

Características fisicoquímicas de la Laguna Pastoría, Oaxaca, México

Miguel Ángel Ahumada-Sempool * & Noe Ruiz-García **

Resumen

Características fisicoquímicas de la Laguna Pastoría, Oaxaca, México. Con el fin de conocer las condiciones fisicoquímicas y su variación estacional, en una red de 21 estaciones de muestreo, de abril de 1998 a abril de 1999, se registraron temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México. Los datos fueron analizados con la técnica estadística de componentes principales (ACP) y la prueba *t*-Student, así como a través de mapas de isóneas y gráficos convencionales. El ACP revela que la mayor variabilidad espacial y temporal, corresponde a la salinidad, después a la temperatura y en tercer término al oxígeno disuelto. La Laguna Pastoría presenta una marcada estacionalidad, principalmente en salinidad cuyos valores más altos se presentan de febrero a junio (desde mediados de secas hasta principios de lluvias) y los más bajos de agosto a diciembre (desde mediados de lluvias hasta principios de secas). Asimismo, de acuerdo a la distribución vertical de salinidad y temperatura, la Laguna Pastoría presenta la columna de agua homogénea de abril a junio y estratificada, en al menos dos capas, de agosto a febrero.

Abstract

Physicochemical characteristics of the Pastoria Lagoon, Oaxaca, Mexico. In order to know the physicochemical conditions and their seasonal variability, the Pastoria Lagoon, Oaxaca, Mexico, was studied. From April 1998 to April 1999; temperature, salinity, dissolved oxygen and pH were measured. Data were examined by means of principal component analysis (PCA) and the *t*-student test, as well as, through contour maps and standard graphics. According to the PCA, the highest variability corresponds to the salinity followed by the temperature and the dissolved oxygen. The Pastoria Lagoon shows a significant seasonal variability, mainly in salinity, with the highest salinity values from February to June (that is from the mid-dry season to the beginning of the rainy season) and the lowest ones from August to December (that is from the mid-rainy season to the beginning of the dry season). In addition, according to the vertical distribution of salinity and temperature, the Pastoria Lagoon has a homogeneous water column from April to June and a stratified one, in at least two layers, from August to February.

Résumé

Caractéristiques physicochimiques de la Lagune Pastoría, Oaxaca, Mexique. Afin de connaître les conditions physicochimiques et leur variation saisonnière dans la lagune Pastoría, à Oaxaca, au Mexique, les paramètres température, salinité, oxygène dissous et pH ont été enregistrés d'avril 1998 à avril 1999, dans un réseau de 21 stations d'échantillonnage. Les données ont été étudiées avec la technique analytique des composants principaux (ACP) et le test *t* de Student, ainsi qu'à l'aide d'une cartographie d'isolignes et des graphes conventionnels. L'ACP révèle que la plus grande variabilité spatiale et temporelle correspond à la salinité, puis à la température et enfin à l'oxygène dissous. La lagune Pastoría présente un caractère saisonnier marqué, principalement en termes de salinité, dont les valeurs les plus hautes se présentent de février à juin (depuis la mi-saison sèche jusqu'au début des pluies) et les plus basses d'août à décembre (depuis la mi-saison des pluies jusqu'au début de la saison sèche). Ainsi, suivant la distribution verticale de salinité et de température, la lagune Pastoría présente une colonne d'eau homogène d'avril à juin, et une stratification, en au moins deux couches, d'août à février.

* Instituto de Recursos, Universidad del Mar, Ciudad Universitaria, campus Puerto Ángel, 70902, Oaxaca, México.
Correo electrónico: ahumada@angel.umar.mx

** Instituto de Ecología, Universidad del Mar, Ciudad Universitaria, campus Puerto Escondido, 71980, Oaxaca, México.
Correo electrónico: nruizg@zicatela.umar.mx

Palabras clave: Laguna costera, oxígeno disuelto, pH, salinidad, temperatura, variabilidad estacional.

Key words: Coastal lagoon, dissolved oxygen, pH, salinity, seasonal variability, temperature.

Mots clefs: Lagune côtière, oxygène dissous, pH, salinité, température, variabilité saisonnière.

Introducción

México es un país privilegiado por su situación geográfica, la cual lo ubica a nivel mundial entre los países con mayor extensión de litorales marinos (11,500 km de costas, Anónimo 1995). En particular, el estado de Oaxaca cuenta con una extensión litoral de aproximadamente 579 km dentro de los cuales se localizan un importante número de lagunas costeras que por su naturaleza constituyen ecosistemas altamente productivos y consecuentemente son de gran relevancia regional.

Uno de estos cuerpos de agua costeros es la laguna Pastoría (Fig. 1), la cual es parte del sistema lagunar Chacahua-Pastoría, el cual

posee una superficie cubierta por agua de aproximadamente $24.67 \times 10^6 \text{ m}^2$. Este sistema se localiza en la costa oeste del estado de Oaxaca, entre las coordenadas 15.965° y 16.025° N y 97.536° y 97.768° O. Según la clasificación de Lankford (1977), la laguna Pastoría se ubica en la región D dentro de la categoría III-A, la cual se caracteriza por presentar depresiones inundadas en las márgenes internas del borde continental, al que rodean superficies terrígenas protegidas del mar por una barrera arenosa. De acuerdo con Toledo (1994), la topografía del área se caracteriza por una llanura aluvial casi plana, drenada por el curso bajo de los ríos, y una zona montañosa que rodea a la llanura con pendientes superiores al 20%. Según García

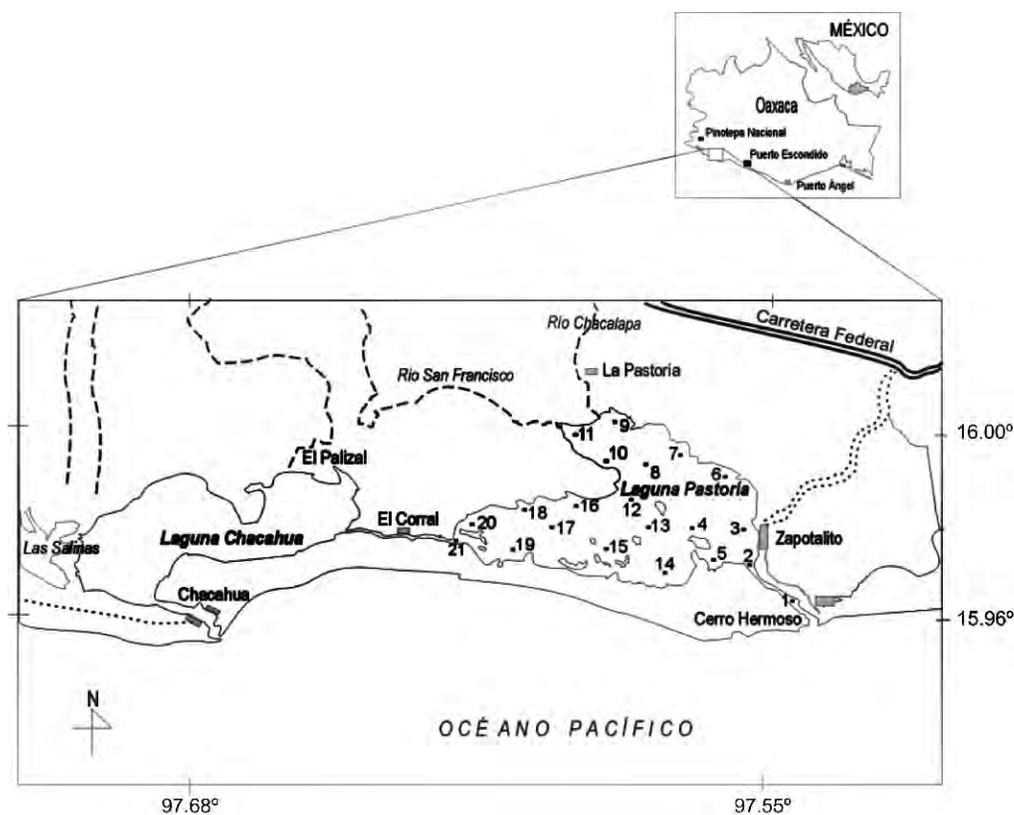


Figura 1. Estaciones de muestreo y localización geográfica de la Laguna Pastoría, Oaxaca, México.

(1981), el clima de la región es tropical subhúmedo con régimen de lluvias en verano.

La laguna Pastoría ha sido poco estudiada, como resultado existe un número muy reducido de trabajos en los cuales se han registrado las condiciones fisicoquímicas de la laguna. De acuerdo con Anónimo (1994), durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 1994, la laguna Pastoría presentó una temperatura promedio en superficie de 32.7°C (con un mínimo y un máximo de 30.0 y 34.0°C respectivamente) y en fondo de 32.2°C (con un mínimo y un máximo de 30.0 y 34.0°C respectivamente), una salinidad promedio en superficie de 34.0 (con un mínimo de 28.5 y un máximo de 40.0) y en fondo de 33.6 (con un mínimo de 28.0 y un máximo de 40.0), una concentración promedio de oxígeno disuelto en superficie de 5.32 mg L⁻¹ (con un mínimo y un máximo de 1.0 y 7.9 mg L⁻¹ respectivamente) y en fondo de 4.29 mg L⁻¹ (con un mínimo y un máximo de 0.25 y 7.9 mg L⁻¹ respectivamente) y un pH promedio de 6.33 con un mínimo de 3.14 y un máximo de 9.06. Sanay-González (1997) registró, durante un periodo de 24 horas en el mes de junio de 1995, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en una estación cercana a la boca de la laguna. De acuerdo con Sanay-González (1997), tanto la temperatura (~29-30°C) como la salinidad (~33-35) y el oxígeno disuelto (~5-6.3 mg L⁻¹) presentaron valores muy similares en superficie y fondo de la columna de agua. Por otra parte, Pantaleón-López (1999) registró valores de temperatura y salinidad de mayo de 1996 a junio de 1997. En este periodo la laguna Pastoría presentó una temperatura promedio en lluvias (mayo y octubre de 1996 y junio de 1997) de 31.80°C (con un mínimo y un máximo de 29.55 y 32.91°C respectivamente) y en secas (diciembre de 1996 y febrero de 1997) de 30.33°C (con un mínimo y un máximo de 28.50 y 31.60°C respectivamente) y una salinidad promedio en lluvias de 27.82 (con un mínimo de 5.0 y un máximo de 38.40) y en secas de 32.09 (con un mínimo de 29.40 y un máximo de 34.30).

El presente trabajo describe las condiciones

fisicoquímicas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH) de la laguna Pastoría durante el periodo comprendido de abril de 1998 a abril de 1999.

Materiales y métodos

De abril de 1998 a abril de 1999, se realizaron muestreos bimensuales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, en superficie y fondo de la columna de agua, en una red de 21 estaciones distribuidas con base en la morfología, profundidad y extensión del área de estudio (Fig. 1). Las observaciones se realizaron con una sonda multiparámetros Hydrolab Modelo Surveyor 3, durante el día entre las 10 y las 15 horas, iniciando por la boca de la laguna y finalizando al extremo opuesto de la misma. También se obtuvo información de las precipitaciones y la temperatura del aire en una estación hidrométrica cercana al área de estudio.

El procedimiento de análisis consistió en examinar los valores de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH del agua lagunar mediante la técnica estadística de componentes principales ACP (Savenkoff *et al.* 1995). Posteriormente, se realizó una prueba t-Student (Zar 1996) con el objeto de comparar los valores entre superficie y fondo, de los tres parámetros, que de acuerdo al ACP, tienen mayor importancia por su variabilidad. Finalmente, con el propósito de analizar los patrones espaciales y temporales, se construyeron mapas de isolíneas para temperatura y salinidad y gráficos convencionales para oxígeno disuelto y pH.

Resultados

Parámetros ambientales

Con base en los datos de precipitaciones y temperatura del aire (proporcionados por la estación hidrométrica el Tomatal, Anónimo 1999) los cuales se presentan en la Figura 2, se considera que durante el periodo de estudio la temporada de lluvias inició en mayo (14 mm) y

finalizó en octubre (180 mm). En total, de enero de 1998 a abril de 1999, se registraron 1,155 mm de precipitación, de los cuales el 98.7% correspondió al periodo mayo-octubre. En cuanto a la temperatura del aire, existió poca variabilidad a lo largo del periodo de muestreo, correspondiéndole el valor promedio máximo al mes de mayo (29.3°C) seguido por los meses de marzo y junio (28.8°C) y septiembre y octubre (28°C). La temperatura promedio mínima (26°C) se presentó en el mes de julio, aunque de noviembre a febrero se registraron temperaturas muy cercanas a este valor.

Parámetros fisicoquímicos de la columna de agua lagunar

El análisis de componentes principales indica que tres componentes explican el 96.03% de la varianza total (Tabla I y II). El primer componente representa el 73.72% de la

varianza total, apareciendo la salinidad como el parámetro con mayor importancia, pues el 99% de su variabilidad es explicado en este componente. Posteriormente se encuentra la temperatura que aparece en el segundo componente, el cual explica el 13.76% de la varianza total y revela la relación inversa que se da entre la temperatura y el oxígeno disuelto, es decir, si la temperatura aumenta el oxígeno disuelto disminuye o viceversa. Finalmente, el tercer componente representa el 8.55% de la varianza total, mostrando que entre el oxígeno disuelto y la profundidad de la columna de agua también existe una relación inversa.

La prueba t-Student (Tabla III, columna 5) muestra que solo en los meses de junio de 1998 y abril de 1999, no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre la salinidad de la superficie y el fondo. En tanto que sólo en los meses de abril y junio de 1998 y abril de 1999 no existen diferencias

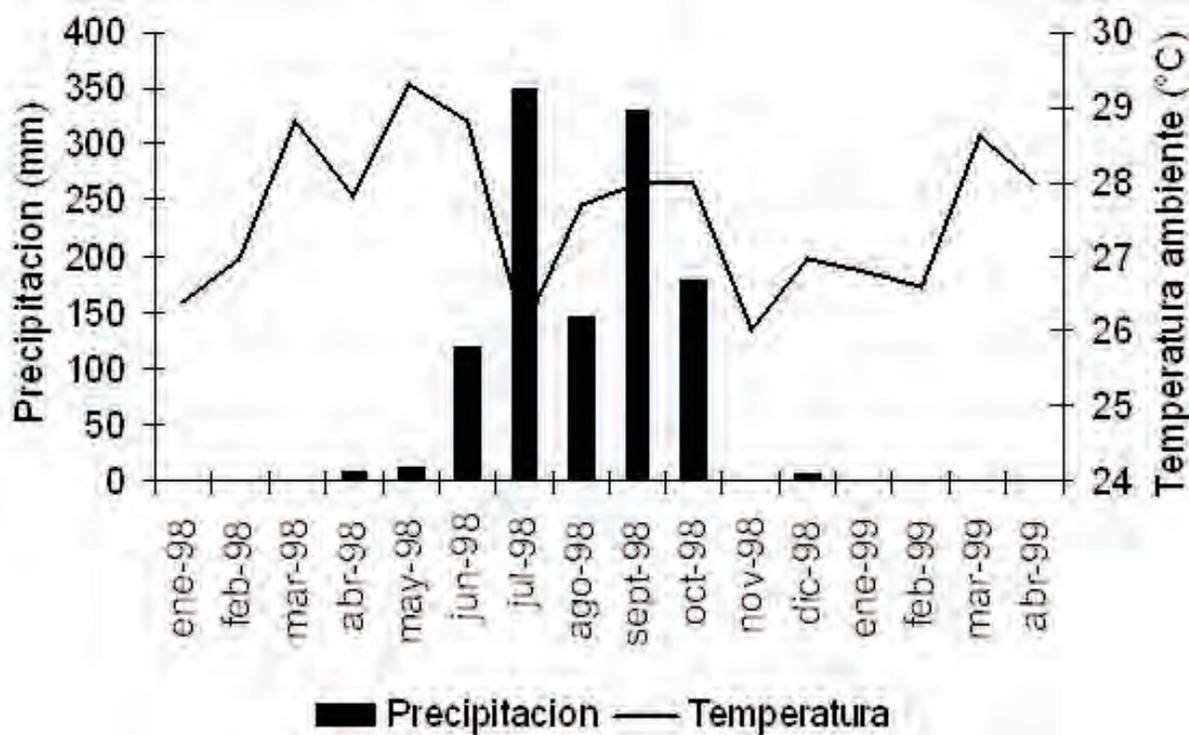


Figura 2. Variables ambientales registradas en la estación hidrométrica el Tomatal, Oaxaca, México.

Tabla I. Resultados del análisis de componentes principales (ACP), practicado a todo el conjunto de datos registrados de abril de 1998 a abril de 1999 en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México.

Componente	Valor Propio	Porcentaje de varianza	Porcentaje de varianza acumulada
1	15.52	73.72	73.72
2	2.90	13.76	87.48
3	1.80	8.55	96.03
4	0.69	3.26	99.30
5	0.15	0.69	100.0

estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre la temperatura de la superficie y el fondo. Por lo que respecta al oxígeno disuelto, únicamente en el mes de abril 1998 no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre la superficie y el fondo.

Patrones espacio-temporales

Temperatura

La temperatura del agua presentó los valores más altos hacia la región más interna de la laguna y los más bajos hacia el canal de comunicación con el mar adyacente (Figs. 3-5). Los meses de junio, agosto y octubre de 1998 exhibieron temperaturas promedio por arriba de 30°C, mientras que abril y diciembre de 1998 y febrero y abril de 1999 mostraron

temperaturas promedio por debajo de este valor (Tabla III).

Salinidad

La estructura salina de la laguna Pastoría durante el periodo de estudio se presenta en las Figuras 6, 7 y 8. En febrero, abril y junio los valores de salinidad aumentaron de la boca hacia el interior de la laguna, mientras que en agosto el aumento fue del interior de la laguna hacia la boca. En el mes de octubre se presentaron valores altos en los extremos y bajos hacia el centro de la laguna. Finalmente, en diciembre la situación fue similar a la de octubre pero en superficie la condición vuelve a ser como en febrero, abril y junio. En general, las concentraciones de salinidad muestran una tendencia temporal de valores altos en febrero, abril y junio, y de valores bajos en agosto, octubre y diciembre (Tabla III).

Tabla II. Resultados del análisis de componentes principales (ACP), practicado a todo el conjunto de datos registrados de abril de 1998 a abril de 1999 en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México.

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
Salinidad	0.992		
Temperatura		- 0.89	
Oxígeno disuelto		0.443	- 0.724
Profundidad			0.566

Oxígeno disuelto

Aunque en las proximidades del canal que comunica a la laguna Pastoría con la laguna Chacahua se registraron valores de oxígeno disuelto cercanos a 1 mg L⁻¹, la mayor parte de la laguna presentó concentraciones por arriba de 4 mg L⁻¹ durante todo el periodo de muestreo, siendo los valores superficiales normalmente más altos que los del fondo (Figs.

9-10). Temporalmente, no se aprecia una tendencia clara, pues valores altos y bajos de oxígeno disuelto se presentaron tanto en época de secas como en periodo de lluvias (Tabla III).

pH

Este parámetro presentó valores decrecientes con la profundidad de la columna de agua,

siendo la diferencia de estos comúnmente no mayor a 0.2 unidades de pH entre la superficie y el fondo (Figs. 11-12). Horizontalmente, se observaron condiciones relativamente homogéneas entre la boca y la cabeza de la laguna, con valores normalmente entre 8 y 8.9 unidades de pH. Temporalmente, los valores extremos de pH se registraron en la estación de secas.

Tabla 1. Comparación de medias (t-student, $\alpha=0.05$) entre superficie y fondo de la columna de agua para el periodo de abril de 1998 a abril de 1999 en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México.

	Mes/Año	Superficie Prom. \pm error estándar	Fondo Prom. \pm error estándar	valor p
Salinidad	abr-98	35.04 \pm 0.43	35.75 \pm 0.36	0.0206*
	jun-98	35.88 \pm 0.09	35.88 \pm 0.09	1.0
	ago-98	32.07 \pm 0.23	32.46 \pm 0.13	0.0077*
	oct-98	24.69 \pm 0.63	29.22 \pm 0.89	0.00001*
	dic-98	30.98 \pm 0.20	31.78 \pm 0.20	0.0003*
	feb-99	36.78 \pm 0.16	36.96 \pm 0.17	0.0147*
	abr-99	39.01 \pm 0.26	39.11 \pm 0.25	0.0591
Temperatura (°C)	abr-98	29.77 \pm 0.28	29.85 \pm 0.25	0.5156
	jun-98	31.54 \pm 0.25	31.44 \pm 0.27	0.1415
	ago-98	32.11 \pm 0.18	31.68 \pm 0.13	0.0087*
	oct-98	30.02 \pm 0.18	30.42 \pm 0.14	0.0013*
	dic-98	29.64 \pm 0.11	29.28 \pm 0.13	0.0058*
	feb-99	29.08 \pm 0.28	28.26 \pm 0.37	0.0013*
	abr-99	28.76 \pm 0.77	28.77 \pm 0.64	0.8454
Oxígeno disuelto (mg L⁻¹)	abr-98	6.15 \pm 0.24	5.79 \pm 0.31	0.108
	jun-98	5.48 \pm 0.12	5.24 \pm 0.14	0.0001*
	ago-98	5.45 \pm 0.20	5.04 \pm 0.30	0.0301*
	oct-98	5.52 \pm 0.25	3.71 \pm 0.25	0.0000003*
	dic-98	6.41 \pm 0.17	5.04 \pm 0.21	0.000008*
	feb-99	6.97 \pm 0.25	6.14 \pm 0.36	0.0015*
	abr-99	6.18 \pm 0.12	5.02 \pm 0.13	0.00000001*

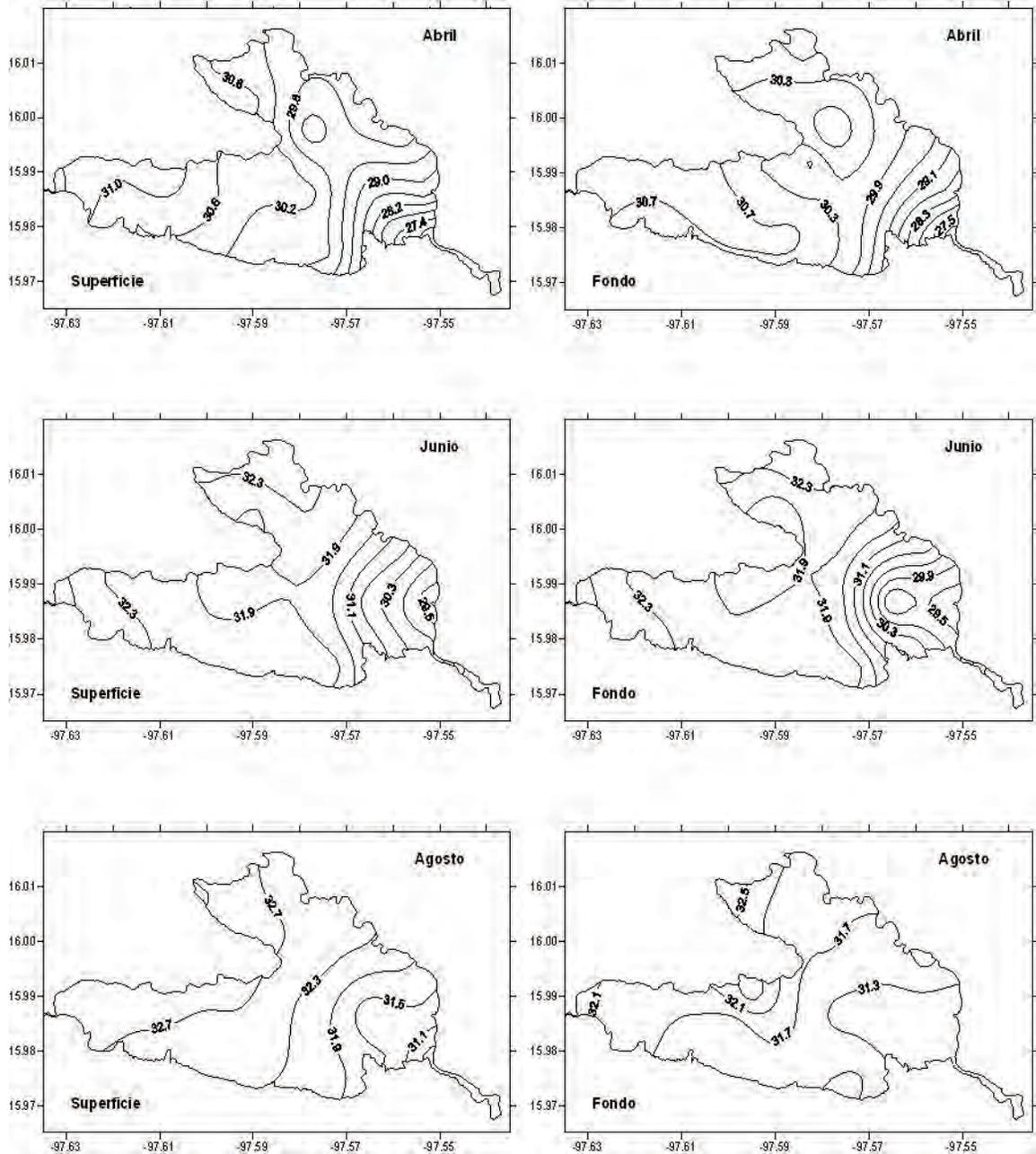


Figura 3. Variables ambientales registradas en la estación hidrométrica el Tomatal, Oaxaca, México.

Discusión

De abril de 1998 a abril de 1999, la Laguna Pastoría presentó diferencias de temperatura y salinidad entre la boca y el interior que se acentúan hacia los meses de máximo estiaje y

lluvias. En cuanto al oxígeno disuelto no hay una tendencia espacio-temporal clara, pues se encontraron valores altos y bajos en distintas áreas de la laguna tanto en época de secas como en lluvias. Por otro parte, los valores de pH fueron relativamente homogéneos en toda

la laguna, con valores extremos en la época de secas.

Las condiciones fisicoquímicas encontradas en la Laguna Pastoría de abril de 1998 a abril de 1999, en general, concuerdan con aquellas registradas en trabajos previos

(Anónimo 1994, Sanay-González 1997, Pantaleón-López 1999) y confirman lo que diversos autores han señalado sobre las características hidrológicas de las lagunas costeras mexicanas y sus variaciones debido a fluctuaciones climáticas estacionales

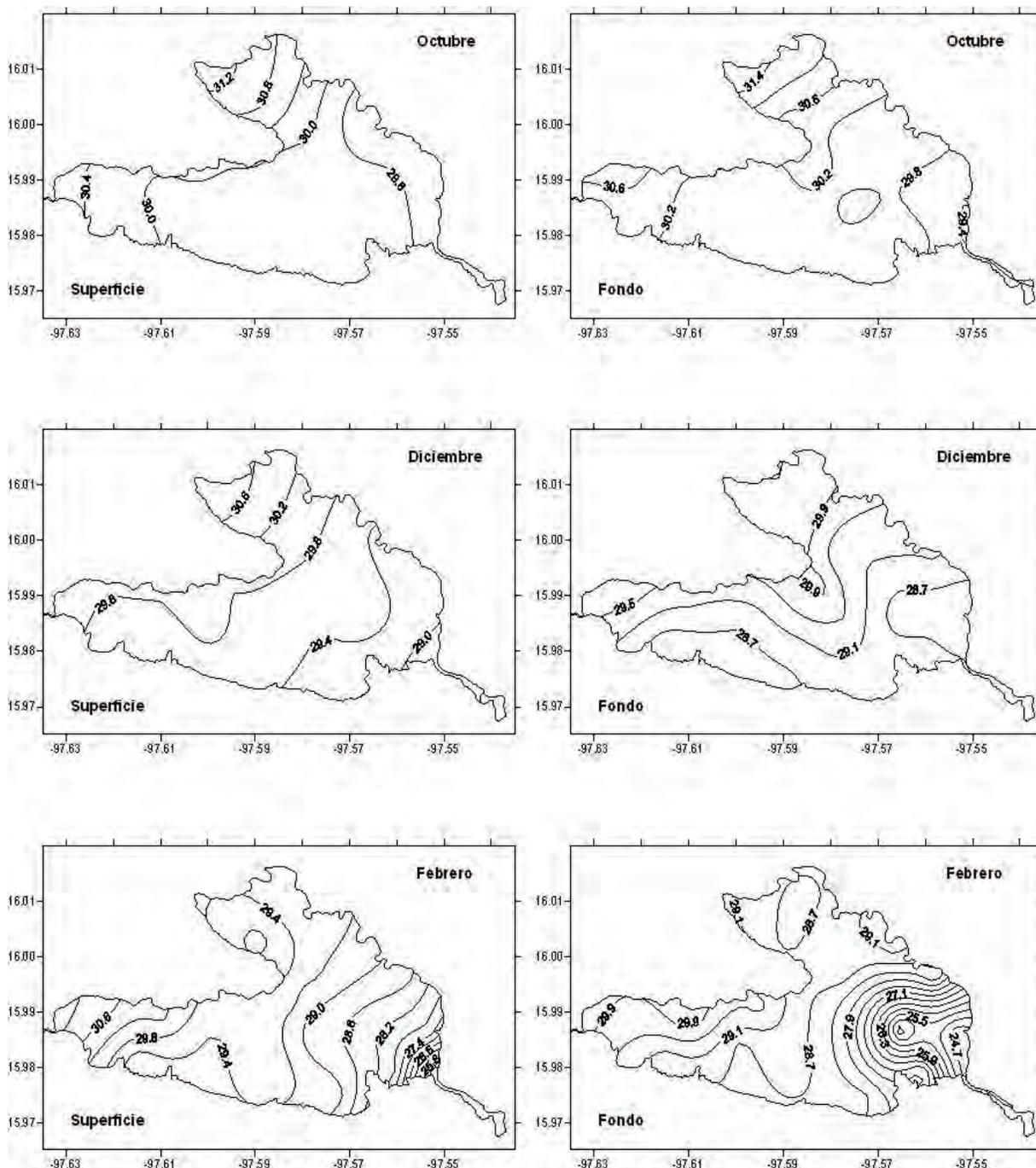


Figura 4. Distribución de temperatura de octubre de 1998 a febrero de 1999 en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México. (Intervalo de contorno=0.4°C).

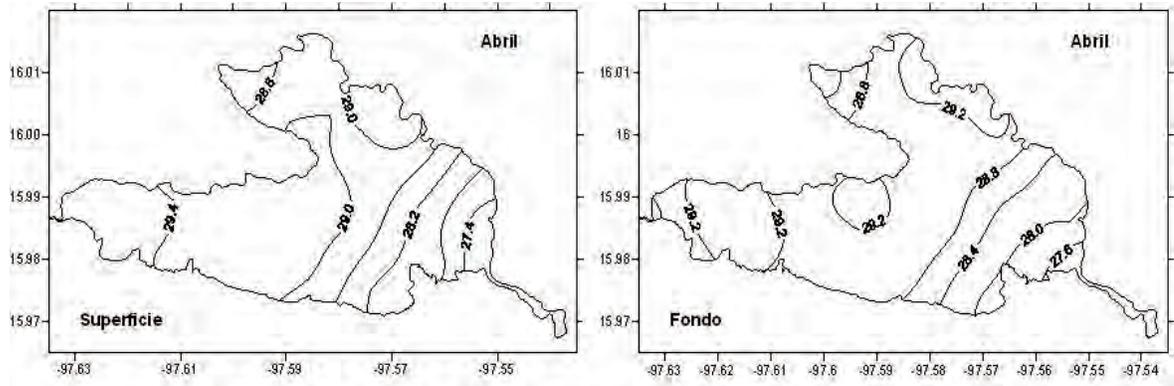


Figura 5. Distribución de temperatura en abril de 1999 en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México. (Intervalo de contorno=0.4°C).

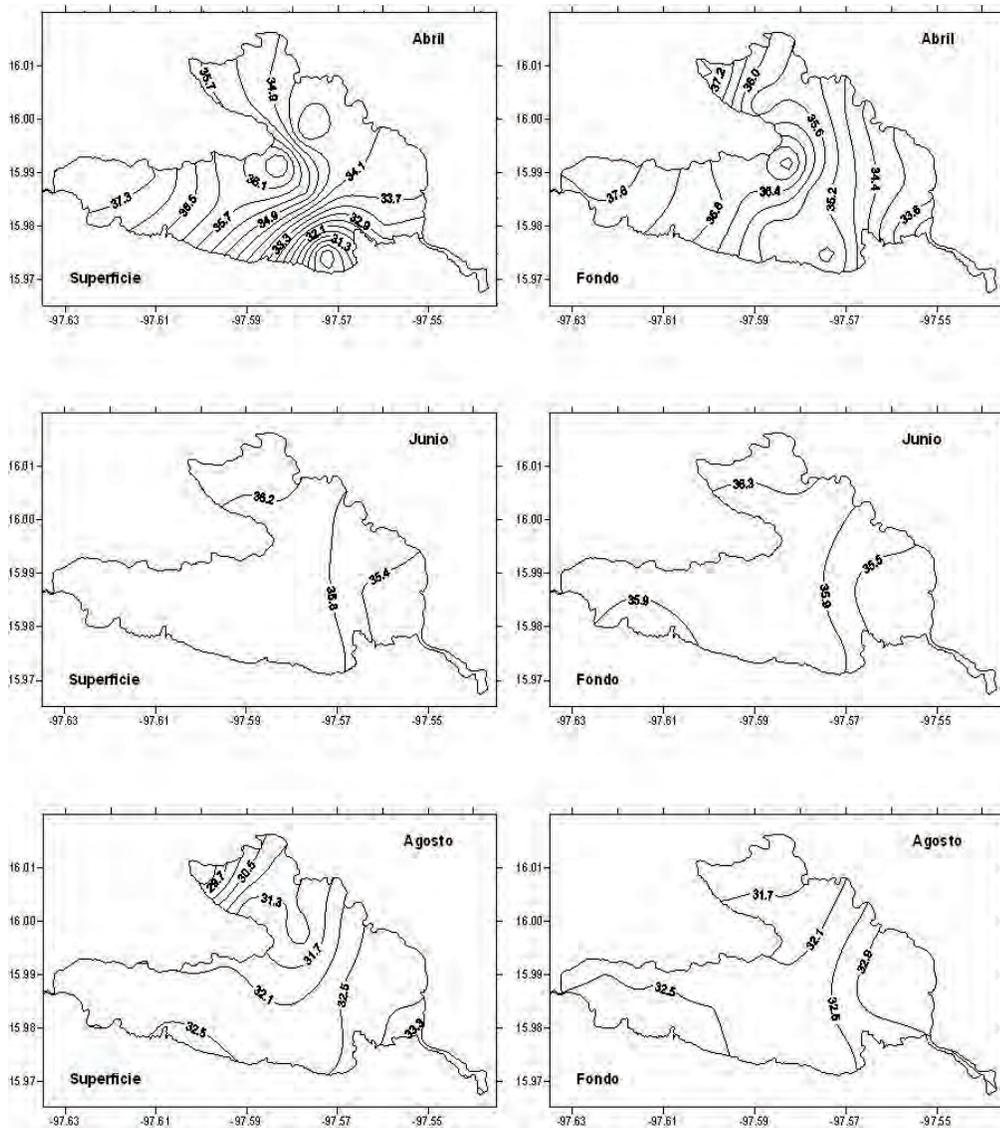


Figura 6. Distribución de salinidad de abril a agosto de 1998 en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México. (Intervalo de contorno=0.4).

(Álvarez-Borrego et al. 1975, Álvarez-Borrego et al. 1977, Álvarez-Borrego et al. 1984, Contreras 1985, Contreras 1991, Contreras & Zabalegui-Medina 1991, de la Lanza 1994, de la Lanza et al. 1998, entre otros).

En el presente trabajo se ha demostrado que la Laguna Pastoría presenta una marcada estacionalidad en salinidad principalmente, cuyos valores más altos se presentan de febrero a junio (desde mediados de secas hasta

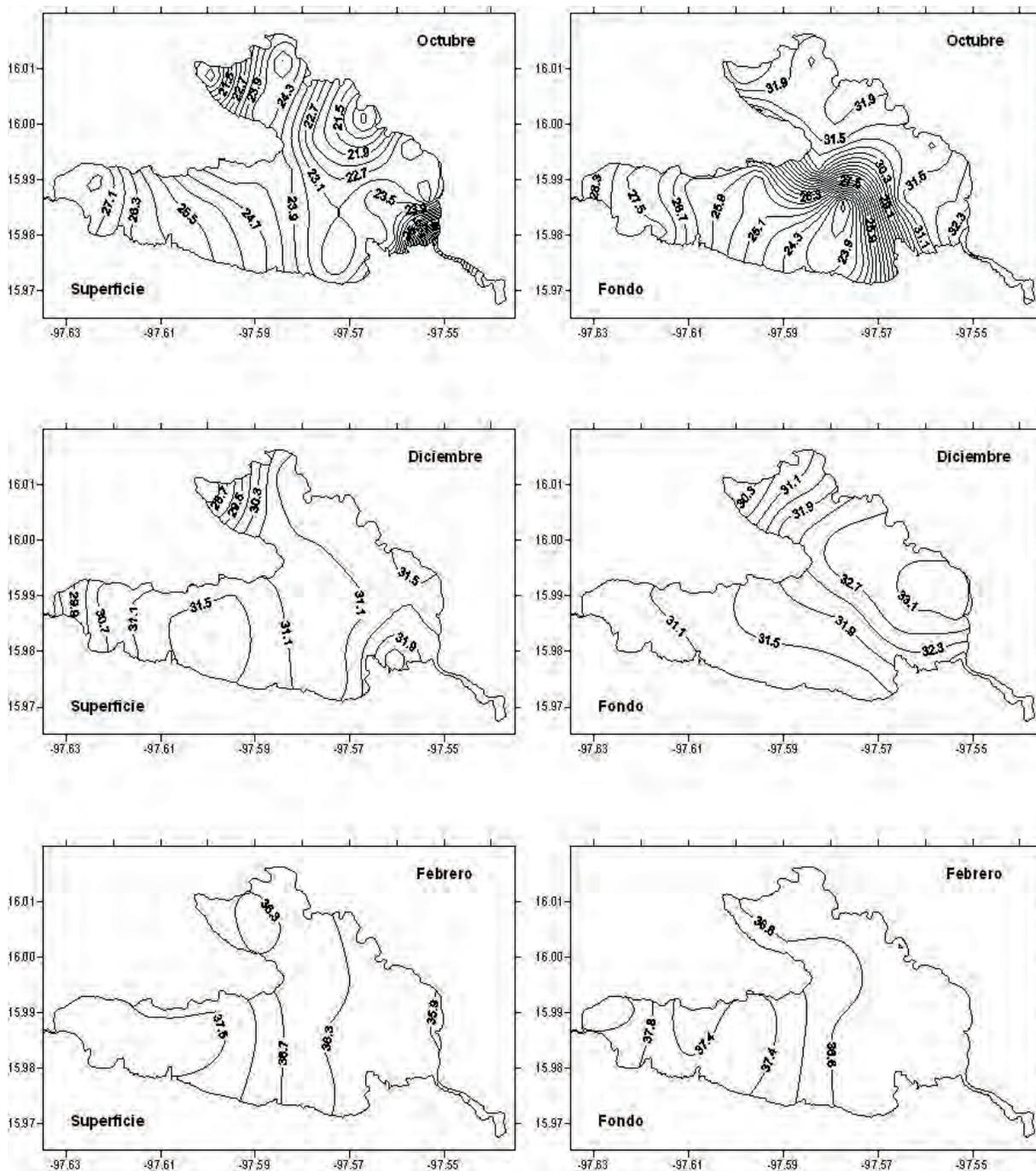


Figura 7. Distribución de salinidad de octubre de 1998 a febrero de 1999 en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México. (Intervalo de contorno= 0.4).

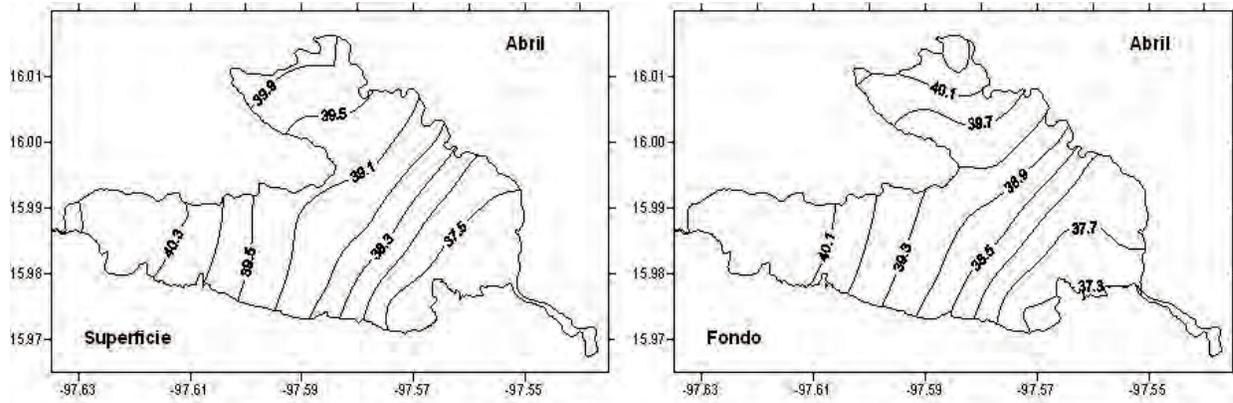


Figura 8. Distribución de salinidad en abril de 1999 en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México. (Intervalo de contorno=0.4).

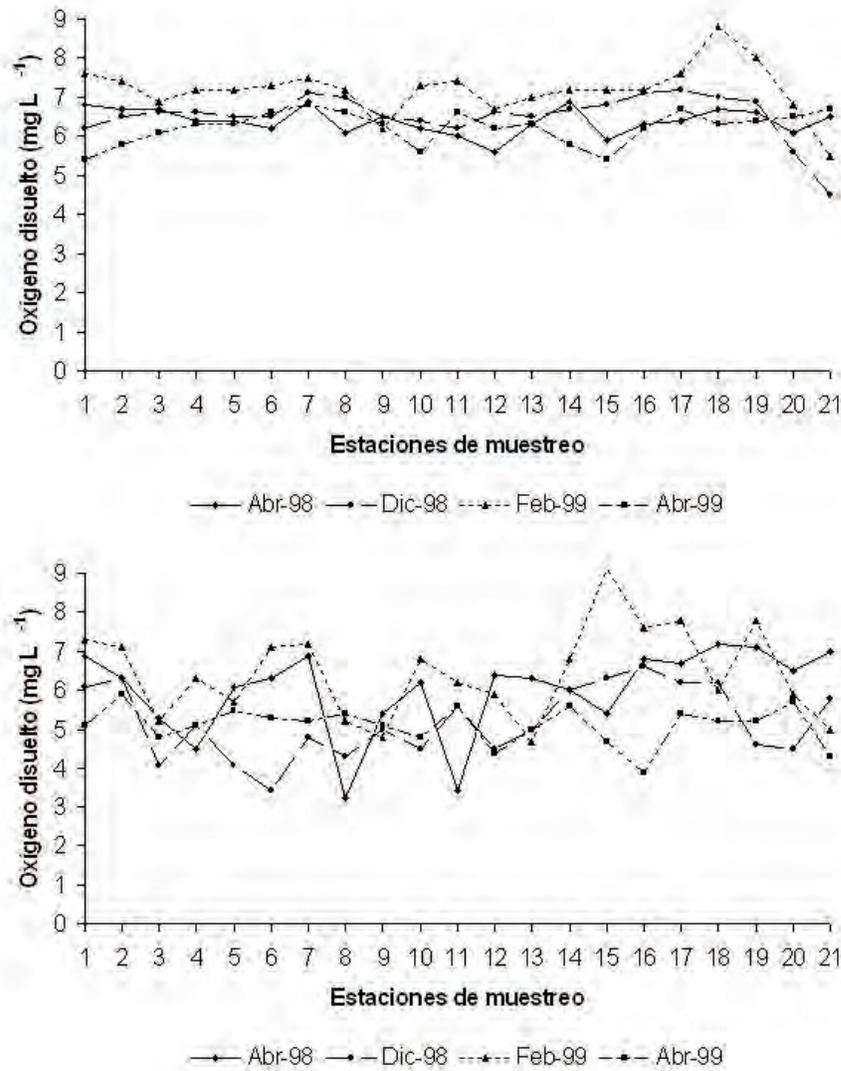


Figura 9. Distribución de oxígeno disuelto (arriba: superficie, abajo: fondo) durante la época de secas, en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México.

principios de lluvias) y los más bajos de agosto a diciembre (hacia la mitad del periodo de lluvias y principios de secas). Además, se ha demostrado que la laguna Pastoría tiene la columna de agua homogénea de abril a junio y estratificada, en al menos dos capas, de agosto a febrero.

Agradecimientos

A la Delegación Regional Sur del CONACYT (SIBEJ) por el apoyo económico a través del proyecto RNMA-005/96. A la comunidad del sistema lagunar Chacahua-Pastoría por su invaluable ayuda. A Heladio Spíndola por su apoyo durante los trabajos de campo y a Sergio

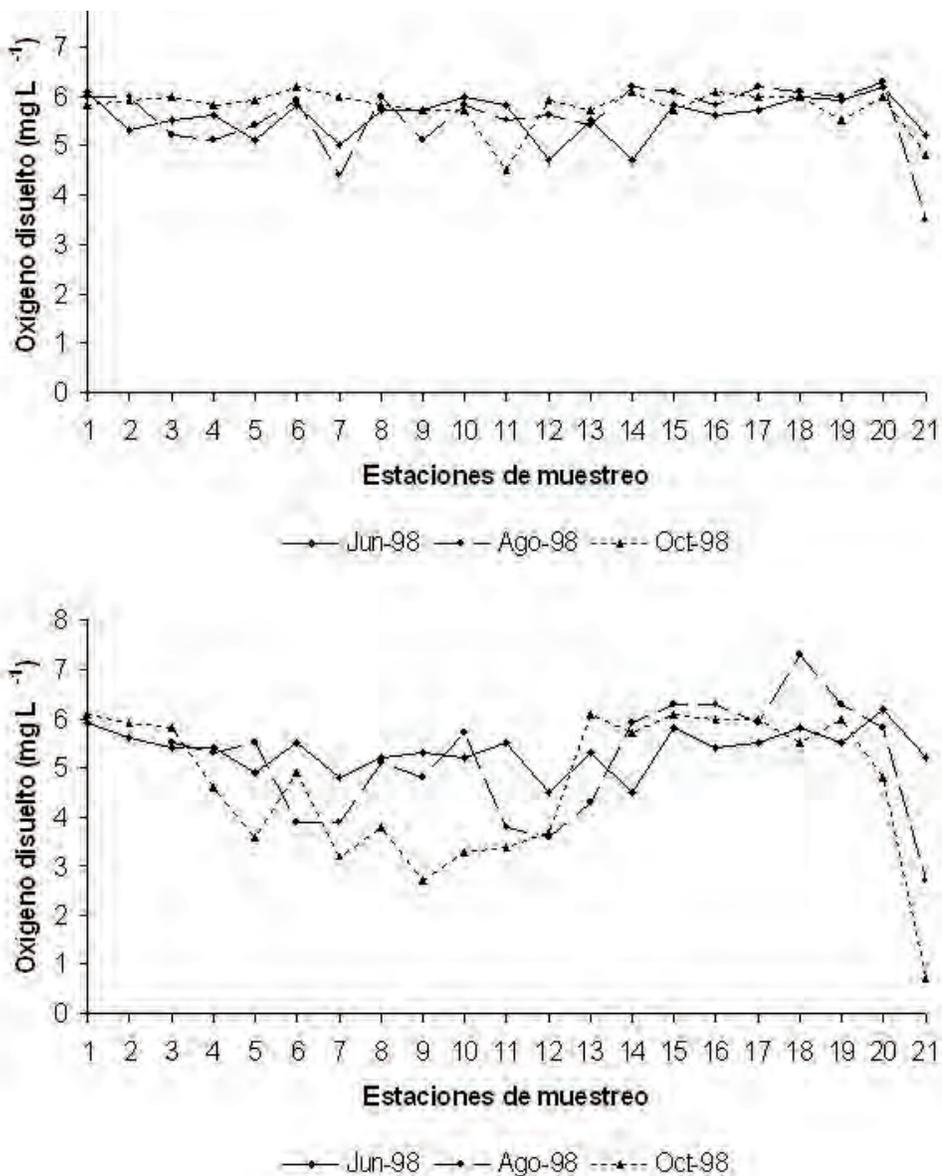


Figura 10. Distribución de oxígeno disuelto (arriba: superficie, abajo: fondo) durante la época de lluvias, en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México.

Vásquez por su apoyo en la elaboración de las figuras. Finalmente, a tres revisores anónimos por sus invaluable sugerencias. Se agradece a Aitor Aizpuru por la traducción al francés del resumen.

Referencias

Álvarez-Borrego, S., G. Ballesteros-Grijalva & A. Chee-Barragán. 1975. Estudio de algunas variables

fisicoquímicas superficiales en Bahía San Quintín, en verano, otoño e invierno. *Ciencias Marinas* 2(2): 1-9.

Álvarez-Borrego, S., M.J. Acosta-Ruiz & J.R. Lara-Lara. 1977. Hidrología comparativa de las bocas de dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas* 4(1):1-11.

Álvarez-Borrego, S., A. Granados-Guzmán & J. L. Beltrán-Félix. 1984. Temperatura y salinidad en el estero de Punta Banda: 1982-1983. *Ciencias Marinas* 10(3):105-108.

Anónimo. 1994. Informe final de los monitoreos en los

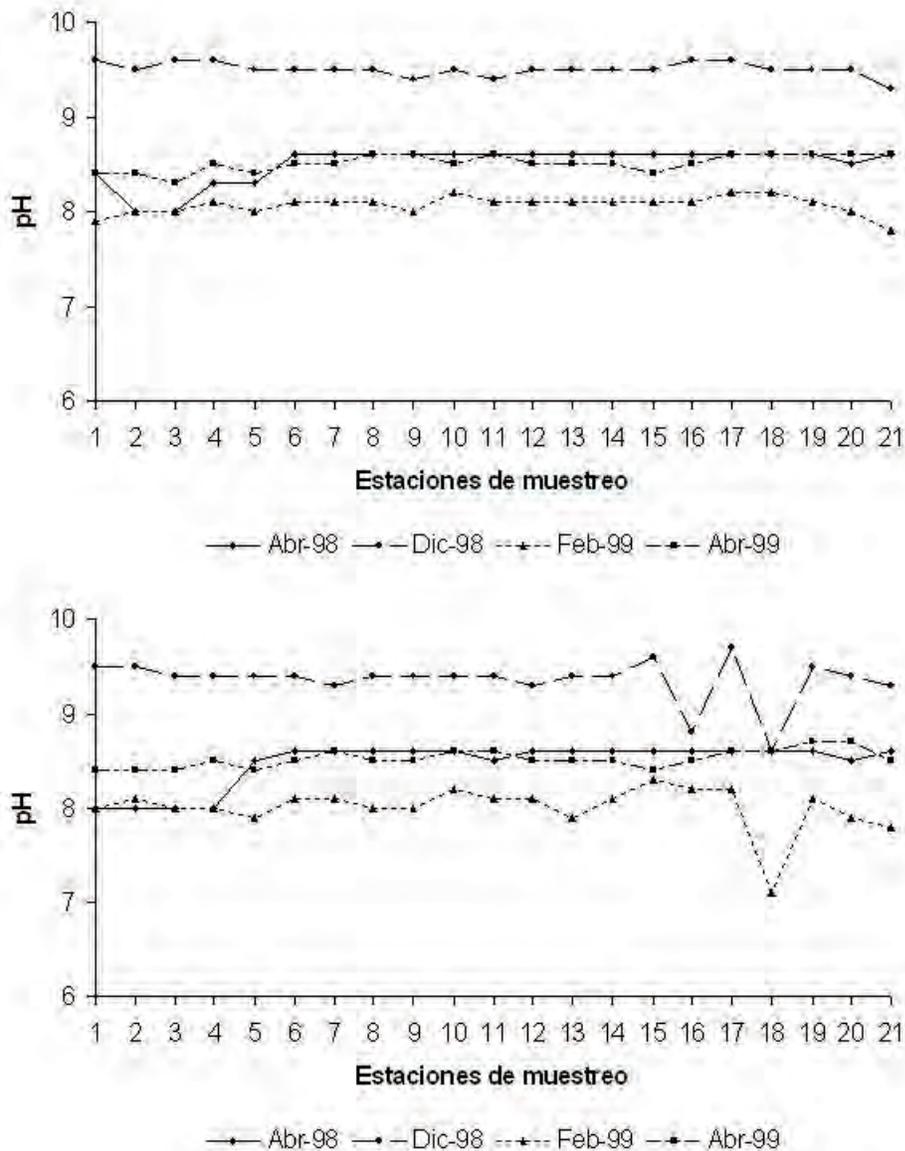


Figura 11. Distribución de pH (arriba: superficie, abajo: fondo) durante la época de secas, en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México.

sistemas lagunares Corralero-Alotengo y Chacahua-Pastoría en Oaxaca, y La Joya-Buenavista y Chantuto-Panzacola en Chiapas. Secretaría de Pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera de Salina Cruz, Salina Cruz, México.

- Contreras, E.F. 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo, México, D.F., 263 pp.
- Contreras, E.F. 1991. Hidrología y nutrientes en Lagunas Costeras. Pp: 16-24, In: Figueroa T.M., S.C. Álvarez, H.A. Esquivel & M.M. Ponce (eds.). Físicoquímica y biología de las lagunas costeras mexicanas. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México, D.F.

- Contreras, E.F. & L.M. Zabalegui-Medina. 1991. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en la laguna La Joya-Buenavista, Chiapas, México. An. Inst. Cienc. Mar Limnol. 18(2): 207-215.
- de la Lanza, E.G. 1994. Química de las lagunas costeras y el litoral mexicano. Pp: 27-198, In: de la Lanza, E.G. & C. Cáceres-Martínez (eds.). Las lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México.
- de la Lanza, E.G., N. Sánchez-Santillán & A. Esquivel H. 1998. Análisis temporal y espacial físicoquímico de una laguna tropical a través del análisis multivariado. Hidrobiológica 8(2): 89-96.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación

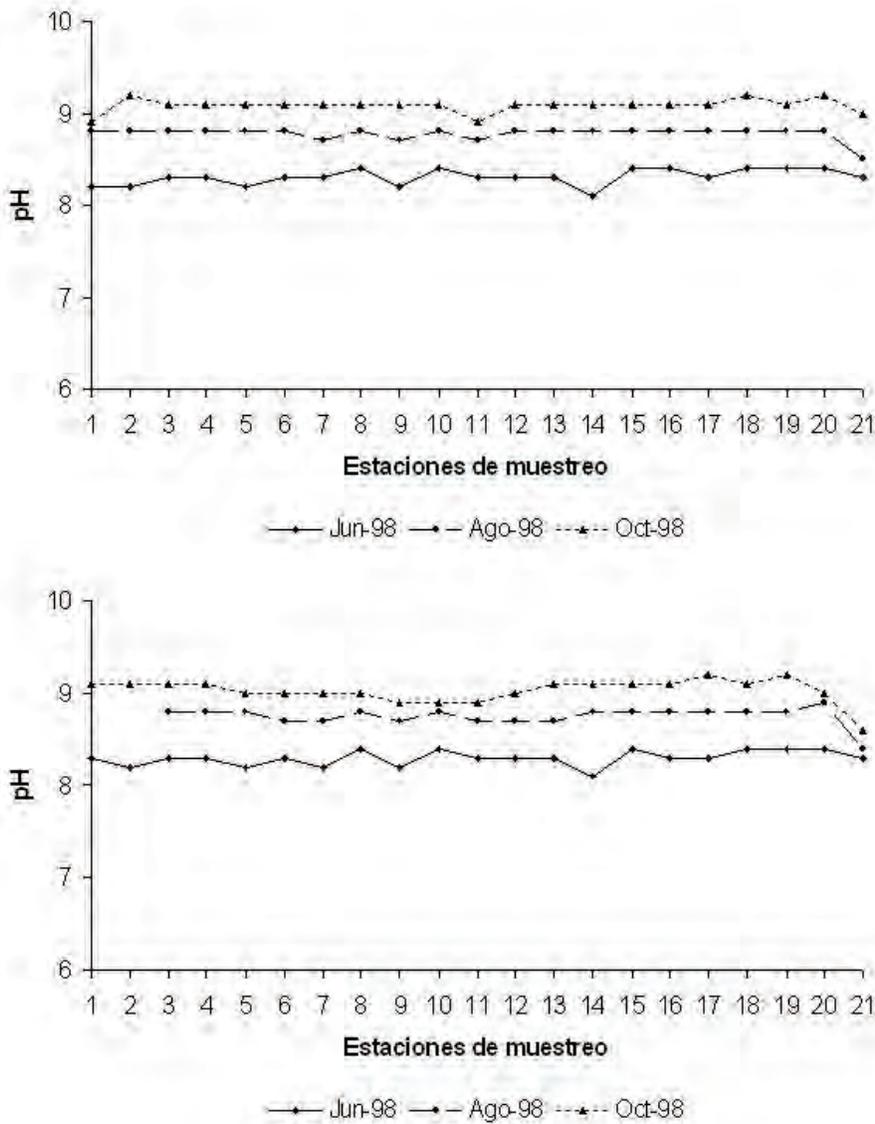


Figura 12. Distribución de pH (arriba: superficie, abajo: fondo) durante la época de lluvias, en la Laguna Pastoría, Oaxaca, México.

- climática de Köppen, EGM. 3a ed., México, D.F., 252 pp.
- Lankford, R.R. 1977. Coastal lagoons of Mexico: Their origin and classification. Pp: 182-215, In: Wiley, M. (ed.). Estuarine Processes. Academic Press, Nueva York.
- Pantaleón-López, B. 1999. Análisis del zooplancton en el complejo lagunar Chacahua-La Pastoría en el municipio de San Pedro Tututepec, Oaxaca. Tesis de Licenciatura en Biología, Instituto Tecnológico de Chetumal, Quintana Roo, México.
- Sanay-González, R. 1997. Simulación de la circulación en el sistema lagunar Chacahua-Pastoría, Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F.
- Savenkoff, C., J.P. Chanut, A.F. Vénzina & Y. Gratton. 1995. Distribution of biological activity in the Lower St Lawrence Estuary as determined by multivariate analysis. *Est., Coast. Shelf Sci.* 40: 647-664.
- Toledo, A. 1994. Riqueza y pobreza en la costa de Chiapas y Oaxaca. Centro de Ecología y Desarrollo, A.C., 492 pp.
- Zar, H. 1996. Biostatistical analysis. Prentice Hall, Nueva Jersey, 918 pp.

Recibido: 16 de diciembre de 2008.

Aceptado: 26 de mayo de 2009.