

Hidrología, nutrientes y productividad primaria en las lagunas costeras del estado de Oaxaca, México

Francisco Contreras E.,
Ofelia Castañeda L.
y Rocío Torres A.

Departamento de Hidrobiología. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa Apdo. Postal 55-535, C. P. 09340, México, D.F.

Contreras E., F., O. Castañeda L. y R. Torres A., 1997. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en las lagunas costeras del estado de Oaxaca, México. *Hidrobiológica* 7: 9-17.

RESUMEN

Con base en ciclos temporales generados en cinco lagunas costeras del estado de Oaxaca, México, se presenta una comparación entre ellas y se discuten y comparan las similitudes y diferencias derivadas de éstas. Los datos obtenidos de la concentración de nutrientes ubican a estas lagunas como levemente eutróficas, pero más que la cantidad de nutrientes es la relación N:P la que adquiere importancia en la realización del proceso de la productividad primaria fitoplanctónica. Cabe destacar la importancia que tiene el suministro de agua dulce y que los cambios detectados y derivados de acciones humanas están alterando significativamente los patrones ecológicos básicos lagunares.

Palabras clave: Productividad primaria, laguna costera, nutrientes, índice N:P, México.

ABSTRACT

Hydrological data taken periodically in five coastal lagoons from Oaxaca, Mexico, were compared in order to discuss, their differences and similarities. Regarding nutrients concentration data, these systems can be considered as slightly eutrophic; nevertheless, in phytoplankton primary production the N:P ratio is more relevant than nutrients concentration by itself. The importance of the freshwater input and the changes derived from human activities is emphasized, because the latter are altering significantly the ecological patterns in these lagoons.

Key words: Primary productivity, coastal lagoons, nutrients, N:P ratio, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Como ha sido establecido, la variación espacial y temporal de los factores hidrológicos así como la cantidad de nutrientes y sus fuentes, juegan un papel primordial en todos los ecosistemas acuáticos (Barnes, 1980; Margalef, 1974; Day *et al.*, 1988 entre otros). Por otro lado, también ha sido comprobado reiteradamente que las concentraciones usuales de estas sales en los ecosistemas costeros, sobre

todo los situados en latitudes tropicales, rebasan a sus similares en otras latitudes (Contreras, 1993; de la Lanza y Cáceres, 1994).

Junto con lo anterior, la variación de las condiciones hidrológicas básicas (la salinidad, la temperatura y el oxígeno disuelto), es la responsable en la distribución espacio-temporal de la energía con sus consecuencias ecológicas, de entre las que destaca la productividad primaria fitoplanctónica. Una de las causas de lo anterior,

es la estrecha relación con la mezcla de aguas de diferentes orígenes, tanto la proveniente de los escurrimientos continentales como los derivados de la influencia mareal. Esta mezcla se ve fuertemente influida por las estaciones climáticas y sus efectos locales (básicamente: lluvias y estiaje). Por estas razones, el comportamiento hidrológico es una conjunción de factores y cuyo resultado se manifiesta en un efecto no fácilmente predecible y sumamente particular en cada sistema lagunar litoral.

Junto con la luz y el CO_2 , es la cantidad y variación de las formas nitrogenadas y fosfatadas las que determinan, en primera instancia, la manifestación de la productividad primaria del sistema, base fundamental de una parte sustancial de la trama trófica acuática. Los fenómenos más comunes asociados a los nutrimentos son: o su carencia o su exceso; ambos con severas consecuencias en la biota acuática. La escasez de nutrimentos está asociada a aguas oligotróficas, esto es, con áreas o sistemas acuáticos con una mínima producción primaria, sobre todo fitoplanctónica. En el otro extremo se encuentran las aguas o sistemas hipereutróficos, en donde la generación continua y masiva de biomasa principalmente de fitoplanctones, llega inclusive a propiciar severos problemas en los flujos energéticos. Sin embargo recientemente, algunas investigaciones llevadas a cabo en un número significativo de lagunas costeras mexicanas, han llevado a la conclusión de que más que la cantidad de nutrimentos, es la relación entre ellos (relación N:P) la que determina y propicia la eficiencia del proceso fotosintético en la columna de agua (Contreras *et al.*, 1995).

En México existen aún muchas lagunas costeras que no han sido estudiadas desde esta perspectiva, es el caso del estado de Oaxaca. Este trabajo presenta un análisis hidrológico básico de las principales ecosistemas costeros de la entidad y en donde la carencia de una mayor información ecológica es evidente (Castañeda y Contreras, 1993).

MÉTODOS

En cada uno de los ecosistemas costeros se llevaron a cabo muestreos subsuperficiales (1-1.5m) abarcando las principales épocas climáticas (excepto en el sistema Superior e Inferior). Las estaciones de muestreo fueron planeadas para cubrir los principales rasgos lagunares y sus características (Tabla 1).

La temperatura fue medida por medio de un termómetro de mercurio con una precisión de 0.5°C ; la transparencia con el disco de Secchi; el oxígeno disuelto por medio del método Winkler (Strickland y Parsons, 1972); la salinidad fue cuantificada por medio de un salinómetro de inducción

marca Beckman modelo R 57-C con una precisión de 0.001%.

Para los análisis de nutrimentos, las muestras fueron filtradas con filtros Whatman No. 2, con una retención media de $8\mu\text{m}$. Su cuantificación se realizó con un espectrofotómetro marca Beckman-65. Las técnicas empleadas fueron: para los nitratos más nitritos por el método de reducción por columnas Cd-Cu descrito por Strickland y Parsons (1972); amonio, Solórzano (1969); ortofosfatos, Murphy y Riley (1962); fósforo total, Inland Water Directorate (1974) según Menzel y Corwin (1965) y el fósforo orgánico corresponde a la resta de los ortofosfatos del fósforo total, lo que se interpreta como fósforo orgánico soluble. El índice N:P (inorgánico) se calculó dividiendo las formas de nitrógeno inorgánicas sobre los ortofosfatos (Redfield, 1958; Redfield *et al.*, 1963).

Para la evaluación de la productividad primaria se utilizó el método de la botella clara y oscura (Gaarder y Grant, 1927), siguiendo las sugerencias propuestas por Brower y Zar (1977). Para la cuantificación de las clorofilas *a*, *b* y *c*, se sigue la técnica propuesta por SCOR-UNESCO (1980), utilizando las fórmulas tricromáticas propuestas por esta organización. Esta variable es considerada como un indicador de la biomasa primaria presente en los sistemas (*standing-crop*).

ÁREAS DE ESTUDIO

Según el INEGI (1984), la línea costera del estado de Oaxaca mide 597.51 km. y comprende 106,900 Ha de aguas estuarinas; de esta extensión las lagunas que sobresalen, tanto por sus dimensiones como por su importancia económica, son las de Corralero, Chacahua-Pastoría, Manialtepec, Superior e Inferior y Mar Muerto; es en éstas donde se realizaron los estudios.

Todas las lagunas del estado se ubican dentro de la región D y por su origen se clasifican en los tipos III-A y III-B (Lankford, 1977), y están ubicadas en la unidad costera VIII según Carranza-Edwards *et al.* (1975).

Tabla 1. Programa de muestreo en las lagunas costeras de Oaxaca.

Laguna	No. de est.	Muestreos
Corralero	9	4 (Feb., May., Ago., y Sep. 1992)
Chacahua-Pastoría	10	3 (Feb., May., y Ago. 1992)
Manialtepec	7	4 (Ene., Jun., Oct. 1992 y Feb. 1993)
Superior e Inferior	14	2 (Mzo. y May. 1987)
Mar Muerto	17	3 (Ene., May. y Ago. 1992)

Laguna de Corralero.- Se encuentra ubicada entre los 98° 12' y 98° 05' de longitud oeste y los 16° 11' y 16° 15' de latitud norte. Tiene una extensión de 3,158 Ha. Está rodeada por manglares y especies halófitas.

Lagunas de Chacahua y Pastoría.- Se localizan entre los 15° 58' y 16° 00' de latitud norte y los 97° 32' y 97° 42' de longitud oeste. Chacahua mide 1,100 y Pastoría 2,100 Ha. Ambas lagunas están limitadas al sur por el Océano Pacífico y al norte por las poblaciones de Charco Redondo, Tlacoache, La Vega y Lagartero; ambas lagunas están unidas por un estrecho canal, y están catalogadas como Parque Nacional «Lagunas de Chacahua». La cuenca hidrográfica principal la constituye el río Verde; éste recibe las aguas de los ríos Atoyac, Chapala y San Francisco, que desembocan en la laguna de Chacahua. El sistema lagunar ha dejado de recibir el afluente del río Verde por lo que presenta un marcado azolvamiento y tendencias a la eutrofización e hipersalinidad. Téllez (1983) en un estudio prospectivo realizado en esta laguna, indicaba ya los cambios hidrológicos que estaba ocasionando el cierre paulatino de la comunicación con el mar.

Laguna Manialtepec.- La laguna San José Manialtepec o sistema Achotal es intermitente y se encuentra ubicada a 12 km. de Puerto Escondido, entre los 15° 56' y los 15° 57' latitud norte; y los 97° 10' y 97° 13' longitud oeste. Tiene una superficie de 1,640 hectáreas y se comunica al mar por medio de una boca que se abre en la época de lluvias en el sitio conocido como Puerto Suelo y El Carnero. Limita al norte con el pueblo de Las Negras; al sur, con el Océano Pacífico; al oeste, con San José Manialtepec; y al este, con las poblaciones de La Alejandría y Las Hamacas.

Laguna Superior e Inferior.- Situada en la parte noroeste del Golfo de Tehuantepec, en la zona del Istmo del mismo nombre. Hidrológicamente pertenece al sistema lagunar integrado por las lagunas Oriental, Occidental, y el Mar Tileme además de las nombradas; se comunican al Pacífico por la boca de San Francisco; ésta generalmente se encuentra abierta y sólo ocasionalmente se cierra por el acarreo litoral. Se ubica entre los 16° 14' y 16° 26' de latitud norte y los 94° 47' y 95° 05' de longitud oeste. Las extensiones de los principales cuerpos acuáticos son Superior 38,000; Inferior 27,000; Tileme 4,300; Quirio 1,200; Oriental 7,000 y Occidental 1,000 Ha.

Laguna Mar Muerto.- Se sitúa entre los 15° 58' y 16° 17' de latitud norte y los 93° 50' y 94° 25' de longitud oeste; está en el límite de los estados de Oaxaca y Chiapas, con una extensión aproximada de 38,000 Ha. La entrada de la laguna se limita por las puntas arenosas: Punta Chiapas y Punta Oaxaca. Frente a la entrada llamada Barra de Tonalá existen dos barras: una exterior (2 m de profundidad) y una interior (0.50 m de profundidad) que divide a la zona en dos

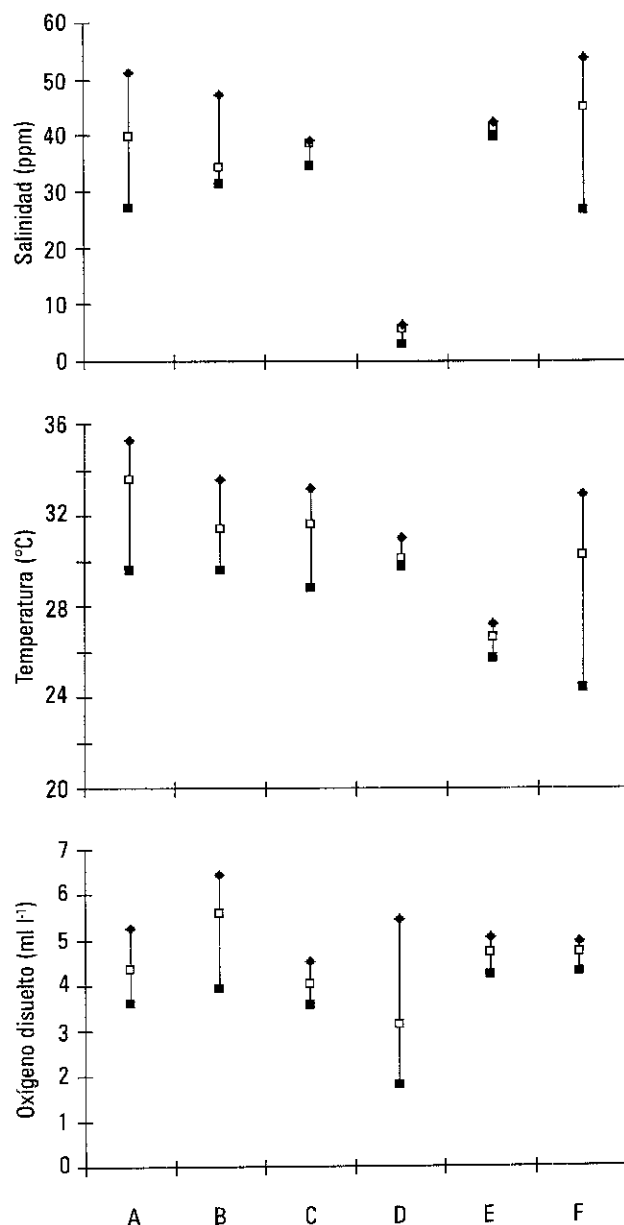


Figura 1. Intervalos en los valores de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en las lagunas costeras de Oaxaca: A. Corralero, B. Chacahua, C. Pastoría, D. Manialtepec, E. Superior e Inferior y F. Mar Muerto (♦ valor promedio máximo, ■ valor promedio mínimo y □ valor medio de todo el muestreo).

partes: zona de entrada y la laguna propiamente dicha (Cervantes, 1969). Este ecosistema tiene tres áreas: Área Chiapaneca, La Pompona y Rincón Juárez. La región occidental forma el complejo deltáico del río Ostuta; la región central constituye el complejo deltáico del río Novillero, y la zona oriental corresponde a los ríos Punta, Lagartero, Guadalupe, Tiltepec y Zacatenco. Su profundidad media es de 5 m. Tovilla y Loa (1991), basado en visitas al

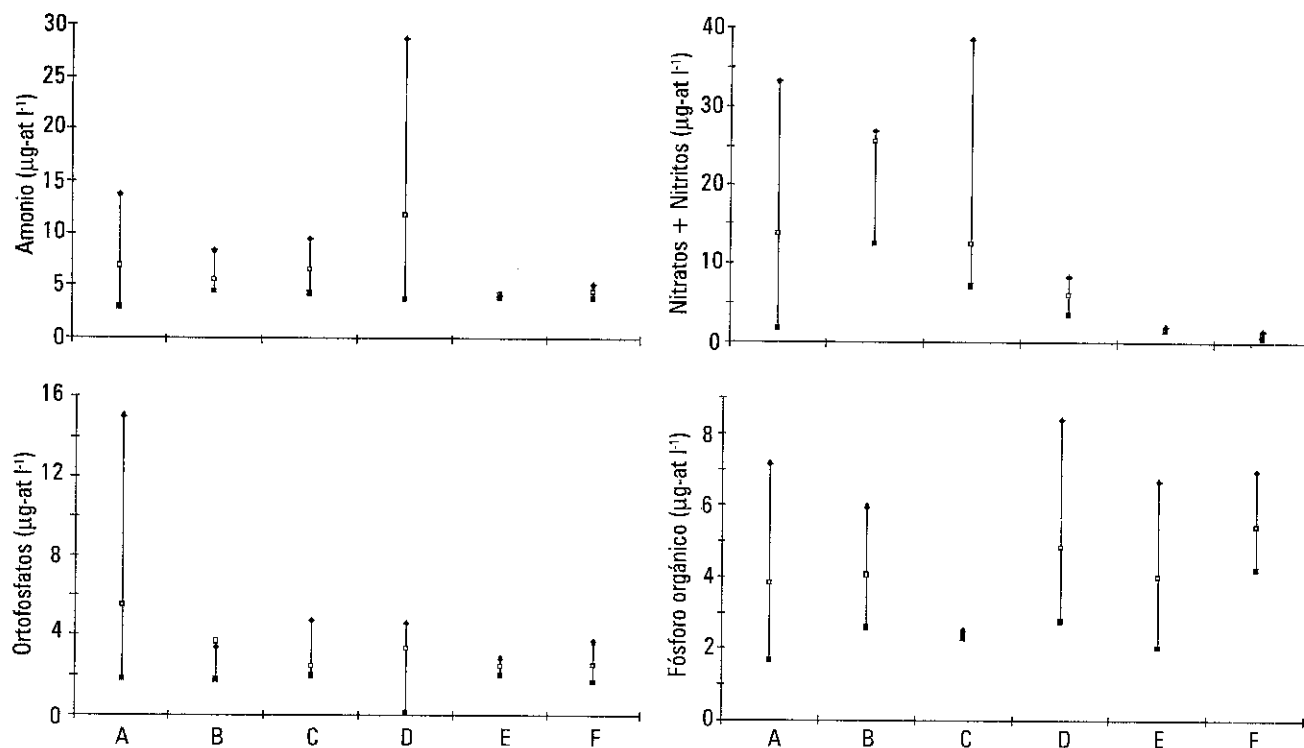


Figura 2. Intervalos en los valores de las formas nitrogenadas y las formas fosfatadas en las lagunas costeras de Oaxaca A. Corralero, B. Chacahua, C. Pastoría, D. Manialtepec, E. Superior e Inferior y F. Mar Muerto (la simbología es la misma de la figura 1).

campo e interpretación de fotografías aéreas tomadas entre 1945 y 1982, concluyen que ha habido una reducción significativa de extensiones de manglar y áreas pantanosas.

RESULTADOS

Para cada laguna se grafica la media total de cada variable y la media de los valores máximos y mínimos, obtenidos durante todos los muestreos efectuados. Por ejemplo, para la laguna de Corralero (9 estaciones, 4 muestreos) la media total se basa en 36 datos, mientras que la media máxima y mínima consta de los cuatro valores máximos y mínimos de cada muestreo. Lo anterior se realizó con el objetivo de acercarse a la tendencia del parámetro a lo largo de un ciclo anual.

Salinidad. Se presenta una tendencia a la hipersalinidad en la mayoría de las lagunas ya que los valores de salinidad son superiores a los normales del agua oceánica; a excepción de la lagunas de Manialtepec, en donde la tendencia es a la oligohalinidad (Fig. 1) debido al cierre de la boca de comunicación con el mar.

Temperatura. Situadas en una región característicamente cálida de México, las temperaturas usualmente son elevadas. Observando la gráfica, todo parece indicar que el

tamaño de cada ecosistema se refleja propiciando un intervalo más amplio de los valores (Fig. 2).

Oxígeno disuelto. Los procesos heterotróficos se reflejan marcadamente en Manialtepec, en donde las concentraciones mínimas llegan a valores inusuales comparadas con otros ecosistemas similares. En cambio, la sobresaturación es evidente en Chacahua (más del 100% a una temperatura media de 31°C), ocasionada por una circulación eficiente (Fig. 1).

Nutrientos. Formas nitrogenadas. Amonio.- Los valores detectados de amonio reflejan procesos heterotróficos en la laguna de Manialtepec ratificando los indicios de una posible eutrofización. En el caso de la laguna de Corralero, se manifiesta un incremento durante los muestreos de formas amoniales (Fig. 2).

Nitratos más nitritos. Estas formas de nitrógeno (principalmente los nitratos) se asocian a sistemas en donde las cantidades presentes de oxígeno son elevadas, especial o temporalmente; los ejemplos son evidentes: Corralero y Pastoría. Las bajas concentraciones de estas formas son inversamente proporcionales a las del amonio, e indican la tendencia a la heterotrofia, como se puede observar en Manialtepec. En los casos de Superior e Inferior y Mar

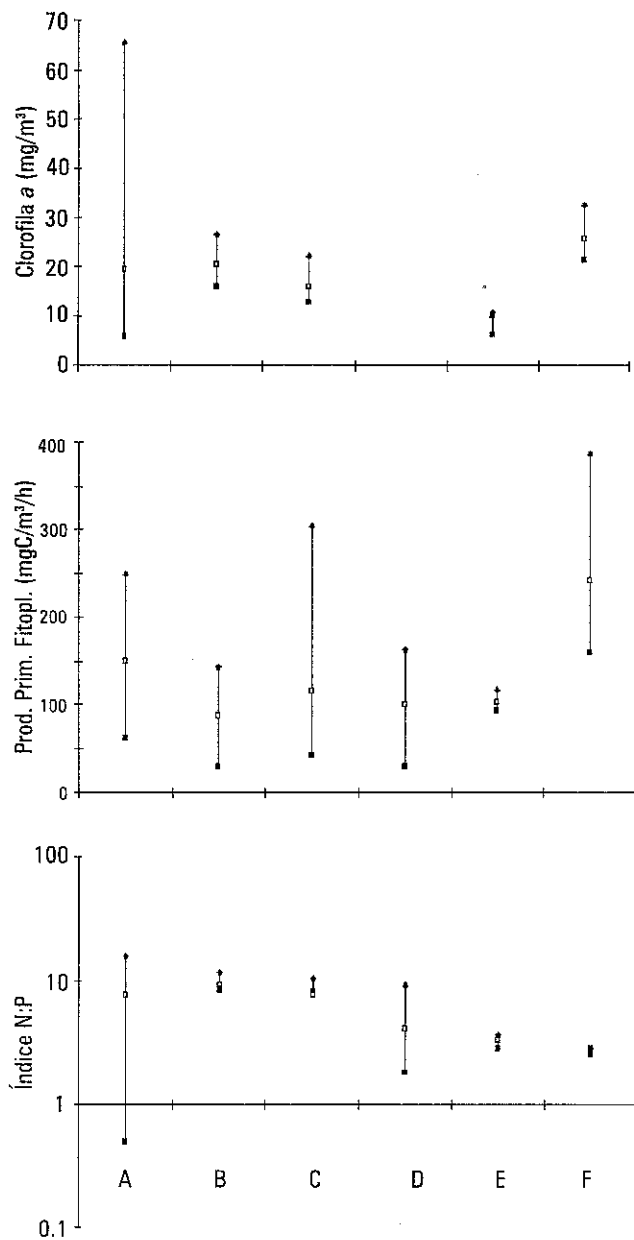


Figura 3. Intervalos en los valores de la clorofila *a*, producción primaria fitoplanctónica e índice N:P en las lagunas costeras de Oaxaca: A. Corralero, B. Chacahua, C. Pastoría, D. Manialtepec, E. Superior e inferior y F. Mar Muerto (la simbología es la misma de la figura 1).

Muerto, la influencia oceánica hace que las concentraciones de nitratos y nitritos en estos ecosistemas sean similares a las detectadas en áreas marinas (Fig. 2).

Formas fosfatadas inorgánicas (Ortofosfatos). Un inusual aporte de ortofosfatos en esta región del país es evidente en la laguna de Corralero, ocasionado por el suministro constante de materiales terrígenos y la imposibilidad de su desalojo hacia el mar (Fig. 2).

Fósforo orgánico. La mayoría de las lagunas reflejan una elevada actividad biológica de características heterotróficas, que se manifiesta en un alto contenido de formas fosfatadas orgánicas; sin embargo en la laguna de Manialtepec, se alcanzan las concentraciones más significativas. Lo anterior concuerda con otros parámetros como lo son la baja concentración de oxígeno disuelto, bajas concentraciones de nitratos y nitritos y alto contenido de amonio (Fig. 2).

Relación N:P. El índice N:P (Redfield, 1958; Redfield *et al.*, 1963), manifiesta valores similares con otros cuerpos acuáticos estuarinos, ya que por lo general se mantienen por debajo de 10; cabe resaltar que la única laguna que llega a manifestar valores por debajo de la unidad es la de Corralero, con un valor de 0.49. (Fig. 3).

Clorofila *a*. Estrechamente relacionada con la presencia de fósforo inorgánico (Contreras y Kerekes, 1993), lo que se hace evidente en la laguna de Corralero; el resto de los ecosistemas se ubican con valores promedio de clorofila *a*, levemente más altos comparados con otros similares (Fig. 3).

Productividad primaria fitoplanctónica. Las lagunas costeras del estado de Oaxaca presentan valores de productividad altos comparados con otros sistemas litorales. Los intervalos de valores son también muy amplios lo que demuestra la marcada heterogeneidad de este proceso; resalta de manera particular la laguna de Mar Muerto que alcanza un promedio anual de 241.34 mgC/m²/h siendo esta cantidad muy por encima a lo registrado en otras lagunas (Fig. 3).

DISCUSIÓN

El litoral del Pacífico mexicano tiene varias características que lo definen, entre otras, por su especial dinámica geológica (Alvarez y Gaitán, 1994), y su extensión (4,214.4 km), lo que trae por consecuencia que su costa manifieste varios tipos de clima, suelo, regímenes y balances hídricos, zonas biogeográficas e influencias oceánicas, entre los más importantes factores que conforman las peculiaridades de los ecosistemas costeros. En este sentido, las lagunas costeras del estado de Oaxaca manifiestan diversos comportamientos hidrológicos y éstos están estrechamente ligados a su situación latitudinal. Hacia la región norte se encuentran las lagunas de Corralero, Chacahua-Pastoría y Manialtepec, y hacia la del sur las de Superior e inferior y Mar Muerto; esta última situada en el límite entre este estado y el de Chiapas. La región central de la entidad se caracteriza por un clima más seco que estos dos extremos y donde, si bien existen algunas lagunas,

éstas son más pequeñas en extensión que las citadas (alrededor de las 600 Ha).

El clima de la región hace que las temperaturas en el agua sean elevadas y que los procesos de evapotranspiración sean muy importantes en el balance hídrico de los sistemas acuáticos; lo anterior provoca, entre otras cosas, que cuando se manifiesta un desequilibrio en las cantidades normales de agua (por razones naturales o inducidas), se altere significativamente este precario balance de agua. Por ejemplo, la carencia de un aporte de agua dulce que provoca también el cierre de la comunicación con el mar, se traduce casi inmediatamente en un incremento de salinidad, lo que genera alteraciones en las tramas tróficas lagunares, como los casos de Corralero y Chacahua. En cambio, las abundantes lluvias aunado al aislamiento, también puede causar la oligohalinidad, como es el caso de Manialtepec. De hecho, la disponibilidad de agua en el Pacífico, ha sido calificada como uno de los factores críticos para el desarrollo de programas encaminados al aprovechamiento acuícola de este litoral (FAO, 1995).

La eutrofización se define como el aumento significativo de productores primarios y, en consecuencia, tendencias al agotamiento del oxígeno (Vollenweider *et al.*, 1992). Esta eutrofización es corroborada al cuantificar la cantidad de nutrientes, principalmente los ortofosfatos, quienes se encuentran indisolublemente ligados con la generación de biomasa fitoplanctónica (Contreras y Kerekes, 1993). Con respecto a las otras formas de nutrientes, los ecosistemas costeros del estado de Oaxaca se ubican entre los intervalos considerados normales comparados con otros ecosistemas similares, esto es normalmente mayores a los del Golfo de México, pero menores a los del estado de Chiapas (Contreras, 1993; García y Castañeda, 1994).

La variación en los valores obtenidos de la producción primaria inducen a confirmar que este proceso es particularmente variable y sujeto a características, en ocasiones, muy locales; sin embargo está estrechamente relacionada con la influencia de agua marina, esto es, con un eficiente intercambio con océano adyacente. Lo anterior es notable en el caso de la laguna de Mar Muerto, donde los fenómenos propiciados por este intercambio se traducen en una mayor concentración en los valores de productividad primaria.

Las características hidrológicas de cada uno de los ecosistemas aquí estudiados, permiten algunas conclusiones que son plasmadas en forma particular para cada una de ellas.

En la laguna de Corralero, y con base en la cuantificación de los procesos de productividad primaria, se sitúa como un ecosistema de un particular alto valor y donde la

interrupción con su comunicación con el mar está provocando severos problemas ecológicos y productivos.

En las lagunas de Chacahua y Pastoría, a pesar de estar comunicadas entre sí, el comportamiento hidrológico-productivo es distinto en cada caso. La primera refleja los efectos del aislamiento y su escasa comunicación con la de Pastoría donde se halla la comunicación con el mar, lo que permite, en esta última, un intercambio con el océano de formas nutritivas que de otra forma se acumularían dentro del sistema. Este hecho genera, como puede observarse, que la productividad primaria se refleje con mayores cantidades que su sistema contiguo. El aislamiento de la circulación general, como causante de procesos de eutrofización ha sido documentada con anterioridad en la laguna de Joya-Buenavista en estado de Chiapas (Contreras y Zabalegui, 1991).

En el caso de la laguna de Manialtepec, ésta presenta problemas de eutrofización debido a que el cauce principal fue desviado y actualmente no descarga sobre la laguna. Lo anterior provoca que, por un lado, no exista presión hacia la barra y ésta se mantenga cerrada la mayor parte del año, y por otro, genera el aislamiento del cuerpo principal con constante suministro de nutrientes, lo que auspicia que se manifiesten procesos heterotróficos de considerable magnitud. La tendencia a la eutrofización se corrobora con los valores altos de amonio, quienes no continúan su oxidación a nitratos o nitritos debido a la carencia de oxígeno disuelto. Los fosfatos orgánicos se presentan en mayor proporción que los inorgánicos, indicando una insuficiente remineralización.

El sistema lagunar de Superior e Inferior, presenta características consideradas como normales en su comportamiento hidrológico, lo que permite una tasa de producción primaria comparable a otras áreas similares. Sin embargo es poco lo que podría discutirse en este trabajo ya que los muestreos no fueron lo suficientemente representativos para avalar mayores conclusiones.

La laguna de Mar Muerto, presenta tendencias hacia la hipersalinidad y a la sobreconcentración de oxígeno. Los valores de nutrientes son altos. Lo que se traduce en una elevada tasa fotosintética por parte de los productores primarios, en promedio, mayor a los 200 mgC/m³/h (el promedio más alto de todos los sistemas oaxaqueños). Esta laguna mantiene similitudes con ecosistemas abiertos como bahías y difiere de toda la región aquí estudiada, ya que el resto mantiene características estuarinas y áreas aisladas debido a su propia geomorfología.

Finalmente, una de las relaciones más interesantes entre los nutrientes y el proceso de la productividad primaria

fitoplanctónica, es la proporción que guarda el nitrógeno y el fósforo entre sí y que es de 16:1 (Redfield, 1958, Redfield *et al.* 1963) y que es similar a la que presenta el fitoplancton, por lo que puede significar una fuerte presión selectiva para las comunidades fitoplactónicas y afectar la biomasa por unidad de nutriente limitante. Con base en lo anterior, la posible limitación de alguno de los dos nutrimentos, nitrógeno o fósforo, ha sido analizada por muchos científicos quienes han identificado al fósforo como el principal limitante en el océano, y plantean que las deficiencias de nitrógeno pueden ser suprimidas por la fijación atmosférica de algunos fitoplanctontes. Tiempo después, Ryther y Dunstan (1971) observaron que era el nitrógeno y no el fósforo el limitante en aguas costeras, lo que quedó comprobado en medios de cultivo (Thomas, 1970 a, b). Por su parte, en lagos ha sido calificado el fósforo como el limitante primordial (Volleinweider, 1976; Schindler, 1971, 1974, 1977; Rhee, 1978; Doremus *et al.*, 1980), ocupando el nitrógeno un factor de segunda importancia. Recientemente y para aguas marinas litorales, la relación N:P menor a 5 es interpretada como una limitación de nitrógeno; una mayor a 10 se considera como indicativa de una limitación de fósforo y de 5 a 10 su influencia es indiferente, (Rinaldi *et al.*, 1992).

Partiendo del hecho establecido que el fósforo limita normalmente en aguas dulces, mientras que el nitrógeno lo hace en las oceánicas (Smith, 1984), los sistemas estuarino-lagunares en general, al presentar la dominancia temporal de algún tipo de agua ya sea continental o marina, podría ser un indicativo de la posible alternancia del nutriente limitante, como lo es de la variabilidad.

Con base en investigaciones realizadas en 39 lagunas costeras mexicanas y en ambas costas (Contreras *et al.*, 1996), se ha podido observar que el índice N:P en lagunas costeras tiende a ser bajo, esto es, que mantiene una relativa limitación de formas nitrogenadas. Valores de N:P mayores de 10 están asociados a sistemas con una marcada influencia oceánica como las lagunas de Tamiahua, Tampamachoco, Tuxpan y Alvarado éstas en el estado de Veracruz y la laguna de Términos en Campeche. Las que poseen una relación menor a 5, están asociadas con elevados suministros de formas fosfatadas que regularmente se introducen en las lagunas por medio de los escurrimientos continentales, en estos casos pueden ser naturales, como la mayoría de las lagunas Chiapanecas, o culturales como en la laguna de Manialtepec.

En el área de estudio, todo parece indicar que existe una relativa homogeneidad en las concentraciones de fósforo; el intervalo no va más allá de 1.0-2.5 $\mu\text{g-at l}^{-1}$, a excepción del muestreo de Septiembre en Corralero, lo que provoca inclusive el único valor inverso de N:P. En cambio,

tanto las variaciones como las concentraciones del nitrógeno total, son mayores en todos los casos. Lo anterior hace que la relación N:P se presente en los valores considerados normales para lagunas costeras (entre 5 y 6).

La elevada variabilidad en la laguna de Corralero se explica debido a que los aportes de nitrógeno originados durante la época de lluvias en esta área, son especialmente altos a comparación de otros similares y al final de ésta, un repentina elevación de formas fosfatadas se manifiesta. En el caso de Manialtepec, los procesos de descomposición, asimilación y producción internos reflejados en la variación del amonio, resultan tan intensos que se reflejan en una variación distintiva de la relación N:P.

Finalmente todo parece indicar que existe una mayor asimilación de formas nitrogenadas, junto con un aumento en las formas fosfatadas, en la medida que las lagunas se sitúan hacia el sur. De hecho, recientes investigaciones llevadas a cabo en las lagunas costeras del estado de Chiapas, corroboran esta aseveración, llegando inclusive a manifestar valores normalmente inversos de la relación N:P al menos en dos de ellas, Carretas-Pereyra y Chantuto-Panzacola (García-Nagaya y Castañeda-López, 1994).

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ A., A. D. y J. GAITÁN M., 1994. Lagunas costeras y el litoral mexicano: Geología. pp. 13-74. En: G. DE LA LANZA E. y C. CÁCERES M., (Eds.). *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. 13-74. UABCS. 525 p.
- BARNES, R. S. K. (Ed.), 1980. *Coastal lagoons*. Cambridge -Studies in modern biology. Cambridge University Pres. 106 p.
- BENDSCHNEIDER, K. y R. J. ROBINSON, 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea-water. *Journal of Marine Research* 11: 87-96.
- BROWER, J. E. y H. J. ZAR, 1977. *Field and laboratory methods for general ecology*. W.M.C. Brown Co. 194 p.
- CARRANZA E., A., M. GUTIÉRREZ E. y R. RODRÍGUEZ T., 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 2 (1): 81-88.
- CASTAÑEDA L. O. y F. CONTRERAS E., 1993. Estado actual del conocimiento sobre las lagunas costeras mexicanas. *Humedales Costeros de México* 1 (1): 2-9.
- CERVANTES C., D., 1969. Estabilidad de la costa a la laguna del Mar Muerto, Chiapas, México. pp.367-376. En: A. AYALA C. y F. B. PHLEGER (Eds.). *Lagunas Costeras, Un Simposio: Memorias del Simposio Internacional de Lagunas Costeras*. UNAM-UNESCO. 367-376.

- CONTRERAS E. F. y L. ZABALEGUI M., 1991. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en la laguna de la Joya - Buenavista, Chis. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 17 (2): 207 - 215.
- CONTRERAS, E. F., 1993. *Los Ecosistemas costeros mexicanos*. CONABIO-UAM-I. 415 p.
- CONTRERAS E., F., 1994. La clorofila a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM* 21 (1-2): 55-66
- CONTRERAS E., F. y J. KERÉKES, 1993. Total phosphorus-chlorophyll relationships in tropical coastal lagoons in Mexico. *Verhandlungen International Vereinigung fur Theoretische and Angewandte Limnologie*, 25: 448-451.
- CONTRERAS E. F. y O. CASTAÑEDA L., 1993. Contribución del nanofitoplancton en la cantidad de clorofila a de dos sistemas lagunares del estado de Chiapas., México. *Investigaciones Marinas, CICIMAR* 7 (1): 61 - 73.
- CONTRERAS E. F., O. CASTAÑEDA L., R. TORRES A. y F. GUTIÉRREZ M., 1996. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Revista de Biología Tropical* 44 (2): 421-429.
- DAY, J. W. JR., CH. A. S. HALL, W. M. KEMP y A. YÁÑEZ-ARANCIBIA, 1988. *Estuarine ecology*. Wiley, New York. 558 p.
- DE LA LANZA E., G. y C. CÁCERES M., 1994. *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 525 p.
- DOREMUS, C. M., S. W. NIXON, P. F. ROQUES y S. K. SEITZINGER, 1980. Nitrogen limitation in the ocean versus phosphorus limitation in lakes: An analysis of possible regulatory mechanisms pp. 510-511. En: P. G. FALKOWSKI (Ed.). *Primary productivity in the sea. Environmental Science Research, Volume 19*. Poster 8. Plenum Press. 531 p.
- FAO, 1995. Estudio piloto para un plan de desarrollo acuícola en el sistema lagunar de Teacapán-Agua Brava, Nayarit. Informe final del Proyecto UTF/MEX/035/MEX «Modernización del sector pesquero». Estudios para el mejoramiento productivo de áreas lagunares costeras. México, D. F. 161 p.
- GAARDER, T. y H. H. GRAN, 1927. Investigations on the production of plankton in the Oslo Fjord. *Rapp. P. V. Reun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 42 (3).
- GARCÍA N., A. y O. CASTAÑEDA L., 1994. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en dos lagunas costeras del estado de Chiapas, México. *Investigaciones Marinas* 15 (3): 171-190.
- INEGI, 1984. Carta Básica Nacional de Información Pesquera. SNIIP-INEGI.
- INLAND WATERS DIRECTORY, 1974. *Analytical methods manual*. Ottawa, Canada.
- LANKFORD, R. R., 1977. Coastal lagoon of Mexico. Their origin and classification. pp. 182-215. En: M. WILEY (Ed.). *Estuarine Processes*. Academic Press Inc. 182- 215.
- LEGENDRE, L., S. DEMERS y C. YENTSCH, 1983. C¹⁴ method: Patterns of dark CO₂ fixation and DCMU correction to replace the dark bottle. *Limnology and Oceanography* 28 (5): 996-1003.
- MALONE, T. C., 1971. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities. *Limnology and Oceanography* 16: 633-639.
- MARGALEF, R., 1974. *Ecología*. Omega, Madrid. 953 p.
- MCCARTHY, J. J., W. ROWLAND y M. E. LOFTUS, 1974. Significance of nanoplankton in the Chesapeake Bay estuary and problems associated with measurements of nanoplankton productivity. *Marine Biology* 24: 7-16.
- MENZEL D. W. y N. CORWIN, 1965. The measurements of total phosphorus in seawater based on the liberation of organic bounds fractions by persulfate oxidation. *Limnology and Oceanography* 10 : 282-282.
- MURPHY J. y J. P. RILEY, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphates in natural waters. *Analítica et Chimica Acta* 27 : 31-36.
- REDFIELD, A. C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist* 46: 205-221.
- REDFIELD, A. C., B. H. KETCHUM y F. A. RICHARDS, 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. pp. 26-77 En: M. N. HILL (Ed.). *The sea*. Wiley, New York.
- RHEE, G-YULL, 1978. Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition, and nitrate uptake. *Limnology and Oceanography* 23 : 10-25.
- RINALDI A., G. MONTANARI, A. GHETTI., C. R. FERRARI y A. FERRARI, 1992. Eutrophy and dystrophy in the Goro lagoon. pp. 457-470. En: R. A. VOLLENWEIDER, R. MARCHETTI y R. VIVIANA (Eds.). *Marine coastal eutrophication*. Elsevier.
- RYTHER, J. H. y W. M. DUNSTAN, 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science* 171: 1008-1013.
- SCHINDLER, D. W., 1971. Carbon, Nitrogen and Phosphorus and the eutrophication of freshwaters lakes. *Journal of Phycology* 7: 321-329.
- SCHINDLER, D. W., 1974. Eutrophication and recovery in experimental lakes: Implications for lake management. *Science* 184: 897-899.
- SCHINDLER, D. W., 1977. The evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science*, 195: 260-262.

- SCOR-UNESCO, 1980. Determination of chlorophyll in sea water. *Technical papers in marine science*. 35 p.
- SOLÓRZANO, L., 1969. Determination of ammonia in natural water by the phenolhypochlorite method. *Limnology and Oceanography* 14: 799-801.
- SMITH, S. V., 1984. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment. *Limnology and Oceanography* 29 (6): 1149-1160.
- STRICKLAND, J. D. H. y T. R. PARSONS, 1972. *A manual of sea water analysis*. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa. 310 p.
- TÉLLEZ V., M. A. A., 1983. Estudio prospectivo de algunos aspectos hidrológicos en un sistema lagunar costero de Oaxaca, Méx. *Resúmenes del VII Congreso Nacional de Zoología*. En: O. CASTAÑEDA L. y F. CONTRERAS E., 1994. *Litoral del Pacífico*. Serie "Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros", Vol. II. UAMI-CONABIO. 495 p.
- THOMAS, W. H., 1970a. On nitrogen deficiency in Tropical Pacific oceanic phytoplankton: Photosynthetic parameters in poor and rich water. *Limnology and Oceanography* 15: 380-385.
- THOMAS, W. H., 1970b. Effect of ammonium and nitrate concentration on chlorophyll increases in natural tropical Pacific phytoplankton populations. *Limnology and Oceanography* 15: 386-394.
- TOVILLA C., H. y E. LOA L., 1991. Manglares y marismas, modificaciones debido a los cambios en el uso del suelo, en la costa del estado de Chiapas, durante 40 años. *Resúmenes del I Congreso Latinoamericano en Administración de la Zona Costera*. En: O. CASTAÑEDA L. y F. CONTRERAS E., 1994. *Litoral del Pacífico*. Serie "Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros", Vol. II. UAMI-CONABIO. 495 p.
- VOLLENWEIDER, R. A., 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Memoria del Istituto Italiano di Idrobiología* 44: 53-83.
- VOLLENWEIDER, R. A., R. MARCHETTI y R. VIVIANI, 1992. *Marine coastal eutrophication*. Elsevier. 1310 p.

Recibido: 10 de septiembre de 1996.

Aceptado: 21 de julio de 1997.