

Análisis químico-biológico para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, México

Chemical-biological analysis to determine the trophic status of Tres Palos Lagoon, Guerrero, Mexico

Guadalupe de la Lanza Espino¹
Javier Alcocer Durand²
José Luis Moreno Ruiz¹
Salvador Hernández Pulido¹

¹ Laboratorio de Química y Productividad Acuática, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. A.P. 70-153, C.P. 04510, D.F. e-mail: gdlle@servidor.unam.mx

² Proyecto de Investigación en Limnología Tropical, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. de los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla 54090 Edo. de México. e-mail jalcocer@servidor.unam.mx

de la Lanza E. G., J. Alcocer-Durand, J. L. Moreno-Ruiz y S. P. Hernández-Pulido. 2008. Análisis químico-biológico para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres Palos Guerrero, México. *Hidrobiológica* 18 (1): 21-30.

RESUMEN

Se llevó a cabo una evaluación de los principales parámetros fisicoquímicos y biológicos de la Laguna de Tres Palos en 2003; el objetivo fue evaluar la calidad ambiental y estatus trófico correspondiente y finalmente, hacer una comparación con las características evaluadas en 1971. La salinidad, temperatura y oxígeno disuelto permanecieron similares: oligohalina (2-4 ups), cálida (28-31°C), con sobresaturación superficial y condiciones de hipoxia o anoxia en el fondo. Sin embargo, otras características se modificaron dramáticamente. En 1971 la laguna era eutrófica con elevadas densidades de fitoplancton (8×10^3 cel mL⁻¹) y florecimientos de cianofitas (i.e., *Mycrocystis*, *Anabaena*, *Spirulina*). Treinta y dos años después, la condición trófica de Tres Palos evolucionó hacia la hipereutrofia. La biomasa (≥ 100 mg clorofila "a" m⁻³) y densidad (p. ej., $> 10 \times 10^4$ cel mL⁻¹) del fitoplancton aumentaron en respuesta a la gran cantidad de fósforo disponible (3.6 a 80.6 µM); las cianofitas continuaron siendo el grupo dominante pero las especies representativas cambiaron (i.e., *Aphanocapsa delicatissima*, *Merismopedia punctata*, *Chroococcus dispersus* var. *minor*, *Raphidiopsis curvata* y *Pseudanabaena limnetica*). Los organismos β-mesosaprobios fueron dominantes, revelando una elevada concentración de materia orgánica la cual proviene de fuentes tanto alóctonas (aguas residuales urbanas e industriales) como autóctonas (fitoplancton).

Palabras clave: Características químico-biológicas, sistema lagunar, hipereutrofia.

ABSTRACT

An evaluation of the main physicochemical and biological parameters was carried out in Tres Palos coastal lagoon in 2003; the aim of the study was to evaluate the environmental quality and the trophic status of the lagoon, and to compare these results with the data obtained in 1971. The salinity, temperature and dissolved oxygen

remained similar: oligohaline (2-4 ups), warm (28-31°C), with dissolved oxygen oversaturation at the surface and hypoxia or anoxia at the bottom. However, other characteristics changed considerably. In 1971 the coastal lagoon was eutrophic with high densities of phytoplankton (8×10^3 cel mL⁻¹), and blooms of cyanophytes (i.e., *Mycrocystis*, *Anabaena*, *Spirulina*). Thirty-two years later, the trophic status of Tres Palos coastal lagoon evolved to hypereutrophy. Phytoplankton biomass (≥ 100 mg chlorophyll "a" m⁻³) and density (i.e., $> 10 \times 10^4$ cel mL⁻¹) increased in response to the large concentration of available phosphorus (3.6 to 80.6 μ M); the cyanophyta continued as the dominant group but with different representative species (i.e., *Aphanocapsa delicatissima*, *Merismopedia punctata*, *Chroococcus dispersus* var. *minor*, *Raphidiopsis curvata* and *Pseudoanabaena limnetica*). The β -mesosaprobic organisms dominated and revealed the large amount of organic matter coming from allochthonous (urban and industrial wastewater) and autochthonous (phytoplankton) sources.

Keywords: Chemical-biological characteristics, lagoon systems, hypereutrophic.

INTRODUCCIÓN

La tendencia de las lagunas costeras de la vertiente del Pacífico es a cerrar temporal o permanentemente su comunicación con el mar, como resultado de lo extremo de sus patrones climático e hidrológico; a través de éstos se intertemperiza el suelo y se aportan grandes cantidades de sedimentos en la época de lluvias, que posteriormente el mar retrabaja formando barras que consecuentemente bloquean la comunicación con el mar. Esto ha conducido al aislamiento de las lagunas desde su formación hasta la actualidad (Curry *et al.*, 1969) acelerando su azolvamiento, favoreciendo cambios biogeoquímicos y predisponiendo a mayores impactos antropogénicos (p. ej., incremento de la concentración de nutrientes y contaminantes). Ejemplo de ello ha sido la Laguna de Tres Palos, donde además de encontrarse aislada del mar, es alimentada por el río La Sabana que a partir de los 70's ha presentado un crecimiento incontrolado poblacional e industrial en su cuenca y en la Laguna de Tres Palos (Gaceta Parlamentaria, 2002) incluyendo el aeropuerto de la ciudad de Acapulco. Lo anterior ha modificado fuertemente la calidad del agua que ha impactado en su biota (p. ej., incremento en la densidad y modificación de la composición del fitoplancton) y consecuentemente modificado su estatus trófico. Para tal efecto deben elegirse parámetros hidrobiológicos clave para ayudar a definir dicho estatus.

Desde 1971 tanto Barrera-Huerta (1975) como Sevilla *et al.* (1980) registraron condiciones de hipoxia y anoxia en el fondo de la laguna, así como florecimientos importantes de cianofitas, condiciones que llevaron a los últimos autores a clasificar a Tres Palos como una laguna eutrofizada.

En el informe de un diario local (Novedades Acapulco, 2004) se señalaba que 70 millones de litros de agua residual sin tratamiento eran arrojados a cielo abierto tanto a laguna como al mar a través del río, arroyos y canales.

El presente estudio se enfoca a evaluar y ponderar parámetros químicos y biológicos en tres muestreos del año de 2003 y los resultados se comparan con los registrados en 1971 donde se realizó el primer estudio en la Laguna de Tres Palos (calificada desde aquel entonces como eutrófica), con el fin de cuantificar el deterioro de la calidad del agua, así como el grado trófico en que se encontraba en el 2003.

ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de Tres Palos se localiza entre los 16° 47' y 16° 49' de latitud norte y 99° 39' y 99° 47' de longitud oeste (Fig. 1); posee una extensión aproximada de 55 km² (Sevilla *et al.*, 1980). Se sitúa entre el río La Sabana -que descarga en la parte norte de la laguna- y el río Papagayo que sale al mar a unos 2.5 kilómetros al sur de la laguna (Mañón-Ontiveros, 1985).

La Laguna de Tres Palos es un cuerpo de agua somero; de acuerdo con Alcocer y Escobar (1993) su profundidad máxima es de 7.0 m, la media de 3.43 m, la longitud máxima de 15.85 km y el ancho máximo de 5.85 km; presenta un canal de cinco kilómetros a través del cual se ha comunicado con el mar cerca de donde descarga el río Papagayo.

La intensa acción del oleaje costero aunada a la disponibilidad de sedimentos ha producido un corrimiento litoral el cual ha creado la barrera que separa la Laguna de Tres Palos del mar. Si el transporte litoral es sustancial, la laguna llega a cerrarse en forma temporal. Ha sido reportada como permanentemente oligohalina, con influencia marina ocasional en épocas de lluvias extremas y huracanes, cuando se abre la boca que comunica con el mar (Mañón-Ontiveros, 1985), manifestándose a través de la composición ictiofaunística, ya que gran parte de los organismos sujetos a pesca son de origen marino (Sevilla *et al.*, 1980).

Hidrobiológica

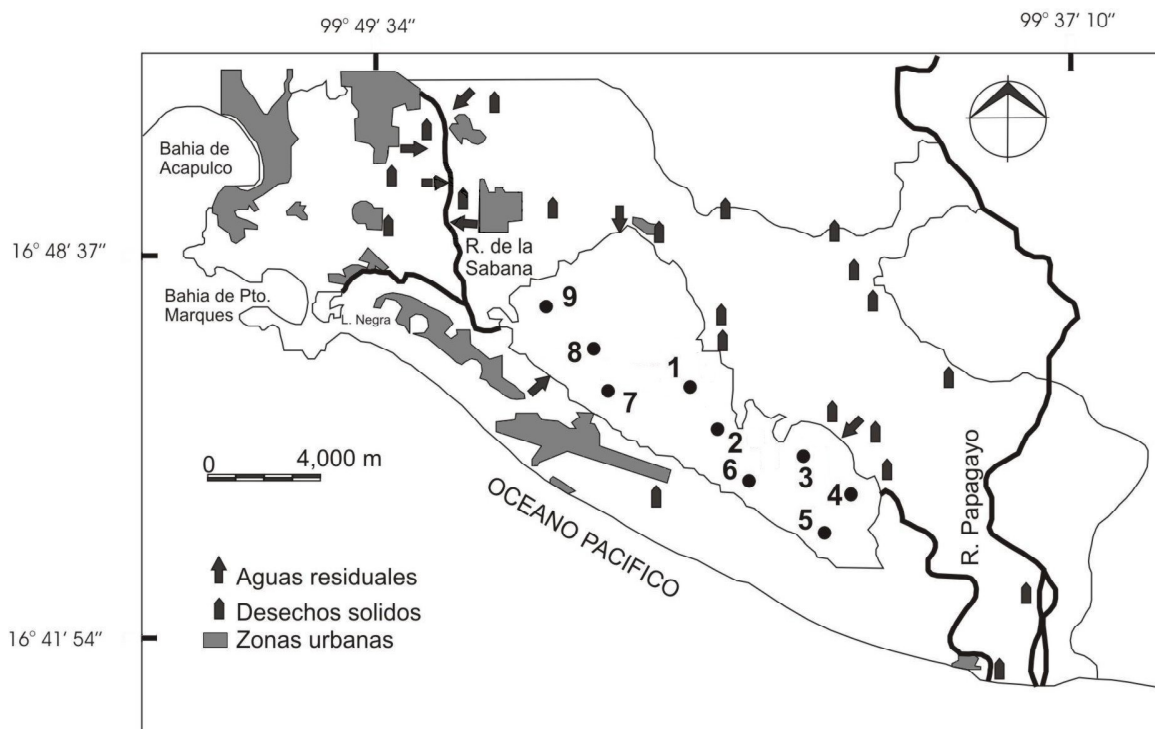


Figura 1. Ubicación de la Laguna de Tres Palos, Gro., las estaciones de muestreo y tipo de descarga (tomado de Martínez-Kain, 2000).

Presenta vegetación halofita de marisma y costera, así como de manglar, tular y carrizal.

MATERIAL Y METODOS

Con base en las características morfológicas y de influencia antropogénica se eligieron nueve estaciones de estudio a lo largo de la laguna (Fig. 1), en donde se realizaron tres muestreos: en mayo (sequía), junio y octubre (lluvias) de 2003. Se efectuaron registros *in situ* de la transparencia a través del disco de Secchi, así como de salinidad y oxígeno disuelto con un equipo multiparamétrico de monitoreo de calidad de agua marca Hydrolab modelo DS3 acoplado a un registrador modelo SVR3. Con base en una visita prospectiva en donde se determinó el perfil térmico que señaló una columna de agua bien mezclada, se decidió tomar muestras de agua de superficie y fondo con una botella van Dorn de dos litros de capacidad. Inmediato a la colecta se efectuaron los análisis colorimétricos de: ortofosfatos, fósforo total, amonio y nitrógeno total según la metodología de Strickland y Parsons (1972), así como DBO_5 (solamente en superficie) y DQO según APHA-AWWA-WPCF (1998). Con el objeto de cuantificar el elevado contenido de fósforo en el fondo se colectó material sedimentario del centro de la laguna y se le determinó el fósforo total a través de una digestión con ácido sulfúrico y nítrico (1:1 vol) bajo una temperatura de 150° C durante dos horas (Rodríguez-Medina, 1989), después de las cuales se cuantificó como ortofosfatos a través de la técnica de Strickland y Parsons (1972).

La determinación de clorofila "a" se realizó a través del método 445.0 (Arar y Collins, 1997). Para su evaluación se filtraron 5 mL de cada muestra a través de un filtro de fibra de vidrio marca Whatman, tipo GF/F (abertura de poro nominal 0.7 μm). Posteriormente, se extrajo la clorofila "a" de estos filtros con acetona al 90% durante un periodo mayor a 12 y menor de 24 horas en oscuridad y refrigeración. La clorofila "a" extraída se leyó en un fluorómetro digital marca Turner Designs modelo 10-AU.

Para fitoplancton se recolectó agua de superficie con una botella van Dorn de dos litros de capacidad, posteriormente se vació la muestra en botellas de plástico de 250 mL, a las que se adicionó acetato de lugol como preservador. Después se llevaron a cabo los análisis cualitativos y cuantitativos correspondientes por medio del vaciado de 2 mL de cada muestra en una cubeta de sedimentación (Utermöhl, 1948), el uso de un fotomicroscopio invertido Leitz Wetzlar/Diavert y el barrido de transectos diametrales (Moreno, 2003). La determinación de los taxa, ordenación sistemática y los datos de su composición ecológica se obtuvieron de las obras referidas por Caljon (1983), Moreno-Ruiz (2000), Moreno (2003) y Moreno-Ruiz (2005).

Las variable fisicoquímicas se examinaron estadísticamente a través de análisis varianza (ANOVA univariado y ANOVA MANOVA multifactorial) para determinar si existían diferencias significativas entre capas (superficial y fondo), entre estaciones de muestreo y entre muestreos, empleando software estadístico (Statistica v. 6.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características fisicoquímicas determinadas para la Laguna de Tres Palos se muestran en la figura 2. En la tabla 1 se comparan los promedios fisicoquímicos y biológicos registrados en 1971 por Sevilla *et al.* (1980) y los del presente estudio (2003). La temperatura en la Laguna de Tres Palos señaló un bajo intervalo de variación, oscilando entre 29.45 a 30.30°C en superficie con diferencias de menos de un grado en el fondo sin encontrarse una estratificación. Sevilla *et al.* (1980) refieren en 1971 un intervalo de 28 a 31°C, escasamente diferente a lo registrado en el año de 2003 (Tabla 1). La salinidad fluctuó entre 2.2 ups en octubre y 3.7 ups en mayo por lo que Tres Palos es considerada como oligohalina según la clasificación de Carriker (1967).

El contenido de oxígeno disuelto tuvo marcadas diferencias temporales y espaciales; los máximos niveles se encontraron en junio (lluvias), donde alcanzó hasta 19.9 mg L⁻¹ de O₂ (278% de saturación) en superficie en el lado oeste -frente al aeropuerto-zona hotelera- y el mínimo en octubre de 4.3 mg L⁻¹ de O₂ (59% de

saturación). En los tres muestreos las concentraciones de este gas disminuyeron marcadamente con la profundidad a niveles críticos en el fondo, en particular detrás de la barra y hacia el oeste, alcanzando en el mes de octubre (estaciones 6, 7, 8 y 9) entre 0.3 a 1.5 mg L⁻¹ de O₂ (4-20% de saturación).

A pesar de no presentarse una estratificación térmica debido a la mezcla dinámica generada por los vientos, sí se generó una marcada diferencia en la concentración de oxígeno disuelto desde la sobresaturación en la capa superficial hasta la hipoxia e inclusive anoxia en la del fondo, especialmente en octubre. Esta situación sugiere que aunque no haya estratificación térmica, el gran aporte y contenido de productos fotosintéticos generados en superficie (definidos por la sobresaturación de oxígeno), alcanzan el fondo donde se degradan y consumen el oxígeno disuelto (Kemka *et al.*, 2006). Banderas y González Villela (no publicado) señalan que la cantidad de oxígeno producido por fotosíntesis puede alcanzar hasta 13 mg L⁻¹ d⁻¹ en superficie lo que justifica la sobresaturación pero en el balance o presupuesto global existe un déficit de -145 mg L⁻¹ tomando en

Tabla 1. Comparación de las características fisicoquímicas y biológicas de la Laguna de Tres Palos en 1971 (Barrera-Huerta, 1975; Sevilla *et al.*, 1980) y en 2003 (presente estudio). (Temp = temperatura, O₂ = oxígeno disuelto, Sal = salinidad, ZDS = profundidad del disco de Secchi, PO₄ = fósforo soluble reactivo, PT = fósforo total, NH₄ = amonio, NT = nitrógeno total, DBO₅ = demanda bioquímica de oxígeno, DQO = demanda química de oxígeno, ND = no determinado). * Niveles registrados por Sevilla *et al.* (1980).

| Variable | 1971 | 2003 |
|--------------------------------|------------------------------|---|
| Temp | 28.5 a 31.0 °C * | 29.4 a 30.3 °C |
| Sat. O ₂ superficie | > 100% * | > 100% |
| Sat. O ₂ fondo | Hipoxia (20%) a anoxia * | Hipoxia (4%) a anoxia |
| Sal | Oligohalina (2 a 4 ups) * | Oligohalina (2.2-3.7 ups) |
| Z _{DS} | 0.5 m máximo * | 0.25 m |
| PO ₄ | ND | 1.3 a 27.4 µM |
| PT | ND | 4.9 a 80.6 µM |
| NH ₄ | ND | N.D a 124.6 µM |
| NT | ND | 21.4 a 250.0 µM |
| N:P | ND | 0.6-6.8 |
| DBO ₅ | ND | 43.6-116 mgO ₂ L ⁻¹ |
| DQO | ND | 96-476 mgO ₂ L ⁻¹ |
| Clorofila "a" | ND | 96-156 mg m ⁻³ |
| Florecimientos | Si, de cianofitas | Si, de cianofitas <i>Aphanocopsa delicatissima</i> |
| Especies dominantes | <i>Mycrocystis</i> sp.* | <i>Merismopedia punctata</i> |
| | <i>Anabaena</i> sp.* | <i>Chroococcus dispersus</i> var. <i>dispersus</i> |
| | <i>Spirulina</i> sp.* | <i>Raphidiopsis curvata</i> |
| | | <i>Pseudanabaena limnetica</i> |
| Densidad celular | 8,000 cél mL ⁻¹ * | > 100,000 cél mL ⁻¹ |
| Trofismo | Eutrófico* | Eutrófico-hipereutrófico |
| Saprobiedad | ND | α- a β-mesosaprobiedad |

cuenta el volumen relativo y la profundidad de la laguna y esto es resultado no sólo de la alta producción primaria, sino también de las descargas urbanas del río La Sabana y de los poblados asentados en la margen occidental de la laguna, incluyendo la zona hotelera (Fig. 1).

Barrera-Huerta en 1975 determinó contenidos de oxígeno disuelto en el fondo de esta laguna hasta de 1.5 mg L^{-1} (20% de saturación, aproximadamente), semejantes a lo registrado 32 años después en el presente estudio (Tabla 1); el autor lo atribuye a las grandes masas de fitoplancton (especialmente *Microcystis*, *Anabaena* y *Spirulina*) que evitan la penetración de la luz a capas profundas y aportan materia orgánica que al descomponerse consumen el oxígeno disuelto.

En 1971 Sevilla *et al.* (1980) registraron una condición de hipoxia marcada hacia la zona sur menos profunda cerca del canal azolvado que comunica con el mar; esta misma condición se observó en el año 2003 tanto en el mismo lugar (influencia de un basurero) como en el extremo opuesto (noroeste, frente a la descarga del río La Sabana), con condiciones incluso de anoxia en el fondo, resultado de las descargas urbanas que no cuentan con servicios sanitarios, cuya carga contaminante puede alcanzar altos niveles por el número de afluentes que llegan a la laguna (Novedades Acapulco, 2004)

La concentración de fósforo fue más alta en junio especialmente en el fondo con máximos hasta de $29.4 \text{ } \mu\text{M PO}_4$ y $56.1 \text{ } \mu\text{M PT}$, detrás de la barra (estación 7). En octubre el fósforo total fue más alto aún, destacando el contenido en el fondo una vez más detrás de la barra y hacia el oeste, nivel de profundidad semejante al de la hipoxia o anoxia. En mayo, las concentraciones de fósforo fueron semejantes a los cuantificados en otras lagunas costeras de México (de la Lanza-Espino & Cáceres-Martínez, 1994).

El contenido de fósforo total en el sedimento fue alto en todas las localidades, oscilando entre $1,610 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ a $2,949 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ que bajo condiciones de anoxia y potencial de oxido-reducción entre -280 y -425 mV sugiere que debe presentarse una difusión continua de fósforo del sedimento al agua como lo ha señalado Rodríguez-Medina (1989) para la laguna de Huizache-Caimanero, Sinaloa y Kemka *et al.* (2006) en un lago de Camerún, África. El contenido de fósforo total en el sedimento es semejante al registrado en la Laguna de Ensenada del Pabellón, Sinaloa, con influencia agrícola y de la industria azucarera con poco más de $3,000 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco (registrado por de la Lanza-Espino, no publicado). Los niveles de fósforo encontrados en los sedimentos de la Laguna de Tres Palos son tres veces más altos que los referidos por Padisák y Reynolds (1998) quienes registraron contenidos de fósforo total en el sedimento del Lago Balatón, Hungría, con $500\text{-}740 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, que aportan fósforo continuamente aunque en forma lenta comparado con otros aportes externos; estos autores consideraron al citado lago como eutrofizado. Lo

que aplicado para la Laguna de Tres Palos el sedimento es una fuente potencial de fósforo con tendencia a la eutrofización.

En la laguna bajo estudio, los niveles de amonio fueron altos en mayo y en especial mayores en el fondo en el lado oeste (estaciones 8 y 9), teniendo el resto valores heterogéneos; en junio fueron menores a excepción de la estación 1 en el fondo ubicada frente a un poblado de pescadores, con $126.4 \text{ } \mu\text{M}$. Se registró un incremento ligero en el fondo en octubre en la estación 2 frente al mismo poblado y en las estaciones 8 y 9 del lado oeste frente a la descarga del río La Sabana, el resto se mantuvo dentro de lo establecido como "normal" en lagunas costeras tropicales según el criterio de de la Lanza-Espino y Flores-Verdugo (1998). En el mes de mayo, cuando las condiciones climáticas fueron más estrictas (sequía), la Laguna de Tres Palos alcanzó máximos puntuales de este nutriente ($41.4 \text{ } \mu\text{M}$) que fueron cuatro veces más altos comparados con los registros de Contreras (2004), quien refiere contenidos $< 10 \text{ } \mu\text{M}$ como "normales" en lagunas tropicales de las vertientes de México.

En mayo el contenido de nitrógeno total, fue bajo (mínimo de $21.4 \text{ } \mu\text{M}$) y en junio y octubre, tanto en superficie como en fondo, alcanzaron en general niveles superiores a los $100 \text{ } \mu\text{M}$, incluso frente a un poblado de pescadores ubicado al noreste donde en el fondo se superaron los $250 \text{ } \mu\text{M}$ (o también 3.5 mg L^{-1}); esta concentración es semejante a los niveles referidos por Xiangcan (2002) en un lago de China clasificado como hipereutrófico.

La DBO_5 fue entre 43.6 y $102.2 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ en mayo, entre 43.6 y $116.0 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ en junio y de 57.2 a $105.0 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ en octubre (Tabla 1), niveles más elevados para ambientes costeros según criterios de la CNA (2005) en donde concentraciones >30 y $\leq 120 \text{ mg L}^{-1}$ corresponden a un agua contaminada. Lo anterior se puede asociar con las descargas de aguas residuales que provienen de asentamientos humanos en la periferia de la Laguna de Tres Palos o de las descargas del río La Sabana que puede alcanzar hasta $22.4 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (SEMARNAP, 1997). Banderas y González Villela (no publicado) determinaron una DBO_5 entre 20.9 a $27.4 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ en el río La Sabana con una carga total de 0.55 toneladas métricas por día (Tm d^{-1}) en temporada se sequía y 20.9 Tm d^{-1} en lluvias; cargas que recibe la laguna que forma parte de su cuenca, más aquella materia orgánica procedente de la producción primaria calculada por los mismos autores en $34 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

La DQO fue particularmente alta en mayo y junio con un intervalo entre 102 a $476 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (38.3 mg C L^{-1} y $178.5 \text{ mg C L}^{-1}$) para el primer mes y de $96 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (36 mg C L^{-1}) a $158 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (59.3 mg C L^{-1}) para junio. Las concentraciones en superficie y fondo variaron sin patrón alguno (Fig. 2). Los niveles de la DQO fueron entre 2 y 6 veces más altos que la DBO_5 , lo que señala la presencia de materiales no biodegradables. Al igual que en la DBO_5 , la CNA (2005) considera que contenidos $>40 \leq 200 \text{ mg L}^{-1}$ de DQO corresponden a aguas contaminadas, catalogándose en esa categoría a la Laguna de Tres Palos.

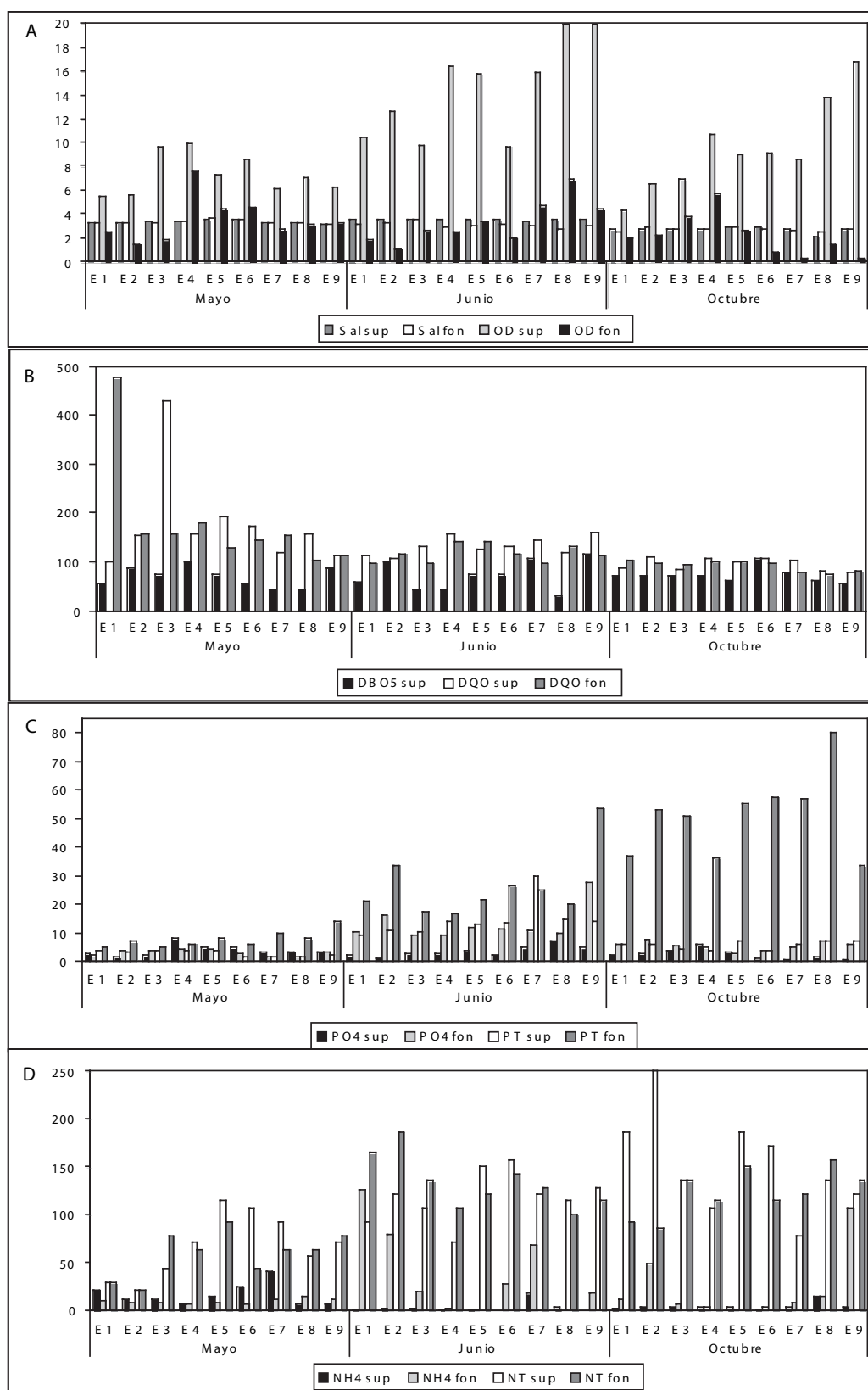


Figura 2. Variación temporal y espacial (E1 a E9 = estaciones de muestreo) de A = salinidad (SAL) y oxígeno disuelto (OD), B = demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO), C = ortofosfatos (PO₄) y fósforo total (PT) y D = amonio (NH₄) y nitrógeno total (NT) en la capa superficial (sup) y de fondo (fon) de la Laguna de Tres Palos.

En un estudio realizado por la SEMARNAP (1997) se reportaron para el río La Sabana niveles de DQO entre 169 y 439 mg O₂ L⁻¹. Banderas y González Villela (no publicado) cuantificaron en el Río la Sabana 162.2 mg O₂ L⁻¹ en sequía que es 7.7 veces la DBO₅ y en lluvias con 48.3 mg O₂ L⁻¹ que es 1.8 veces la DBO₅, que demuestra que el río aporta a la laguna materiales no biodegradables en mayor cantidad, especialmente a finales de la época de sequía en donde incluso hay un efecto de concentración. Martínez-Kaim (2000) señala que al río descargan aguas residuales procedentes de una cementera, una embotelladora, detergentes, una planta química y dos rastros; todos ellos con residuos de alta probabilidad de llegar a la laguna. En la estación 8 ubicada frente a la descarga del lado de la barra donde se encuentra el aeropuerto (localidad referida por Martínez-Kaim, 2000), también se registraron niveles altos de DQO (Fig. 1).

Los valores fisicoquímicos obtenidos entre la capa superficial y la de fondo que mostraron diferencias significativas ($p < 0.005$) fueron: concentración de oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, fosfatos y fósforo total. Asimismo, se encontraron diferencias significativas ($p = 0.05$) entre los meses de muestreo para ambas capas con las variables salinidad, concentración de oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y amonio. Finalmente, se obtuvieron diferencias significativas entre las estaciones de muestreo sólo para el mes de mayo en salinidad ($p < 0.005$), fosfatos ($p = 0.02$), fósforo total ($p < 0.005$), nitrógeno total ($p = 0.04$) y para el mes de octubre para salinidad ($p < 0.05$).

La concentración promedio de clorofila "a" registrada por Banderas y González Villela (no publicado) fue de 67 mg m⁻³ (0-243.5 mg m⁻³) sin correlación con los nutrientes dada los altos contenidos de N y P dependiendo más de la turbiedad, fotoperíodo y temperatura. Cuantificaciones realizadas en el año 2003 definieron contenidos superiores a los 100 mg m⁻³ con máximos hasta de 155 mg m⁻³ (Tabla 1) que definen a esta laguna como hipereutrofizada.

En la Laguna de Tres Palos los niveles de clorofila "a" resultaron semejantes tanto verticalmente como a lo largo de las estaciones muestreadas. Las biomásas más altas no fluctuaron claramente en forma temporal, encontrándose 130.71 mg m⁻³ clorofila "a" en mayo, 155.47 mg m⁻³ en junio y 133.4 mg m⁻³ en octubre. Las menores concentraciones de clorofila "a" fueron de 111.08 mg m⁻³ para mayo, 106.62 mg m⁻³ para junio y 96.06 mg m⁻³ para octubre.

Es importante mencionar que aunque la transparencia de la laguna expresada a través de la profundidad del disco de Secchi fue de tan sólo 0.25 m en todos los muestreos, no se presentaron diferencias verticales en la concentración de clorofila "a". Lo anterior indica que la laguna puede tener una adecuada circulación como lo evidenció la falta de estratificación térmica.

Sin embargo, Barrera-Huerta (1975) y Sevilla *et al.* (1980) encontraron que la densidad de organismos fitoplanctónicos tenía un gradiente vertical con densidades algales decrecientes a mayor profundidad. A pesar de esto último, en el presente estudio se observó que existió -en general- una correspondencia entre las densidades fitoplanctónicas (obtenidas por conteo directo) con los contenidos de clorofila "a", siendo las concentraciones determinadas en la Laguna de Tres Palos tendientes a un ambiente eutrófico-hipereutrófico.

El número de células fitoplanctónicas fue muy alto en los tres meses de muestreo y en todas las localidades con más de 100,000 cél mL⁻¹ en algunas de las estaciones (Tabla 2) y sin un patrón espacial definido. Las células estuvieron representadas por cianofitas principalmente; entre las que destacaron *Aphanocapsa delicatissima* West et West, *Merismopedia punctata* Meyen, *Chroococcus dispersus* var. *minor* G.M. Smith, *Raphidiopsis curvata* Fritsch et Rich, *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek (Tabla 2).

En cuanto a *Chroococcus dispersus* var. *minor* nuestro material coincidió con la descripción y medidas escritas para este taxón (Prescott, 1962). Sin embargo es importante mencionar que *Chroococcus dispersus* (y seguramente la variedad *minor*), forman parte de un conjunto de especies planctónicas cuya distribución y variación morfológica es poco conocida y la taxonomía de las poblaciones tropicales es confusa (Sant'Anna *et al.* 2004).

Sevilla *et al.* (1980) refirieron para 1971 máximos de células de 8,000 mL⁻¹ y Barrera-Huerta (1975) registró 4,950 mL⁻¹ que son en ambos casos aproximadamente de 10 a 100 veces menores el número más bajo registrado en el año 2003 (Tabla 1).

El número de células determinadas en el año 2003 fue semejante a los evaluados en cultivos con fines acuiculturales y en cuerpos de agua eutróficos, como lo registraron Burford y O'donohue (2006) en reservorios artificiales subtropicales de Australia, donde determinaron máximos de 59,300 ± 48,000 cél mL⁻¹ constituidas por varias especies de *Aphanocapsa*, *Merismopedia* y *Cyanodictyon*. En el caso de la Laguna de Tres Palos el máximo de *A. delicatissima* alcanzó 185,385 cél mL⁻¹ y *Merismopedia* 102,682 cél mL⁻¹; superiores en tres y dos veces más, respectivamente. En el mismo caso está *Pseudanabaena*, donde los citados autores determinaron máximos de 4,900 ± 11,600 cél mL⁻¹ y en la Laguna de Tres Palos 132,493 cél mL⁻¹. Lepistö y Rosenström (1998) observaron que *Chroococcus limneticus* Lemmermann, alcanzó 2,710 cél mL⁻¹ en condiciones eutróficas mientras que en el presente estudio *Chroococcus dispersus* var. *dispersus* alcanzó máximos puntuales de 77,287 cél mL⁻¹.

Algunas de las especies referidas aquí han sido catalogadas como indicadoras biológicas que pueden señalar condiciones de muy elevada concentración de materia orgánica (p. ej.,

Tabla 2. Composición de especies y densidad (cél mL⁻¹) fitoplanctónica (promedio primer renglón, desviación estándar segundo renglón) de la Laguna de Tres Palos, Gro.

| Mayo | | Estación | | | | | | | |
|---|--------|----------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Especie | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| <i>Aphanocapsa delicatissima</i> West et West | 132493 | 0 | 136909 | 79496 | 64038 | 87224 | 88328 | 55205 | 118139 |
| | 6625 | 0 | 6846 | 3975 | 3202 | 4362 | 4417 | 2761 | 5907 |
| <i>Merismopedia punctata</i> Meyen | 9937 | 20978 | 26499 | 17666 | 6625 | 0 | 19874 | 11041 | 11041 |
| | 497 | 1049 | 1325 | 884 | 332 | 0 | 994 | 553 | 553 |
| <i>Pseudonabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek | 50789 | 62934 | 103786 | 61830 | 0 | 66246 | 60726 | 64038 | 59622 |
| | 2540 | 3147 | 5190 | 3092 | 0 | 3313 | 3037 | 3202 | 2982 |
| <i>Raphidiopsis curvata</i> Fritsch et Rich | 95506 | 40852 | 26499 | 117035 | 52997 | 46373 | 33675 | 41956 | 43060 |
| | 4776 | 2043 | 1325 | 5852 | 2650 | 2319 | 1684 | 2098 | 2153 |
| <i>Chroococcus dispersus</i> (Keissler) Lemmermann var. <i>dispersus</i> | 67350 | 52997 | 32019 | 65142 | 77287 | 44164 | 67350 | 66246 | 46373 |
| | 3368 | 2650 | 1601 | 3258 | 3865 | 2209 | 3368 | 3313 | 2319 |
| <i>Chroococcus dispersus</i> var. <i>minor</i> G.M. Smith | 15458 | 45268 | 113723 | 118139 | 33123 | 7398 | 0 | 68454 | 119243 |
| | 773 | 2264 | 5687 | 5907 | 1657 | 370 | 0 | 3423 | 5963 |
| Junio | | Estación | | | | | | | |
| Especie | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| <i>Aphanocapsa delicatissima</i> West et West | 184385 | 50787 | 165616 | 121452 | 96057 | 41956 | 0 | 0 | 143534 |
| | 9220 | 2540 | 8281 | 6073 | 4803 | 2098 | 0 | 0 | 7177 |
| <i>Merismopedia punctata</i> Meyen | 45268 | 34227 | 50789 | 102682 | 45820 | 37540 | 35331 | 24290 | 80600 |
| | 2264 | 1712 | 2540 | 5135 | 2291 | 1877 | 1767 | 1215 | 4030 |
| <i>Pseudonabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek | 49683 | 48581 | 0 | 132493 | 56309 | 82808 | 73975 | 45268 | 40852 |
| | 2485 | 2430 | 0 | 6625 | 2816 | 4141 | 3699 | 2264 | 2043 |
| <i>Raphidiopsis curvata</i> Fritsch et Rich | 12145 | 71767 | 618 | 0 | 59622 | 19874 | 0 | 14020 | 11041 |
| | 608 | 3589 | 31 | 0 | 2982 | 994 | 0 | 701 | 553 |
| Octubre | | Estación | | | | | | | |
| Especie | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| <i>Aphanocapsa delicatissima</i> West et West | 33123 | 132493 | 103234 | 71767 | 39748 | 27603 | 16562 | 35331 | 3926 |
| | 1657 | 6625 | 5162 | 3589 | 1988 | 1381 | 829 | 1767 | 197 |
| <i>Merismopedia punctata</i> Meyen | 2208 | 6625 | 8833 | 22082 | 26499 | 22082 | 6625 | 13249 | 1472 |
| | 111 | 332 | 442 | 1105 | 1325 | 1105 | 332 | 663 | 74 |
| <i>Pseudonabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek | 104890 | 33123 | 45268 | 66246 | 46373 | 71767 | 103786 | 96057 | 10673 |
| | 5245 | 1657 | 2264 | 3213 | 2319 | 3589 | 5190 | 4803 | 534 |
| <i>Raphidiopsis curvata</i> Fritsch et Rich | 44164 | 8833 | 7729 | 4417 | 36436 | 60726 | 44164 | 60726 | 6747 |
| | 2209 | 442 | 387 | 221 | 1822 | 3037 | 2209 | 3037 | 338 |
| <i>Chroococcus dispersus</i> (Keissler) Lemmermann var. <i>dispersus</i> | 13249 | 15458 | 6625 | 0 | 36436 | 36436 | 25395 | 61830 | 6870 |
| | 663 | 773 | 332 | 0 | 1822 | 1822 | 1270 | 3092 | 344 |

β -mesosaprobias y α -mesosaprobias) que con los registros de altos contenidos de DBO₅ y DQO, altos niveles de clorofila "a" y la gran abundancia de cianofíceas, confirman un estado hipereutrófico de Tres Palos. Es importante mencionar que en la laguna se encontraron presentes escasas células de algunas especies de cianofíceas potencialmente tóxicas [p.ej., *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju].

La presencia y abundancia de las cianofitas estuvo acompañada de cocientes N:P (por peso) bajos: de 1.5 a 6.8 en mayo, de 1.1 a 2.7 en junio y de 0.6 a 2.1 en octubre evidenciando los altos contenidos de fósforo, no solamente en la forma inorgánica (ortofosfatos) sino también la total. Existen diversos trabajos que asocian la proporción N:P con la presencia de cianofitas por su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico. Downing *et al.* (2001)

Hidrobiológica

refieren que las cianobacterias son dominantes cuando N:P < 29, señalando también que el fósforo total predice mejor la biomasa del fitoplancton que la proporción N:P, observándose que las concentraciones de nutrientes (fósforo o nitrógeno totales) son mejores predictivas en la dominancia de cianobacterias. Reynolds (1999), después de hacer una revisión sobre las investigaciones que asocian la proporción N:P con las cianofitas, considera imprudente tomar literalmente que la proporción N:P controle el conjunto fitopláctonico; el problema del por qué dominan ciertas mezclas del plancton aún permanece, teniendo mayor importancia el inóculo, la historia y las formas de vida, adaptaciones preferenciadas y vías adaptativas, reconociendo la dimensión de la variabilidad del hábitat, composición de nutrientes, respuesta a la temperatura, duración del día, mezcla, turbiedad y heterogeneidad vertical; situación posiblemente aplicable a la presente laguna.

Es probable que en la Laguna de Tres Palos el fósforo total (inorgánico y orgánico) haya sido asimilado eficientemente (como lo mencionan Álvarez Cobelas *et al.*, 2005 para otros ambientes acuáticos) por aquellas especies que se han caracterizado por ser fijadoras de nitrógeno y que al ser relativamente bajos los contenidos de este último nutriente, era de esperarse proporciones tan bajas como las aquí registradas.

Tomando en cuenta lo referido por Gocke *et al.* (2004), respecto al contenido de clorofila "a" la Laguna de Tres Palos es hipereutrófica (>100 mg m⁻³), con un grado generalizado de perturbación de norte a sur y en su periferia.

Se destaca como elemento concluyente (Tabla 1) que en un período de poco más de 32 años, esta laguna ha permanecido oligohalina por su aislamiento con el mar y por el aporte del río la Sabana, cuyos asentamientos y actividades antropogénicas diversas, han conducido a mantenerla en condiciones hipóxicas e incluso anóxicas; consecuencia también del alto número de células fitoplanctónicas que se han incrementado en más de 100 veces en ese período (y que a su muerte consumen oxígeno) sostenidas a su vez por altas concentraciones de fósforo. Se ha agudizado la situación eutrófica de la Laguna de Tres Palos llegando al de hipertrófica, indicado por la presencia de cianofitas indicadoras de dicho estado trófico; además de que se presentó un cambio en las especies de cianofitas dominantes. El nivel β mesosaprobico fue condicionado no sólo por la alta carga orgánica autóctona sino alóctona manifestada por niveles altos de la DQO y DBO₅. El presente estudio reveló el impacto al que se ha visto sujeta la Laguna de Tres Palos debido al incremento de las fuentes de contaminación como descargas de aguas residuales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen ampliamente a la Comisión Federal de Electricidad por haber permitido el empleo de los presentes resultados pertenecientes al proyecto de la Presa La Parota, Gro. Asimismo al Dr. Gustavo Montejano Zurita por su asesoramiento.

REFERENCIAS

- ALCOCER, J. & E. ESCOBAR. 1993. Morphometric characteristics of six Mexican coastal-lakes related to productivity. *Revista de Biología Tropical* 41(2): 171-179.
- ÁLVAREZ COBELAS, M., J. GARCÍA-AVILÉS & E. ORTEGA MAYAGOITA. 2005. El plancton de las lagunas costeras de gravera y el fósforo: el enriquecimiento de las paradojas. *Limnetica* 24(1-2): 67-82.
- APHA-AWWA-WPCF American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. Washington. D.C 1220. p.
- ARAR, E. J. & G. B. COLLINS. 1997. *In vitro* determination of chlorophyll a and pheophytin a in marine and freshwater algae by fluorescence. Method 445.0. US *Environmental Protection Agency*. Cincinnati. 22 p.
- BARRERA-HUERTA, R. 1975. Contribución al conocimiento del plancton de la Laguna Tres Palos, Guerrero. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. México. 68 p.
- BURFORD, M. & M. J. O'DONOHUE. 2006. A comparison of phytoplankton community assemblages in artificially and naturally mixed subtropical water reservoirs. *Freshwater Biology* 51: 973-982.
- CALJON, A. 1983. Brackish-water phytoplankton of the Flemish lowland. *Developments in Hydrobiology*, 18: 1-272.
- CARRIKER, M. R. 1967. *Estuaries*. In: Lauff, G.H. (Ed). Publication 83 American Association for the Advancement of Science Washington D.C. 442 p.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA). 2005. http://www.cna.gob.mx/ecna/Espanol/Estadistica/central/cap_6_EAM
- CONTRERAS, F. 2004. Los humedales costeros mexicanos. In: Abarca, F. & M. Herzyg (Eds). *Manual para el Manejo y la Conservación de Humedales en México*. V Edición. PRONATURA, SEMARNAT, DUMAC, SWS, RAMSAR, Arizona Game and Fish, NAWCC, Environmental Canada. Febrero: 1-26.
- CURRAY, J. R., F. J. EMMEL & P. J. S CRAMPTON. 1969. Holocene history of a strand plain, lagoonal coast, Nayarit, México. In: Ayala-Castañares A. & F. B. Phleger (Eds). *Lagunas Costeras un Simposio*. Mem. Simp. Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO, Nov.28 -30, 1967. México D. F.: 63 -100.
- DE LA LANZA-ESPINO, G. & C. CÁCERES-MARTÍNEZ. 1994. *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 525 p.
- DE LA LANZA-ESPINO, G. & F. FLORES-VERDUGO. 1998. Nutrient fluxes in sediment (NH₄⁺ and PO₄⁻³) in N.W. coastal lagoon Mexico associated with an agroindustrial basin. *Water, Air, and Soil Pollution* 107: 105-120.
- DOWNING, J. A., S. B. WATSON & E. McCauley. 2001. Predicting cyanobacteria dominance in lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58 (10): 1905-1908.

- GACETA PARLAMETARIA. 2002. LVI Legislatura Guerrero; H. Congreso del Estado. Área: Presidencia. Oficio no.: p/287/2001. (www.senado.gob.mx/content/gaceta/content/permanente/58/content/27/oficio_guerrero_laguna_tres_palos.html)
- GÖCKE K., C. HERNÁNDEZ, H. GIESENHAGEN & H. G. HOPPE. 2004. Seasonal variations of bacterial abundance and biomass and their relation to phytoplankton in the hypertrophic tropical lagoon Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Journal of Plankton Research* 26(12):1429-1439.
- KEMKA, N., T. NJINE, S. H. CEBASE, S. F. MENBOHAN, M. NOLA, A. MONKIEDJE, D. NIYITEGEKA & P. COMPÈRE. 2006. Eutrophication of lakes in urbanized areas: the case of Yaoundé Municipal Lake in Cameroon, Central Africa. *Lakes, Reservoirs and Management* 11: 47-55.
- LEPISTÖ, L. & U. ROSENSTRÖM. 1998. The most typical phytoplankton taxa in four types of boreal lakes. *Hydrobiologia* 369/370: 89-97.
- MAÑÓN-ONTIVEROS, S. 1985. *Caracterización Limnológica del Sistema Lagunar Costero del Estado de Guerrero, México*. Tesis de Licenciatura Facultad de Ciencias, UNAM, México. 151 p.
- MARTÍNEZ-KAIM, M. R. 2000. Centro interpretativo de la naturaleza: Laguna Tres Palos: ecotel y club laguna. Tesis de Licenciatura (Arquitecto), Facultad de Arquitectura, Universidad Americana de Acapulco. 136 p.
- MORENO, J. L. 2003. Fitoplancton. In: De La Lanza-Espino G. & S. Hernández-Pulido, (Eds.). *Manual para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de calidad del agua*. CNA/AGT EDITOR, S.A. México: 13-45.
- MORENO-RUIZ, J. L. 2000. Fitoplancton. In: De La Lanza Espino G., S. Hernández-Pulido, & J.L. Carbajal-Pérez, (Eds.) *Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación*, SEMARNAP, CNA, UNAM, Instituto de Biología, UNAM, Plaza y Valdez Editores.pp. 43-108
- MORENO-RUIZ, J. L. 2005. Fitoplancton. In: Bueno-Soria, J.S., & F. Álvarez-Noguera, (Eds.). *Biodiversidad de Tabasco*. Instituto de Biología, UNAM/CONABIO, México: 33-64.
- NOVEDADES ACAPULCO. 2004. www.aca-novenet.com.mx/portada/250604/24SINT.html
- PADISÁK, J. & C. S. REYNOLDS. 1998. Selection of phytoplankton associations and restoration measures, with special reference to the cyanoprokariotes. *Hydrobiologia* 384: 41-53.
- PRESCOTT, G. W. 1962. *Freshwater algae*. Dubuque, USA. 977 p.
- REYNOLDS, C. S. 1999. Non-determination to probability, or N:P in the community ecology of phytoplankton. *Archiv fuer Hydrobiologie* 146(1): 23-35.
- RODRÍGUEZ-MEDINA, M. A. 1989. *Estudio in situ de la degradación halofita de la Salicornia subterminalis y su relación de nutrientes a través de la interfase sedimento-agua en el sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa, México*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias UNAM, México. 92 p.
- SANT'ANNA, C. L., M. T. DE P. AZEVEDO, P. A. C. SENNA, J. KOMÁREK & J. KOMÁRKOVÁ. 2004. Planktic Cyanobacteria from São Paulo State, Brazil: Chroococcales. *Revista Brasileira de Botânica* 27(9):201-206.
- SEMARNAP SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES Y PESCA. 1997. *Programa de Ordenamiento Ecológico Tres Palos-Punta Diamante*.
- SEVILLA, MA. L., E. A. CHÁVEZ, R. RAMÍREZ-GRANADOS & E. HIDALGO. 1980. Prospección ecológica de la Laguna Tres Palos, Guerrero. *Anales de la Escuela. Nacional de Ciencias Biológicas*, Vol XXII: 149-164.
- STRICKLAND, J. D. H. & T. R. PARSONS. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fisheries Research Board of Canada. Ottawa, Canada. 310 p.
- UTERMÖHL, H. 1948. Zur Vervollkommen der quantativen Phytoplanktonmethodik. *Mitteilungen. Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie*, 9:1-38.
- XIANGCAN, J. 2002. Analysis of eutrophication state and trend for lakes in China. *Journal of Limnology* 62(2): 60-66.

Recibido: 31 de agosto de 2006

Aceptado: 10 de septiembre de 2007