

## **Variaciones del índice de calidad en laguna Yalahau, Quintana Roo, México, basado en las características del agua y sedimentos, en el período 1999-2002.**

Tran Kim C. <sup>(1)</sup>, Valdés-Lozano David S. <sup>(2)</sup>, Real Elizabeth <sup>(2)</sup> y Omar Zapata-Pérez <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> The Royal Norwegian Society for Development. PO Box 115, 2026 Skjetten, Norway.

<sup>(2)</sup> Departamento de Recursos del Mar, Cinvestav Mérida, Km. 6 Antigua Carretera a Progreso, C.P. 97310, Mérida, Yucatán, México. dvaldes@mda.cinvestav.mx

Recibido: enero-octubre, 2008	Aceptado: noviembre, 2008
-------------------------------	---------------------------

### **Resumen**

Para conocer las variaciones espaciales y temporales de la calidad del ambiente se realizó un estudio de 4 años en el agua y los sedimentos en 42 puntos de la ribera de la laguna de Yalahau, ubicada en el Golfo de México al noreste de la Península de Yucatán. Con los resultados se estimó un índice de calidad propuesto por Canadá, este índice fue menor en las zonas afectadas por el desarrollo turístico de Holbox. El análisis temporal indicó que el índice de calidad bajó en 1999 y 2002 después de años con lluvias extraordinarias, mientras que en el 2000 y 2001 el índice subió. La salinidad, oxígeno disuelto y compuestos nitrogenados (amonio) fueron los principales indicadores analizados en el agua, mientras que en el sedimento lo fueron carbono orgánico, potencial redox, nitrógeno y fósforo.

**Palabras clave:** Calidad ambiental.

### **Abstract**

In order to know the spatial and temporal variations in the environmental quality was realized a 4 year study of water and sediment in 42 points of the Yalahau Lagoon shore, this lagoon is located in the Gulf of Mexico, at the northeast of the Yucatan Peninsula. With the results was assessed the Quality Index proposed by Canada, this index presented the lower values in the lagoon zone affected by tourist activities (Holbox Ville). In 1999 and 2002 the quality index decreased respect to 2000 and 2001 (the region was affected by extraordinary precipitation in 1998 and 2001). Salinity, dissolved oxygen and nitrogen compounds (ammonium) were the most important indicators of quality in water, while in sediments were organic carbon, redox potential, nitrogen and phosphorus.

**Key words:** Environmental quality.

## **Introducción**

La laguna costera de Yalahau en el Golfo de México, se encuentra bajo presión por las diversas actividades humanas (principalmente turismo) que se realizan en ella y la región adyacente. Por sus características morfológicas que provocan un alto tiempo de residencia del agua, combinadas con el clima (poca precipitación y alta evaporación) y la geología de la región, hacen que la laguna esté en riesgo de eutrofización incrementando así la disponibilidad de nitrógeno y fósforo para los productores primarios que conlleva efectos negativos como condiciones anóxicas en la columna de agua-(Justic et al, 1995). En este trabajo se muestran los efectos de los desarrollos urbanos y turísticos sobre la calidad del agua y de los sedimentos en un período de 4 años mediante el uso de un índice, el Índice de Calidad de Agua (ICA) sugerido por el Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2001). El índice toma en cuenta tres factores básicos para dar como resultado calificaciones en la escala de 0 a 100 para cada estación y para cada muestreo. Estos factores son el ámbito, la frecuencia y la amplitud. En los últimos años se ha visto la importancia del uso de este tipo de índices ya que facilitan la comunicación entre los científicos y los usuarios y tomadores de decisiones, además de que permiten la comparación entre sitios y la cuantificación de los cambios temporales en un mismo sitio (CCME, 2001 y 2006).

## **AREA DE ESTUDIO**

Yalahau se encuentra ubicada en el Golfo de México, en la costa noreste de la Península de Yucatán (Fig. 1). La profundidad de este sistema fluctúa entre 1 y 2 m, el rango de mareas es pequeño, tan solo de 0.5 m, tiene una boca que la conecta con el mar (Aguilar-Salazar et al, 2003). La entrada de agua dulce es a través de escurrimientos y manantiales dispersos debido a la geología (cárstica) de la región (Perry et al, 2002). La precipitación media anual va de 700 a 900 mm del extremo oeste al este de la laguna, y la evaporación media anual es de 2,000 mm. Existen dos poblaciones de pescadores, Chiquilá al sur de la boca (cerca de la estación 44) y Holbox al norte de la boca, en el extremo oeste de la barra que separa a la laguna del Golfo de México (estación 39), esta última se encuentra en pleno desarrollo turístico. Recientes estudios indicaron una alta variabilidad espacial y temporal de los parámetros del agua y sedimento (Tran et al., 2002 a y b).



**Fig. 1:** Laguna Yalahau, su posición en la Península de Yucatán y las estaciones de muestreo.

## **Materiales y métodos**

El estudio de agua y sedimento se llevó a cabo en las épocas de invierno y verano (período 1999-2002). Las muestras de agua fueron colectadas en 42 estaciones (Fig. 1) a la mitad de la profundidad total usando botella van Dorn así como de sedimentos recientes (5 cm superiores) con un nucleador manual y se conservaron a 2°C hasta llegar al laboratorio de Cinvestav en Mérida donde se analizaron. La temperatura y el oxígeno disuelto se midió en el campo con un oxímetro YSI-51B. En las muestras de agua se determinó el pH, salinidad, amonio, nitrito, nitrato, fosfatos y silicatos de acuerdo a los métodos descritos por Strickland y Parsons (1972). En el sedimento se midió el potencial redox con electrodo de platino, carbono orgánico por medio de oxidación húmeda con bicromato / ácido sulfúrico, % de arena, limo y arcilla mediante hidrómetro de Bouyoucos, nitrógeno y fósforo total mediante oxidación húmeda con persulfato de potasio (Buchanan, 1984; Adams, 1990; Rump y Krist, 1992). Con los resultados se calculó el Índice de Calidad de Agua (ICA), (CCME, 2001). Se realizaron análisis estadísticos de los datos obtenidos y los índices (normalidad, ANOVA, cluster) de acuerdo a Zar (1996).

## Resultados y discusión

### RESULTADOS

En las tablas 1 y 2 se resumen los resultados de las variables fisicoquímicas de sedimento y agua respectivamente. La salinidad, como se puede observar presentó gran variación ya que se detectaron valores de más de 40 UPS al norte de la laguna y apenas detectable al sur donde tienen influencia los manantiales. El oxígeno disuelto también fluctuó, desde 0 hasta 7.43 ml/l. De las formas de nitrógeno el amonio fue el más importante (promedio de 4.99  $\mu\text{M}$ ). En los sedimentos predominó la arena (82.6%) las condiciones reductoras (potencial redox promedio de  $-249$  mV) con niveles de carbono orgánico altos que rebasaron el 6% en varias estaciones. El nitrógeno total en el sedimento también fue elevado, más no el fósforo total (la relación N:P fue en promedio 63), esta relación subió de 42 a 53, luego a 68 y en marzo de 2002 llegó a 90, indicando un posible enriquecimiento de nitrógeno de los sedimentos.

	Fecha:	Agosto 1999	Marzo 2000	Agosto 2001	Marzo 2002	Total
Carbono Orgánico %	Promedio	2.54	1.77	2.09	1.54	1.98
	Desv. Std.	2.75	1.71	1.44	1.26	1.92
	Mínimo	0.44	0.06	0.08	0.07	0.06
	Máximo	14.66	6.69	5.35	5.37	14.66
Nitrógeno total ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )	Promedio	85.16	84.29	108.73	85.87	91.01
	Desv. Std.	39.40	31.37	44.23	48.67	42.66
	Mínimo	36.06	43.57	36.67	25.94	25.94
	Máximo	182.23	141.96	237.67	208.25	237.67
Fósforo total ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )	Promedio	3.15	3.62	2.83	2.38	2.99
	Desv. Std.	1.44	2.27	1.49	1.52	1.77
	Mínimo	0.25	0.24	0.38	0.26	0.24
	Máximo	5.30	9.92	5.46	6.09	9.92
Arena %	Promedio	80.57	83.64	80.40	85.79	82.60
	Desv. Std.	18.58	12.19	12.52	14.02	14.73
	Mínimo	35.00	57.00	51.00	42.00	35.00
	Máximo	99.00	99.00	98.00	99.00	99.00
Limo %	Promedio	10.02	7.38	9.69	6.55	8.41
	Desv. Std.	9.49	7.29	6.04	6.82	7.67
	Mínimo	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
	Máximo	40.00	36.00	28.00	32.00	40.00
Arcilla %	Promedio	9.40	8.95	9.83	7.66	8.96
	Desv. Std.	11.05	8.68	7.59	8.01	8.97
	Mínimo	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
	Máximo	48.00	32.00	27.00	27.27	48.00
Potencial Redox (mV)	Promedio	-270.43	-255.83	-294.55	-176.83	-249.41
	Desv. Std.	34.96	43.09	27.99	39.77	57.51
	Mínimo	-324.00	-330.00	-340.00	-237.00	-340.00
	Máximo	-177.00	-134.00	-227.00	-77.00	-77.00
Relación N/P	Promedio	42.41	52.73	67.84	90.12	63.28
	Desv. Std.	53.62	70.54	68.60	145.69	93.64
	Mínimo	9.22	7.21	6.72	8.51	6.72
	Máximo	341.31	347.83	317.40	641.42	641.42

**Tabla 2:** Características físicas y químicas del agua en Laguna Yalahau.

	Fecha:	Agosto 1999	Marzo 2000	Agosto 2001	Marzo 2002	Total
Temperatura °C	Promedio	31.30	27.61	30.91	24.69	28.61
	Desv. Std.	1.59	1.82	1.80	1.77	3.21
	Mínimo	25.00	25.00	25.70	21.80	21.80
	Máximo	34.00	31.20	34.60	30.60	34.60
Salinidad	Promedio	38.23	34.44	39.58	32.23	36.12
	Desv. Std.	9.78	7.75	7.03	6.22	8.34
	Mínimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máximo	49.07	40.04	47.74	36.34	49.07
pH	Promedio	8.25	7.89	8.40	8.25	8.20
	Desv. Std.	0.20	0.24	0.50	0.40	0.40
	Mínimo	7.62	7.06	7.27	6.37	6.37
	Máximo	8.57	8.30	9.08	8.87	9.08
Oxígeno disuelto ml/l	Promedio	3.48	3.99	4.23	2.97	3.67
	Desv. Std.	1.03	1.27	1.65	0.68	1.31
	Mínimo	0.56	0.20	0.00	0.00	0.00
	Máximo	5.74	6.27	7.43	3.89	7.43
Amonio total µM	Promedio	3.70	3.97	1.61	10.68	4.99
	Desv. Std.	1.99	1.67	0.72	6.93	5.05
	Mínimo	1.11	1.77	0.32	0.55	0.32
	Máximo	11.08	11.69	3.92	24.61	24.61
Nitrito µM	Promedio	0.26	0.24	0.11	0.15	0.19
	Desv. Std.	0.20	0.20	0.17	0.19	0.20
	Mínimo	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00
	Máximo	1.00	1.13	1.05	0.84	1.13
Nitrato µM	Promedio	2.25	2.01	1.14	1.63	1.76
	Desv. Std.	8.92	7.65	5.77	3.46	6.78
	Mínimo	0.00	0.02	0.02	0.12	0.00
	Máximo	44.67	41.89	38.09	21.43	44.67
Fosfatos µM	Promedio	0.16	0.09	0.45	0.04	0.19
	Desv. Std.	0.22	0.11	1.87	0.11	0.96
	Mínimo	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
	Máximo	1.34	0.52	12.34	0.67	12.34
Silicatos µM	Promedio	51.06	23.30	44.65	40.64	39.91
	Desv. Std.	41.25	20.27	41.09	18.05	33.72
	Mínimo	3.83	7.32	5.08	9.39	3.83
	Máximo	128.66	117.42	141.15	104.02	141.15

El resultado del análisis de varianza mostró que existen diferencias estadísticas significativas entre estaciones, con la salinidad los sitios 41, 23 y 40 fueron diferentes al resto ( $F=16.0$ ,  $p=0.000$ ) esto debido a la influencia de los manantiales de agua dulce en la ribera sur de la laguna. En lo que respecta a los niveles de amonio total en agua se encontraron tres grupos: el primero formado por las estaciones 39 (cerca del basurero), 22, 19 y 6, sitios donde las actividades humanas y los procesos naturales están incrementando el nitrógeno en el agua ( $8.34 \pm 7.78 \mu\text{M}$ ). El segundo grupo de estaciones tuvo menores concentraciones ( $2.90 \pm 1.34 \mu\text{M}$ ) correspondiendo a zonas en el exterior de la laguna y regiones abiertas. Finalmente el tercer grupo se formó con estaciones con influencia de las poblaciones Holbox y Chiquilá y los manantiales cercanos a la boca de la laguna, su concentración fue intermedia ( $6.22 \pm 5.51 \mu\text{M}$ ). Los tres grupos presentaron diferencias significativas de acuerdo al ANOVA ( $F= 16.81$ , 2.10 y 8.00,  $p<0.05$ ).

El carbono orgánico en el sedimento fluctuó dentro de la laguna y con el tiempo, de tal modo que en el análisis Cluster las estaciones 41, 24, 26, 23, 25, 22, 31, 19, 11, 33 y 9 se separaron del resto (diferencia significativa de acuerdo al ANOVA  $F = 41.26$ ,  $p<0.05$ ). Los mencionados sitios corresponden a la zona sur y sureste de la laguna, zona con valores altos y muy variables de carbono orgánico (media de  $4.37 \pm 2.83 \%$ ) debido al desarrollo de pastos marinos, a la cercanía de los manglares y a la poca circulación del agua en esta zona (Aguilar-Salazar et al, 2003) comparado al resto de la laguna (media de  $1.24 \pm 0.89 \%$ ).

De acuerdo al fósforo total en sedimento las estaciones se agruparon en dos conjuntos; el primero formado por las que están alrededor de la poblaciones de Holbox y Chiquilá (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 12, 13, 31, 35, 36, 37, 38, 39, 41, y 43) con las concentraciones mas altas de fósforo ( $4.39 \pm 1.94 \mu\text{mol/g}$ ) y el segundo formado por el resto, que tuvieron menores concentraciones ( $1.94 \pm 1.12 \mu\text{mol/g}$ ) con diferencia significativa según el ANOVA ( $F = 1.77$ ,  $p<0.05$ ).

El cálculo del índice ICA con los parámetros obtenidos en las muestras dio como resultado calificaciones en la escala de 0 a 100 para cada sitio y para cada muestreo. Ocho estaciones obtuvieron calificación "regular" (de 65 a

79) principalmente en la playa norte de Isla Holbox. En el intervalo de 45 a 64 (índice de calidad “marginal”) estuvieron 21. Y finalmente 17 de los puntos muestreados presentaron valores de índice de calidad en el intervalo de “pobre” (de 0 a 44), estos fueron los cercanos a las poblaciones de Holbox y Chiquilá. El análisis temporal indicó que en el período 1999-2001 el índice de calidad subió (23.1, 35.1 y 40.9 en estos tres años respectivamente), mientras que en 2002 bajó a 25.7.

## DISCUSIÓN

En Yalahau la alta evaporación y baja precipitación, aunado a la escasa entrada de agua dulce, provocó que la salinidad aumentara (en los cuatro muestreos) hacia el interior del cuerpo de agua (Fig. 2) situación similar a la de otras lagunas en esta región (Valdés-Lozano y Real, 1998; 1999; 2004). Este parámetro alcanzó valores de más de 45 en la zona oriental, mientras que en la región externa de la laguna la salinidad fue en promedio 37 y sólo en la región sur de la boca este factor tuvo valores bajos que llegaron a menos de 5 en el manantial que ahí se encuentra. Temporalmente se observó como en los muestreos de verano de 1999 y 2001 aumentó el valor medio de la salinidad debido a la alta evaporación y baja precipitación de esta época, mientras que los inviernos de 2000 y 2002 muestran disminución del valor medio de salinidad por la menor evaporación y las lluvias que se dan de septiembre a enero asociadas a las tormentas tropicales y los frentes fríos.

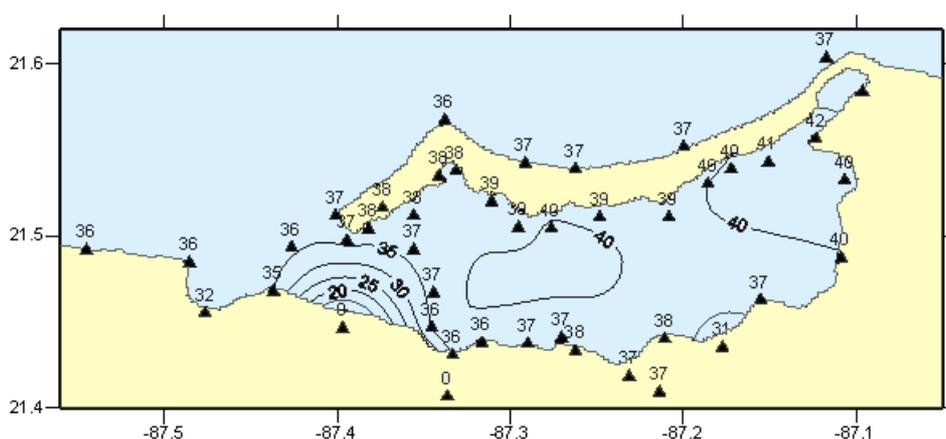


Fig. 2: Distribución de la salinidad (U.P.S.) en la laguna Yalahau en el período 1999-2002.

Los silicatos, nutrientes aportados por los manantiales de esta región (Valdés y Real, 2004), tuvieron altas concentraciones (más de  $70 \mu\text{M}$ ) hacia el interior de la laguna y menos de  $10 \mu\text{M}$  en la zona marina. El valor medio de todas las estaciones fue mayor en los muestreos de verano y menor en los de invierno, lo que indicó que los procesos de evaporación y precipitación controlaron esta variable al igual que la salinidad.

Yalahau es un sistema en el que el reciclamiento del nitrógeno tiene un papel importante, las altas concentraciones de amonio total indican esto, sin embargo existen fuentes de nitrógeno nuevo a través de los manantiales de agua dulce que afloran en la ribera sur. Si bien el amonio tiene niveles por encima de los del nitrato, este último es la segunda fuente de nitrógeno para los productores primarios. En las cercanías de los manantiales al sur de la boca de Yalahau es más marcada su influencia, ahí el nitrato alcanzó en promedio más de  $20 \mu\text{M}$ , pero en el resto de la laguna su valor fue de menos de  $1 \mu\text{M}$  por lo que pasa a segundo término.

Las concentraciones del amonio total —a excepción de la zona influenciada por manantiales—, siempre fueron mayores a las de nitrato, el análisis espacial indicó que los mayores niveles se encontraron en la ribera de la isla Holbox (Fig. 3), con máximos de  $10 \mu\text{M}$  junto a la población y su tiradero de basura. En el resto de la laguna los valores estuvieron alrededor de los  $5 \mu\text{M}$ , resultados que indican que la descomposición del nitrógeno orgánico muy probablemente sea el proceso que aporta más nitrógeno inorgánico para la producción primaria. Temporalmente se observó que en los primeros dos muestreos la concentración media se mantuvo en  $4 \mu\text{M}$ , en el tercero bajó a la mitad, el amonio se elevó en el 2002 a más de  $10 \mu\text{M}$  en promedio, indicando una posible relación entre los fenómenos meteorológicos y los valores de amonio en Yalahau que se analiza más adelante.

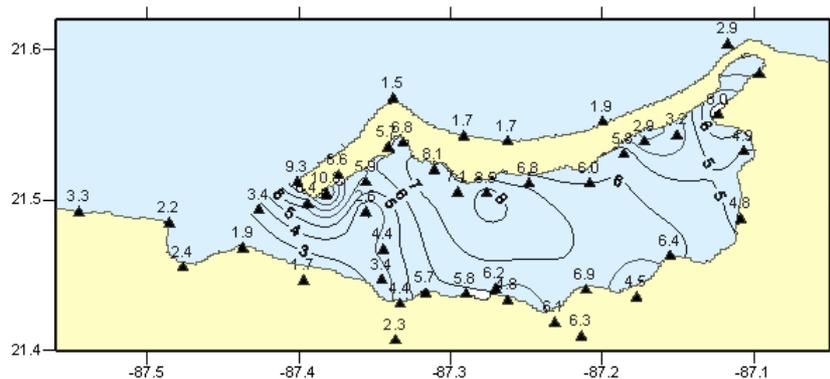


Fig. 3: Distribución de la concentración de amonio total en agua ( $\mu\text{M}$ ) en la laguna Yalahau en el período 1999-2002.

Los niveles de oxígeno en el agua fueron homogéneos en la laguna, presentando valores bajos sólo en los manantiales (Fig. 4), pero temporalmente este parámetro también se vio influenciado por la precipitación en la región, ya que los valores medios fueron 3.48, 3.99 y 4.23 ml/l en el período 1999-2001, años “secos” y 2.97 ml/l en el 2002, como se discute adelante.

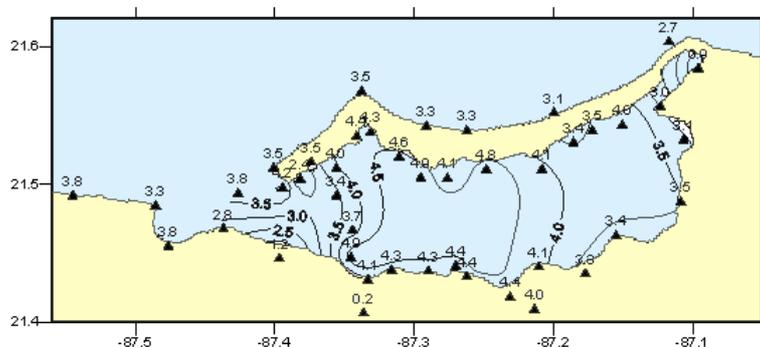


Fig. 4: Distribución de la concentración del oxígeno disuelto en agua (ml/l) en la laguna Yalahau en el período 1999-2002.

Los sedimentos superficiales de la laguna, con tamaño de grano principalmente arenoso, tuvieron contenidos de carbono orgánico entre 1 y 6 % (Fig. 5), esta gran variabilidad espacial en Yalahau, también se ha observado en otras lagunas de la Península Yucatán, sistemas en los que se presentan zonas de influencia del manglar, zonas de extensas camas de pastos marinos y otras en las que no hay aporte de materia orgánica (Aguilar-Salazar et al, 2003; García-Hernández y Ordóñez-López, 2006). Por otro lado, los sitios muestreados fuera de la laguna tuvieron niveles de carbono orgánico por debajo del 1%, a excepción del material colectado en la playa de la población de Holbox que tuvo un valor medio de 1%. Temporalmente se observó el aumento de esta variable en los muestreos de verano, además de que el valor medio más bajo fue el del muestreo de abril de 2002.

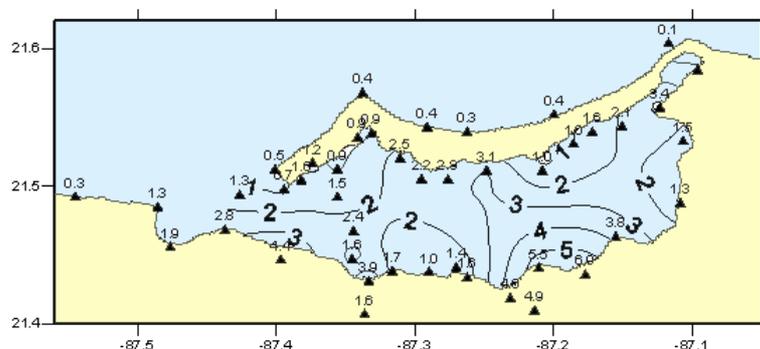


Fig. 5: Distribución de la concentración de carbono orgánico en sedimento (%) en la laguna Yalahau en el período 1999-2002.

La medición del potencial redox en el sedimento fue de mucha utilidad ya que mostró que en todas las estaciones las condiciones fueron de anoxia, menos reductoras afuera de la laguna y más reductoras hacia el interior (ver Fig. 6). También hubo variación temporal, con condiciones más reductoras en los muestreos de verano y



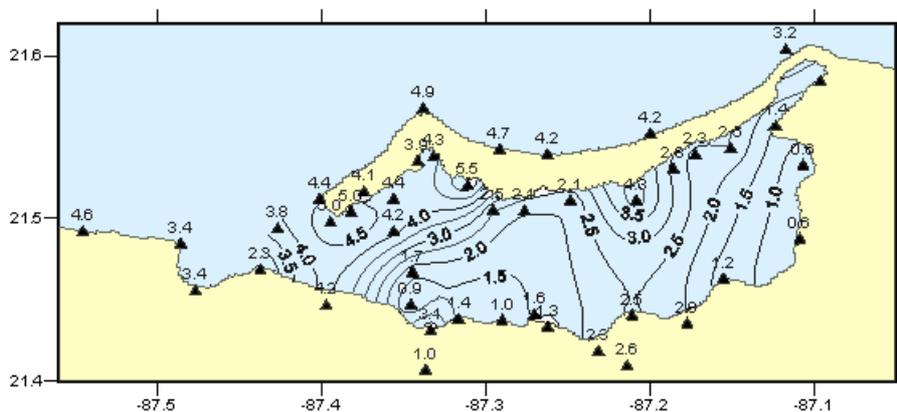


Fig. 8: Distribución de la concentración de fósforo total en sedimento ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ ) en la laguna Yalahau en el período 1999-2002.

La relación nitrógeno: fósforo en sedimento, importante indicador de los procesos biogeoquímicos, (Valdés y Real, 2004), tuvo los menores valores (entre 10 y 15) en la zona marina y se fue incrementando hacia el interior de Yalahau, alcanzando niveles mayores a 100 en la ribera sur, precisamente donde se encontraron las más altas concentraciones de nitrógeno total y las menores de fósforo total. Es necesario investigar a fondo los procesos de transformación del nitrógeno para comprender lo que pasa en el sedimento de la laguna.

El índice de calidad del agua (ICA) permitió calificar a las diferentes estaciones e identificar las zonas de la laguna con valores extremos en los diferentes parámetros y por fuera de los objetivos definidos para el cálculo del índice (CCME, 2001). Así en las regiones del poblado de Holbox, al sur de la boca donde hay influencia de manantiales y en la parte intermedia de la laguna donde suben los niveles del carbono orgánico, el nitrógeno y el fósforo en el sedimento, el valor del índice bajó notablemente (Fig. 9) indicando deterioro del ecosistema.

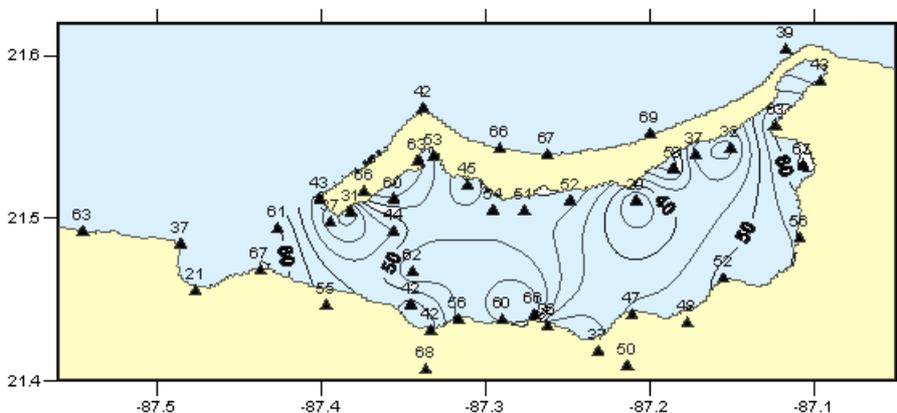


Fig. 9: Distribución de los valores del índice de calidad (ICA) en la laguna Yalahau en el período 1999-2002.

Por otro lado el ICA también mostró cambios a través del tiempo (Fig. 10), el primer año de estudio (1999) tuvo el valor mas bajo, pero fue subiendo para alcanzar el máximo en el 2001 y luego bajar en el muestreo del 2002. Analizando la precipitación pluvial en el estado de Quintana Roo (datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua), se observó una relación inversa con el índice calculado (significativa  $p < 0.05$ ,  $r = -0.85$ ) que mostró que el ICA disminuyó después de años con lluvia extraordinaria (1749 mm en 1998 y 1550 mm en 2001). Las fuertes lluvias justo antes del primero y cuarto muestreos incrementaron la descarga de agua dulce en la laguna y el aporte de nutrientes, procesos que disminuyeron la calidad del agua medida en los muestreos de 1999 y 2002, en este último muestreo el amonio volvió a subir y el oxígeno bajó, provocando que el ICA disminuyera. Por otro lado, después de las temporadas de lluvias normales de 1999 y 2000 en las que se registraron 1446 mm para ambos años, el ICA se incrementó, así se observa que en el 2000 y 2001 la concentración de oxígeno se incrementó y el amonio total en agua disminuyó, motivo por el cual el ICA subió.

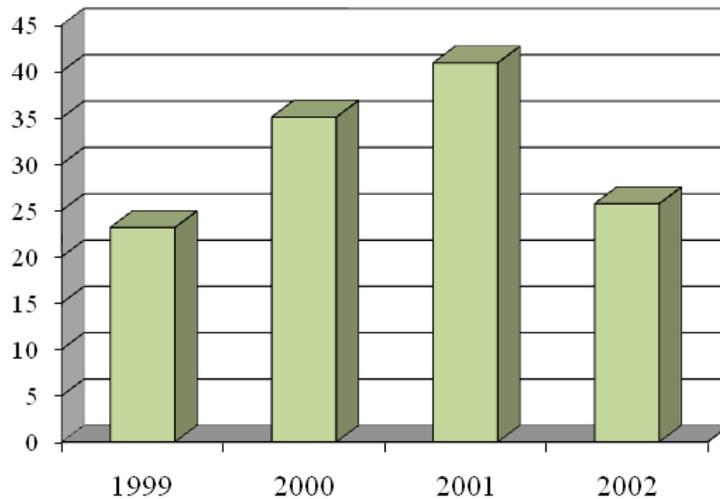


Fig. 10: Variación temporal de los valores promedio del índice de calidad (ICA) en la laguna Yalahau en el período 1999-2002.

### Conclusiones

Laguna Yalahau es un sistema en el que la salinidad aumenta hacia el interior, los aportes de agua dulce no compensan la elevada evaporación. Sus aguas son ricas en silicatos que provienen de los manantiales. De las formas de nitrógeno inorgánico disuelto, el amonio total es la más importante en concentración y le sigue el nitrato, lo anterior indica que el reciclamiento de nitrógeno juega un papel importante en este sistema, proceso que debe estudiarse más a fondo. Los niveles de oxígeno disuelto variaron mucho espacial y temporalmente influenciando en la calidad del agua. Los sedimentos, arenosos en su mayoría, presentaron contenidos de carbono orgánico muy variables, bajos en la zona marina y aumentando hacia el interior de la laguna, mas en los muestreos de verano. El potencial redox en sedimento estuvo en función del contenido de carbono orgánico, fue más reductor en los muestreos de verano y en las estaciones del sur de Yalahau. Los niveles de nitrógeno total en sedimento estuvieron correlacionados con el contenido de carbono, siendo semejantes a los de otras lagunas prístinas de la región. El fósforo total en sedimento se encontró en mayores niveles cerca de Holbox. El índice de calidad estimado con los parámetros medidos tuvo los valores más bajos en las zonas de influencia de manantiales y la población de Holbox, las actividades humanas alrededor de esta población han deteriorado el ambiente. Este índice tuvo los valores mas bajos en el primero y cuarto muestreos (1999 y 2002) que fueron precedidos por años de lluvias extraordinarias (1998 y 2001) mientras que los muestreos de 2000 y 2001, realizados después de temporadas normales de lluvia, el ICA subió.

## Referencias

- Adams, V. D. 1990. Water and wastewater examination manual. Lewis publisher, Inc. Michigan, USA. 247 p.
- Aguilar-Salazar, F., J. A. González-Iturbe, A. Senties-Granados, M. Rueda, J. Herrera-Silveira, I. Olmsted, F. Remolina-Suárez, J. Martínez-Aguilar, R. Figueroa-Paz & F. Figueroa-Paz. 2003. Batimetría, variables hidrológicas, vegetación acuática sumergida y peces de la laguna Yalahau, Quintana Roo, México. Instituto Nacional de la Pesca, México, 22 p.
- Buchanan, J.B. 1984. Sediment analysis. In: Holme, N.A. y McIntyre, A.D. (eds) Methods for the study of marine benthos, Vol. 3. Second Edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 41-65.
- CCME. 2001. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report. En: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. Canada. [http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi\\_techrptfctst\\_e.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrptfctst_e.pdf).
- CCME. 2006. Canadian Council of Ministers of the Environment. A sensitivity analysis of the Canadian water quality index. PN 1355. [http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi\\_sensitivity\\_analysis\\_rpt\\_web.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_sensitivity_analysis_rpt_web.pdf).
- García-Hernández, V. D. & U. Ordóñez-López. 2006. Los peces juveniles de la laguna Yalahau, Quintana Roo. Memorias del XIV Congreso Nacional de Oceanografía. Manzanillo, Col.
- Justic, D., N. N. Rabalais & R. E. Turner. 1995. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication. *Marine Pollution Bulletin* 30: 41-46.
- Millero, F. J., F. Huang, X. Zhu, X. Liu & J. Zhang. 2001. Adsorption and desorption of phosphate on calcite and aragonite in seawater. *Aquatic Geochemistry* 7: 33-56.
- Perry, E., G. Velásquez-Oliman, & L. Marín. 2002. The hydrogeochemistry of the karst aquifer system of the northern Yucatan Peninsula, Mexico. *International Geology Review* 44: 191-221.
- Rump, H. & H. Krist. 1992. Laboratory Manual for the Examination of Water, Waste Water and Soil. 2ª Edn. Weinheim: New York, Basel, Cambridge. 190 p.
- Strickland, J. D. H. & T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bulletin 167 (Second Edition). Fisheries Research Board of Canada, Ottawa. 310 p.
- Tran, K. C., D.S. Valdés-Lozano, J. Euán, E. Real & E. Gil. 2002a. Status of water quality at Holbox Island, Quintana Roo State, Mexico. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 5: 173-189.
- Tran, K. C., D.S. Valdés-Lozano, J. Herrera, J. Euán, I. Medina-Gómez & N. Aranda-Cirerol. 2002b. Status of coastal water quality at Holbox Island, Quintana Roo State, Mexico. In: Coastal Environment- Environmental Problems in Coastal Regions IV, WIT Press, Southampton, p. 331-340.
- Valdés-Lozano, D.S. & E. Real. 1998. Variations and relationships of salinity, nutrients and suspended solids in Chelem coastal lagoon at Yucatan, México. *Indian Journal of Marine Sciences* 27: 149-156.
- Valdés-Lozano, D.S. & E. Real. 1999. Variation of nitrification rates in Chelem lagoon, Yucatan, Mexico. *Indian Journal of Marine Sciences* 28: 424-428.
- Valdés-Lozano, D.S. & E. Real. 2004. Nitrogen and phosphorus in water and sediments at Ría Lagartos coastal lagoon, Yucatan, Gulf of México. *Indian Journal of Marine Sciences* 33: 338-345.
- Zar, J. H. 1996. Biostatistical Análisis. Prentice Hall. N.J. USA, 662 pp.