

Varona-Cordero, F., F. J. Gutiérrez-Mendieta, A. Z. Márquez-García, A. Bolongaro Crevenna-Recásens y V. Torres-Rodríguez, 2014. Variación espacio-temporal de las características físico-químicas y nutrientes en la región marino-costera ubicada entre los ríos San Pedro y San Pablo y Champotón, Campeche, p. 839-866. En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida. 1176 p. ISBN 978-607-7887-71-3.

---

# Variación espacio-temporal de las características físico-químicas y nutrientes en la región marino-costera ubicada entre los ríos San Pedro y San Pablo y Champotón, Campeche

44

*Francisco Varona-Cordero, Francisco José Gutiérrez-Mendieta, Antonio Zoilo Márquez-García, Andrea Bolongaro Crevenna-Recásens y Vicente Torres-Rodríguez*

---

## RESUMEN

Durante el ciclo lluvias 2005- secas 2007 se determinaron las características fisicoquímicas de la región marino-costera comprendida en la región IV el Golfo de México, entre los ríos San Pedro y San Pablo y Champotón, Campeche. Se determinó que existen diferencias significativas a nivel espacial en todos los parámetros fisicoquímicos (excepto los sólidos sedimentables) y temporal entre épocas climáticas (“Lluvias” 2005-2006, “Nortes” 2006-2007 y “Secas” 2006-2007). La temperatura del agua y la salinidad son los parámetros que mejor reflejan la variabilidad ambiental en la zona de estudio, como resultado de las épocas climáticas dominantes en la zona así como de variaciones relacionadas a la topografía particular de cada uno de los sitios de detalle. Los nutrientes presentan una variación espacio-temporal relacionada con la descarga de los ecosistemas estuarinos que desembocan en la región; el amonio, los silicatos y los fosfatos (en orden de importancia) incrementan su concentración durante la época de “Lluvias”, siendo el primero la forma nitrogenada dominante la mayor parte del ciclo (55%) excepto en “Secas”, donde los nitratos aportaron más del 55% del nitrógeno total. Lo anterior coloca a las descargas entre los principales factores que caracterizan y controlan la dinámica hidrológica de la zona de estudio. El estado trófico (IT) de la zona va de oligotrófico a mesotrófico.

**Palabras clave:** Golfo de México, costa, hidrología, nutrientes.

## ABSTRACT

During the rainy season in 2005 to the dry season in 2007, the physical-chemical characteristics were determined of the marine-coastal area in the IV region of the Gulf of Mexico, between the San Pedro, San Pablo and Champoton rivers, Campeche. It was determined that in the spatial level there are significant differences in all the physical-chemical parameters (except for the settleable solids) and in the time level between climate seasons ("Rainy season" 2005-2006, "Winter storms season" 2006-2007 and "Dry season" 2006-2007). As a result of the dominating climate seasons, as well as the variations related to the specific topography of each site, water temperature and salinity were the parameters that best reflected the environmental variability in the study area. The nutrients show a space-time variation related to the discharge of the connected estuarine ecosystems. The ammonium, silicates and phosphates (in order of importance) increased their concentration during the rainy season; ammonium being the dominating nitrogen form during most of the cycle (55%), except in the dry season where the nitrates contributed more than 55% of the total nitrogen. This places the river discharges among the main factors that characterize and control the hydrologic dynamic of the study area. The trophic state (it) of the area ranges from oligotrophic to mesotrophic.

**Keywords:** Gulf of Mexico, coast, hydrology, nutrients.

## INTRODUCCIÓN

En la zona costera del estado de Campeche, al sur de la bahía se encuentra el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, entre el río San Pedro y San Pablo al occidente y el área de drenaje del estero de Sabancuy hacia el oriente, abarcando los municipios del Carmen y parte de los municipios de Palizada, Escárcega y Champotón. La región es parte del complejo ecológico de la planicie costera que controla los procesos deltaicos del sistema de ríos Grijalva-Usumacinta, que es el de mayor volumen de descarga de agua dulce y sedimentos terrígenos hacia el mar en todo el país. Sus sistemas pantanosos o humedales, junto con los de Tabasco, forman la unidad ecológica costera más importante de Mesoamérica por su productividad natural y biodiversidad.

La bahía de Campeche es una región de productividad biológica relativamente

alta, en comparación con el resto del Golfo y el mar Caribe adyacente (Bogdanov *et al.*, 1968; Bessonov *et al.*, 1968; Zernova, 1969; Cruz, 1971. Krylov, 1974; Villalobos-Figueroa y Zamora-Sánchez, 1974; Licea y Santoyo, 1992). El conocimiento de su hidrografía es fundamental ya que esta zona es relevante para la economía local como regional ya que, por ejemplo, la pesquería del camarón en la sonda de Campeche es la de mayor volumen en el país.

Los procesos que influyen la variabilidad hidrológica en la zona costera están fuertemente afectados por la matriz ambiental la cual determina no solo las tasas de importación y exportación de materiales al sistema sino que también regula varios de los procesos internos tales como la asimilación de nutrientes, el almacenamiento de materia orgánica, la regeneración bentónica y la

liberación de nutrientes hacia la columna de agua (Medina-Gómez & Herrera-Silveira, 2006). Las oscilaciones en estos procesos promueven potencialmente varios estados tróficos en los ambientes costeros, los cuales pueden ser considerados como su respuesta a las variables exógenas asociadas con la fluctuación de las condiciones ambientales a lo largo del año (Jørgensen, 1999; Suzuki *et al.*, 2000).

En los ambientes costeros, la dinámica e interacción de factores geológicos, físicos, químicos, climáticos y biológicos, además de la acción del hombre, caracterizan el funcionamiento de los cuerpos de agua. Estos pueden ser evaluados a partir de la determinación de las principales características físicas y químicas (incluidos nutrientes), debido en gran medida, a la relación que existe entre las variaciones espacio-temporales de

estos parámetros, con los procesos que realizan las comunidades bióticas asociadas a los mismos.

Las variables de precipitación y temperatura media anual influyen en el régimen hidrológico y en el aporte de nutrientes desde el continente. Estas variables tienen alta dependencia de las condiciones climáticas estacionales y de largo plazo, donde la variabilidad climática y el cambio climático ejercerán a su vez influencias de corto y largo plazo. Algunos fenómenos relacionados con el cambio climático como el volumen de la precipitación, la magnitud del escurrimiento, las tasas de flujo en las descargas desde el continente y la elevación de la temperatura media del mar, indudablemente que tendrán efecto en la cantidad, especiación y disponibilidad de nutrientes, así como del contenido de oxígeno disuelto.

## OBJETIVO

El presente trabajo tuvo por lo tanto como objetivo: caracterizar ambientalmente (en términos de parámetros fisicoquímicos y

nutrientes) la zona costera ubicada entre los ríos San Pedro y San Pablo y Champotón en el Golfo de México.

## METODOLOGÍA

Con el fin de lograr una adecuada caracterización de la zona se establecieron 10 sitios de muestreo que abarcaron desde el río San Pedro y San Pablo en Tabasco hasta el río Champotón en Campeche (figura 1), muestreándose en cada sitio 10 estaciones en las principales épocas climáticas de “Lluvias”,

“Secas” y “Nortes” (tabla 1). Cada localidad se monitoreo en tres ocasiones, efectuando dos muestreos en la misma época. En cada estación se determinaron *in situ* los parámetros fisicoquímicos mediante una sonda multiparamétrica YSI modelo 556 MPS, misma que fue calibrada previamente según las

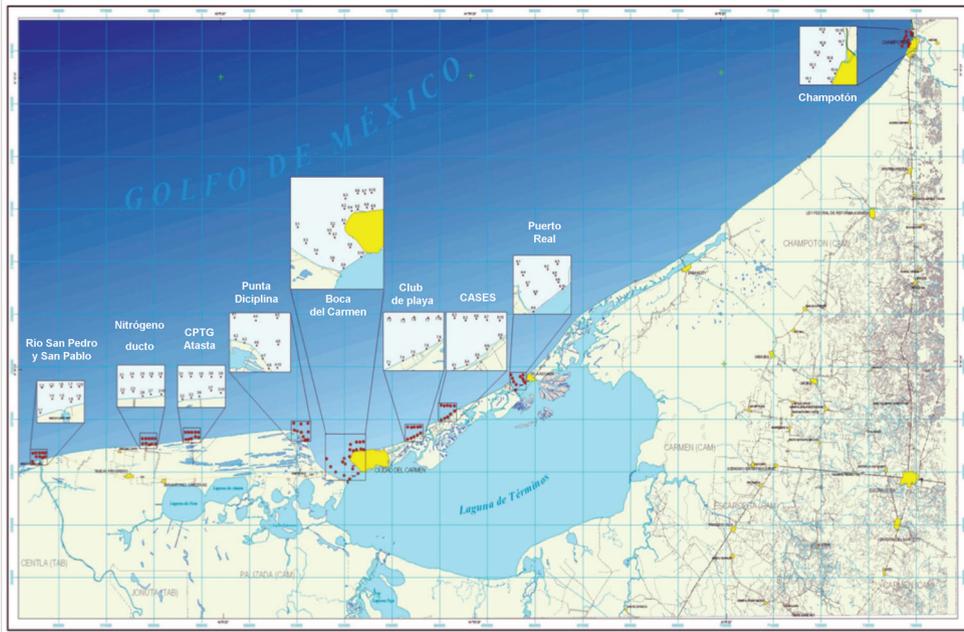


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo.

recomendaciones del fabricante (ysi, 2006). Mediante la sonda se verificó que la columna de agua no estuviera estratificada. Una vez hecho esto, se colectaron muestras de agua a 1 m de profundidad con una botella tipo van Dorn para cuantificar los nutrientes y sólidos sedimentables (ss). Las muestras de nutrientes son: nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y silicatos ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ), se filtraron con un equipo Millipore a través de membranas de  $0.45 \mu\text{m}$  de poro, se fijaron con cloroformo y se mantuvieron bajo congelación para su posterior análisis. La determinación de nutrientes se realizó mediante un autoanalyzer de flujo segmentado SKALAR SANplus, con cuatro canales para análisis simultáneos de nitratos+nitritos, amonio, fosfatos y silicatos siguiendo las recomendaciones del fabricante (SKALAR, 1994).

Para las muestras de sólidos sedimentables se tomaron muestras de 1 L en envases de plástico y se mantuvieron en congelación para su posterior análisis en el laboratorio. Los ss ( $\text{ml l}^{-1}$ ) se determinaron por el método volumétrico utilizando el Cono de Imhoff (APHA, 1998).

### ÍNDICE DE EUTROFICACIÓN (IE)

Se calculó el El Índice de Eutroficación (IE) propuesto por Karydis *et al.* (1983), definido como:

$$IE = C / (C - \log x) + \log A$$

donde  $C$  es el logaritmo de la concentración total de nutrientes,  $x$  es la concentración total en cada sitio y  $A$  es el número de estaciones. En la tabla 2 se muestran las categorías del Índice de Eutroficación propuestas por Karydis, *op cit.*

**Tabla 1.** Denominación de los sitios de muestreo, temporadas y fechas de muestreo.

#	Sitio	Clave
1	Río San Pedro-San Pablo	RSPSP
2	Nitrógeno-Ducto	NDUCTO
3	cptg-Atasta	CPTG ATASTA
4	Punta Disciplina	PTA DISCIPLINA
5	Boca del Carmen	BCARMEN
6	Playa Norte	playa norte
7	Club de Playa	CLUBPLAYA
8	CASES	CASES
9	Puerto Real	PTOREAL
10	Champtón	CHAMPOTÓN

Muestreo (Clave)	Fecha
"Lluvias" 2005 ("Lluvias" 05)	Agosto 10-15 de 2005
"Nortes" 2006 ("Nortes" 06)	Febrero 6-10 de 2006
	Marzo 9-11 de 2006
"Secas" 2006 ("Secas" 06)	Mayo 25-31 de 2006
"Lluvias" 2006 ("Lluvias" 06)	Agosto 12-15 de 2006
"Nortes" 2007 ("Nortes" 07)	Enero 24-28 de 2007
	Febrero 14-15 de 2007
"Secas" 2007 ("Secas" 07)	Mayo 29-31 de 2007
	Junio 1 de 2007

**Tabla 2.** Valores del Índice de Eutroficación (IE) y sus categorías.

Valor	Categoría
<3.0	Oligotrófico
>3.0 y <3.5	Oligo-mesotrófico
<4.5	Mesotrófico
>4.5 y <5.0	Meso-eutrófico
> 5.0	Eutrófico

## ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los datos de todas las variables fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo de tipo exploratorio, se utilizaron diagramas de caja y bigote para observar de manera gráfica las tendencias de los parámetros, el diagrama resulta ideal para el análisis ya que es muy resistente y no es afectado por la presencia de casos extraordinarios (Salgado-Ugarte, 1992) así como por comparaciones de valores centrales (media, mediana). Posteriormente se llevó a cabo un análisis de normalidad (Prueba de Levene) y se aplicó un análisis de varianza de un vía (ANDEVA) utilizando el espacio como factor para determinar diferencias significativas entre las estaciones de muestreo (Zar, 1997).

Para verificar si las diferencias fueron significativas o no, se efectuaron comparaciones de valores centrales (media, mediana) dependiendo de si hubo o no homocedasticidad, en el caso de varianzas desiguales se aplicó el método no paramétrico de Kruskal-Wallis, y si las varianzas fueron semejantes se utilizó un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía, utilizando como factor el tiempo (mes de muestreo), a un nivel de significancia de  $P \leq 0.10$ . De la misma forma se realizaron comparaciones múltiples como Tukey-Kramer, Kruskal-Wallis (KW) y prueba Z para determinar las diferencias específicas entre los meses de muestreo (Zar, 1997).

Para reducir la dimensión en los datos y extraer las variables más importantes, se aplicó un análisis de ordenación (Análisis de Componentes Principales, ACP) de las variables fisicoquímicas para cada época climática y para todo el ciclo (McGarigal *et al.*, 2000). Debido a la diferente naturaleza de las variables, estas fueron estandarizadas para evitar

el efecto de escala y poder ser empleadas en el análisis de ordenación (Zar, 1997). Este análisis produce un número reducido de variables abstractas, las cuales son combinaciones lineales de las variables originales. Los resultados son proyectados en un gráfico de dos dimensiones que usa a los componentes como ejes (James y McCulloch, 1990), tal representación establece una primera aproximación para una caracterización ambiental como función de la calidad del agua (Medina-Gómez y Herrera-Silveira, 2003). Los eigenvalores que se tomaron en cuenta para dichos análisis fueron aquellos  $>0.40$  y  $<-0.40$  según Tabachnik y Fidell (1989).

Para determinar la similitud de las zonas se realizó un análisis cluster (AC) basado en los resultados del ACP, empleándose el coeficiente de distancia euclidiana y la técnica de la varianza mínima o método de Ward (Danielson *et al.*, 2004), debido a que se trata de una técnica que expande el espacio, es decir, incrementa la distancia entre grupos u objetos resaltando las diferencias entre grupos (Gauch, 1982). Dicho análisis, estuvo basado en una matriz elaborada con los valores estandarizados de cada variable, de ma-

nera que ninguno de ellos puede presentar un ámbito mayor influyera en la formación de los grupos (Mc Garigal *et al.*, 2000). Una ventaja adicional de esta transformación al estadístico  $Z$  consiste en que la nueva matriz es adimensional, lo cual posibilita la comparación de datos que originalmente tuvieran diferentes unidades (Legendre y Legendre, 1984).

La validación del dendrograma obtenido de AC se realizó a partir de la correlación coeficiente, esta es esencialmente una medida de la fidelidad del dendrograma, generalmente valores  $>0.65$  se consideran buenos (Mc Garigal *et al.*, 2000). El criterio usado para definir el nivel de corte en el dendrograma y con ello el número de clusters, fue a partir del valor en el coeficiente de distancia, es decir, en el nivel más bajo el coeficiente de distancia euclidiana es 0, y la comunidad es idéntica (Krebs, 1999; Souissi *et al.*, 2000), por lo tanto para cada dendrograma se identificó el nivel en el cual el coeficiente representara  $> 80\%$  de similitud. A partir del resultado del dendrograma, para cada zona se calculó el Índice de Eutroficación (IE) propuesto por (Karydis *et al.*, 1983).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

En la tabla 3 se presentan los promedios de las variables fisicoquímicas (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación), tomados *in situ* en cada una de los sitios de muestreo durante el ciclo "Lluvias" 05 a "Secas" 07 (N=100 para cada parámetro); la tabla 4 incluye los resultados

del análisis de nutrientes (amonio,  $\text{NH}_4^+$ ; nitritos,  $\text{NO}_2^-$ ; y nitratos,  $\text{NO}_3^-$ ; fosfatos,  $\text{PO}_4^-$ ; silicatos,  $\text{SiO}_2$ ), así como los obtenidos de la determinación de sólidos sedimentables.

En adelante se utilizarán las abreviaturas de los sitios de muestreo y las temporadas climáticas descritos en la tabla 1 para las descripción e interpretación de resultados.

**Tabla 3.** Resumen estadístico de las variables físico-químicas en los sitios de estudio durante el ciclo "lluvias 2005 – Secas 2007".

Temperatura (°C)	Lluvias 2005		Nortes 2006		Secas 2006		Lluvias 2006		Nortes 2006		Secas 2007	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
RSPSP	30.28	0.59	24.16	0.25	26.94	0.23	27.97	2.39	27.30	0.43	30.96	0.41
NDUCTO	30.63	1.64	25.12	0.46	28.25	0.31	28.34	2.32	26.05	0.13	30.86	0.19
CPTG ATASTA	32.48	0.49	25.43	0.38	28.97	0.38	28.58	2.26	26.46	0.24	29.27	0.16
PTA DISCIPLINA	30.28	0.50	26.33	1.29	28.59	0.13	28.45	2.44	24.37	0.12	30.29	0.32
BCARMEN	31.43	1.18	23.18	0.41	28.55	0.14	37.40	2.94	24.40	0.16	29.18	0.29
PLAYA NORTE	31.18	1.51	23.48	0.39	28.12	0.12	28.20	2.97	26.13	0.09	30.30	0.34
CLUBPLAYA	31.76	0.48	24.89	0.23	29.01	0.41	28.36	2.79	24.95	0.18	30.85	1.01
CASES	31.93	1.06	54.87	0.60	29.39	0.38	28.37	2.97	24.30	0.29	30.60	0.82
PTOREAL	31.95	0.90	27.30	0.19	28.48	0.24	27.21	2.68	24.25	0.38	28.73	0.69
CHAMPOTÓN	29.77	0.60	23.07	0.92	28.70	0.30	27.90	2.38	27.12	0.36	29.27	0.52
Total	31.27	1.24	24.42	1.18	28.50	0.69	28.08	2.67	25.56	1.19	30.03	0.95
<b>Salinidad (ups)</b>												
RSPSP	37.00	0.00	23.05	4.27	35.16	0.35	28.67	7.41	20.49	7.68	30.01	1.88
NDUCTO	32.56	9.21	30.40	2.42	35.61	0.56	33.70	3.46	33.98	0.13	34.05	0.15
CPTG ATASTA	36.28	0.96	33.06	2.64	35.69	1.24	34.76	1.65	33.94	0.32	35.59	0.16
PTA DISCIPLINA	25.67	7.51	35.56	0.39	33.59	0.98	30.53	6.12	27.21	0.68	35.86	0.07
BCARMEN	19.36	3.30	32.79	5.26	34.05	1.60	27.33	9.09	25.30	1.09	32.57	11.25
PLAYA NORTE	64.22	4.89	31.41	5.65	34.60	0.63	31.84	5.66	27.15	1.18	34.59	5.12
CLUBPLAYA	22.37	7.77	37.05	0.88	34.07	0.42	32.66	6.03	24.42	0.65	36.54	0.56
CASES	27.77	7.25	36.20	2.88	34.15	0.25	32.64	5.88	23.14	1.08	36.73	0.59
PTOREAL	32.51	3.10	32.60	3.66	34.88	0.82	32.94	5.83	27.82	1.72	33.34	11.59
CHAMPOTÓN	13.61	0.56	29.40	2.76	32.96	1.61	32.49	5.58	35.00	1.10	36.99	1.81
Total	29.04	8.62	32.15	5.09	34.47	1.25	31.78	6.30	27.86	5.40	34.63	5.59
<b>pH</b>												
RSPSP	8.32	0.10	7.88	0.04	8.06	0.60	8.13	0.30	8.13	0.08	8.30	0.09
NDUCTO	8.33	0.11	7.90	0.05	8.48	0.06	8.21	0.20	8.08	0.02	8.28	0.03
CPTG ATASTA	8.23	0.04	7.94	0.10	8.54	0.03	8.21	0.19	8.11	0.01	8.22	0.01
PTA DISCIPLINA	8.23	0.07	8.15	0.10	8.56	0.02	8.28	0.16	8.14	0.01	8.23	0.02
BCARMEN	8.27	0.08	8.05	0.08	8.05	0.02	8.15	0.12	8.07	0.03	8.22	0.02
PLAYA NORTE	8.23	0.07	8.06	0.13	8.57	0.10	8.25	0.19	8.08	0.02	8.22	0.00
CLUBPLAYA	8.23	0.05	8.09	0.03	8.67	0.01	8.29	0.19	8.22	0.02	8.21	0.01
CASES	8.35	0.12	8.12	0.08	8.69	0.02	8.31	0.20	8.18	0.02	8.21	0.01
PTOREAL	8.21	0.05	8.00	0.00	8.65	0.03	8.25	0.21	8.14	0.03	8.21	0.01
CHAMPOTÓN	8.26	0.12	8.01	0.07	8.67	0.07	8.26	0.24	8.07	0.04	8.17	0.09
Total	8.27	0.09	8.02	0.11	8.49	0.30	8.23	0.21	8.12	0.06	8.23	0.05

**Tabla 3 (continuación).** Resumen estadístico de las variables físico-químicas en los sitios de estudio durante el ciclo "lluvias 2005 – secas 2007".

Oxígeno (mg l <sup>-1</sup> )	Lluvias 2005		Nortes 2006		Secas 2006		Lluvias 2006		Nortes 2006		Secas 2007	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
RSPSP	4.81	0.43	2.28	1.13	2.25	0.62	5.26	2.51	7.95	0.29	7.33	0.68
NDUCTO	4.24	0.52	1.95	0.30	2.94	0.39	5.08	2.20	6.57	0.18	7.12	0.24
CPTG ATASTA	3.17	0.21	2.58	0.83	2.67	0.39	4.91	2.14	6.73	0.11	5.98	0.21
PTA DISCIPLINA	3.08	0.23	4.28	0.96	3.91	0.73	5.75	1.97	7.89	0.12	6.50	0.67
BCARMEN	2.97	0.26	3.94	1.33	3.83	1.46	5.67	2.04	7.45	0.30	6.20	0.50
PLAYA NORTE	3.18	0.18	2.66	1.04	3.36	0.60	5.28	2.23	6.40	0.17	6.66	0.22
CLUBPLAYA	2.97	0.22	3.20	0.19	2.38	0.38	5.51	2.70	9.40	0.50	6.08	0.36
CASES	3.13	0.29	3.23	0.43	2.25	0.22	5.36	2.55	8.67	0.33	6.28	0.27
PTOREAL	2.80	0.17	2.43	1.08	3.09	0.41	4.94	2.09	7.22	0.52	6.94	0.47
CHAMPOTÓN	2.14	0.34	4.25	0.38	2.57	0.37	4.29	1.64	5.53	1.07	3.93	1.27
Total	3.32	0.74	3.08	1.15	2.92	0.85	5.20	2.25	7.37	1.18	6.20	1.04
<b>% Saturación</b>												
RSPSP	79.10	8.80	31.35	16.61	34.34	9.68	78.79	38.89	113.24	7.61	109.10	22.24
NDUCTO	67.71	10.37	28.7	4.48	45.82	6.23	69.55	32.49	97.69	2.61	57.85	0.39
CPTG ATASTA	53.26	4.25	37.91	12.94	42.56	6.32	76.99	33.98	100.73	2.22	95.09	3.62
PTA DISCIPLINA	47.05	2.36	64.56	13.53	61.53	11.25	87.48	28.72	109.49	1.32	105.51	11.06
BCARMEN	44.63	2.30	55.40	17.17	60.23	22.82	82.97	28.34	102.61	4.19	96.64	2.78
PLAYA NORTE	52.07	2.56	38.25	16.12	52.31	9.27	81.86	36.20	91.94	2.42	107.00	1.68
CLUBPLAYA	46.12	4.36	48.05	2.51	37.60	5.95	84.15	40.06	131.07	6.85	95.28	12.72
CASES	50.33	6.112	48.91	6.92	35.84	3.50	82.54	37.96	118.60	4.74	102.53	3.36
PTOREAL	46.04	2.86	35.29	16.40	48.52	6.57	75.81	32.11	101.14	6.35	92.22	4.11
CHAMPOTÓN	30.62	4.92	58.52	4.30	40.03	5.92	65.46	25.30	84.82	16.45	60.45	2.52
Total	52.55	12.71	44.64	16.65	45.88	13.39	78.57	34.13	105.04	14.52	92.14	19.49
<b>Sólidos sedimentales (ml l<sup>-1</sup>)</b>												
RSPSP	0.11	0.13	0.09	0.10	0.17	0.11	0.10	0.12	0.03	0.06	0.0	0.02
NDUCTO	0.05	0.05	0.12	0.18	0.12	0.09	0.13	0.19	0.09	0.27	0.03	0.05
CPTG ATASTA	0.12	0.18	0.13	0.17	0.06	0.08	0.09	0.14	0.05	0.08	0.00	0.01
PTA DISCIPLINA	0.10	0.18	0.16	0.23	0.003	0.03	0.13	0.18	0.14	0.13	0.07	0.11
BCARMEN	0.20	0.26	1.21	2.29	0.02	0.04	0.28	1.05	0.06	0.05	0.07	0.18
PLAYA NORTE	0.10	0.05	0.39	0.20	0.02	0.03	0.11	0.16	0.07	0.07	0.03	0.05
CLUBPLAYA	0.13	0.19	0.01	0.02	0.26	0.13	0.06	0.12	0.00	0.01	0.00	0.00
CASES	0.29	0.26	0.01	0.02	0.21	0.31	0.08	0.19	0.03	0.04	0.00	0.00
PTOREAL	0.75	0.39	0.07	0.09	0.1	0.30	0.14	0.42	0.29	0.82	0.00	0.00
CHAMPOTÓN	0.35	0.07	0.01	0.01	0.23	0.25	0.07	0.15	0.00	0.01	0.00	0.00
Total	0.19	0.24	0.22	0.79	0.13	0.19	0.12	0.38	0.07	0.28	0.02	0.07

**Tabla 4.** Resumen estadístico de los nutrientes en los sitios de estudio durante el ciclo "lluvias 2005-secas 2007".

Amonio	Lluvias 2005		Nortes 2006		Secas 2006		Lluvias 2006		Nortes 2006		Secas 2007	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
RSPSP	17.29	17.47	2.06	0.87	1.60	0.48	2.79	5.93	1.14	0.30	1.32	0.72
NDUCTO	18.58	12.13	2.70	0.66	0.80	0.23	3.49	6.59	1.04	0.25	1.08	0.52
CPTG ATASTA	11.71	13.36	4.14	0.97	0.87	0.34	2.92	5.28	1.23	0.63	1.29	0.58
PTA DISCIPLINA	9.07	11.34	2.86	1.74	0.96	0.48	2.39	4.02	1.20	0.46	1.09	0.83
BCARMEN	19.88	14.21	4.16	0.69	0.80	0.56	3.81	6.43	1.26	0.71	1.63	0.73
PLAYA NORTE	2.70	0.97	4.12	1.07	1.29	0.48	3.33	3.62	3.17	1.30	1.78	0.53
CLUBPLAYA	5.07	4.53	3.00	1.40	0.99	0.74	2.30	2.05	1.27	0.39	1.62	0.63
CASES	7.01	4.29	4.31	1.26	0.71	0.59	2.99	2.67	1.76	0.22	1.44	0.85
PTOREAL	6.14	6.67	2.15	0.67	1.07	0.70	2.38	2.24	2.07	0.63	1.75	1.18
CHAMPOTÓN	2.77	0.59	2.79	1.15	2.74	1.39	3.49	2.30	3.76	1.84	1.96	1.28
Total	10.13	10.91	3.24	1.34	1.18	0.86	2.99	4.46	1.80	1.21	1.50	0.83
<b>Nitritos</b>												
RSPSP	1.02	0.81	0.27	0.16	2.38	0.42	0.74	0.86	0.29	0.15	0.29	0.18
NDUCTO	1.1	1.13	0.35	0.14	0.62	0.30	0.45	0.49	0.28	0.14	0.17	0.11
CPTG ATASTA	1.38	0.62	0.48	0.19	0.66	0.57	0.51	0.48	0.43	0.25	0.14	0.11
PTA DISCIPLINA	0.64	0.29	0.25	0.11	0.71	0.47	0.46	0.33	0.57	0.112	0.20	0.19
BCARMEN	4.17	4.72	0.48	0.23	0.59	0.27	0.74	1.50	0.48	0.08	0.24	0.11
PLAYA NORTE	0.53	0.12	0.40	0.14	0.28	0.07	0.41	0.17	0.52	0.17	0.31	0.17
CLUBPLAYA	1.10	0.84	0.62	1.07	0.61	0.52	0.62	0.60	0.39	0.18	0.68	0.38
CASES	1.03	0.65	0.37	0.11	0.22	0.09	0.56	0.36	0.59	0.221	0.53	0.18
PTOREAL	0.96	0.78	0.22	0.07	0.56	0.40	0.51	0.34	0.47	0.17	0.44	0.18
CHAMPOTÓN	1.20	0.59	0.24	0.09	0.58	0.30	0.57	0.35	0.49	0.28	0.55	0.27
Total	1.26	1.81	0.37	0.37	0.72	0.68	0.56	0.66	0.45	0.20	0.35	0.26
<b>Nitratos</b>												
RSPSP	1.36	1.12	4.57	0.85	1.38	1.72	2.35	2.05	0.47	0.41	1.04	1.34
NDUCTO	2.28	1.85	1.38	0.88	6.85	0.47	2.39	2.53	0.08	0.07	0.66	0.78
CPTG ATASTA	0.59	0.32	1.38	0.97	9.40	2.34	2.51	3.59	0.32	0.44	0.81	0.67
PTA DISCIPLINA	1.67	2.20	0.2	0.35	7.25	0.91	2.39	2.77	0.81	0.51	0.74	0.64
BCARMEN	3.02	3.70	0.44	0.43	0.43	0.39	1.47	2.76	0.52	0.30	0.97	0.82
PLAYA NORTE	1.51	1.55	0.54	0.40	0.48	0.44	1.39	2.89	0.51	0.25	1.00	0.97
CLUBPLAYA	0.74	0.47	0.53	0.88	7.66	1.10	2.31	3.35	0.37	0.19	0.075	0.67
CASES	0.51	0.33	0.81	1.10	7.83	1.28	2.22	2.83	1.26	0.37	0.53	0.48
PTOREAL	2.29	2.46	0.52	0.43	0.82	0.46	0.99	1.40	0.56	0.25	0.51	0.45
CHAMPOTÓN	11.40	3.01	1.22	1.79	2.00	2.44	3.95	4.67	2.45	2.16	2.37	2.47
Total	2.07	3.02	1.16	1.49	4.41	3.72	2.18	3.07	0.78	1.01	0.94	1.16

**Tabla 4 (continuación).** Resumen estadístico de los nutrientes en los sitios de estudio durante el ciclo "lluvias 2005-secas 2007".

Ortofosfatos	Lluvias 2005		Nortes 2006		Secas 2006		Lluvias 2006		Nortes 2006		Secas 2007	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
RSPSP	0.62	0.23	0.21	0.09	0.54	0.42	0.28	0.27	0.12	0.03	0.10	0.04
NDUCTO	0.72	0.62	0.28	0.14	0.14	0.11	0.25	0.27	0.22	0.05	0.13	0.04
CPTG ATASTA	0.36	0.08	0.34	0.11	0.17	0.09	0.24	0.11	0.23	0.05	0.17	0.08
PTA DISCIPLINA	0.44	0.09	0.78	0.62	0.14	0.06	0.35	0.36	0.44	0.11	0.14	0.06
BCARMEN	0.44	0.27	0.17	0.09	0.16	0.20	0.19	0.14	0.19	0.03	0.15	0.05
PLAYA NORTE	0.37	0.22	0.36	0.28	0.44	0.48	0.28	0.26	0.18	0.07	0.16	0.06
CLUBPLAYA	0.49	0.34	0.73	0.75	0.36	0.50	0.33	0.45	0.15	0.04	0.11	0.04
CASES	0.43	0.24	1.38	0.68	0.19	0.19	0.43	0.54	0.25	0.04	0.13	0.06
PTOREAL	0.65	0.81	0.23	0.14	0.46	0.55	0.28	0.34	0.21	0.08	0.11	0.05
CHAMPOTÓN	0.17	0.04	0.18	0.08	0.06	0.03	0.17	0.13	0.25	0.14	0.10	0.04
Total	0.48	0.36	0.47	0.53	0.26	0.35	0.28	0.32	0.22	0.10	0.13	0.06

Silicatos												
RSPSP	19.46	1.35	37.09	41.44	27.85	2.12	50.94	49.15	43.62	11.34	33.54	6.01
NDUCTO	21.94	4.57	14.58	3.37	19.96	1.57	20.68	9.46	11.23	1.38	18.55	3.33
CPTG ATASTA	18.97	2.58	18.62	21.17	20.87	1.68	23.99	14.51	11.81	1.44	25.47	5.97
PTA DISCIPLINA	37.83	19.38	15.26	6.89	48.15	26.20	59.80	71.63	34.34	2.87	8.78	4.00
BCARMEN	69.37	4.87	12.71	7.60	59.51	26.22	62.09	73.32	28.00	3.22	8.92	2.72
PLAYA NORTE	6.26	1.84	5.05	1.57	16.34	12.66	28.51	44.25	26.99	3.96	11.38	3.24
CLUBPLAYA	5.71	2.86	3.51	2.21	10.38	2.66	14.31	12.05	33.39	3.49	8.87	1.46
CASES	8.58	2.21	6.64	6.99	12.40	2.69	16.75	14.00	41.07	7.02	6.60	1.84
PTOREAL	23.93	17.54	4.93	1.40	14.99	9.46	18.74	11.07	23.81	5.67	22.71	5.11
CHAMPOTÓN	57.63	27.46	35.04	28.25	47.05	31.86	54.88	36.54	43.83	37.29	48.03	18.48
Total	24.05	21.40	15.15	20.34	27.75	22.77	34.77	44.57	29.72	16.82	19.29	14.46

### Temperatura

A nivel espacial no se presentaron diferencias en temperaturas entre los sitios de muestreo. Estacionalmente, la temperatura refleja las condiciones de cada una de las épocas climáticas imperantes en la región ("Secas", "Lluvias" y "Nortes"), sin embargo no se presentan diferencias significativas entre épocas climáticas durante el periodo de este estudio. La temperatura superficial presentó su media estacional más baja en "Nortes" 06 y 07 (24.42 y 25.56°C, respectivamen-

te) como consecuencia de los vientos fríos característicos de esta época que generan temperaturas ambientales bajas y que influyen de forma directa sobre la temperatura del agua en virtud de su poca profundidad (4.27m) (Fuentes-Yaco *et al.*, 2001; Pérez-Castañeda & Defeo, 2003, Aguirre-León *et al.*, 1998).

Las mayores temperaturas (> 30°C) se presentaron en "Lluvias" 05 (31.20°C) y "Secas" 07 (30.03°C) (tabla 3), debido al incremento en la radiación solar así como

la alta transparencia en la columna de agua registrada hacia el final de esta época. La diferencia térmica media entre temporadas fue de 6.85°C, aunque el mayor intervalo a lo largo del estudio fue de 12°C. Por lo anterior se puede considerar a la zona de estudio como no extremosa con respecto a la temperatura. Este patrón es característico de sistemas tropicales (Gutiérrez-Mendieta *et al.*, 2006) ya que es resultado de las estaciones climáticas dominantes en la zona (Álvarez-Guillen *et al.*, 1985), así como por variaciones relacionadas a la geografía particular de cada uno de los sitios de muestreo (Aranda-Cirerol *et al.*, 2006).

### Salinidad

Los sitios de muestreo presentaron diferencias significativas en salinidad (KW=46.35;  $p < 0.05$ ) siendo CPTG ATASTA el sitio que presentó la mayor salinidad media (34.89 ups). Por su parte los sitios NDUCTO, PTOREAL, CLUB, CASES y CHAMPOTÓN presentaron salinidades intermedias, mientras que BCARMEN, RSPSP y PTADISCIPLINA fueron los sitios con menores salinidades (28.5-31.4 ups) (tabla 3). Por sitio de muestreo, durante “Lluvias” 05 se registró la mayor variabilidad espacial ya que las mayores salinidades se registraron en clubplaya (37.05 ups) y las mínimas en BCARMEN y CHAMPOTÓN (19.36, 13.6 ups respectivamente). Esta variabilidad refleja por un lado la característica predominantemente marina de la zona (especialmente en la época de “Secas”) como reflejo de la disminución en los escurrimientos en la época de “Secas” y el incremento en la insolación y evaporación de la columna de agua (Yáñez-Arancibia y Day, 2005; Herrera-Silveira *et al.*, 2002; Aguirre-León *et al.*, 1998). Durante “Lluvias” se hace no-

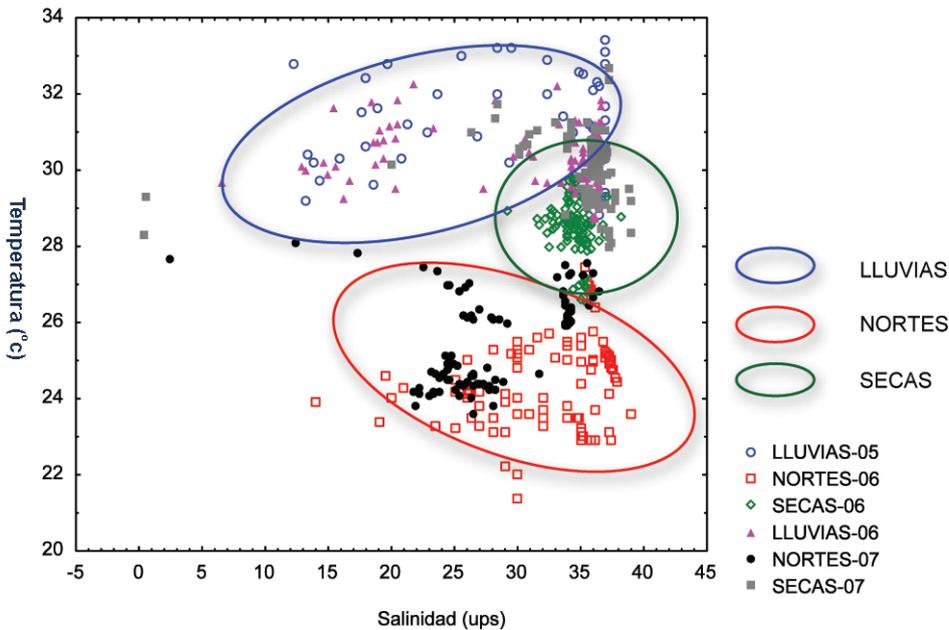
toria la influencia de los aportes dulceacuícolas sobre la hidrología de la zona (Aranda-Cirerol *et al.*, 2006; Signoret *et al.*, 2006). En contraste, durante la época de “Nortes” se promueve la entrada de agua oceánica al interior de estos sitios (boca del Carmen) (Fuentes-Yaco *et al.*, 2001, Pérez-Castañeda y Defeo, 2003) y por lo tanto se mantienen concentraciones intermedias de salinidad similares en ambos muestreos (23-37 ups en “Nortes” 06 y 20.4 - 35 ups en “Nortes” 07). Estos resultados son similares con intervalos reportado previamente de 36.92  $\pm$  0.22 ups (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1986) y 31.0  $\pm$  4.66 ups, (Álvarez-Guillen *et al.*, 1985).

La relación entre la temperatura y la salinidad de la columna de agua confirma la similitud en las condiciones existentes en cada época en diferentes años: “Lluvias” (05 y 06); “Nortes” (06 y 07); y “Secas” (06 y 07) durante el periodo de estudio, el patrón estacional que ha sido documentado con anterioridad por Ramos-Miranda *et al.*, (2005); Yáñez-Arancibia y Day (2005); Herrera-Silveira *et al.*, (2002) para la laguna de Términos.

Es importante resaltar que durante la época de “Secas”, el rango de variación de salinidad y temperatura es restringido, mientras que estas mismas variables presentan fuertes variaciones en salinidad y variaciones menores en temperatura en “Lluvias” y “Nortes”. De ahí que en la figura 2 se obtenga un “agrupamiento” circular para “Secas” y elíptico para “Lluvias” y “Nortes”.

### Oxígeno disuelto

La variación espacial del oxígeno disuelto durante “Nortes” presentó diferencias



**Figura 2.** Relación temporal de la salinidad (ups) y la temperatura durante las épocas muestreadas durante el ciclo 2005-2007.

significativas ( $KW=18.52$ ,  $p<0.05$ ), entre los sitios de muestreo, teniendo PTADISCIPLINA la mayor media de oxígeno disuelto de todo el ciclo ( $5.23 \text{ mg l}^{-1}$ ), mientras que los demás sitios presentaron concentraciones que fluctúan entre los  $3.79\text{-}4.98 \text{ mg l}^{-1}$ , sin presentarse diferencias estadísticas entre ellos. Es importante destacar que en varias ocasiones (tabla 3) se registraron concentraciones cercanas o por debajo de la hipoxia ( $2.0 \text{ mg l}^{-1}$ ). Lo cual también se ve reflejado en el % de saturación de este gas que fluctuó entre el 28.17 y el 131%. Signoret *et al.*, (2006), establece que de manera general las aguas superficiales del Golfo de México se encuentran saturadas o sobresaturadas con este gas ( $>100\%$ ), siendo diferente en las proximidades a las desembocaduras de los ríos (Rabalais *et al.*, 2002), como lo es en este caso en las zonas estudiadas.

Especialmente notoria es la baja concentración de oxígeno en los sitios con influencia directa de aportes de agua dulce como RSPSP, NDUCTO, CPTGATASTA, PTOREAL y CHAMPOTÓN, en donde se presentaron concentraciones cercanas a la hipoxia ( $2 \text{ mg l}^{-1}$ ), condición favorecida principalmente por la entrada y descomposición de grandes cantidades de materia orgánica (Mallin *et al.*, 2006) así como de nutrientes aportadas por los ríos que fueron registradas en este sitio (ver más adelante). La baja concentración de oxígeno registradas se explican también por la presencia de pastos marinos en la zona (CHAMPOTÓN) y los procesos de descomposición (respiración) de la materia orgánica generada por los mismos.

Temporalmente la concentración de oxígeno disuelto fue mayor en “Nortes” 07 ( $7.37 \text{ mg l}^{-1}$ ) similar entre “Lluvias” 06 y “Secas”

07 y menor a  $3.08 \text{ mg l}^{-1}$  en “Lluvias” 05, “nortes” 07 y “Secas 07” (tabla 3). En las temporadas de “secas” y “lluvias”, el oxígeno disuelto se encontró relacionado de forma negativa con los nutrientes (principalmente con las formas nitrogenadas, amonio,  $r=-0.57$ ,  $p<0.05$  y nitratos+nitritos,  $r=-0.2514$ ,  $p=.021$  en “lluvias” y,  $r=-0.23$   $p=.021$  y nitratos+nitritos,  $r=-0.30$ ,  $p=0.003$  en “Secas”). Lo anterior confirma que la incorporación de grandes cantidades de materia orgánica acarreada por los escurrimientos, reduce la concentración de este gas debido a que los procesos de oxidación de esta materia orgánica demandan cantidades significativas del gas (Mallin *et al.*, 2006; Millero, 2005, Tomczak, 2001).

La concentración de oxígeno disuelto en el agua depende de la temperatura, la salinidad y la presión atmosférica entre otros factores (De la Lanza, 1994), en este sentido, las concentraciones más elevadas ( $>7 \text{ mg l}^{-1}$ ;  $>100 \%$  saturación), se registraron en “Nortes” 07 y están relacionadas a las bajas temperaturas características de esa temporada que incrementan la solubilidad del oxígeno así como por la presencia de fuertes vientos que ayudan a la oxigenación de la columna de agua a través del proceso de difusión (Millero, 2005). Por el contrario, García (2004), señala que durante “Secas” se igualan la precipitación y la evaporación lo que se ve reflejado en una baja de la presión atmosférica que hace que la concentración de este gas disminuya en la columna de agua.

## pH

El pH de las diferentes estaciones muestreadas en cada región el pH se mantuvo en valores normales para una zona marina (8.0

- 8.67), únicamente durante “Nortes” 06 se presentaron valores inferiores a 8.0 (7.9) en RSPSP, NDUCTO y CPTG ATASTA. En cuanto a los sitios de muestreo se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $KW_{99}=32.21$ ) entre CASES que presentó el valor medio más alto (8.31), RSPSP y BCARMEN, que presentaron los menores valores promedio (8.13 y 8.14, respectivamente) y valores de pH intermedios en los demás sitios (tabla 3). Resultados similares han sido reportados para la zona por diversos autores ( $8.01 \pm 0.06$ , Ramos-Miranda *et al.*, 2005;  $8.58 \pm 0.30$ , Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1986;  $8.10 \pm 0.52$ , Álvarez-Guillen *et al.*, 1985).

A nivel temporal se encontraron diferencias significativas en el pH ( $KW=335.06$ ,  $p<0.05$ ), la mediana más baja se registró en las dos temporadas de “Nortes” (8.02 durante 2006 y 8.12 en 2007), las cuales no fueron estadísticamente diferentes entre sí. Por su parte en “Secas” 06 se registró el valor máximo ( $8.49 \pm 0.30$ ), temporada en la que también se registró la máxima variación (3.5%). En las épocas de “Lluvias” el valor fue similar ( $8.27 \pm 0.09$  en 2005 y  $8.23 \pm 0.21$  en 2006). Durante las épocas de “Nortes” 06 y 07, y “Secas” 07 se registraron bajas concentraciones de oxígeno en zonas con bajo pH, lo cual puede deberse a que durante “nortes” la turbulencia del agua provocada por los vientos incrementa la cantidad de materia orgánica suspendida y por lo tanto la demanda la concentración biológica de oxígeno disminuye en el medio. Al respecto Day *et al.*, (1989) señalan que existe un equilibrio entre estos dos parámetros (pH y  $O_2$ ) con el  $CO_2$ , es decir, cuando se lleva a cabo la fotosíntesis, el oxígeno y el pH se incrementan mientras que el  $CO_2$  disminu-

ye, y lo contrario (disminución del oxígeno y del pH) se presenta durante la respiración y descomposición de la materia orgánica.

**Sólidos sedimentables**

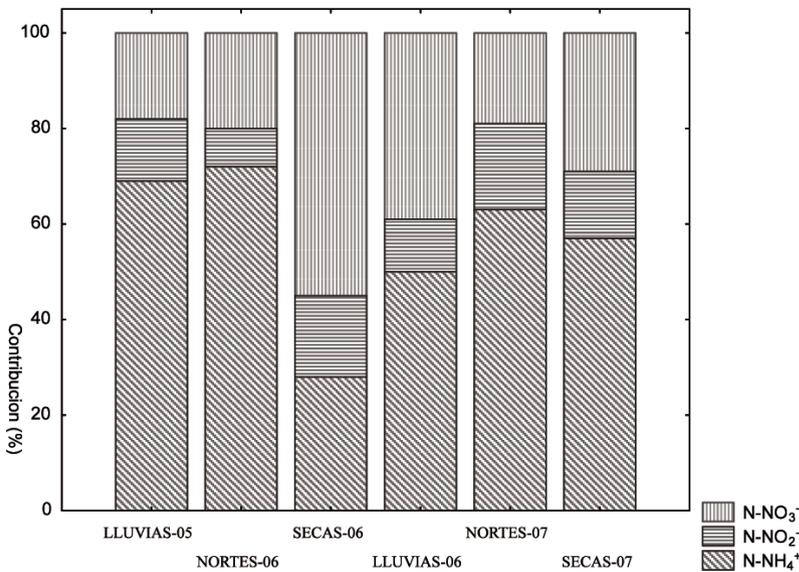
La mayores concentraciones por sitio de muestreo se registraron en PTOREAL (e.g. 0.82 mg l<sup>-1</sup> durante “Nortes” 07) y las menores concentraciones (0.0 mg l<sup>-1</sup>) en CHAMPOTÓN, CLUB PLAYA, CASES y PTOREAL. La mediana de sólidos sedimentables por época de muestreo presenta un intervalo de 0.07 a 0.22 en “Nortes”-07 y “Nortes”-06 respectivamente (tabla 3). Espacialmente, este comportamiento sugiere que la disminución en los escurrimientos y la descarga de parte de los ríos durante las épocas de “Secas” incorpora menores cantidades de materia orgánica e inorgánica suspendida hacia la plataforma adyacente (Noel *et al.*, 1995; Eyre, 1998 y 2000), en comparación con

las épocas de “Lluvias” donde los mayores aportes por parte de los ríos es el factor que controla la concentración de estas partículas (Chamberlain, 1995; Schoellhamer, 1996).

**NUTRIENTES**

**Nitrógeno**

Dentro de las formas nitrogenadas, el amonio aportó entre el 28% (“Secas” 06) y el 72% (“Nortes” 06) del Nitrógeno Total Disuelto (NTD), mientras que los nitratos aportaron entre el 19% (“Nortes” 06) y el 55% (“secas” 06) y los nitritos solo aportaron entre el 8 y el 18% (“Nortes” 06 y “Nortes” 07 respectivamente) (figura 3). En “Lluvias” 05 se presentaron las mayores concentraciones medias de amonio (10.13 µM) a lo largo de las seis épocas muestreadas, especialmente en cinco de los sitio de muestreo (RSPSP, NDUCTO, CPTG ATASTA, BCARMEN y CASES



**Figura 3.** Variación temporal de las formas nitrogenadas.

(tabla 4), siendo significativas ( $F=1.36$ ) las diferencias entre BCARMEN con CHAMPOTÓN y PLAYA NORTE. Es importante mencionar que el amonio fue la principal forma de nitrógeno presente en 5 de las épocas, sin embargo en “Secas” 06 los nitratos se constituyeron como la principal forma nitrogenada al aportar el 55% de NTD (figura 3).

Durante las épocas muestreadas, el amonio presentó diferencias significativas ( $KW=221.78$ ,  $p<0.05$ ) entre las temporadas de “Lluvias” (05 y 06), “Nortes” (06 y 07) y “Secas” (06 y 07), registrándose el valor máximo de la mediana durante la época de “Lluvias” 05 ( $10.13 \pm 10.91 \mu\text{M}$  en 2005), mientras que los más bajos se registraron en “Secas” ( $1.18 \pm 0.86 \mu\text{M}$  en 2006 y  $1.5 \pm 0.83 \mu\text{M}$  en 2007), siendo la variación durante todo el periodo de 150 CV%.

Los nitratos presentaron diferencias significativas ( $KW=33.15$ ,  $p<0.05$ ) entre sitios de muestreo, teniendo CHAMPOTÓN las mayores concentraciones (media  $3.90 \mu\text{M}$ ), mientras que las menores se presentaron en BCARMEN, PLAYANORTE y PTOREAL (media  $0.95\text{-}1.14 \mu\text{M}$ ) y concentraciones intermedias en el resto de los sitios (tabla 4).

Estacionalmente en frente a la laguna de Términos, las concentraciones de nitratos, “Secas” 06 y “Lluvias” 06 fueron diferentes estadísticamente ( $KW=99.30$ ,  $p<0.05$ ) de las demás registrando un valor medio máximo durante la época de “Secas” 06 ( $4.41 \pm 3.72 \mu\text{M}$ ), y el mínimo en ambas temporadas de “Nortes” ( $1.16 \pm 0.02 \mu\text{M}$  en 2006 y  $0.78 \pm 1.01 \mu\text{M}$  en 2007). Es importante destacar que en “Secas” 05, CHAMPOTÓN presentó una concentración media de  $11.40 \mu\text{M}$ , la cuales es superior al resto de los sitios (tabla 4). De la misma manera en “Secas”

06, en NDUCTO, CPTG ATASTA, CLUBPLAYA y CASES se presentaron concentraciones elevadas ( $>6.85 \mu\text{M}$ ) con respecto al resto de los sitios (tabla 4).

Por su parte los nitritos no presentaron diferencias entre sitios de muestreo teniendo un intervalo de  $0.50\text{-}1.12 \mu\text{M}$ . Estacionalmente, la época de “Lluvias” 05 fue diferente estadísticamente ( $1.26 \mu\text{M}$ ;  $KW=109.35$ ,  $p<0.05$ ) de “Secas” 06 y “Lluvias” 06 que presentaron concentraciones intermedias ( $0.72$  y  $0.66 \mu\text{M}$  respectivamente) mientras que “Nortes” (05 y 06) y “Secas” 07, presentaron concentraciones bajas ( $0.35\text{-}0.56 \mu\text{M}$ , tabla 4).

### Fósforo

Los ortofosfatos presentaron diferencias significativas entre sitios de muestreo ( $KW=28.09$ ,  $p>0.05$ ) en donde CASES se diferenció del resto al presentar las mayores concentraciones de este nutriente (media  $0.47 \mu\text{M}$ ); por su parte CHAMPOTÓN y BCARMEN presentan las menores concentraciones (medias de  $0.16$  y  $0.22 \mu\text{M}$ ) y el resto de los sitios de muestreo con concentraciones en el intervalo de  $0.5\text{-}0.32 \mu\text{M}$  (tabla 4).

A nivel estacional también se presentaron diferencias significativas ( $KW=150.64$ ,  $p<0.05$ ) entre épocas en donde en “Secas” 07 se presentaron las menores concentraciones (media  $0.13 \mu\text{M}$ ) y en “Lluvias” 05 y “Secas” 06 las mayores ( $0.47$  y  $0.48 \mu\text{M}$ ). El resto de las épocas presentaron concentraciones en el intervalo de  $0.22\text{-}0.28 \mu\text{M}$ .

### Sílice

En el caso de los silicatos se registraron las mayores concentraciones en CHAMPOTÓN, BCARMEN y PTADISCIPLINA (medias  $>40 \mu\text{M}$ ),

el resto de los sitios de muestreo no presentaron diferencias entre ellos ( $KW=134.8$ ,  $p<0.05$ ) y presentaron concentraciones con un intervalo de 12.7-35.42  $\mu\text{M}$ . Las estaciones con descarga o influencia directa de los sistemas estuarinos registraron los valores medios más altos (tabla 4), mostrando el efecto local que estas descargas tienen sobre las condiciones de cada zona.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

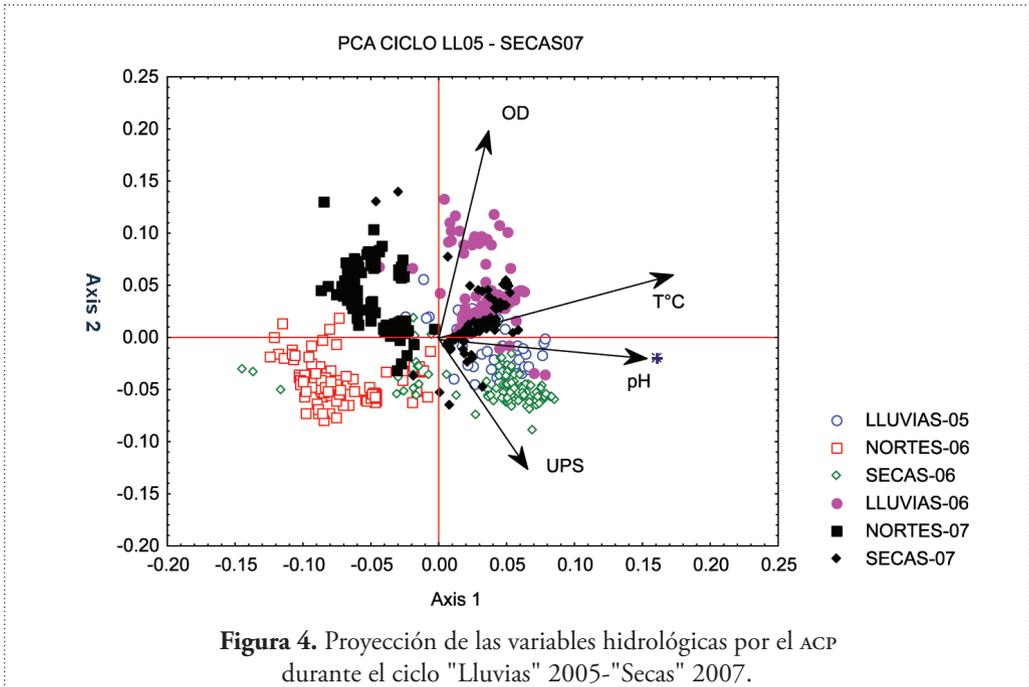
La variabilidad de todos los nutrientes reportada en este estudio (ciclo “Lluvias”-2005 “Secas”-2007), muestra los cambios a nivel espacio-temporal relacionados con la influencia de las descargas provenientes de los ríos y lagunas costeras que descargan agua dulce en la región (río San Pedro y San Pablo, laguna de Términos y río Champotón).

En el Golfo de México está bien establecido el impacto que tienen este tipo de sistemas como responsables de la incorporación de grandes cantidades de materia orgánica (Brauer *et al.*, 1997) y nutrientes hacia la zona costera (Alexander *et al.*, 1995; Olivos-Ortiz *et al.*, 2002). Esas descargas favorecen la disminución de la concentración oxígeno, lo cual se ha demostrado en las zonas de influencia de los ríos Mississippi y Atchafalaya en la parte norte del Golfo (Rabalais *et al.*, 2002; Joyce, 2000). Específicamente en nuestro estudio, los nutrientes (amonio, silicatos y fosfatos, en orden de importancia), incrementan sus concentraciones durante las épocas de “Lluvias” por efecto de las descargas (Aranda-Cicerol *et al.*, 2006; Monreal-Gómez *et al.*, 1992; 2004) y en menor medida en “Nortes” por efecto de la resuspensión de los sedimentos (Paranhos *et al.*, 1998).

Los nutrientes se encontraron correlacionados de manera negativa con la concentración del oxígeno (nitratos mas nitritos vs oxígeno,  $r= -0.22$ ,  $p=0.000$ ; y amonio vs oxígeno  $r= -0.09$ ,  $p=0.031$ ), así como con valores bajos de salinidad, lo que corrobora que la fuente de éstos es continental y el papel que tienen los ríos como factores que caracterizan y controlan la dinámica hidrológica de la zona de estudio (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1986; Turner *et al.*, 2003; Rabalais, 2002). Durante la época de “Secas”, debido a la remineralización de la materia orgánica aportada a la zona costera (Eyre, 2000; Herrera-Silveira y Comín, 1995), se registra la dominancia de las formas nitrogenadas principalmente como amonio (2007) y de nitratos (2006) (Alexander *et al.*, 1995; Kart y Michaels, 2001; Millero, 2005).

## CARACTERIZACIÓN DE AMBIENTES

El análisis de componentes principales ejecutado para todo el ciclo (“Lluvias” 2005 -“Secas” 2007) mostró que los dos primeros componentes explicaron el 69.67% de la varianza total. El primer componente estuvo asociado con la temperatura y el pH, mientras que el segundo con la salinidad y el oxígeno disuelto. Estos dos ejes permitieron una diferenciación estacional entre cada época de muestreo, observándose que las dos temporadas de “Nortes” (06 y 07) se discriminan del resto por efecto de la baja temperatura que caracteriza la época (figura 4). Durante las épocas de “Lluvias” (2005 y 2006) la ordenación se basó en el resultado de los tres primeros componentes los cuales explicaron el 55.82% de la varianza total en 2005 y 60.60% en 2006 (tabla 5). Durante “Lluvias”-06 el ACP identificó



a la salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes (principalmente los nitratos, silicatos y amonio), como las variables que determinaron las características de la zona durante esta época. Lo anterior sugiere que la dinámica está regulada por procesos locales como las entradas dulceacuícolas, principal aporte de nutrientes al área de estudio (relacionados de manera inversa con las concentraciones de OD y salinidad (ups) (figura 5. A y D), principalmente en Champotón, el río San Pedro San Pablo y sitios cercanos a estos.

La ordenación anterior fue corroborada a través del análisis cluster (AC; correlación cofenética, 2005  $cr= 0.88$  y 2006  $cr= 0.83$ ), donde los sitios asociados a descargas dulceacuícolas se agrupan (Grupo 3 en 2005 y 2 en 2006. Figura 5 A y D). El porcentaje de clasificación, según un análisis discriminante (AD), fue del 95% y 83% para cada año respectivamente. Cabe destacar que el

sitio 10 (Champotón) se discrimina en ambos años debido a sus características físico-químicas (alta concentración de nutrientes y bajo oxígeno disuelto) además de su particularidad como hábitat (poca profundidad, amplia cobertura de pastos marinos). El índice de eutroficación mostró diferencias significativas entre zonas ( $ANOVA_{46-2} F= 5.02$   $p<0.05$ ), durante 2005 el índice calculado con nitratos y silicatos revela condiciones mesotróficas en la zona que abarca al sitio 10 (Champotón), mientras que las otras dos fueron oligo-mesotróficas (IT de 3.15 y 3.26; Figuras 6 y 7). En "Lluvias" de 2006 las tres zonas presentan características oligo-mesotróficas.

Una rasgo distintivo de los sistemas tropicales, es que se encuentran sometidos a un régimen hidrológico caracterizado por un evento episódico de "Lluvias" de corta duración durante el verano (Eyre, 1998), en

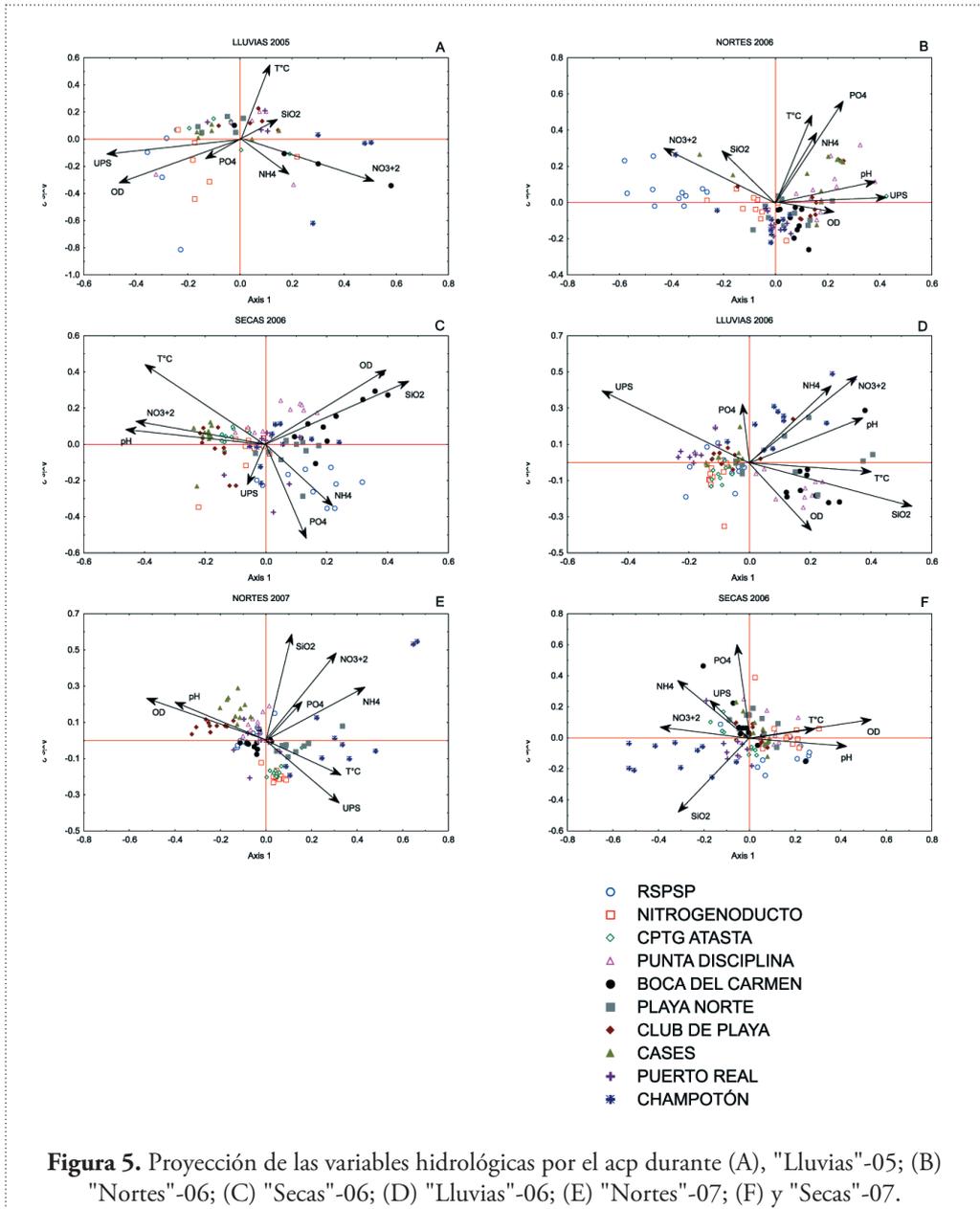
**Tabla 5.** Procesos que controlan las características físico-químicas de la zona de estudio basado en el análisis de ordenación (ACP) y clasificación (Cluster y Discriminante).

Época	Ordenación	% Varianza explicada	Proceso	Zonación
"Lluvias" 2005	PCA 1	22.83	Sal, OD, NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> , T°C, NH <sub>4</sub> y PO <sub>4</sub> Influencia dulceacuícola, fuente de nutrientes	3 zonas (cr= 0.88)
	PCA 2	20.29		Clasificación 95.83%
	PCA 3	12.70		1. Sitio 10 2. Sitios 4-9 3. Sitios 1 y 2
"Nortes" 2006	PCA 1	31.23	Sal, pH, T°C, PO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> y SS Remineralización, resuspensión	3 zonas (cr= 0.51)
	PCA 2	15.96		Clasificación 90%
	PCA 3	14.62		1. Sitio 1 2. Sitios 2-3, 5-6 y 9-10 3. Sitios 4 y 7-8
"Secas" 2006	PCA 1	23.68	pH, SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> , NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> , T°C, PO <sub>4</sub> , Sal y NH <sub>4</sub> Remineralización, resuspensión, Degradación autóctona de MO	3 zonas (cr= 0.64)
	PCA 2	20.32		Clasificación 90%
	PCA 3	16.57		1. Sitios 4-5 y 10 2. Sitios 2-3 y 7-8 3. Sitios 1, 6 y 10
"Lluvias" 2006	PCA 1	25.31	Sal, SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> , pH y PO <sub>4</sub> Influencia dulceacuícola, fuente de nutrientes	2 zonas (cr= 0.83)
	PCA 2	19.64		Clasificación 85%
	PCA 3	15.65		1. Sitio 2-3 y 6-9 2. Sitios 1, 5-6 y 10
"Nortes" 2007	PCA 1	31.78	pH, OD, NH <sub>4</sub> , SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> , NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> , T°C, PO <sub>4</sub> Remineralización, resuspensión	3 zonas (cr= 0.52)
	PCA 2	23.43		Clasificación 93%
	PCA 3	14.78		1. Sitios 5-6 y 9-10 2. Sitios 2-3 Sitios 1, 4, y 7-8
"Secas" 2007	PCA 1	26.96	pH, OD, NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> , PO <sub>4</sub> , SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> , Sal, NH <sub>4</sub> Remineralización, resuspensión, Degradación autóctona de MO	3 zonas (cr= 0.83)
	PCA 2	15.30		Clasificación 99%
	PCA 3	13.77		1. Sitio 10 2. Sitios 3-9 3. Sitios 1-2

este caso la época de "lluvias", que incorpora grandes cantidades de agua dulce hacia la zona costera adyacente. La importancia de la influencia dulceacuícola sobre la zona costera involucra varios aspectos que van desde cambios en los patrones de circulación (Monreal-Gómez *et al.*, 1992; Wiseman y Garvine, 1995), hasta procesos biogeoquímicos (Kauppila *et al.*, 2003; Chen y Gardner, 2004) así como el impacto significativo en la hidrología y la estructura de la salini-

dad, lo anterior se ve reflejado en los resultados registrados durante este estudio durante la época de "Lluvias" (figura 5).

Durante "Nortes" (2006 y 2007), los tres primeros componentes explicaron el 60.57 y el 69.98% de la varianza total respectivamente y el ACP identifica a la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nitratos, ortofosfatos, amonio y sólidos sedimentables como las variables más importantes. Esto sugiere que los procesos de remineralización



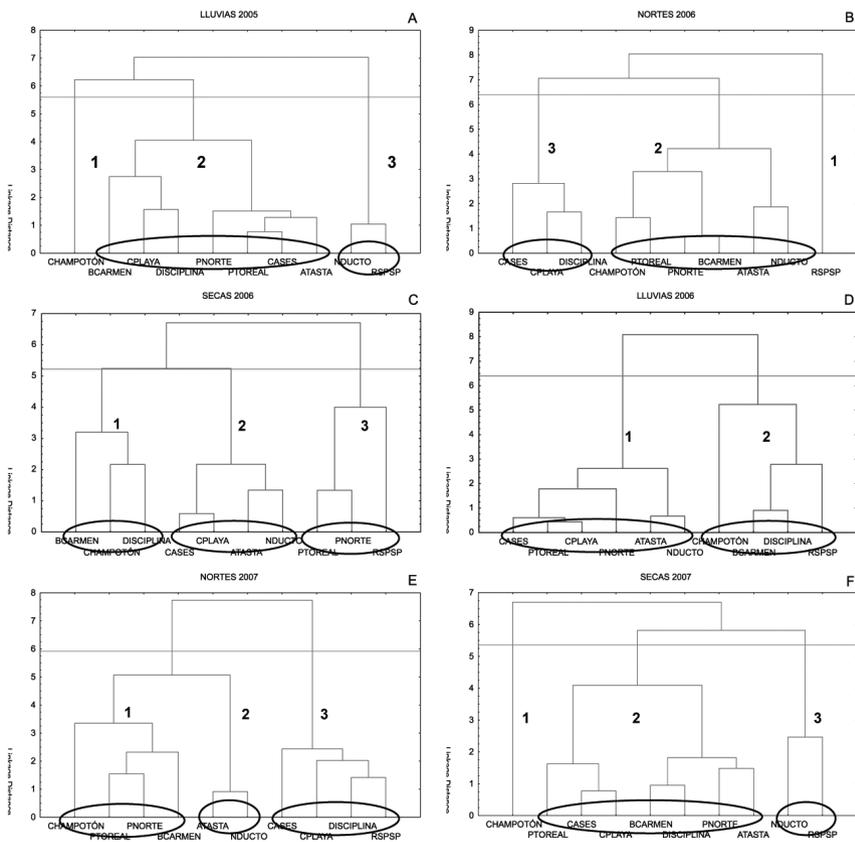
y degradación de la materia orgánica en sedimentos y su subsecuente resuspensión por efecto del viento, los factores que promueven la incorporación del amonio y los ortofosfatos en la columna de agua (Herrera-Silveira & Comín, 1995; Medina-Gómez &

Herrera-Silveira, 2006), adicionalmente los vientos disminuyen la temperatura superficial del agua incrementando la solubilidad del oxígeno promoviendo la sobresaturación del gas (Millero, 2005).

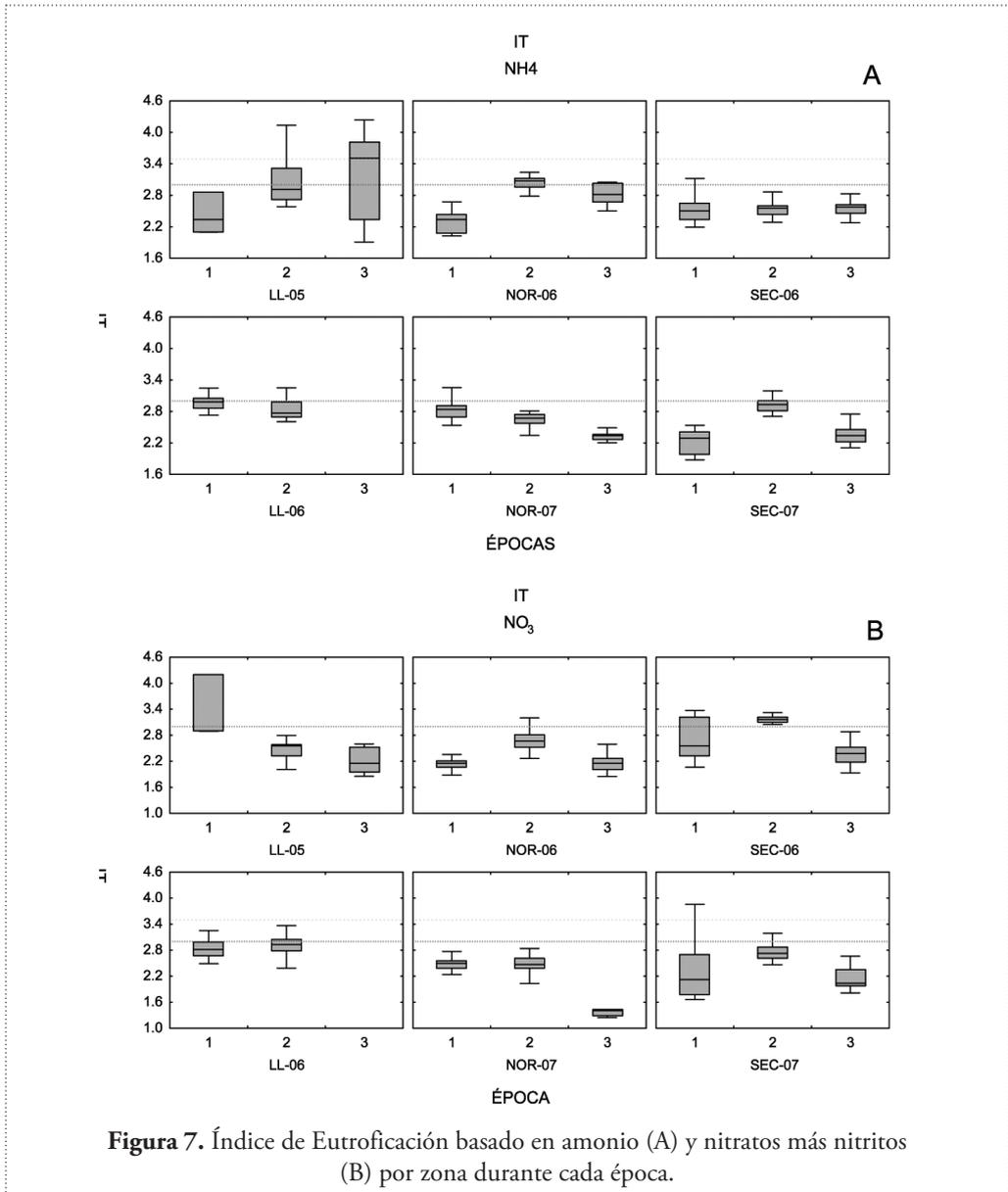
El AC discriminó tres zonas en "Nortes" de ambos años (2006  $cr=0.51$  y 2007  $cr=0.52$ ; figura 5 B y E; tabla 5) con una agrupación similar entre estaciones en cada año, con un porcentaje de clasificación de 93 y 90% respectivamente para 2006 y 2007. Durante esta época ("Nortes"), el IE basado en amonio, mostró condiciones de oligo-mesotrofia durante 2006 y de oligotrofia en 2007. Cabe destacar que en las zonas donde se agrupó el sitio 10 (Champton) el índice fue más elevado (figuras 6 y 7).

Durante la época de "Secas" (2006 y 2007), el ACP muestra a la temperatura, salinidad, pH, silicatos nitratos y amonio como las variables clave durante la época; los tres primeros ejes explicaron el 61 y 56.03 % durante 2006 y 2007 respectivamente. La agrupación discriminó tres zonas en cada época (figura 5) con un porcentaje de clasificación del 90 y 99% respectivamente (tabla 5).

Es importante destacar que en esta época los sitios de los ríos San Pedro y San Pablo y Champotón se distinguen como grupos individuales (figura 5 C y F); el IE basado



**Figura 6.** Zonación basada en el análisis cluster durante (A) "Lluvias 05"; (B) "Nortes" 06; (C) "Secas" 06; (D) "Lluvias" 06; (E) "Nortes" 07 y (F) "Secas" 07.



en nitratos para 2006 (por su dominancia como forma nitrogenada) mostró en las zonas 1 y 3 características oligotróficas y oligomotróficas en la zona 2 en 2006, mientras que en 2007 fue oligotrófica.

Las alta temperatura del aire, que determina de manera importante la temperatura

en la columna agua (Varona-Cordero, 2004; Lloret *et al.*, 2008), la baja precipitación y la menor velocidad del viento promueven una estabilidad medioambiental durante esta época (Eyre, 1998; Tapia-González *et al.*, 2008) favoreciendo una homogeneidad espacial en la salinidad; las altas temperatu-

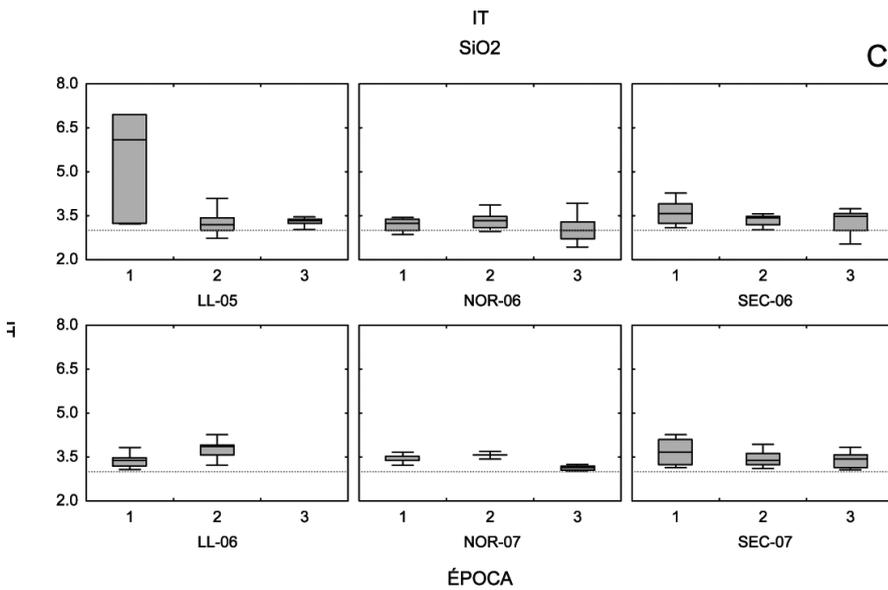


Figura 8. Índice de Eutroficación basado en silicatos (C) por zona durante cada época.

ras estimulan la descomposición de la materia orgánica, la cual se ve reflejada en las elevadas concentraciones de nitratos (2006), amonio (2007) y de ortofosfatos así como en la disminución del oxígeno disuelto (tabla 3). Además de lo anterior los sistemas estuarinos reducen su exportación de nutrientes a la zona debido a la disminución de la escorrentía e incrementan su capacidad retención y transformación de nutrientes (Eyre, 1998) por lo que en esta época se registraron las concentraciones más bajas de nutrientes de todo el periodo de estudio (tabla 4).

Estos resultados presentan similitudes pero también diferencias a lo expuesto por Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil (1986), quienes señalan que la dinámica físico-química así como la distribución de sedimentos, determinan la existencia de dos hábitats o subsistemas ecológicos en la zona denominados zona A y B. La zona A (de RSPSP

hasta CASES) muestra una correspondencia con la provincia terrígena y el aporte de las aguas continentales; esta influencia genera una disminución en la transparencia del agua (7-42%), un alto contenido de materia orgánica (>10%) y su subsecuente subsaturación de oxígeno (<4 ml l<sup>-1</sup>). Por su parte, la zona B (de la boca de Puerto Real hasta Champotón) presenta correspondencia con la provincia carbonatada y se caracteriza por sus aguas claras y alta salinidad (36-37 ups), bajo contenido orgánico (<10%) y mayor contenido de oxígeno (>4 ml l<sup>-1</sup>).

Sin embargo, este tipo de clasificaciones geográficas se basan en un continuo espacial y de condiciones físico-químicas afines que no consideran el impacto local de la influencia dulceacuícola, principalmente como fuente de nutrientes (Herrera-Silveira *et al.*, 2002) y su zona de influencia adyacente. De esta forma se observa que la zonación gene-

rada en este estudio, discrimina de manera individual a los sitios con esta característica como son el RSPSP y CHAMPOTÓN; este último sitio de acuerdo con la clasificación de Yañez-Arancibia y Sánchez-Gil (1986) se ubica geográficamente en la zona B, sin embargo en el presente trabajo en cuatro de las seis épocas estudiadas (“Lluvias” 05, 06,

“Secas” 06 y “Nortes” 07) el sitio fue similar en condiciones (principalmente nutrientes) con los sitios de influencia estuarina como la boca del Carmen en donde existe un flujo neto de la laguna de Términos hacia la plataforma continental que representa una condición ecológica importante (David y Kjerfve, 1998).

## CONCLUSIONES

El análisis de ordenación (ACP) provee una mejor visualización de la complejidad hidrológica y de la calidad del agua en la zona de estudio a través de la definición de variables claves que determinan la dinámica en cada época climática.

La variabilidad espacio-temporal en el sistema fue determinada por las similitudes y diferencias entre los sitios de muestreo a partir de una zonación (AC) que incluyera sitios similares (AC y AD). La formación de dichas zonas es resultado de los procesos de mezcla entre los aportes marinos, la descarga dulceacuática y los cambios en el patrón de circulación que se presentan en la zona de estudio; la cobertura de las mismas está condicionada por la magnitud del evento que promueve su formación. Este comportamiento (incremento y disminución en la cobertura) es una característica básica para estimar el estatus de conservación de este tipo de ecosistemas y puede ser usado como un indicador de su vulnerabilidad; por otro lado, el estado trófico, como una característica sintética de estos ambientes, indica la variabilidad entre sitios de acuerdo al patrón de zonación establecido.

Estacionalmente, los cambios en las condiciones físico-químicas están relacionados con las fuentes de nutrientes, que estimulan la productividad, favorecen la descomposición autóctona de la materia orgánica y la resuspensión de sedimentos, como resultado de las condiciones de temperatura, precipitación y viento que prevalecen en cada época climática.

Por lo anterior:

1. La temperatura del agua y la salinidad, son los parámetros que mejor reflejan la variabilidad ambiental predominante en la zona de estudio: épocas de “lluvias”, “nortes” y “secas”.
2. Durante el ciclo anual (“Lluvias” 2005 y “Secas” 2007) todas las variables físico-químicas presentan cambios significativos entre las diferentes épocas climáticas (“Lluvias” 05 y 06, “Nortes” 06 y 07 y “Secas” 06-07).
3. Las menores temperaturas se presentaron en la temporada de “Nortes” (ambos muestreos), mientras que la más altas se registraron en “Lluvias” en ambos años).

4. La salinidad presentó el valor más bajo durante la época “Nortes” (2006 y 2007) y el más alto durante “Secas” (ambos muestreos).
5. El oxígeno disuelto estuvo relacionado de forma negativa con los nutrientes (principalmente amonio y nitratos+nitritos) así como con la temperatura y la salinidad, de esta forma durante la época con la temperatura más baja (“Nortes” 2006 y 2007) se registraron las concentraciones más altas, mientras que en la época con mayor salinidad (“Secas” 2006 y 2007) las más bajas.
6. Los nutrientes varían temporalmente, presentando los fosfatos un patrón de disminución progresivo a partir de la época de “lluvias”, mientras que el amonio registró sus mayores concentraciones durante “Lluvias” (forma dominante >80%) y las mas bajas en “Secas”.
7. Durante “Secas”, la distribución espacial de los nutrientes reflejan el impacto de los aportes de aguas continentales solo a nivel local y los nitratos más nitritos se presentaron como la forma nitrogenada dominante en “Secas” 2006 y el amonio en “Secas” 2007.
8. Durante la época de Lluvias los nutrientes incrementaron su concentración (amonio, silicatos y fosfatos, en orden de importancia), principalmente en los sitios río San Pedro y San Pablo, boca del Carmen y Champotón.
9. Los nutrientes presentan una variación espacio-temporal relacionada con la presencia de los ambientes estuarinos que descargan en la región (río San Pedro y San Pablo, laguna de Términos y río Champotón), lo que, coloca a estos sistemas entre los principales factores que caracterizan y controlan la dinámica hidrológica de la zona.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre-León, A., S. Díaz-Ruiz, y A. Bernal-Becerra, 1998.** Ecología de peces en sistemas fluvio-Deltaicos: Estudio para el sistema Pom-Atasta. UAM-X. CBS No. 28. 63 p.
- Alexander, B. R., P. S., Murdoch, & R. A. Smith, 1995.** Stream flow-induced variations in nitrate flux in tributaries to the Atlantic Coastal Zone. *Biogeochemistry*, 33(3): 149-177.
- Álvarez-Guillén, H., A. Yáñez-Arancibia, y A. L. Lara Domínguez, 1985.** Ecología de la Boca del Carmen, Laguna de Términos: El hábitat y estructura de las comunidades de peces. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 12: 107-144.
- APHA, ANWA, & WCPF, 1998.** Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA American Public Health Association.
- Aranda-Cirerol, N., J. A. Herrera-Silveira, & F. A. Comín, 2006.** Nutrient water quality in a tropical coastal zone with ground water discharge, northwest Yucatan, Mexico. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 68: 445-454.
- Bessonov, N., O. González, y A. Elizarov, 1968.** Resultados de las investigaciones Cubano-Soviéticas en el Banco de Campeche. p. 375-383. In: UNESCO (Ed.). Coloquio sobre investigaciones y recursos del Mar Caribe y regiones adyacentes. Curacao, Antillas Holandesas. París 1971. 18-26 nov. 1968.

- Bogdanov, D. V., V. A. Solokov, & N. S. Khromov, 1968.** Regions of high biological and commercial productivity in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Oceanology*, 8: 371-381.
- Brauer, P., M. Salem ,P. Harting, K. Quitzsch, H.J. Lenhart, G. Radach, & P. Ruardij, 1997.** The effects of river input on the ecosystem dynamics in the continental coastal zone of the North Sea using ERSEM. *Journal of Sea Research*, 38(3-2): 249-274.
- Chamberlain, R. H., 1995.** Environmental factors influencing suspended solids in the Loxahatchee Estuary, Florida. *Water Resources Bulletin*, 31(1): 21-32.
- Chen, R. F., & G. B. Gardner, 2004.** High-resolution measurement of chromophoric dissolved organic matter in the Mississippi and Atchafalaya River plume regions. *Marine Chemistry*, 89(1-4): 103-125.
- Cruz, A., 1971.** Estudios de plancton en el Banco de Campeche. p. 375-383. In: UNESCO (Ed.). Coloquio sobre investigaciones y recursos del Mar Caribe y regiones adyacentes. Curacao, Antillas Holandesas. París 1971. 18-26 nov. 1968.
- Danielson, A., L. Rahm, D. J. Conley, & J. Carstensen, 2004.** Identification of characteristic region and representative stations: a study of water quality variables in the Kattegat. *Environmental Monitoring and Assessment*, 90: 203-224
- David T., & B. Kjerfve, 1998.** Tides and currents in two-inlet coastal lagoon: Laguna de Terminos, Mexico. *Continental Shelf Research*, 18: 1057-1079.
- Day, W. J., C. A. S Hall, W. M. Kemp, & A. Yáñez-Arancibia, 1989.** Estuarine Ecology. Wiley Interscience Publication. USA. 558 p.
- De la Lanza, G., 1994.** Química de las lagunas costeras y el litoral mexicano. p. 127-198. En: G. De la Lanza y C. Cáceres-Martínez (eds.). Lagunas Costeras y El Litoral Mexicano. UABC, México.
- Eyre, B. D., 1998.** Transport, retention and transformation of material in Australian estuaries. *Estuaries*, 21(4A): 540-551.
- Eyre, B. D., 2000.** Regional evaluation of nutrients transformation and phytoplankton growth in nine river-dominated sub-tropical east Australian estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 205: 61-83.
- Fuentes-Yaco, C., D. A., Salas de León, M. A., Monreal-Gómez, & F. Vera-Herrera, 2001.** Environmental forcing in a tropical estuarine ecosystem: the Palizada River in the southern Gulf of Mexico. *Marine & Freshwater Research*, 52(5) 735-74.
- García, E., 2004.** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la Republica Mexicana). Serie Libros No. 6. Instituto de Geografía, UNAM. 90 p.
- Gauch H. G. Jr., 1982.** Multivariate analysis in community ecology. Cambridge University Press. USA. 298.
- Gutiérrez-Mendieta, J. F., Varona-Cordero, y F. Contreras-Espinosa, 2006.** Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 16(2). 137-146.
- Herrera-Silveira, J.A., I. Medina-Gómez, & R. Colli, 2002.** Trophic status based on nutrient concentration scales and primary producers community of tropical coastal lagoon influenced by ground water discharges. *Hydrobiologia*, 475/476: 91-98.
- Herrera-Silveira, J., A. Silva, A. G. J. Villalobos, I. Medina, J. Espinal, A. Zaldívar, J. Trejo, M., González. A. Cu, y J. Ramírez, 2002.** Análisis de la calidad ambiental usando indicado hidrobiológicos y modelo hidrodinámico actualizado de Laguna de Términos, Campeche. Informe Técnico. CINVESTAV-Mérida, EPOMEX-Campeche, UNAM-México. 187 pp.

- Herrera-Silveira, J. A., & F. A. Comín, 1995.** Nutrient fluxes in a tropical coastal lagoon. *Ophelia*, 42: 127-146.
- James, F. C., & C. E. McCulloch, 1990.** Multivariate analysis in ecology and systematics. Panacea or Pandora's Box. *Annual Review Ecology Systematics*, 21: 129-166.
- Jørgensen, S.E., 1999.** State of the art of ecological modeling with emphasis on development of structural dynamics models. *Ecological Modelling*, 120: 75-96.
- Joyce, S., 2000.** The dead zones: Oxygen-starved coastal waters. *Environmental Health Perspectives*, 18(3): A121-A125
- Kart, D. M., & A. F. Michaels, 2001.** Nitrogen Cycle. Encyclopedia of Ocean Sciences, 1876- 1884 p.
- Karydis, M., L. Ignatiades, & N. Moschopoulos, 1983.** An index associated with nutrient eutrophication in the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16: 339-344
- Kaupilla, P., J. J. Meeuwig, & H. Pitkanen, 2003.** Predicting oxygen in small estuaries of the Baltic Sea: a comparative approach. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57: 115-1126.
- Krebs, C. J., 1999.** Ecological methodology. 2nd Ed. Benjamin Cummings, Menlo Park, California. 620 p.
- Krylov, V.V., 1974.** Distribución del fitoplancton y de las biocenosis planctónicas en el Banco de Campeche. *Cuba Res. Inv.*, 1: 75-79.
- Legendre, L., & P. Legendre, 1984.** Numerical ecology. Developments in environmental modelling. 3. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Licea, S., y H. Santoyo. 1992.** Algunas características del fitoplancton de la región central de la Bahía de Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 78 (2): 157-167.
- Lloret, J., A. Marín, & L. Marín-Guirao, 2008.** Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change? *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 78 (2): 403-412.
- Mallin, M. A., V. L. Johnson, S. H. Ensign, & T. A., MacPherson, 2006.** Factors contributing to hypoxia in rivers, lakes and streams. *Limnology and Oceanography*, 51(1, part 2): 690-701.
- McGarigal, K., Cushman, S., & S. Stafford, 2000.** Multivariate statistics for wildlife and Ecology Research. Springer-Verlag, New York, Inc. 283 p.
- Medina-Gómez, I., & J. A. Herrera-Silveira, 2003.** Spatial characterization of water quality in a karstic coastal lagoon without anthropogenic disturbance: a multivariate approach. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 58: 455-465.
- Medina-Gómez, I., & J. A. Herrera-Silveira, 2006.** Primary production dynamics in a pristine groundwater influenced coastal lagoon of the Yucatan Peninsula. *Continental Shelf Research*, 26: 971-986.
- Millero, F. J., 2005.** Chemical Oceanography. 3ª. Ed. 469 p.
- Monreal-Gómez, M. A., D. A. Salas de León, y A. G. Gracia, 2004.** Golfo de México: circulación y productividad. *Ciencias*, 76: 24-33.
- Monreal-Gómez, M. A., D. A. Salas de León, A. M. Padilla-Pilotze, y M. A. Alatorre-Mendieta, 1992.** Hidrografía y estimación de corrientes de densidad en el sur de la Bahía de Campeche, México. *Ciencias Marinas*, 18(4): 115-133.
- Noel, J. M, Chamberlain, R.H., y A. D. Steinman, 1995.** Environmental factors influencing suspended solids in the Loxahatchee Estuary, Florida. *Water Resources Bulletin*, 31(1): 21-32.

- Olivos-Ortíz, A., M. Masó-Agustina, y J. Camp-Sancho, 2002.** Aportes continentales de nutrientes y su posible influencia sobre las relaciones estequiométricas (DIN:P:Si) en las aguas del noreste del Mediterráneo español (Mar Catalán). *Ciencias Marinas*, 28(2): 393-406.
- Paranhos, R., Pereira, A.P., & L. M. Mayr, 1998.** Diel variability of water quality in a tropical polluted bay. *Environmental Monitoring and Assessment*, 50: 131-141.
- Pérez-Castañeda, R., & O. Defeo, 2003.** Influence of estuarine zonation on exploited shrimp populations in a Mexican biosphere reserve: a feature for management and conservation. *Journal of the Marine Biological Association*, 83: 781-784.
- Rabalais, N. N., 2002.** Nitrogen in aquatic ecosystems. *AMBIO*: 31(2): 102-112.
- Rabalais, N.N., Turner, R.E., & W. J. Jr. Wiseman, 2002.** Gulf of Mexico hypoxia. A.K.A. The dead zone. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33: 235-263.
- Ramos-Miranda, J., L., Quiniou, D. Flores-Hernandez, T. Do-Chi, L. Ayala-Perez, & A. Sosa-Lopez, 2005.** Spatial and temporal changes in nekton of the Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. *Journal of Fish Biology*, 66: 513-530.
- Salgado-Ugarte, I. H., 1992.** Introducción al análisis exploratorio de datos biológicos. Fundamentos y aplicaciones. Marc Ediciones. UNAM. México. 243 p.
- Schoellhamer, D. H., 1996.** Factors affecting suspended-solids concentrations in South San Francisco Bay, California. *Journal of Geophysical Research*, 101: 12087-12095.
- Signoret, M., M. A. Monreal-Gomez, J. Aldeco, & D. A. Salas-de-León, 2006.** Hydrography, oxygen saturation, suspended particulate matter, and chlorophyll-a fluorescence in an oceanic region under freshwater influence. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 69: 153-164.
- SKALAR, 1994.** The SANplus Segmented flow analyzer seawater analysis. Skalar Analytical B.V. Holland, 50 p.
- Souissi S., O. D. Yahia-Kéfi, & M. N. D. Yahia, 2000.** Spatial characterization of nutrient dynamics in the Bay of Tunis (south-western Mediterranean) using multivariate analyses: consequences for phyto and zooplankton distribution. *Journal of Plankton Research*, 22(1): 2039-2059.
- Suzuki, M., M. Sagehashi, & A. Sakoda, 2000.** Modelling the structural dynamics of a shallow and eutrophic water ecosystem based on mesocosm observations. *Ecological Modelling*, 128: 221-243.
- Tabachnick, B. G., & L. S. Fidell, 1989.** Using multivariate statistics. Harper and Row. New York. 746 p.
- Tapia-González, F. U., J. A. Herrera-Silveira & M. L. Aguirre-Macedo, 2008.** Water variability and eutrophic trends in karstic tropical coastal lagoon of the Yucatan Peninsula. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 76: 418-430.
- Tomczak, M., 2001.** Upper ocean mean horizontal structure. *Encyclopedia of Ocean Sciences*. 3083-3093 p.
- Turner, R. E., N. N., D. Rabalais, D. Justic, & Q. Dortch, 2003.** Global patterns of dissolved N, P and Si in large rivers. *Biogeochemistry*, 64: 297- 317.
- Varona-Cordero, F., 2004.** Estudio comparativo de los cambios en la composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de dos lagunas costeras y su relación con las variaciones de los parámetros físico-químicos. Tesis de Maestría. UAM-I. 127 p.
- Villalobos-Figueroa, y M. E. Zamora-Sánchez, 1974.** Importancia biológica de la Bahía de Campeche. p. 375-394. En: R. Pérez Rodríguez (Ed.). Mem. 1er Simp. Lat. Ocean. Biól. México D.F., 25-29 nov. 1974,

- Wiseman, W. J., & R. W. Garvine, 1995.** Plumes and Coastal Currents near large river mouths. *Estuaries*, 18(3): 509-517.
- Yáñez-Arancibia, A., & J.W. Day, 2005.** Ecosystem Functioning: The Basis For Sustainable Management of Términos Lagoon, Campeche, Mexico. Jalapa, Veracruz, Mexico: Institute of Ecology A. C.
- Yáñez-Arancibia, A., y P. Sánchez-Gil, 1986.** Los peces demersales de la plataforma continental del sur del Golfo de México. Vol. 1. Caracterización del ecosistema y ecología de las especies, poblaciones y comunidades. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, Publ. Esp. 9. 229 p.
- YSI, 2006.** Manual de instrucciones para el sistema multisonda YSI 556-MPS. 169 p.
- Zar, J. H., 1997.** Biostatistical Analysis. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N. Jersey. 718 p.
- Zernova, V.V., 1969.** The horizontal distribution of phytoplankton in the Gulf of México. *Oceanology*, 9(4): 565-574.