

## Variabilidad de algunos parámetros fisicoquímicos y productividad primaria en la laguna La Cruz, Sonora, México

J. Eduardo Valdez-Holguín y Luis R. Martínez-Cordova

Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora. Rosales y Niños Héroe. Hermosillo, Sonora, México.

(Rec. 8-I-1992. Acep. 27-X-1992)

**Abstract:** time series analysis was used to determine the main factors influencing variability of some environmental parameters in two fixed points at the La Cruz Lagoon, Bahía Kino, Sonora, Mexico. Height of water column and distance to the mouth were the main factors determining differences between the two sampling sites. The study showed that spring and neap tides, and seasonal and annual cycles had a major influence on the variability of the parameters measured.

**Key words:** Coastal lagoon, environmental parameters, primary productivity, Mexico.

La temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto, el pH y la productividad primaria, son algunos de los parámetros de mayor importancia en la ecología y cultivo de organismos acuáticos. La temperatura, por ejemplo, regula las funciones metabólicas de los organismos y por lo tanto tiene un efecto directo en su crecimiento, maduración y reproducción (Kine 1970, Vernberg y Vernberg 1972). En cultivos de organismos como el camarón y el ostión, se han observado valores altos de  $Q_{10}$ , o sea la diferencia en el metabolismo cuando hay un gradiente de temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  (Martínez-Córdova 1988, 1990, 1991).

En los acuacultivos, el oxígeno es un factor importante ya que influye definitivamente en la supervivencia y crecimiento de los organismos cultivados y por lo tanto en la producción. Para el cultivo del camarón, por ejemplo, concentraciones por debajo de 3 ml/L pueden producir altas mortalidades (Hanson y Goodwing 1977, Mc.Vey 1983, Huner y Evan Brown 1985, Martínez-Córdova 1988).

La productividad primaria es una medida de la potencialidad de alimento natural en el medio; muchos organismos aprovechan directamente en su alimentación a los productores primarios, como es el caso de los moluscos filtroalimentadores, otros pueden aprovecharlos directa o indirectamente como es el caso del camarón (Chamberlain 1988).

Se ha demostrado que en una laguna costera, tales parámetros son muy variables y están influenciados principalmente por las corrientes de marea, las surgencias y los ciclos estacionales (Alvarez Borrego *et. al.* 1975, Lara Lara y Alvarez Borrego 1975, Acosta Ruiz *et. al.* 1978, Alvarez borrego y Alvarez Borrego, 1982 y Millan Nuñez *et. al.* 1982).

Así mismo, estos pueden variar de un punto a otro dentro del sistema por efecto de la topografía, tipo de sedimento, vegetación presente, etc. (Millán Nuñez *et. al.* 1981).

El objetivo fundamental de este estudio fue determinar los mecanismos que influyen en la variabilidad de algunos de los principales parámetros fisicoquímicos (temperatura, oxígeno

disuelto, pH y productividad primaria), en dos puntos fijos de la laguna La Cruz, Sonora, México. Estos dos puntos fueron elegidos porque son los sitios en los que se han desarrollado por mucho tiempo cultivos de camarón y ostión.

## MATERIAL Y METODOS

**Area de Estudio:** La laguna La Cruz está localizada en Bahía Kino, Sonora, México; en la costa oriental del Golfo de California, ( $28^{\circ} 45' - 28^{\circ} 49' N$ ,  $115^{\circ} 51' - 115^{\circ} 55' W$ ) (Fig. 1).

La laguna puede ser clasificada como un antiestuario, según el criterio de clasificación de Pritchard (1967), ya que el aporte de agua dulce es casi nulo y la salinidad es normalmente más alta (promedio anual de 37 ppm) que la del mar (35 ppm.) (Valdéz Holguín, en preparación).

La laguna es somera, su profundidad media es alrededor de 1 m con canales de mayor profundidad. Sus aguas cubren una superficie de aproximadamente  $23 \text{ km}^2$  durante la pleamar. Esto representa un volumen de  $58 \times 10^9 \text{ m}^3$  y un índice de flujo (volumen intermareal dividido entre el volumen total) de 0.38 (Gilmartín y Revelante, 1978).

El régimen de mareas es semidiurno y su amplitud llega a ser de casi 1 m durante las mareas vivas de septiembre (Kitani y Martínez, 1977). Las corrientes de marea durante esta época alcanzan velocidades de hasta 2 m/seg en la boca de la laguna. En áreas más interiores, en donde se localiza una de las estaciones consideradas en el estudio (estación 1), la corriente alcanza velocidades máximas de 1.3 m/seg. Estas características determinan también el tipo de sedimento encontrado en las áreas de estudio; mientras que en la estación 1, el sedimento es arcilloso-limoso, propio de un ambiente de depositación de turbidez, en la estación 2, localizada en un canal cercano a la boca de la laguna, el sedimento es arenoso propio de un ambiente de depositación eólico (De la O *et al.* 1985 y Villalba Atonodo *et al.* 1989).

**Medición de parámetros fisicoquímicos:** Durante el período de enero a diciembre de 1980, se realizaron mediciones superficiales de temperatura, pH, oxígeno disuelto y productividad primaria, en dos puntos de la laguna La Cruz (Fig. 1). Las mediciones se realizaron cada semana.

La temperatura se midió con un termómetro de mercurio y el pH con un potenciómetro

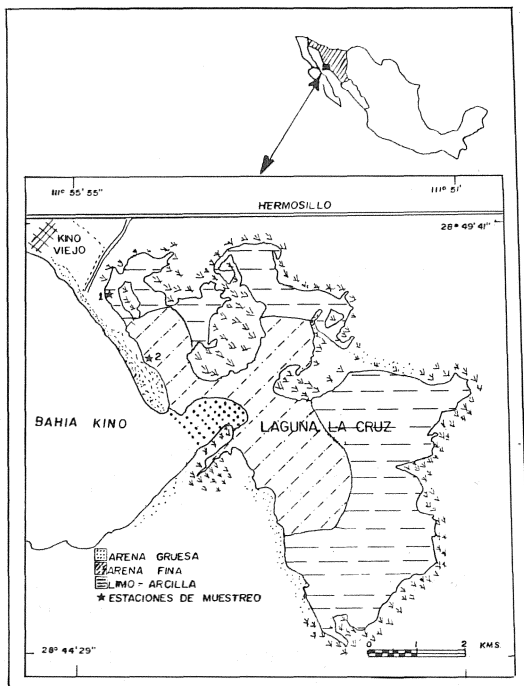


Fig. 1. Localización del área de estudio y estaciones de muestreo.

Beckman. La concentración de oxígeno disuelto se determinó por el método de Winkler modificado, descrito por Strickland y Parsons (1972). Las muestras de agua fueron tomadas en botellas DBO de 300 ml. Se fijaron *in situ* y se transportaron al laboratorio para su análisis; el tiempo de transporte no excedió de 1 hora y las botellas fueron mantenidas en la oscuridad.

Para la estimación de la productividad orgánica primaria, se siguió el método de la botella clara y oscura (Strickland y Parson 1972); las muestras fueron incubadas superficialmente *in situ* por un período de 6 horas, después del cual se fijaron y transportaron al laboratorio para medir el cambio de la concentración de oxígeno disuelto.

Se hicieron comparaciones mediante una prueba t-Student, para definir diferencias entre los puntos de muestreo; además se llevaron a cabo análisis de series de tiempo, obteniendo la periodicidad de la variancia de los parámetros considerados (Espectro de Varianza). El análisis espectral da las frecuencias de variación de cada serie, aplicando una transformada de Fourier (Bendat y Piersol, 1971); este tipo de tratamiento permite conocer la frecuencia de variación hasta  $2T$  ( $T =$  intervalo de muestreo),

Fourrier (Bendat y Piersol, 1971); este tipo de tratamiento permite conocer la frecuencia de variación hasta  $2T$  ( $T$  = intervalo de muestreo), y la mínima frecuencia que se quiera detectar se debe muestrear al menos 10 veces (Wastler 1969). Los resultados se expresan como el logaritmo de la varianza (densidad espectral), contra ciclos por semana (frecuencia).

### RESULTADOS Y DISCUSION

La temperatura ambiental (Fig. 2) mostró un ámbito de variación de  $25.2^{\circ}\text{C}$  con un máximo de  $35.5^{\circ}\text{C}$ , en agosto, un mínimo de  $10.3^{\circ}\text{C}$ , en el mes de enero y una media de  $21.4 \pm 7.39$ . La temperatura superficial del agua en ambas estaciones (Fig. 3) presentó la misma tendencia, con valores máximos en verano de  $33.7^{\circ}\text{C}$  y  $31.0^{\circ}\text{C}$  en las estaciones 1 y 2 respectivamente, y valores mínimos en invierno de  $11.8^{\circ}\text{C}$  y  $13.2^{\circ}\text{C}$  respectivamente. La temperatura en la estación 1, fue más variable con un ámbito de  $21.9^{\circ}\text{C}$  y una media de  $20.6 \pm 6.52^{\circ}\text{C}$ , mientras que en la estación 2, el ámbito fue de  $17.8^{\circ}\text{C}$  y la media de  $20.8 \pm 5.65^{\circ}\text{C}$ . Estas diferencias, sin embargo, no fueron estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ).

Los espectros de varianza de la temperatura superficial de las dos estaciones (Figs. 4 y 5), mostraron asociación con procesos anuales. Esta variación, aunque no es representativa por las características del muestreo, sí da una idea

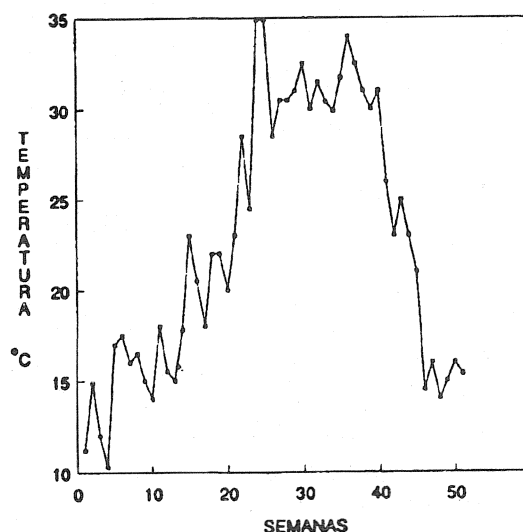


Fig. 2. Serie de tiempo de temperatura ambiental, laguna La Cruz, Sonora.

de una gran influencia del ciclo anual de la temperatura ambiental sobre la del agua.

La batimetría irregular en una laguna costera causa el calentamiento o enfriamiento diferencial por efecto de la irradiación solar o de la temperatura ambiental. Así, los efectos de estos parámetros son mayores en áreas interiores que en regiones cercanas a la boca, por lo somero y por el mayor tiempo de residencia del agua (Alvarez Borrego y Alvarez Borrego 1982).

En la estación 1 que es más somero (en ocasiones la columna de agua queda con escasos centímetros de profundidad) se observó un ámbito

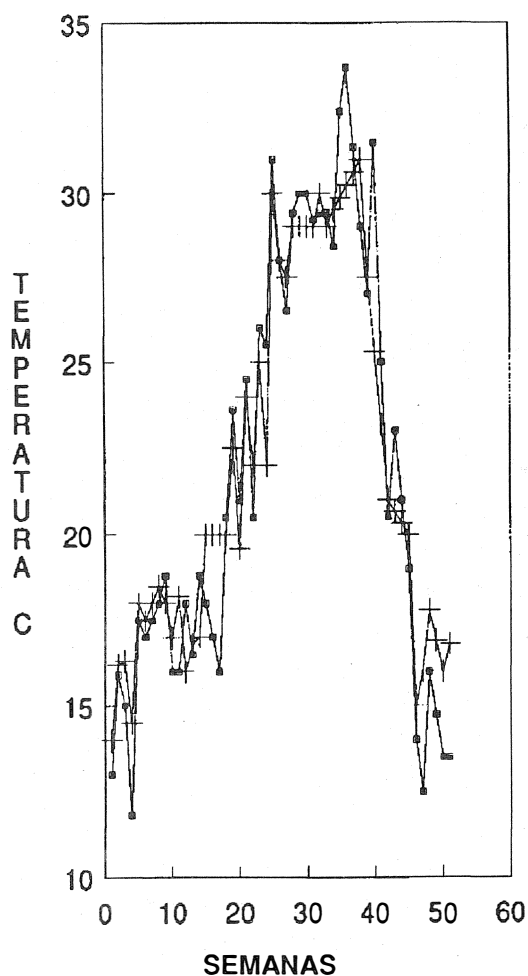


Fig. 3. Series de tiempo de temperatura, laguna La Cruz, Sonora.

anual de temperatura más amplio, que en la estación 2, la cual raramente tiene menos de 1 m de columna. Además, la segunda estación está influenciada frecuentemente por agua nueva que entra con la marea, ya que se encuentra muy cerca de la boca de la laguna. Granados Guzmán y Alvarez Borrego (1983), observaron en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, un gradiente de temperatura con variación de baja frecuencia por cambios estacionales y de alta frecuencia (diurnos y semidiurnos), por ciclos de marea, usando dos puntos de muestreo, uno cerca de la boca y otro interior.

El oxígeno disuelto en al estación 1, mostró un ámbito de variación de 3.45 a 7.57 ml/L, con una media de  $5.73 \pm 0.73$  ml/L. En la estación 2 ámbito fue de 4.15 a 7.68 ml/L con una media de  $5.93 \pm 0.64$ . En general los valores más bajos se registraron en

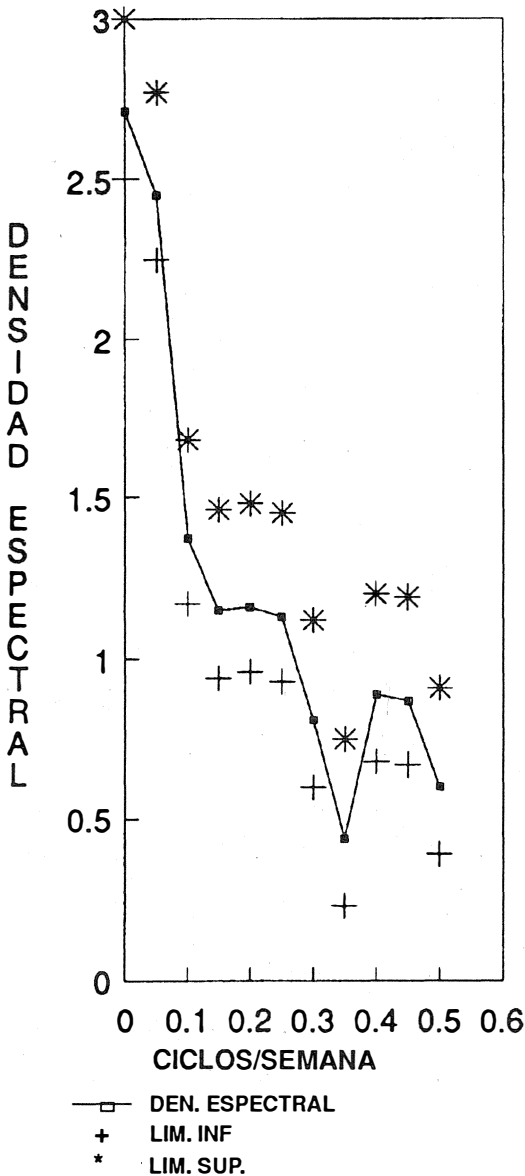


Fig. 4. Análisis espectral de temperatura, estación 1.

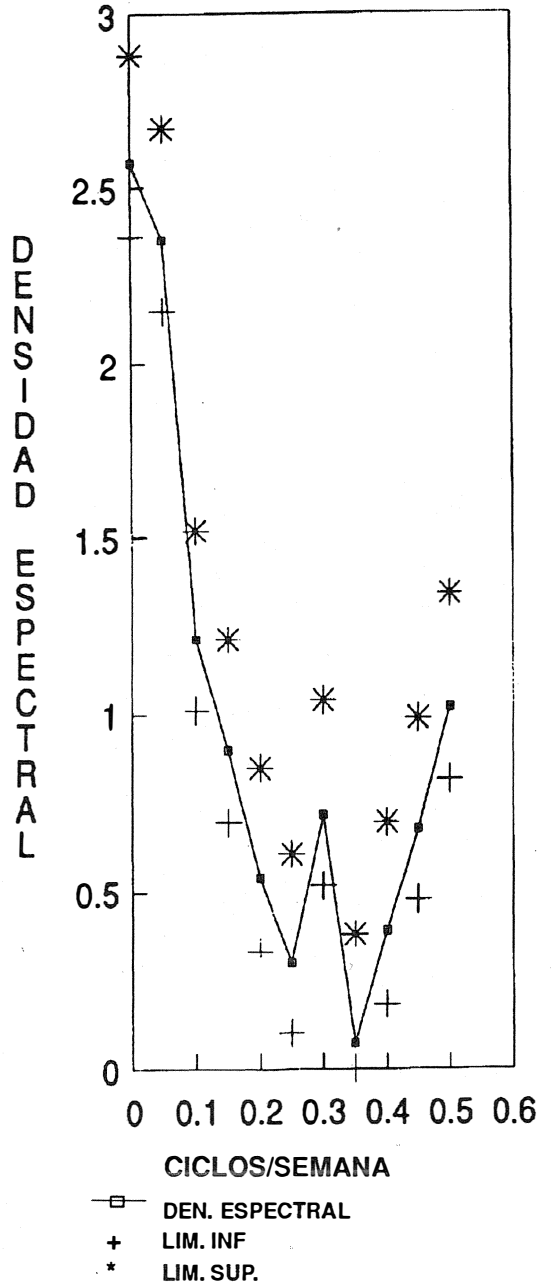


Fig. 5. Análisis espectral de temperatura, estación 2.

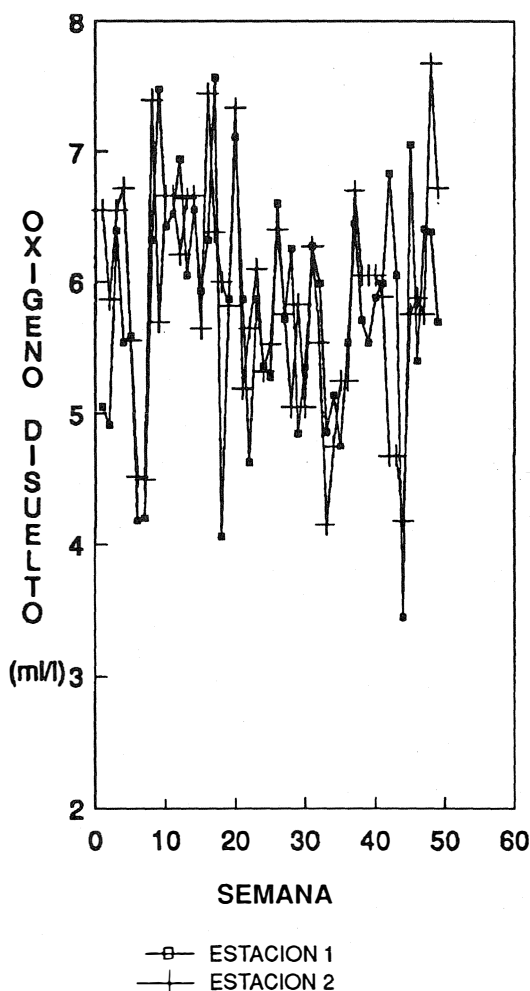


Fig. 6. Series de tiempo de oxígeno disuelto, laguna La Cruz, Sonora.

los meses cálidos, aunque no existe un patrón de variación estacional bien definido (Fig. 6). No se encontraron diferencias significativas entre las dos estaciones. Los espectros para ambas series (Figs. 7 y 8), mostraron una varianza asociada a procesos anuales, estacionales y quincenales. Dado que la solubilidad del oxígeno está inversamente relacionada con la temperatura, es lógico que el patrón de variación anual de la temperatura, determine en parte, el del oxígeno disuelto. Esto explica también la mayor varianza encontrada en la estación 1, en donde es mayor la influencia de la temperatura ambiental.

Las estaciones del año están relacionadas con la sucesión, abundancia y biomasa de organismos en el ecosistema; esto a su vez determina tasas mayores o menores de respiración, según sea el caso, lo cual repercute en el consumo de oxígeno. Lo mismo sucede con la materia orgánica biodegradable (e.g. metabolitos, restos de organismos), la cual es más abundante en el verano (CICTUS 1989); esto hace que se requiera consumir mayor cantidad de oxígeno para su degradación.

Por otra parte, las altas variaciones de la concentración de oxígeno disuelto en ambas estaciones está asociada con mezclas inducidas por viento, e intercambios por mareas; esto se refleja en los espectros de varianza, que indican varianza asociada a procesos quincenales (mareas vivas y muertas).

El pH en la estación 1, mostró un ámbito de variación de 0.8, con un valor mínimo de 7.75 y un máximo de 8.55. En la estación 2 el ámbito fue de 1.16, con un mínimo de 7.79 y un máximo de 8.95. Para ambas estaciones, el mínimo se presentó en el verano, mientras que los valores máximos se presentaron en primavera y otoño respectivamente (Fig. 9). Ambas series no fueron estadísticamente diferentes. Los espectros de varianza (Figs. 10 y 11), mostraron mayores frecuencias de variación asociada principalmente a procesos anuales para la estación 1, mientras que en la estación 2, se asocia a procesos anuales y menores de un mes. Los cambios menores de un mes están relacionados al ciclo de las mareas vivas y muertas; las primeras ocasionan aumentos en el pH, por el aporte de agua marina, mientras que las segundas ocasionan el proceso contrario, por la influencia del aporte de la materia orgánica y metabolitos del estero. Esta variación es bien evidente en la estación 2 que es la que está mayormente influenciada por el agua de la marea, al estar más cercana a la boca de la laguna.

La productividad primaria bruta en la estación 1, registró un valor promedio de 0.48 mg C/L/6 ha con un ámbito entre 0.03 y 1.73 mg C/L/6 hs. En la estación 2, el valor promedio fue de 0.24 mg C/L/6 hs. La diferencia entre estaciones es altamente significativa ( $p < 0.01$ ). Los valores mínimos para ambas series, se registraron en invierno, mientras que el valor máximo para la estación 1 se registró

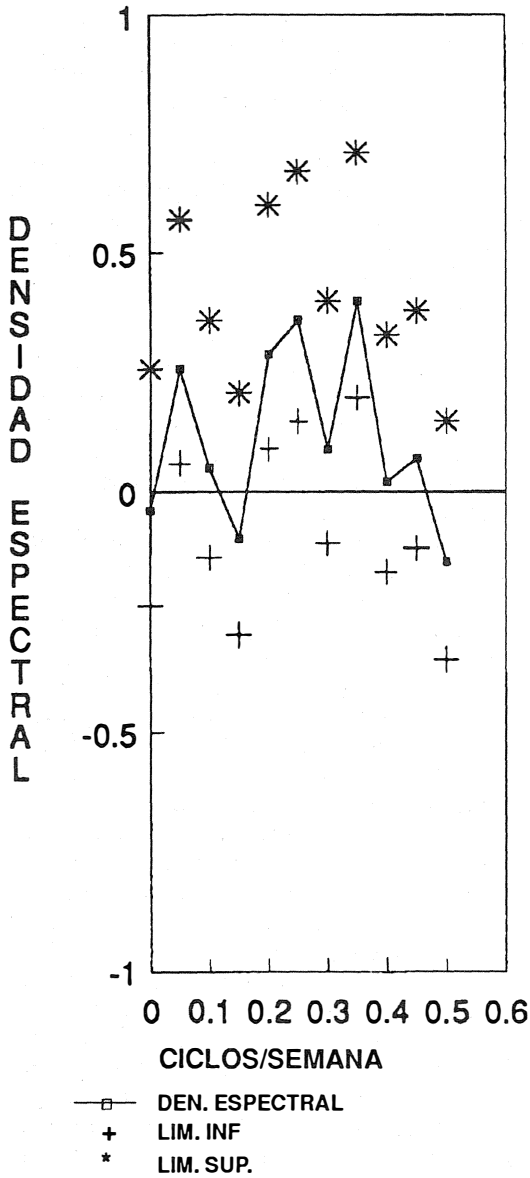


Fig. 7. Análisis espectral de oxígeno disuelto, estación 1.

en otoño y para la 2, a finales de la primavera. En general, primavera y verano presentaron los valores más elevados de productividad primaria (Fig. 12).

La mayor productividad primaria bruta de la estación 1, puede explicarse por el mayor aporte de nutrientes que se da en un área interior de la laguna, más somera (lo que implica un mayor intercambio sedimento-columna de agua), y con menor influencia del océano.

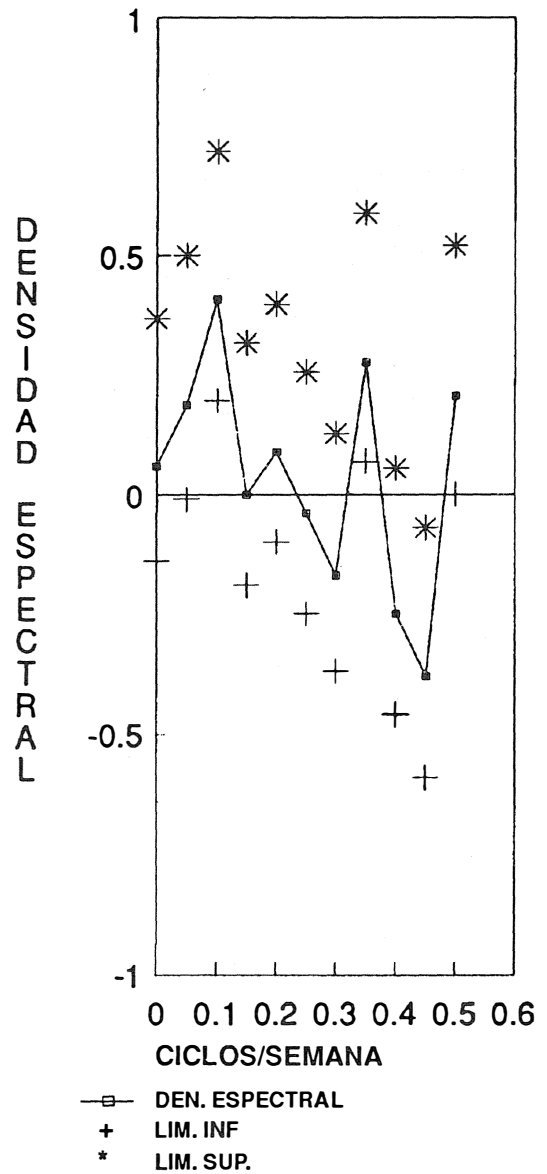


Fig. 8. Análisis espectral de oxígeno disuelto, estación 2.

La variabilidad en la productividad primaria, de acuerdo con los espectros de variancia obtenidos, está asociada en la estación 1 a cambios estacionales y menores de 1 mes, principalmente quincenales (Fig. 13). Para la estación 2, se observó variancia asociada a procesos quincenales, principalmente (Fig. 14). La variabilidad quincenal es probablemente debida al efecto de mareas vivas y muertas, con su consiguiente influencia en la disponibilidad de nutrientes

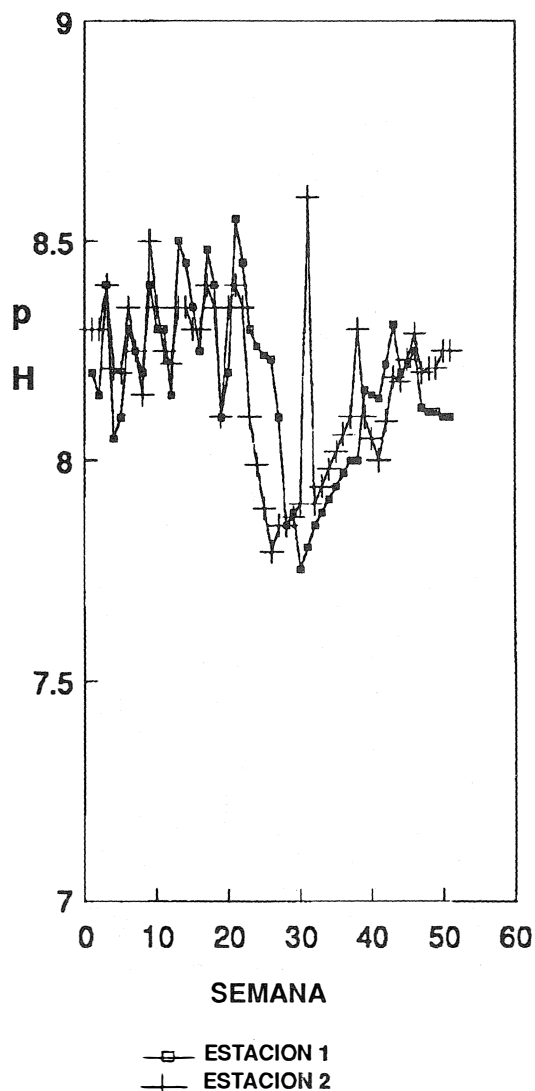


Fig. 9. Series de tiempo de pH, laguna La Cruz, Sonora.

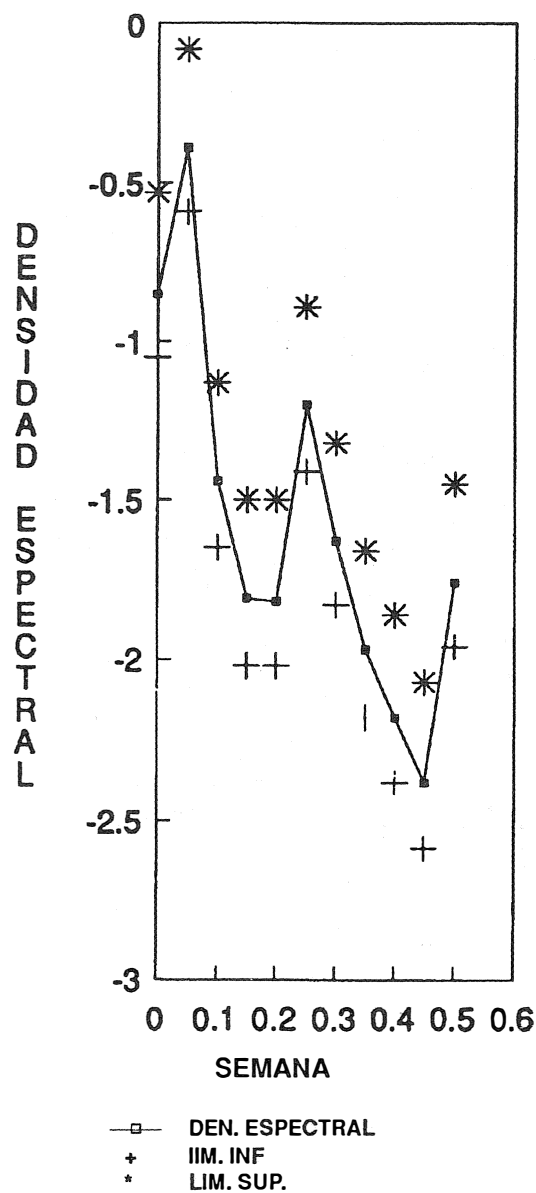


Fig. 10. Análisis espectral de pH, estación 1.

(dilución o concentración). Los cambios estacionales están probablemente ligados a la sucesión ecológica de especies de fitoplancton, a cambios en la intensidad luminosa y a procesos locales que afectan la disponibilidad de nutrientes en ciertas áreas del sistema.

Gilmartin y Revelante (1978) informaron valores de productividad primaria durante verano para las lagunas costeras del Golfo de California. Estos valores fueron en promedio

de 81 mg c/m<sup>3</sup>. Los resultados de este estudio expresados en las mismas unidades promedian: 80 y 40 mg c/m<sup>3</sup>/h para la estación 1 y 2, respectivamente. Así mismo, son mayores que los informados para los otros sistemas costeros. En este sentido es difícil hacer una comparación, ya que los métodos utilizados son diferentes, sin embargo, esta laguna puede ser considerada entre las más productivas del Golfo de California.

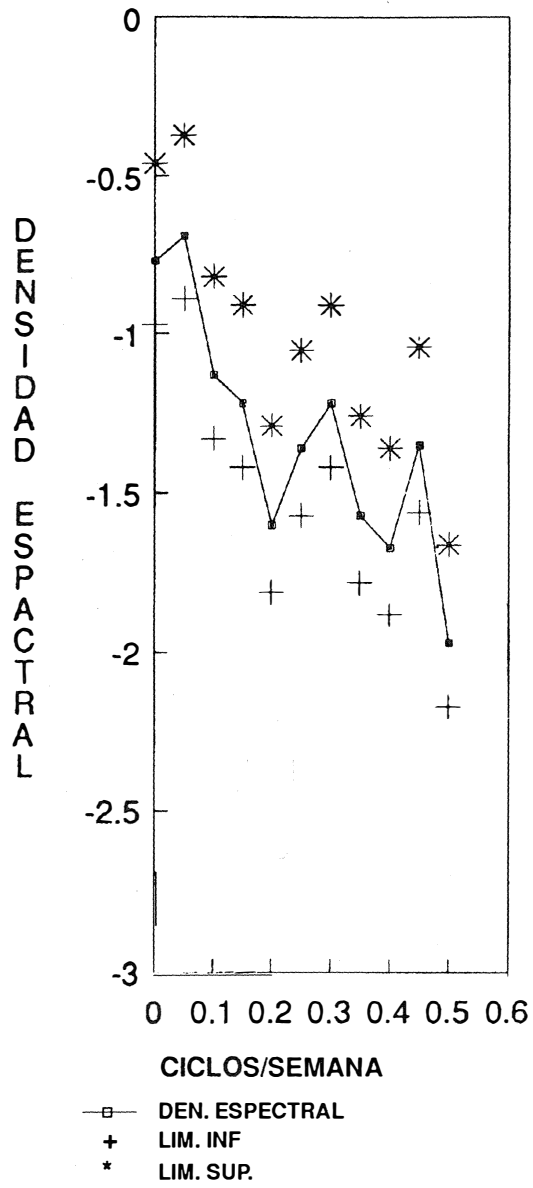


Fig. 11. Análisis espectral de pH, estación 2.

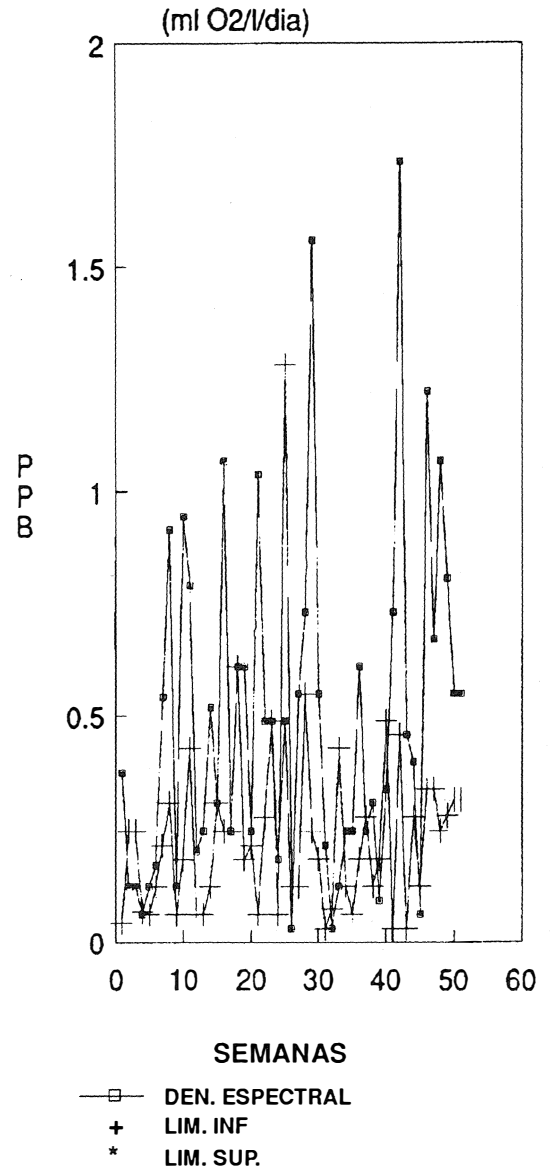
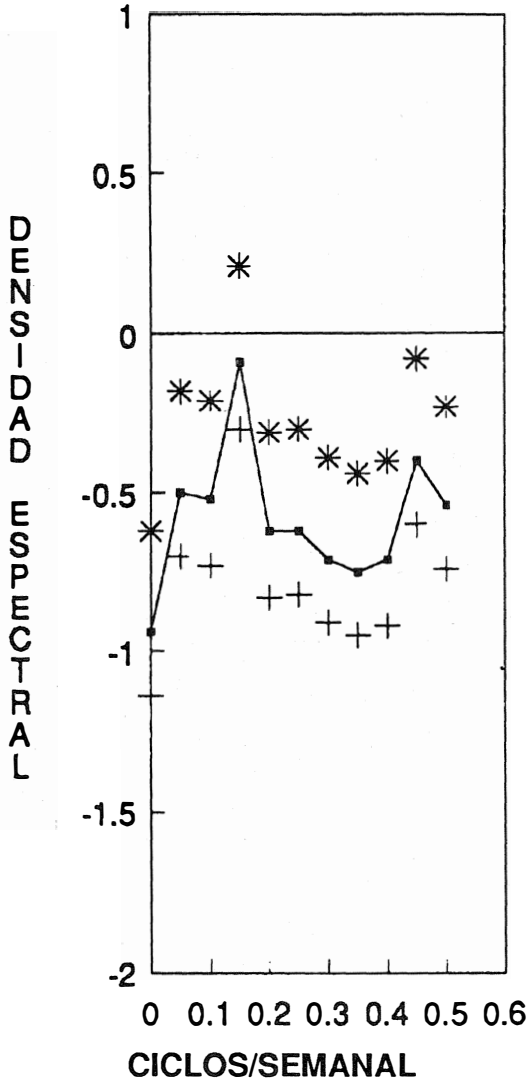


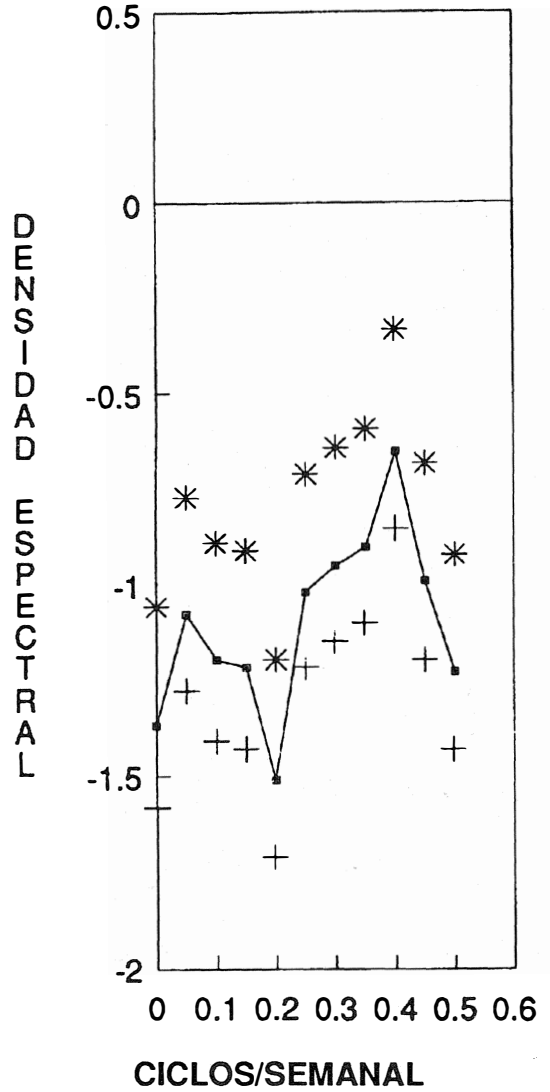
Fig. 12. Series de tiempo de productividad primaria bruta, laguna La Cruz, Sonora.





—■— DEN. ESPECTRAL  
 + LIM. INF.  
 \* LIM. SUP.

Fig. 13. Análisis espectral de productividad primaria, estación 1.



—■— DEN. ESPECTRAL  
 + LIM. INF.  
 \* LIM. SUP.

Fig. 14. Análisis espectral de productividad primaria, estación 2.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de Dolores Vázquez, en la elaboración de las figuras y al personal de la Unidad Experimental Kino del CICTUS, por su ayuda en el trabajo de campo.

## RESUMEN

Mediante un análisis de series de tiempo, se determinaron los principales factores que influyen en la variabilidad de algunos parámetros ecológicos en dos estaciones fijas de la laguna La Cruz, Sonora, México. La altura de la columna de agua y la cercanía de la boca de las estaciones de muestreo, afectan el comportamiento de los parámetros ambientales en las mismas. Los ciclos quincenales, asociados a mareas vivas y muertas, así como los ciclos estacionales y anuales determinan la variabilidad del sistema.

## REFERENCIAS

- Acosta Ruiz, J.M. & J.R. Lara Lara. 1978. Resultados físicos y químicos de un estudio de variación diurna de el área central de Bahía Magdalena, B.C.S.. Cien. Mar. 7(1):37-46.
- Alvarez Borrego, S., L.A. Galindo & A. Chee Barragán. 1975. Características hidroquímicas en Bahía Magdalena, B.C.S. Cien. Mar. 2(2):94-110.
- Alvarez Borrego, J. & S. Alvarez Borrego. 1982. Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. CALCOFI Rep. 23:188-197.
- Bendat, J.S. & A.G. Piersol. 1971. Random data: Analysis and measurement procedures. Wiley-Interscience. Londres. 407 p.
- Chamberlain, G. 1988. Rethinking shrimp pond management. Coastal Aquac. Vol. 5, No.2.
- CICTUS, 1984. El Cultivo del Camarón Azul. *Panaeus stylirostris*. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. 126 p.
- CICTUS, 1989. Aportación de materia orgánica por productores primarios en el estero La Cruz, Sonora. Informe Técnico Final. UNISON-CONACYT. Hermosillo, Sonora, México.
- De la O, M., A. Villalba Atondo & P. Ortega Romero. 1985. Sedimentología de la laguna costera La Cruz, Sonora. Bol. Depto. de Geología Unison, Vol. 2, No.1 y 2: 16-24.
- Gilmartin, M. & M. Revelante. 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. Est. and Coast. Mar. Sci. 7: 29-47.
- Granados Guzmán, A. y S. Alvarez Borrego. 1983. Variabilidad de temperatura en la ensenada de La Paz, B.C.S., Cien. Mar. 9(2):133-141.
- Hanson, J.A. & H. Goodwin. 1977. Shrimp and Prawn Farming in the Western Hemisphere. Van Nostrand Co. USA. 439 p.
- Huner, J. & E. Evan Brown. 1985. Crustacean and Mollusk Aquaculture in the United States. AVI Pub. Westport, USA. 476 p.
- Kitani, H. & L.R. Martínez. 1977. Estudios bioecológicos en el estero La Cruz: Cultivo de Camarón. CICTUS, Reporte Técnico. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- Lara Lara, R. & S. Alvarez Borrego. 1975. Ciclo anual de clorofitas y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, B.C. Cien. Mar. 2(1):77-96.
- Martínez-Cordova, L. 1988. Culture of blue shrimp *Panaeus stylirostris* in floating cages. The prog. Fish. Cult. 50:36-38.
- Martínez, L. & M. Robles. 1990. Introducción de ostión japonés, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1795) en el estero La Cruz, Sonora, México. Cien. Pesq. (7):157-165.
- Mc Vey, J. 1984. Handbook of Mariculture. Vol. 1: Crustacean. CRC Press, Inc., Boca Raton Florida, USA.
- Millan Nuñez, E., F.J. Ortíz Cortez & S. Alvarez Borrego. 1981. Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera a finales de verano. Cien. Mar. 7(1):103-128.
- Millan Nuñez, R., S. Alvarez Borrego & D.M. Nelson. 1982. Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. Est. Coast. and Shelf Scien. 15:317-335.
- Pritchard, D.W. 1967. What is an estuary? Physical viewpoint. In: Lauff, G.H. (ed.). Estuaries, 83:3-5.
- Strickland, J.D. & T.R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fish. Res. Board Can. Bull. 167. 2nd ed. pp 310.
- Valdez-Holguín, J.E. (en preparación). Variación día a día de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila a, en la laguna La Cruz, Sonora, México.
- Villalba Atondo, A., M. de la O. & P. Ortega Romero. 1989. Ambientes sedimentarios recientes de la laguna costera La Cruz. Sonora, México. Act. Ocean. Pac. INOCAR, 5(1):89-96.
- Vernberg, W.B. & F.G. Vernberg. 1972. Environmental Physiology of Marine Animals, Springer Verlag, Germany.
- Wastler, T.A. 1969. Spectral analysis: Application in water pollution control. Federal Water Pollution Control Administration. U.S. Department of the Interior. CWT-3. Washington D.C. 99 pp.