

Salinización de la ciénega yucateca

Cambio en las características hidrológicas de la microcuenca costera de Chabihau, Yucatán, derivado de la construcción de un bordo de control de mareas en el puente de Chabihau

Eduardo Batllori Sampedro

RESUMEN

Se describen los cambios en el comportamiento hidrológico de la laguna costera de Chabihau, Yucatán, derivados de la construcción de un bordo de control de mareas en el puente de la carretera costera que cruza la zona urbana de Chabihau a Santa Clara, a través del análisis de variables físico-químicas del agua (periodo 2005 a 2007). Se analiza particularmente la zona de la ciénega de Chabihau y Santa Clara, al centro y oriente de la microcuenca.

Después de la construcción del bordo de control de mareas en el puente de Chabihau se registró un menor reflujó de marea al interior de la ciénega, donde los principales cambios se registraron en el aumento de la salinidad y la profundidad. Las demás variables (temperatura, óxígeno y pH) no presentan cambios significativos con excepción del potencial óxido-reducción (redox), que en el caso de Santa Clara el valor disminuye, predominando procesos reductores en el agua.

De continuar el proceso de salinización en Chabihau, particularmente en la zona de Santa Clara, pueden promover cambios en la estructura y composición del bosque de manglar y pastos marinos, con síntomas de estrés y bajo desarrollo.

Palabras clave:

Laguna de Chabihau, hidrología costera, construcción de bordo, Yucatán, México.

Eduardo Batllori Sampedro. Doctor en Ciencias Geográficas, con especialidad en Hidrología por la Universidad de La Habana, Cuba, 1995. Es autor de diversas publicaciones y textos especializados en el área. Profesor Investigador 2-C en Licencia del Cinvestav-IPN Unidad Mérida. Secretario de Ecología. Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de Yucatán.



INTRODUCCIÓN

Las condiciones hidrológicas de los humedales costeros afectan muchos factores abióticos, incluyendo aquellos relacionados con los procesos de oxidación y reducción de la materia, con la disponibilidad de nutrientes y oxígeno, así como la salinidad del agua y del suelo (Mitsch y Gosselink, 1993, Valdés y Real, 1998). Lo anterior determina la flora y fauna que puede desarrollarse en este ecosistema y, consecuentemente, altera a su vez las condiciones hidrológicas del humedal, iniciando nuevamente el ciclo en un nivel de organización y complejidad distintas, dependiendo del hidroparíodo, flujos de entrada y salida, relieve geomorfológico y de los suelos. Pequeños cambios pueden producir una respuesta de tipo masiva en la composición específica, en la riqueza y en la productividad de la biota presente, afectando la integridad estructural y funcional del ecosistema y el valor social que le imprime el interés humano.

Los humedales costeros con influencia de la marea oceánica son por lo general más productivos que aquellos que ocasionalmente se inundan, así como la alternancia entre temporadas de secas e inundación pueden llevar a condiciones óptimas para la descomposición del detritus. Por el contrario, la condición anaerobia que puede presentarse en áreas de inundación permanente, pueden

retrasar bastante dicho proceso de descomposición (Odum, 1988). El reciclamiento de nutrientes puede ser también muy rápido en situaciones de alto recambio de agua, poniendo a disposición de la vegetación muchos nutrientes por los cambios en el pH y el potencial redox del suelo (Twilley, 1995).

ANTECEDENTES

En la microcuenca de Chabihau existen tres localidades urbanas: San Crisanto, Chabihau y Santa Clara, conectadas por una red carretera, tanto en la costa como hacia el interior, modificando los flujos de agua y el transporte de sedimentos. Entre las carreteras que seccionan a la laguna con dirección norte-sur están la que une a San Crisanto con Sinanché, otra que conduce de Chabihau a Yobaín, y la carretera de Santa Clara a Dzidzantún. La infraestructura hidráulica asociada a estas carreteras en zonas inundables consta de 36 alcantarillas de dimensiones diversas y que en su mayoría operan de manera deficiente y 11 puentes de 3.5 m de ancho, construidas entre 1999 y 2001. De hecho, la primera carretera mencionada, se constituye como un bloqueo del flujo lateral de agua entre el lado este y oeste del mismo, creando condiciones ambientales muy diferentes, derivado de la variación en la salinidad del agua.

Este ecosistema es muy vulnerable al impacto de huracanes. El huracán Gilberto en 1988 y recientemente el huracán Isidoro en septiembre de 2002, han ocasionado la ruptura de la barra arenosa, conectando el mar con la laguna en el área oriental de la localidad de Chabihau, cambiando de un régimen estacional a uno dominado por la marea. Esta situación ha traído beneficios sociales y económicos, como el aumento en la pesca de autoconsumo en la laguna, principalmente de camarón en la época de invierno.

Desde junio de 1997, el Gobierno del Estado construyó un sistema de compuertas (de 4 metros de ancho) cercano al poblado de Chabihau, que permitiera el paso controlado de agua de mar y la liberación de agua salobre o hipersalina de la laguna, a la vez que permitiera cosechas periódicas de algunas especies, manejadas bajo estas condiciones de semicautiverio temporal (camarón, jaiba y peces). En el año 2003, se construyeron dos puentes carreteros en las bocas abiertas por el huracán Isidoro, uno de 24 m de ancho en el margen oriental de la zona urbana de la localidad de Chabihau y otro más de 12 m de ancho, hacia Santa Clara. Para finales del año 2006 se construyó un bordo de control de mareas en el puente de Chabihau a una altura de 0.50 m sobre el nivel de mar. En todos estos sitios existe un importante intercambio

entre el mar y la laguna, de forma que se esperan cambios en la calidad del agua (CNA, 2002), en la ictiofauna y en la estructura de la vegetación, principalmente de manglar (Batllori, datos no publicados), el cual es importante como refugio de especies y base productiva de pesquerías estratégicas de subsistencia, en los ámbitos local y regional (Cintrón *et al.* 1978).

El presente artículo tiene como principal objetivo el describir los cambios en el comportamiento hidrológico de la laguna de Chabihau, derivados de la construcción del bordo de control de mareas a través del análisis de variables físico-químicos del agua y comparándolo con resultados anteriores derivados del impacto del huracán Isidoro y la construcción de infraestructura hidráulica en carreteras costeras descritas en Batllori y Febles, 2007.

MÉTODOS

Descripción del sitio de estudio:

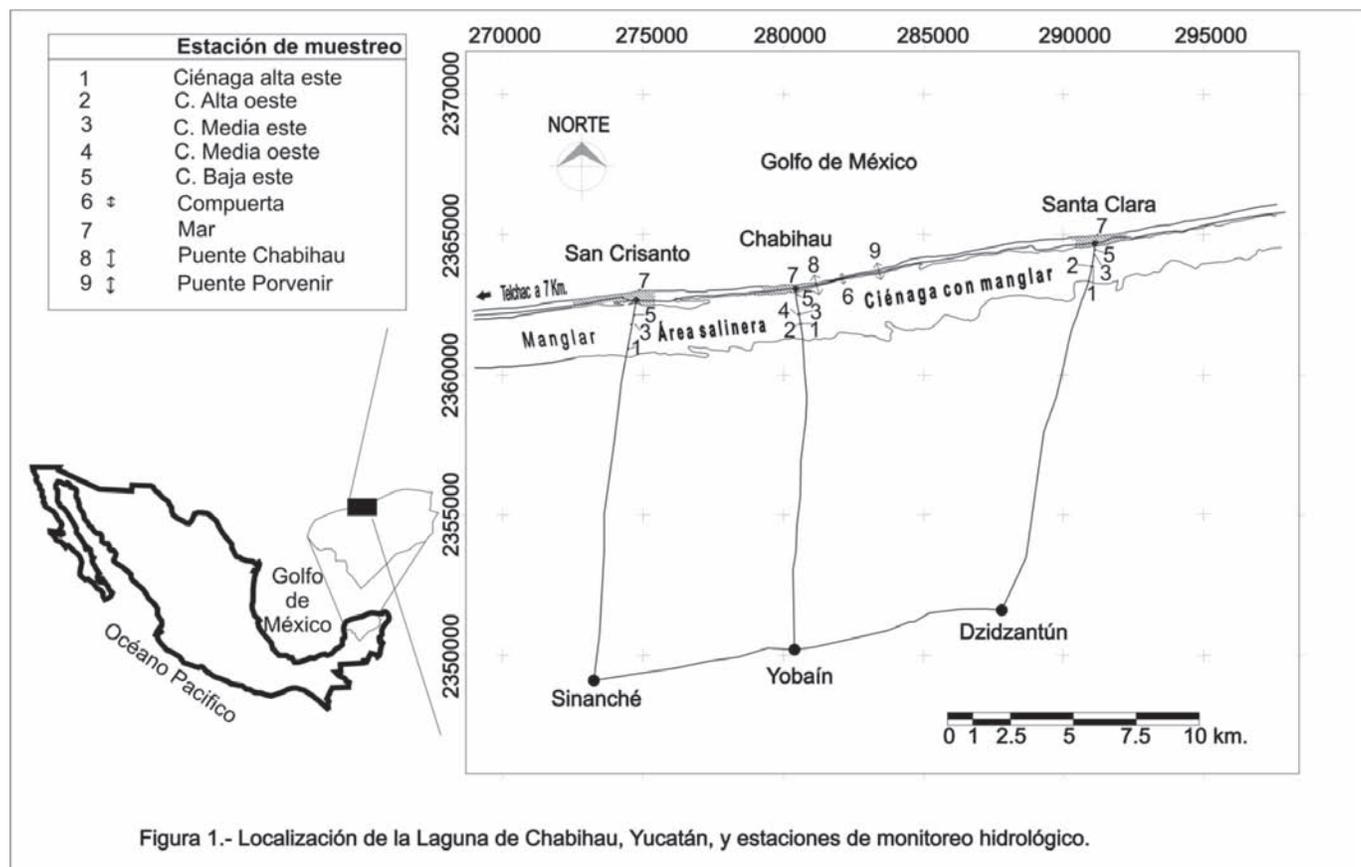
El sistema de humedales costeros de Chabihau (lagunas y manglar) se extiende por 17 km, desde la localidad de San Crisanto hasta Santa Clara, y abarca una superficie aproximada de 4,500 ha, de las cuales 3,400 ha son ocupadas por dos lagunas con aguas permanentes (1,149 ha) y vegetación de manglar (2,251 ha) y de selva baja inundable y sabana (1,100 ha). Estos humedales se pro-

tegen por una barra arenosa con dunas costeras que apenas sobrepasan las 300 ha. Presenta un clima cálido seco del tipo Bso (h') (x') i, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), con temperatura media anual de 26 °C. La precipitación anual es de 600 mm, mientras que la evaporación supera el valor de 1800 mm anuales. La temporada de lluvias inicia en mayo con los meses más lluviosos en junio y septiembre. Existe la presencia de canícula en julio y agosto, y a partir de octubre, la precipitación disminuye, siendo los meses de febrero,

marzo y abril los menos húmedos. La barra arenosa y su vegetación de duna costera se elevan hasta 2.96 msnm protegiendo efectivamente la laguna de los embates del mar. El volumen de agua contenida en esta laguna es de aproximadamente 17 Mm³.

Monitoreo hidrológico

En el año de 1999 se construyó una red de monitoreo hidrológico con 22 estaciones permanentes, distribuidos al Este y Oeste (E y O) de las carreteras costeras de San Crisanto, Chabihau y Santa Clara (Figura 1),



y ubicados en diferentes sitios de la laguna (Ciénaga alta -CA, ciénaga media -CM, ciénaga baja -CB, manantiales, compuertas y mar). Los muestreos se realizaron con una frecuencia mensual. Para medir la profundidad del agua se instaló una baliza de madera graduada en cada sitio; con un multianalizador YSI Modelo 85 se registró la salinidad (rango de 0 a 80 ups, ± 0.1), la temperatura (rango de -5 a 65 °C, ± 0.1), oxígeno disuelto (rango de 0 a 20 mg/L, ± 0.3). Los valores mayores de 80 de salinidad se estimaron con un refractómetro ATAGO (rango de 0 a 28 %, ± 0.2). Los valores mayores de 280 ups se estimaron a través de una dilución al 50 %. Con un analizador YSI pH100 se midió el pH (rango de -2 a 16 , ± 0.01) y el potencial redox (rango de -1999 a 1250 mV, ± 1). En este caso sólo se toman los datos de los años 2005, 2006 y 2007 con una frecuencia mensual. Estos datos se comparan con información descrita en Batllori y Febles (2007) que cubre desde el año 1999 al 2005, antes y después del huracán Isidoro.

Los datos fueron procesados en Excel (2002) para cada estación y por parámetro, y se procedió a realizar las pruebas de tendencia central, como promedio, desviación estándar y coeficiente de variación para dos periodos: 2005-2006 (antes de la construcción del bordo de control de

mareas) y 2007 (después de la construcción del bordo de control).

RESULTADOS

Los promedios generales por zona que se presentan en la tabla 1 (a, b y c), muestran los valores promedios generales antes del huracán Isidoro (1999-2002), después del huracán y antes de la construcción del bordo (2002-2006) y después de la construcción del bordo de control (2007). En general se presentan gradientes de salinidad y redox que van de oriente a poniente, mientras que la temperatura y el oxígeno disuelto es mayor en Chabihau. La mayor variabilidad se presentó en los valores de redox en general y en la profundidad de la columna de agua, así como en el oxígeno disuelto, particularmente para San Crisanto y Santa Clara.

Se observa, en el caso de San Crisanto (tabla 1 a), una tendencia general en los tres periodos a disminuir la salinidad (con una alta variación) y un incremento de la profundidad de la columna del agua, así como una fuerte disminución de los valores redox promoviendo ambientes reductores. En San Crisanto existen dos zonas diferentes representadas por el lado este de la carretera, con fuerte precipitación de sal (con valores que exceden los 117 ups), y el lado oeste, con una vegetación de selva baja inundable y manglar bien desarrollado, debido a la presencia abundante



de manantiales que descargan agua dulce y salobre (con valores menores a 2.0 ups). Cabe mencionar que las lluvias presentadas en el año de 2007, aunado a desbordamientos por las alcantarillas de la carretera

Sinanché-San Crisanto que vertieron del lado oeste, provocaron una gran variación temporal en los valores de salinidad (de mas del 100%), y que en términos del promedio general se presenta como tipo marino.

Tabla 1a).- Promedios generales del transecto San Crisanto

	Antes del huracán 1999 - 2002	Después del huracán y antes del bordo 2002 - 2006	Después del bordo 2007
	Promedio	Promedio	Promedio
Salinidad	50.45 (85.56)	46.38 (72.69)	35,04 (101,15)
Profundidad	11.27 (74.62)	12.42 (68.28)	15,88 (60,33)
Temperatura	27.78 (11.72)	30.06 (10.10)	27,68 (15,69)
Oxígeno	3.72 (40.24)	4.06 (38.61)	3,49 (72,78)
pH	8.17 (6.57)	7.37 (8.29)	8,23 (8,99)
Redox	-4.88 (1053.47)	-110.65 (111.23)	-100,29 (64,73)

Tabla 1b).- Promedios generales del transecto Chabihau

	Antes del huracán 1999 - 2002	Después del huracán y antes del bordo 2002 -2006	Después del bordo 2007
	Promedio	Promedio	Promedio
Salinidad	43.89 (21.03)	31.52 (26.32)	37,2 (24,62)
Profundidad	19.36 (40.23)	16.21 (65.93)	25,51 (68,04)
Temperatura	29.43 (10.46)	29.22 (7.66)	28,44 (5,39)
Oxígeno	5.20 (44.52)	4.75 (52.32)	4,5 (29,95)
pH	8.49 (6.14)	7.57 (7.78)	7,66 (6,93)
Redox	-0.19 (320.90)	-136.20 (68.71)	-110,45 (54,99)

Tabla 1c.- Promedios generales del transecto Santa Clara

	Antes del huracán 1999 - 2002	Después del huracán y antes del bordo 2002 – 2006	Después del bordo 2007
	Promedio	Promedio	Promedio
Salinidad	28.36 (36.28)	35.90 (47.95)	44,30 (52,88)
Profundidad	25.47 (53.28)	32.71 (65.19)	38,17 (77,21)
Temperatura	29.35 (10.00)	27.12 (5.85)	27,68 (3,62)
Oxígeno	4.70 (58.05)	3.20 (56.49)	3,51 (55,50)
pH	8.35 (4.76)	7.72 (7.23)	7,64 (8,71)
Redox	24.81 (197.08)	-174.97 (123.44)	-190,12 (124,90)

El promedio general espacial de los datos durante los dos periodos de estudio (2005–2006 y 2007) se presentan en la tabla 2 (a y b), para el transecto de Chabihau y Santa Clara por ser los más relevantes.

En el caso de Chabihau (Tabla 1b), el efecto del huracán Isidoro promovió una fuerte disminución de la salinidad, pasando de hipersalino a euhalino, sin embargo, después de la construcción del bordo de control, la salinidad presenta una tendencia a incrementarse a condiciones hipersalinas nuevamente, afectando a las extensas camas de pastos marinos que se estaban desarrollando en su interior (observaciones de campo). Lo mismo sucede con los niveles de agua, los cuales se han incrementado después de la construcción del bordo, afectando a la zona urbana e inundando a las viviendas marginales, como sucedió el mes de octubre de 2007. Si bien las condiciones reductoras del agua se mantienen, los

valores se han incrementado ligeramente. Los valores de temperatura, oxígeno y pH no presentan variaciones significativas.

Por último, en el caso de Santa Clara (Tabla 1c), es clara la tendencia al incremento de la salinidad, llegando ahora a presentar claras condiciones hipersalinas, aumento del nivel de agua y disminución del potencial redox, creando condiciones fuertemente reductoras en la columna de agua. Esta situación pone en condición crítica a esta porción de la ciénaga que fue fuertemente afectada por el huracán y que hasta ahora no muestra ningún indicio de recuperación, más aún cuando la conexión que provocó el huracán en la zona oriente de la localidad



**Tabla 2 a.- Resumen promedio espacial del transecto Chabihau, Yucatán, comparativo antes y después del bordo.
(CV = Coeficiente de Variación %)**

	salinidad		salinidad		profundidad		profundidad		temperatura		temperatura	
	2005-2006		2007		2005-2006		2007		2005-2006		2007	
	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV
cae	29,82	32,22	43,45	20,33	3,72	201,17	9,2	81,34	31	11,63	30,04	16,66
cao	30,02	37,50	43,9	31,3	2,83	316,91	5,29	142,51	29,76	10,04	30,44	8,21
cme	36,17	13,38	39,45	11,44	22,94	28,96	24,76	33,84	29,81	11,18	29,34	5,29
cmo	35,16	9,2	38,55	9,3	13,56	86,49	13,88	58,62	29,94	11,01	29,81	6,92
cbe	37,3	13,76	40,51	16,12	22,38	40,68	33,09	31,25	29,22	10,93	28,95	5,78
mane	32,35	31,53	45,79	20,65	1,44	113,76	8	86,91	28,47	10,25	27,91	15,29
mano	7,11	125,53	13,41	81,03	29	53,99	37,84	32,37	27,46	11,28	25,7	7,27
mar	31,87	11,86	33,86	11,3					28,38	11,6	28,09	7,6
punte	32,24	14,3	35,74	5,21	16,38	34,79	47,86	30,4	27,28	10,73	27,19	9,81
compuerta	32,04	15	37,34	14,42	34,38	51,81	49,65	44,42	27,98	9,91	26,96	7,54

	oxígeno		oxígeno		ph		ph		Redox		Redox	
	2005-2006		2007		2005-2006		2007		2005-2006		2007	
	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV
cae	4,18	65,68	4,54	16,66	7,32	10,51	8,06	21,16	-233,5	53,86	-153,38	116,84
cao	6,35	42,18	4,03	8,21	7,62	4,81	8,01	27,42	-174,33	74,17	-148,25	79,26
cme	5,09	54,63	5,25	5,29	7,61	9,88	8,29	22,31	-73,13	177,27	-114,88	119,19
cmo	5,93	37,34	5,63	6,92	7,52	10,21	8,42	24,66	-49,57	215,06	-151,25	87,28
cbe	5,81	34,05	5,95	5,78	7,59	8,55	7,18	14,21	-56,38	269,47	-27,75	316,59
mane	2,81	86,44	2,93	15,29	7,79	14,17	7,88	22,22	-192,14	31,24	-166,38	101,27
mano	6,31	63,63	1,83	7,27	7,67	8,39	6,94	22,64	-54,43	214,1	-185,13	54,83
mar	5,87	21,22	5,99	7,6	7,17	10,72	7,32	15,98	-40,75	425,19	-22,25	453,33
punte	4,44	30,3	4,88	9,81	7,38	8,64	7,43	16,95	-110,63	103,14	-42,63	437,36
compuerta	3,05	61,4	3,99	7,54	7,19	8,55	7,1	20,57	-179,13	64,86	-92,63	231,05

Tabla 2b.- Resumen promedio espacial del transecto Santa Clara, Yucatán, comparativo antes y después del bordo. (CV = Coeficiente de variación %)

	salinidad		salinidad		profundidad		profundidad		temperatura		temperatura	
	2005-2006		2007		2005-2006		2007		2005-2006		2007	
	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV
Cae	14,91	94,03	25,50	93,98	9,47	98,02	11,11	144,06	26,54	7,49	27,50	7,98
Cao	26,03	87,57	31,13	62,53	13,28	104,24	11,69	136,52	26,83	9,78	27,57	9,28
Cme	49,09	62,95	63,54	54,99	63,11	24,66	60,39	16,24	27,01	11,40	27,67	7,21
Cbe	51,67	57,05	70,96	56,16	44,78	37,47	40,31	20,00	27,22	10,80	28,47	8,17
Mar	29,36	20,59	36,71	19,54					27,56	11,52	27,79	5,87
Puente	31,64	22,89	37,96	18,91					27,10	10,35	27,10	8,29

	oxígeno		oxígeno		ph		ph		Redox		Redox	
	2005-2006		2007		2005-2006		2007		2005-2006		2007	
	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV	promedio	CV
Cae	1,75	67,99	2,30	101,79	7,41	9,04	7,17	26,97	-298,22	33,10	-327,00	15,07
Cao	1,42	74,92	1,56	92,91	7,21	12,47	7,02	25,53	-273,89	28,97	-368,29	40,23
Cme	3,07	52,71	3,33	35,41	7,66	10,34	7,86	19,54	-142,11	150,23	-163,29	102,42
Cbe	4,72	42,84	3,53	22,50	7,77	9,76	8,18	17,58	-136,78	149,72	-136,57	109,44
Mar	5,39	25,57	5,24	15,27	7,39	11,07	7,99	14,98	-60,89	351,60	-82,71	244,03
Puente	4,58	25,83	4,90	38,14	7,79	7,44	7,60	18,60	-75,67	281,40	-62,86	295,57



conocida como Providencia, en la cual se construyó un segundo puente, no ha sido controlada, promoviendo un claro proceso de salinización del área, la cual presentaba antes del huracán condiciones muy favorables para el desarrollo biológico, particularmente para el manglar.

En el caso del transecto Chabihau, el incremento de la salinidad es generalizado, desde las partes altas de la ciénaga hasta las partes bajas, aun en caso de los manantiales este y oeste (mane y mano), el puente, la compuerta y el mar, si bien la variación temporal fue menor. Lo mismo sucede en el caso de la profundidad de la columna de agua y particularmente en las partes bajas de la ciénaga, donde alcanza niveles de casi 0.5 m y, al igual que el anterior, la variación temporal es menor. En términos de la temperatura, el oxígeno disuelto y el pH, no se observan diferencias importantes entre temporadas, sin embargo, resalta el hecho de que en el manantial oeste (mano) se observan valores más bajos de estos parámetros, particularmente en cuanto a oxígeno. El potencial redox se presenta muy heterogéneo, sin embargo, presenta una mayor variación temporal en la mayoría de los sitios de muestreo.

En el transecto Santa Clara es muy evidente el incremento de la salinidad, particularmente en las porciones orientales de la ciénaga

alta, en donde se presentaban condiciones más salobres o mesohalinas. Sin embargo, el efecto salino se presenta de manera extrema en la ciénaga media y baja con valores de más de 70 ups, francamente hipersalino. Esta condición representa un factor limitante fuerte para el desarrollo biológico de la ciénaga. En cuanto a la temperatura, se observa un ligero calentamiento del agua, tanto en las partes altas como bajas de la ciénaga, el oxígeno disuelto se mantiene a niveles bajos en las partes medias y altas de la ciénaga, el pH no presenta variaciones importantes y sólo el potencial redox disminuye sus valores creando condiciones reductoras en la columna de agua de la ciénaga alta y media.

En la figuras 2 y 3 se pueden observar las variaciones espacio-temporales de los diferentes parámetros para cada transecto (Chabihau y Santa Clara) desde 1999 a 2005. En ellos se observa el cambio en las características físico-químicas del agua, particularmente en la parte baja de la laguna de Santa Clara, con un incremento en la salinidad, mientras que en la parte media y baja de Chabihau la salinidad disminuyó. Otro aspecto relevante es que los niveles de oxígeno disuelto, el pH y el potencial redox disminuyeron, donde los procesos de reducción de la materia orgánica dominan sobre los procesos oxidantes.

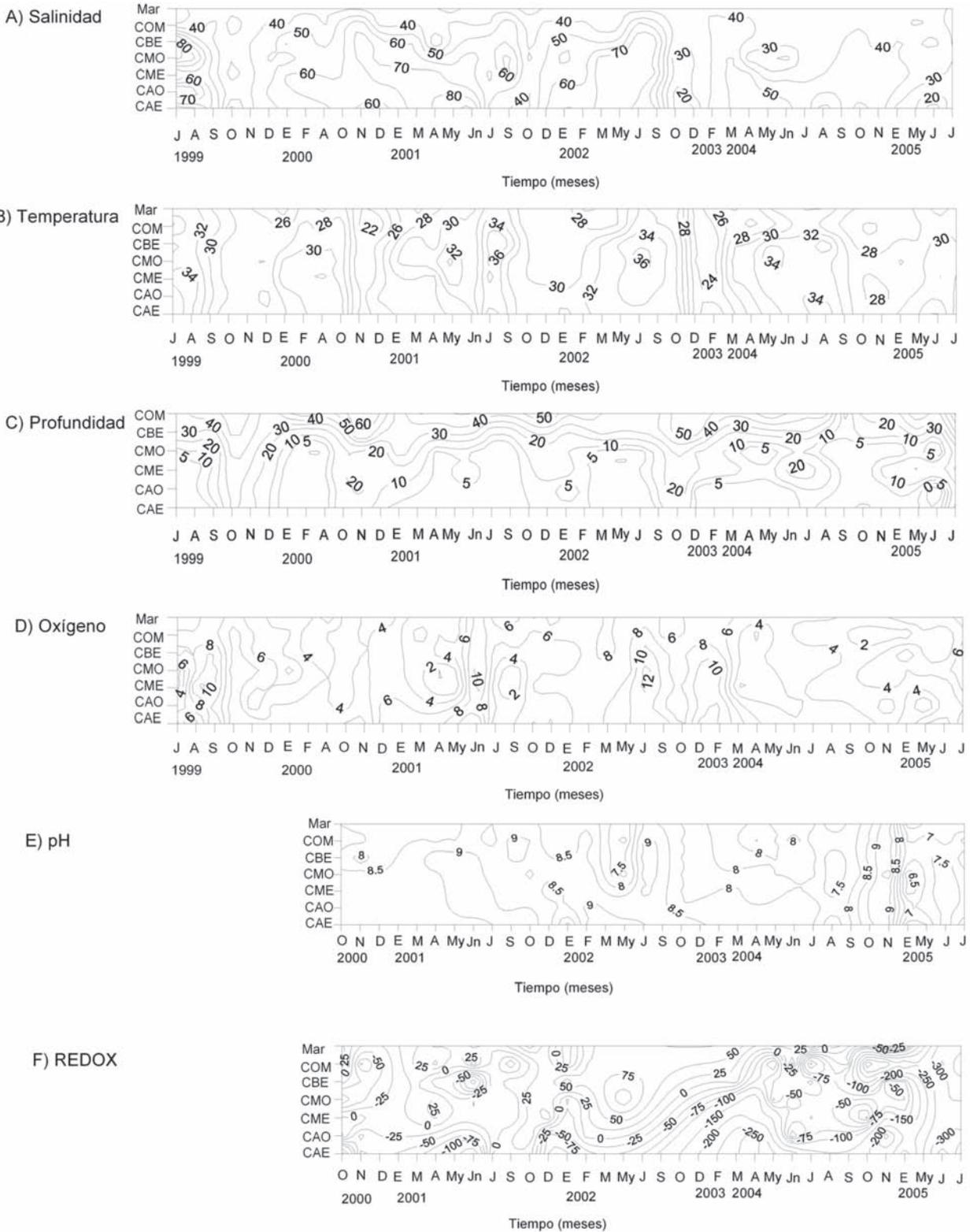


Figura 3.-Distribución temporal de la A) salinidad del agua (ups), B) Temperatura del agua (oC), C) Profundidad (cm), D) Oxígeno (mg/L), E) pH y F) REDOX (mV), en el transecto Chabihau (1999-2003 y 2004-2005). CAE: Ciénaga alta Este, CAO: Ciénaga alta Oeste, CME: Ciénaga media Este, CMO: Ciénaga media Oeste, CBE: Ciénaga baja Este, COM: Compuerta y MAR.

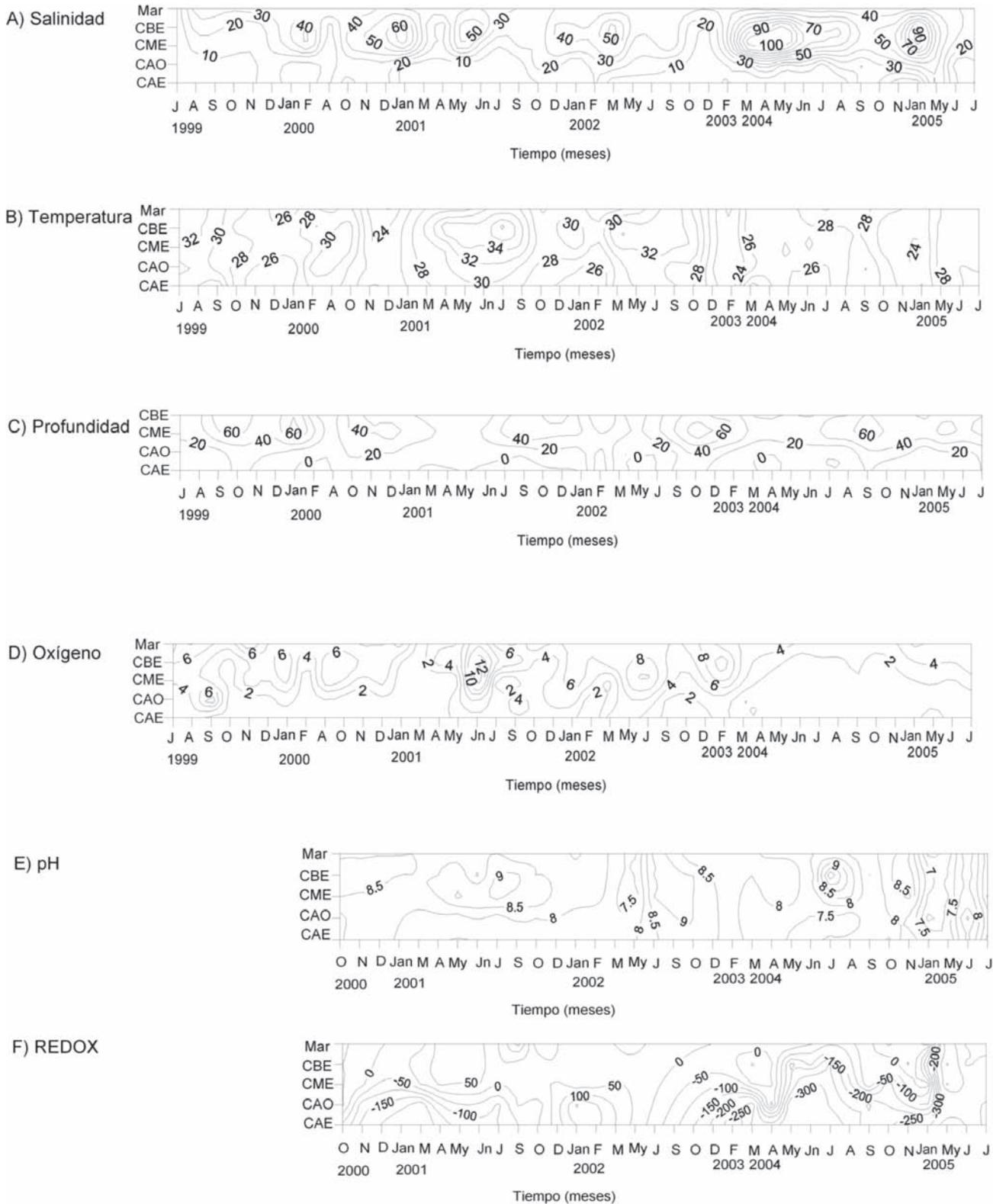


Figura 4.-Distribución temporal de la A) salinidad del agua (ups), B) Temperatura del agua (oC), C) Profundidad (cm), D) Oxígeno (mg/L) E) pH y F) REDOX (mV), en el transecto Santa Clara (1999-2003 y 2004-2005). CAE: Ciénaga alta Este, CAO: Ciénaga alta Oeste, CME: Ciénaga media Este, CBE: Ciénaga baja Este y MAR.

DISCUSIÓN

El efecto de la construcción del bordo de control de mareas en el puente de Chabihau no ha tenido un impacto importante en la temperatura del agua durante el periodo 2007, sin embargo, no se descarta que el ligero incremento de la temperatura, particularmente en la zona de Santa Clara, puede actuar sobre ciertas reacciones importantes, como la descomposición acelerada de la materia orgánica, la nitrificación, así como con procesos biológicos, como la germinación y el desarrollo de las plántulas del manglar (Rabinowitz, 1978; McKee, 1993).

El incremento de la salinidad que se ha observado en Chabihau después de la construcción del bordo de control de mareas y particularmente en Santa Clara, hace suponer que pueden existir cambios en la estructura y composición del bosque de manglar, con síntomas de estrés. Está documentado que el gradiente de salinidad, junto con el hidroperiodo, contribuyen a la distribución de las diferentes especies en los humedales, mientras que sus variaciones estacionales determinan la composición de la vegetación (Lugo and Snedaker, 1974; Rico-Gray, 1982), así como las altas concentraciones de sal pueden inhibir la actividad enzimática, la síntesis de proteína

y la tasa de respiración (Medina & Francisco, 1997) tanto de vegetación subacuática como pastos marinos y microalgas como vegetación de manglar. El mangle rojo (*R. mangle*) puede crecer en aguas más profundas y con salinidades no mayores de 40 ups en el suelo, sin embargo, el mangle negro (*Avicennia germinans*) puede desarrollarse en suelos salinos de más de 50 ups y en zonas más someras con bajo hidroperiodo (Lugo and Snedaker, 1974; Jiménez, 1994). Teutli (2004) encontró que los valores altos de salinidad superficial e intersticial en Chabihau, Chicxulub, Progreso y Chuburná (con valores mayores a 130 ups), se relacionaban con un menor desarrollo estructural de la vegetación (altura, densidad y área basal, así como densidad de plántulas), mientras que la vegetación con mejor desarrollo y mayor índice de complejidad se encontró en San Benito, Dzemul y Telchac (áreas con mayor presencia de marnantiales).

Zaldívar (1999) encontró relaciones importantes entre la estructura de la comunidad de manglar y las características físicas y químicas del sedimento en la ciénaga de Chuburná-Sisal, al noroeste de la costa de Yucatán, conectada con el mar por dos pasos de agua, desde el huracán Gilberto (1988). La salinidad ($r = -0.72$, $p < 0.05$) y el potencial



redox ($r = -0.61$, $p = 0.05$) fueron las características del sedimento que mejor explicaron la altura de los árboles, densidad y área basal del manglar. El mismo autor encontró condiciones altamente reducidas (-389 y -10 mV), principalmente en temporada de inundación, mientras que en temporada de secas los valores tendieron a cero. Con los valores de redox registrados en Chabihau y Santa Clara, se pueden esperar condiciones donde el hierro se encuentre predominantemente en forma reducida, al igual que el nitrógeno, con transformaciones activas del azufre y del carbono principalmente, cuyos efectos pueden ser una toxicidad alta del azufre libre, cuando entra en contacto con las raíces de las plantas, particularmente a *R. mangle*, ya que *A. germinans* es más tolerante (Zaldívar, 2004).

El fósforo es un elemento vital para la vida, sin embargo, puede no estar disponible para las plantas y microconsumidores por la precipitación de fosfatos insolubles con hierro férrico, calcio y aluminio bajo condiciones aeróbicas o de pH por arriba de 8. Valdés y Real (1999) mencionan que para el caso de la laguna de Chelem el fósforo presenta una correlación significativa ($r = -0.77$, $p \leq 0.05$) con el pH, lo que indica que la precipitación y disolución del fósforo es regulada

por el pH. La solubilidad del fósforo se incrementa entonces en condiciones anaeróbicas o con valores de pH menores a 7; de aquí que en el caso de Chabihau y Santa Clara, los incrementos del pH pueden derivar en una disminución en la disponibilidad de fósforo para la vida acuática, el cual aunado con las condiciones reductoras y los altos niveles de salinidad, puede promover una reducción en los niveles de producción biológica, y por lo tanto en la captura de especies pesqueras por parte de los habitantes de las tres localidades, los cuales dependen del camarón y la ictiofauna presente.

De aquí que se hace necesario realizar al menos cuatro aperturas de 2 m de longitud en el bordo de control de marea en el puente de Chabihau para evitar el incremento en la salinidad, disminuir los niveles de inundación y promover el restablecimiento de la vida acuática que colonizó después del huracán Isidoro. Del mismo modo, se recomienda nuevamente establecer un control de los flujos de agua en el puente de Providencia que afecta directamente las condiciones hidrológicas de Santa Clara, promoviendo fuertes procesos de salinización limitando de manera importante el restablecimiento del bosque de manglar y flora y fauna asociada.

AGRADECIMIENTOS

Al Gobierno del Estado de Yucatán y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo al proyecto: Evaluación de los cambios socioambientales en la Microcuenca de Chabihau, ocasionados por el huracán Isidoro y Estrategias de Prevención ante Futuros Fenómenos Meteorológicos (2003-2004) (Clave:C01-8728).

LITERATURA CITADA

- Batllori, E., Febles, J.L.: Changes in the hydrological characteristics of Chabihau coastal wetlands, Yucatan, Mexico, associated with hurricane Isidore impact. *Indian J. Mar. Sci.* (in press) (2007).
- Cintrón, G., A. E. Lugo, D. J. Pool y G. Morris. (1978). Mangrove of arid environments in Puerto Rico and adyacent islands. *Biotropica* 10 (2):110-121.
- CNA (Comisión Nacional del Agua) 2002. Dinámica hidrológica de la laguna de Chabihau, Yucatán, y el aprovechamiento sustentable de sus recursos. Gerencia Regional e la Península de Yucatán. Subgerencia de programación. Mérida, Yucatán, México. Pp. 14.
- García, E. (1988). Modificaciones al sistema climático de Köppen. México. D.F. 2ª. Edición. 243 pp.
- Jiménez, J.A. (1994). Los mangles del Pacífico Centroamericano. Universidad Nacional, Instituto Nacional de Biodiversidad. Universidad Nacional de Costa Rica. 336 pp.
- Lugo, A. E. and Snedaker, S.C. (1974). The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5:39-64.
- McKee, K. (1993). Soil physicochemical patterns and mangrove species distribution-reciprocal effects? *Journal of Ecology* 81: 477-487.
- Medina, E. & M. Francisco. (1997). Osmolality and S13C of leaf tissues of mangrove species from environments of contrasting rainfall and salinity. *Estuarine coastal and shelf science*. 45:337-344.
- Mitsch, W. y J. Gosselink. (1993). *Wetlands*. Second Edition. Van Nostrand Reinhold, New York, USA, pp. 628-637.
- Odum E. P. 1988. *Ecología*. 3ª Ed. Nueva Editorial Interamericana. México, D. F. pp. 639.
- Rabinowitz D. (1978). Early growth of mangrove seedlings in Panama, and an hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation. *Journal of Biogeography* 5:113-133.
- Rico-Gray, V. (1982). Estudio de la vegetación de la zona costera inundable del noroeste del estado de Campeche, México: Los petenes. *Biótica* 7(2): 171-190.
- Teutli, H. C. (2004). Estimación del éxito de la restauración hidrológica de zonas de manglar en el norte de Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. Universidad Autónoma de Puebla. Pp. 51.
- Twilley, R. R. (1995). Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments. *Mangrove Ecosystems and Energy Signature of Coasts*. C. Hall. Boulder, Universidad of Colorado Press: 43-62.
- Valdés, D.S. and E. Real. (1998). Variations and relationships of salinity, nutrients and suspended solids in Chelem coastal lagoon at Yucatan, Mexico. *Indian Journal of Marine Sciences*. Vol. 27:149-156.
- Valdés, D.S. and E. Real. (1999). Variations of nitrification rates in Chelem lagoon at Yucatan, Mexico. *Indian Journal of Marine Sciences*. Vol. 28:424-428.
- Zaldívar, A. (1999). Estructura de la comunidad del manglar y su relación con las características físicas y químicas del sedimento en la ciénaga Sisal-Chuburná, Yucatán, México. Tesis Profesional. Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma de Yucatán. Pp. 70.
- Zaldívar, A. (2004). Cambios en los patrones de estructura y productividad en manglares sometidos a gradientes ambientales en una laguna costera cárstica en la península de Yucatán (SE, México). Tesis de maestría en ciencias. Departamento de Recursos del Mar. Mérida, Cinvestav-IPN. Pp. 74.