenchel T., Field J.G., Gray J.S., Meyer-Reil L.A. y Thingstad F. (1983): The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10: 257-263
- Bañuelos R.I.S. (1982): Variación estacional de la contaminación bacteriana coliforme en tres lagunas costeras del estado de Tabasco, México. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 34 p.
- Barcina I, Ayo B., Unanue M., Egea L. y Iriberry J. (1992): Comparison of rates of flagellate bacterivory and bacterial production in a marine coastal system. *Applied and Environ. Microbiol.* 58(12):3850 – 3856.
- Bird D. F. y J. Kalff. (1984): Empirical relationships between bacterial abundance and chlorophyll concentration in fresh and marine waters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 1015 – 1023.
- Botello V.A. (1978): Presencia de hidrocarburos fósiles en sistemas costeros y estuarinos del Golfo de México. Tesis Doc. Facultad de Ciencias del Mar y Limnol. UNAM. 155 p.
- Botello V.A.; Castro A.S. y De la Torre P.A. (1981): Niveles actuales de hidrocarburos disueltos en los sistemas lagunares del estado de Tabasco, México. Informe final. ICMYL, UNAM. México, 20 p.
- Botello V.A.; Ponce V.G.; Toledo, A.; Díaz G.G. y Villanueva S. (1992): Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. *Ciencia y Desarrollo* 17(102):28-48.
- Branco S.M. (1984): *Limnología sanitaria*, estudio de la polución de aguas continentales. Sría. Gral. De la O.E.A. Washington. 120 p.
- Bromark C. y Lars-Anders H. (1990): *The biology of lakes and ponds*. Oxford. Nueva York. Pp:154-167

- Campbell R. (1987): *Ecología Microbiana*. Limusa. México. Pp:153-204
- Caron D.A. y Goldman J.C. (1990): In Protozoan nutrient regeneration. In: Capriulo, G. M. (ed.). *Ecology of marine protozoa*. Oxford University Press, New York. Pp. 283- 306.
- Castro G. (1981): Determinación de los niveles de hidrocarburos en sedimentos recientes y en el ostión *Crassostrea virginica*, de la laguna Mecoacán, Tabasco. México. Tesis Licenciatura. Facultad de ciencias.UNAM.
- CECODES (1981): *Las lagunas costeras de Tabasco. Un ecosistema en peligro*. Centro de Ecodesarrollo. Pp: 1-67.
- Contreras E.F. (1985): *Las lagunas costeras mexicanas*. Centro de Ecodesarrollo. México. Pp: 17-45.
- Cortés M. J., Ramírez G.P. y Sanchez C. J. (2000): Occurrence of *Vibrio cholerae* in the Brackish water of a coastal lagoon in the Gulf of Mexico. In: Munawar M. Lawrence S.G., Munawar I.F. & Malley D.F. (eds.): *Aquatic-ecosystems of Mexico: Status and scop*. Ecovision World Monograph Series. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. Pp. 257-271
- Cotner B.J. y Wetzel G.R. (1992): Uptake of dissolved inorganic and organic phosphorus compounds by phytoplankton and bacterioplankton. *Limnol. Oceanogr.* 37(2):232-243
- Coveney F. M. y Wetzel G. R. (1992): Effects of nutrients on specific growth rate of bacterioplankton in oligotrophic lake water cultures. *Appl. Environ Microbiol.* 58(1):150-156
- Currie J. D. (1990): Large-scale variability and interactions among phytoplankton, bacterioplankton, and phosphorus. *Limnol. Oceanogr.* 35(7):1437-1455
- De la Cruz A.G. y Navarrete N. (1980): Posibles efectos del impacto ambiental sobre la comunidad nectónica de la laguna de Mecoacán, Tabasco, Mex., *Resúmenes I Congr. Sobre problemas ambientales en México*. 45p.
- De la Lanza E. G. y Arenas V. F. (1986): Disponibilidad de nutrimentos a partir de materia orgánica en un sistema lagunar. *Ciencia.* 37(3):247-254.
- Domínguez M. y Castillo O. (1993): Estado actual del estado arbóreo y algunos aspectos fisicoquímicos de los manglares de la laguna de Mecoacán. *XII Congr. Méx. de Botánica*. 81p.
- Felip M., Cole J.J. y Peace L.M. (1996): Regulation of planktonic bacterial growth rates: the effects of temperature and resources. *Microbial Ecology* 31:15-28.

- Galaviz-Solis A., Gutiérrez-Estrada M. y Castro del Río A. (1987): Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas de Dos Bocas y Mecoacán, Tabasco, México. *Anales del Inst. de Ciencias del Mar y Limnol.*, UNAM. Pp:1-27
- García-Cubas A., Escobar de la Lata F., González A. L.V. y Reguero M. (1990): Moluscos de la Laguna de Mecoacán, Tabasco; México: Sistemática y ecología. *Anales del Inst. de Ciencias del Mar y Limnol.* UNAM. Pp:1-49
- García E. (1988): *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. E. García (ed.), México. 217 p.
- Gastelum G.J.O. (1979): Distribución superficial de las variables fisicoquímicas: T°C, S ‰, O ml/L y pH; en la laguna de Mecoacán del Estado de Tabasco, México, durante un ciclo anual. Tesis Licenciatura. UACB.
- Gomes A.T. E., Ventero M. M., Mendonça-Hagler C.S.L. y Hagler N.A. (1998): Aquatic bacteria in a tropical coastal lagoon. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26:1468-1472
- Granados B.A.A.; Priego M.B.C.; Salvadores B.M.L. y Ramos P.J.L. (1992): Fauna acuática de la laguna de Mecoacán, Paraíso, Tabasco. *Resúmenes IX Congr. Nal. Oceanogr.* 99 p.
- Grant, D.T. y Long, P.W.E. (1989): *Microbiología ambiental*. Acribia. España. Pp: 37-44.
- Gurung T. B. y J. Urabe. (1999): temporal and vertical difference in factors limiting growth rate of heterotrophic bacteria in lake Biwa. *Microbial Ecology*. 38: 136 – 145.
- Krambeck C. (1988): Control of bacterioplankton structures by grazing and nutrient supply during the decline of an algal bloom. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23: 496 – 502.
- Kirchman D. L. y Rich J. H.(1997): Regulation of bacterial growth rates by dissolved organic carbon and temperature in the equatorial Pacific Ocean. *Microbial Ecology*. 33: 11 – 20.
- Kristiansen K., Nielsen H., Riemann B. y Fuhrman J.A. (1992): Growth efficiencies of freshwater bacterioplankton. *Microbial Ecology*. 24(2):145-160
- Le Cren E. D. (1980): *The functioning of freshwater ecosystems*. By E. D. Le Cren and R.H. Lowe-McConnell. Cambridge. 588 p.
- Le J., Wher J.D. y Campbell L. (1994): Uncoupling of bacterioplankton and phytoplankton production in fresh waters is affected by inorganic nutrient limitation. *Appl. Environ. Microbiol.* 60(6):2086-2093
- Lezcano B.E., Eguiarte M.A. y Corte E.A. (2000): La calidad del agua en los ecosistemas costeros de México. Programa medio ambiente. Instituto Nacional de Ecología (<http://www.ine.gob.mx>) 407 p.

- Lind T.O. (1991): Association of turbidity and organic carbon with bacterial abundance and cell size in a large, turbid, tropical lake. *Limnol. Oceanogr.* 36(6):1200-1208
- López- Hernández E., Maldonado-Mares F. y Sánchez-Munguía A. (1997): Diagnóstico y evaluación de impacto ambiental en comunidades bióticas de los sistemas lagunares costeros Mecoacán y Carmen-Pajonal-Machona. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 1ª edición. 71 p.
- López-Portillo, G.J.A. (1982): Ecología de manglares y de otras comunidades de halófitas en la costa de la laguna de Mecoacán, Tabasco. Tesis Licenciatura., Facultad de Ciencias. UNAM, 160 p.
- López-Portillo J. y Ezcurral E. (1985): "Litter fall of *Avicennia germinans* L. in a one-year cycle in a mudflat at the laguna de Mecoacán, Tabasco; Mexico." *Biotrópica.* 17(3): 186-190
- Margalef R. (1983): Limnología. Omega, Barcelona. Pp: 606-619.
- Martínez P. M.E.(2002) Reducción de vibrio cholerae por bacterivoría de protozooplancton en el medio acuático. Tesis Maestría, Biología de sistemas y recursos acuáticos, Fac. Cienc., UNAM. 87 Pp.
- Martínez P. M.E., Macek M. y Castro G. M. T. (2004): *In situ* measured elimination of *Vibrio cholerae* from brackish water. *Tropical Medicine and International Health.* 9(1):1-8
- Matz C. y Jürgens K. (2003): Interaction of nutrient limitation and protozoan grazing determines the phenotypic structure of a bacterial community. *Microbial Ecology.* 45(4):384-398
- McConnaughey B. H. (1974): *Introducción a la biología marina.* Bayard h. McConnaughey; tr. del inglés por Ma. Del Carmen B. P.; Acribia; España. 455 p.
- Nürnberg G. A. (1995): Quantifying anoxia in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 40: 1100-1111
- Ochs A. C., Cole J. J. y Likens E. G. (1995): Population dynamics of bacterioplankton in an oligotrophic lake. *Journal of Plankton Research.* 17(2):365-391
- Pinell-Alloul y Letarte Y. (1991): Relationships between bacterioplankton production and limnological variables: Necessity of bacterial size considerations. *Limnol. Oceanogr.* 36(6):1208-1216
- Porter K.G. y Feig Y.S. (1980): The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.* 25(5):943-948.

- Pomeroy L. R., Sheldon J. E., Sheldon Jr. W. M. y Peters. F. (1995): Limits to growth and respiration of bacterioplankton in the Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 117, Pp: 259 – 268.
- Prinčič A. , Mahne Ivan, Megušar F., Eldor A. P. y Tiedje M. J. (1998): Effects of pH and oxygen and ammonium concentrations on the community structure of nitrifying bacteria from wastewater. *Appl. Environ. microbiol.* 64(10):3584-3590
- Ramírez, G. P. Cortés Muñoz, J.E. Sánchez Ch. J.J. y Hernández G.C. (1995): Nicho ecológico de *Vibrio cholerae* en el ambiente acuático vs. Un estudio experimental, México. Instituto Mexicano de Tecnología del agua. 117 p.
- Rheinheimer G. (1992): *Microbiología de las aguas*. Acribia. Zaragoza, España. 299 p.
- Robles E.; Gallegos, M.E.; Calderón, A. y Sainz. Ma.G. (1993): Remoción de Materia Orgánica. *Rev. Inf. Cient. y Tecnológica*. México. 15(203):26-28.
- Salas G. R. (1986): Estudio hidrológicos y nivel de alteración causado de organoclorados en las lagunas Mecoaacán y Carmen-Machona, Tabs., México. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 44 p.
- Scavia D. y Laird A.G. (1987): Bacterioplankton in Lake Michigan: Dynamics, controls, and significance to carbon flux. *Limnol. Oceanogr.* 32(5):1017-1033
- Schweitzer B. y Simon M. (1995): Growth limitation of planktonic bacteria in a large mesotrophic lake. *Microbial Ecology*. 30(1):89-104
- Signoret M.; Castro, A. J. L. y Santoyo, H. (1981): Análisis multifactorial de la producción planctónica de tres lagunas costeras de México. *Resúmenes VII Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol.* México. 42 p.
- Simon M. (1988): Growth characteristics of small and large free-living and attached bacteria in lake Constance. *Microbial Ecology*. 15(2):151-163
- Toolan T., Wehr J. D. y Findlay S. (1991): Inorganic phosphorus stimulation of bacterioplankton production in a meso-eutrophic lake. *Appl. Environ. Microbiol.* 57(7):2074-2078
- Tumber P. V., Robarts D. R., Arts T. M., Evans S.M. y Caldwell E.D. (1993): The influence of environmental factors on seasonal changes in bacterial cell volume in two Prairie saline Lakes. *Microbial Ecology*. 26(1):9-20
- Unanue M., Begoña A., Azúa I., Barcina I. e Iriberry J. (1992): Temporal variability of attached and free-living bacteria in coastal waters. *Microbial Ecology*. 23(1):27-39
- Vallentyne R. J. (1978): *Introducción a la Limnología, Los lagos y el hombre*. Omega. Barcelona. pp. 4-5, 34-35.

- Vrede K., Vrede T. Asaksson A. y Karlsson A. (1999): Effects of nutrients (phosphorous, nitrogen, and carbon) and zooplankton on bacterioplankton and phytoplankton- a seasonal study. *Limnol. Oceanogr.* 44(7):1616-1624
- Weisse T. (1990): Trophic interactions among heterotrophic microplankton, nanoplankton, and bacteria in Lake Constance. *Hydrobiologia.* 19: 111 – 122.
- Wetzel R.G y Likens, G.R. (1979): *Limnological analyses.* Saunders. Filadelfia. 357 pp.
- Wetzel, R. G. (1981): *Limnología.* Omega. Barcelona. pp: 519- 521.
- Yannarell A. C., Kent A.D., Lauster G.H., Kratz T.K. y Triplett E.W. (2003): Temporal Patterns in bacterial communities in three temperate Lakes of different trophic status. *Microbial. Ecology.* 46(4):391-405
- Yáñez A.A. (1986): *Lagunas costeras y estuarios como ecosistemas.* *Ecología de la zona costera.* AGT. Pp:11-20 y 25-40.
- Yépez D. V.S. En prensa: Estudio de las comunidades fitoplanctónicas y de protozoos de la Laguna de Mecocacán Tabasco, México. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM.
- Zweifel U.L. y Åke H. (1995): Total counts of marine bacteria include a large fraction of non-nucleoid-containing bacteria (Ghosts). *Appl. Environ. Microbiol.* 61(6):2180-2185

ÁREA DE ESTUDIO

LOCALIZACIÓN.

La laguna de Mecoacán, se localiza al noroeste del estado de Tabasco (Fig. 1), en el litoral del Golfo de México, entre las coordenadas 18°25' latitud Norte y 18°20' latitud Sur y 93°10' longitud Oeste y 93°05' longitud Este; a una altitud de 10 msnm. Forma parte del cuerpo deltaíco de los Ríos Grijalva y Usumacinta (Contreras 1985).

CLIMA.

El clima en el área de estudio es de tipo *Am (f) w'' (i)g* (Contreras 1985), que se traduce como una zona de tipo tropical lluvioso, con temperaturas promedio de 26.8° C (López-Hernández *et al.* 1997). En definición, Mecoacán se localiza en las llanuras tabasqueñas con un porcentaje de lluvias invernal menor que 5 de la anual (2500 mm de lluvia en el año cuando la precipitación es nula en el mes más seco)(*Am*), por consiguiente presenta un clima de selva caliente y húmedo con lluvias todo el año (*Am(f)*), con dos épocas de secas: una marcada en invierno y otra corta en el verano(*w''*), por lo que se identifica como zona isotermal con oscilación térmica anual de la temperatura media mensual de 5 °C (*i*) y un mes más caliente antes del solsticio de verano (*g*). En consecuencia se presenta una temperatura media anual de 22° C (Contreras 1985 y García 1988). Inciden vientos y lluvias fuertes conocidos como "nortes" en dirección norte-noroeste que afectan la zona costera.

MORFOLOGÍA E HIDRODINÁMICA.

La laguna de Mecoacán tiene un área aproximada de 50 Km². La profundidad es de 1.20 m con valores máximos de 3m en la Barra de Dos Bocas. El canal de acceso al mar registra algunos tramos con honduras de 8 m. en la parte Norte. Su eje principal se orienta en dirección Este-Oeste y es paralelo a la línea de costa; mide 11.5 Km. de Norte a Sur, y en su parte más ancha 7 Km. (Castro 1981 y Galaviz-Solis *et al.* 1987).

Dicha laguna esta repartida en dos masas de agua irregulares que se conectan por un estrecho paso (aproximadamente 300 m.) llamado "Boca Grande", cerca al cual se encuentran pequeñas islas. Este pequeño paso es una boca de acceso de la laguna a los canales de intercomunicación con el océano. La conexión con el océano no es constante y tiene un ancho aproximado de 300 m., y se le conoce con el nombre "Barra de Dos Bocas" localizado en la parte Norte del sistema (Castro 1981 y CECODES 1981).

Fluyen a la laguna tres ríos principales: por la parte Este desemboca el río Escarbado o río Hondo, con un ancho aproximado de 20 m., el cual sirve de enlace a aquélla con el río González, que llega al Golfo de México. En la parte Sureste se localiza el río Cuxcuchapa (15 m. de ancho); el río Seco desemboca al Noroeste de la laguna, con una anchura aproximada de 200 m (Bañuelos 1982 y Contreras 1985).

El rasgo fisiográfico más notable lo constituyen la laguna "Tilapa" en la parte Sur, dicha laguna flanquea una laguna más pequeña llamada "Tilapia", que sería la prolongación de agua anexa más importante de la laguna de Mecoacán. El canal que conecta esta última con la laguna Tilapa tiene una anchura aproximada de 300 m. Y la laguna "la Negrita", también al Sur se conecta por su parte a la laguna Mecoacán a través del río Cuxcuchapa (CECODES 1981, Bañuelos 1982 y Contreras 1985).

Mecoacán es utilizada para la pesca, recreación, como vía de comunicación entre los poblados aledaños; en las riberas se practica la agricultura de temporal, así como plantaciones perennes y en sus inmediaciones también se encuentra la ganadería (López-Hernández *et al.* 1997).

La laguna recibe desechos domésticos del poblado de Cuauhtémoc, por el río González que recoge el drenaje de Jalapita y de Chiltepec. Y aunque se ha evaluado la explotación petrolera, se desconoce el impacto sobre la biota, sin embargo, los lugareños afirman que la pesca y calidad del agua han disminuido considerablemente (Cortés *et al.* 2000).

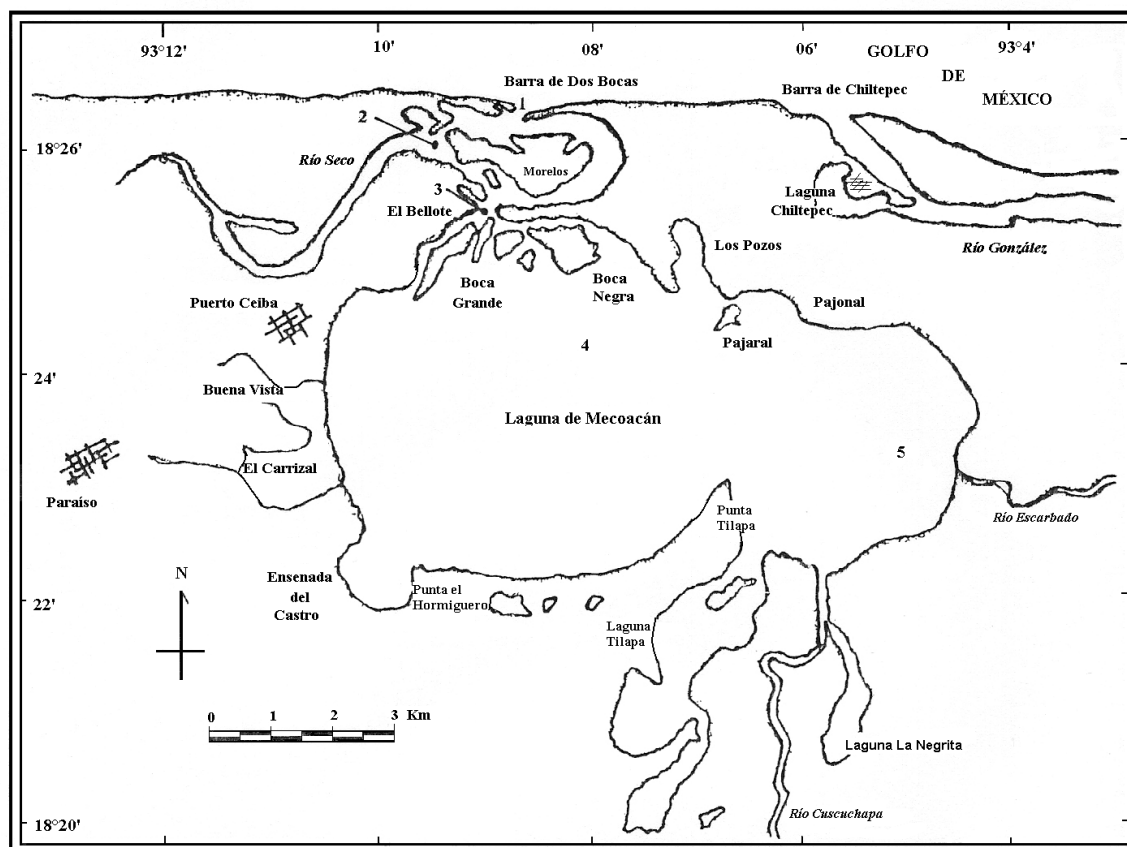


Fig. 1.- Laguna de Mecoacán, Tabasco (modificado de Galaviz-Solis *et al.* 1987).
Ubicación de las estaciones de muestreo.