

Informe final* del Proyecto S004
Biodiversidad fitoplanctónica de cenotes: Patrones espaciales y temporales

Responsable: Dr. Jorge Alfredo Herrera Silveira
Institución: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida
Departamento de Recursos del Mar
Dirección: Carretera Antigua a Progreso Km 6, Cordemex, Mérida, Yuc, 97310 ,
México
Correo electrónico: jherrera@mda.cinvestav.mx
Teléfono/Fax: Tel: (999) 1242162 Fax: (999) 9812334
Fecha de inicio: Agosto 13, 1999
Fecha de término: Agosto 17, 2001
Principales resultados: Base de datos, Informe final
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Herrera Silveira, J. A., Comin Sebastian, F., Hamilton, P., Zandoval Jiménez, A. Medina Gómez, I., Alvarez Gongora, C., Merino, F., Díaz Arce, V., Aranda Cirecol, N. y J. Trejo Peña. 2002. Biodiversidad fitoplanctónica de cenotes: Patrones espaciales y temporales. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. S004.** México, D.F.

Resumen:

Las características geológicas de la porción norte de la Península de Yucatán son en gran parte responsables de la ausencia de corrientes superficiales de agua, y de la extensa red subterránea de corrientes de agua. A su vez, estos factores y la característica predominantemente carbonatada del suelo favorece la formación de los cuerpos de agua dulce más característicos de esta zona Maya, los cenotes. Estos ecosistemas han tenido -y aún conservan- importancia cultural, por los diversos usos que se hacen de ellos como la recreación, fuente de agua para uso doméstico, agropecuario y como depósito de desechos. A pesar de ello, la información sobre su localización y biodiversidad es escasa, lo que dificulta la toma de decisiones sobre las alternativas de uso de estos sistemas. Existen diversos tipos de cenotes, destacando aquellos que presentan una abertura superficial amplia -cenotes abiertos- lo que favorece el desarrollo de organismos en la columna de agua. Entre los componentes biológicos estructurales de la columna de agua, resalta la comunidad del fitoplancton por su rápida respuesta a variaciones de las características ambientales, siendo este uno de los indicadores para evaluar la calidad ambiental. Por ello, la presente propuesta tiene como objetivos determinar la composición de especies dominantes del fitoplancton de cenotes abiertos en cuatro regiones hidrológicas importantes. Para cumplir con este objetivo, se realizarán tres muestreos extensivos -uno en cada época del año- en 20 cenotes previamente seleccionados que cubran un amplio gradiente de espacio (interiores-costeros, superficiales-profundos, de pareces verticales-inclinadas), y usos (turismo local-foráneo, extracción de agua para ganadería-agricultura, vertido de desechos líquidos-sólidos). Se tomarán muestras en diferentes niveles de profundidad de acuerdo a los gradientes de luz, temperatura y oxígeno. Se tomarán en cada nivel muestras para el análisis de la comunidad del fitoplancton y variables físico-químicas. El análisis del fitoplancton se realizará utilizando microscopía de luz y contraste de fases, contando con la asesoría de expertos externos en taxonomía en los casos que ello lo amerite. Con la información recolectada y analizada se podrá contar con una base de datos de al menos 200 especies y 750 registros del fitoplancton de los cenotes y sus variaciones espacio temporales, la tipificación de los cenotes de acuerdo a sus características hidrológicas, y un análisis de su biodiversidad permitirá jerarquizar los impactos en los cenotes , y priorizar las medidas de manejo.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA
BIODIVERSIDAD (CCONABIO)

BIODIVERSIDAD FITOPLACTÓNICA DE CENOTES PATRONES
ESPACIALES Y TEMPORALES

PROYECTO S004

INFORME FINAL
MARZO 2001

Responsable del Proyecto
Dr. Jorge A. Herrera Silveira

Participantes en el Muestreo, identificación elaboración de la base de datos y
redacción de este informe

Dr. Francisco Comin Sebastian
Dr. Paun Hamilton
Biól. Arturo Zandoval Jiménez
M. C. Israel Medina gómez
Biól. Cynthia Alvarez Gongora
Biól. Fanny Merino
Biól. Verónica Díaz Arce
M. C. Nancy Aranda Cirecol
QFV Jorge Trejo Peña

I. INTRODUCCION

La Península de Yucatán es un macizo calcáreo afectado por clima tropical; la naturaleza cárstica del terreno determina la ausencia de flujos de agua superficial y promueve que la lluvia penetre rápidamente en el subsuelo. Las condiciones geomorfológicas de la plataforma calcárea han favorecido la formación de rasgos fisiográficos característicos, destacando entre ellos los cenotes, tanto por su número como por su intrincada conexión de naturaleza aún desconocida. Estos sistemas poseen una gran importancia sociocultural y económica para los pobladores de la zona y asimismo, representan el sistema acuático más conspicuo de la Península de Yucatán.

En la actualidad los cenotes son empleados con fines diversos: extracción de agua para usos doméstico, agrícola y ganadero; como atractivo turístico derivado de su belleza escénica, así como depósito de gran diversidad de naturaleza. Sin embargo, las perspectivas de uso de estos sistemas al igual que los planes de desarrollo rural proyectados no contemplan la información sobre la biodiversidad y ecología de tales sitios, por lo que existe un riesgo elevado de pérdida de especies, recursos y deterioro de todo el ecosistema.

La información sobre las especies filopláncticas que conforman el primer nivel trófico de la columna de agua es escasa en la región; actualmente se incrementa la necesidad de contar con datos para normar la toma de decisiones efectivas concernientes a la conservación y manejo adecuado de estos cuerpos de agua.

La importancia ecológica de los cenotes está fincada en las especies endémicas que poseen, en representar vías potenciales de ingreso de contaminantes hacia el mantó freático, así como por brindar protección y abastecimiento de agua a un numerosos organismos.

Al manifestarse como un recurso novedoso con franco potencial económico, los cenotes deben considerarse en riesgo, dado el incremento de actividades de origen antropogénico ya en su interior, ya en sus inmediaciones. En este sentido, se hace patente la posibilidad del incremento en la descarga de nutrientes, transformación física de la cuenca y aumento en la contaminación orgánica.

De acuerdo a lo anterior, se realizó el presente estudio con el objetivo de contribuir al conocimiento científico básico a partir de la evaluación de la biodiversidad filopláncica e importancia relativa de estos grupos; así como también, proporcionar datos biológicos que complementados con la evaluación de características ambientales en la columna de agua de tales sistemas aporten información sobre la presencia, abundancia y distribución de las especies de filoplancton.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos estacionales correspondientes a las épocas climatológicas definidas para la Península de Yucatán, nortes, secas y Lluvias. Se colectaron muestras in situ de agua y filoplancton en 30 cenotes distribuidos en los estados de Yucatán y Quintana Roo. Se registraron datos morfométricos (nivel, diámetro, superficie, profundidad, entre otros), así como también se anexó información de usos y grado de perturbación para cada cenote.

Para el análisis de la riqueza de especies se colectaron muestras directas de tres profundidades (aproximadamente 1L) con una botella tipo Van Dorn y se fijaron con una solución de lugol neutralizada con acetato de sodio, almacenándose para su análisis posterior en frascos de vidrio ámbar.

La identificación de filoplancton se llevó a cabo a partir del análisis de los patrones morfométricos y estructurales, utilizando bibliografía especializada de la región tropical y para cada grupo. En el trabajo taxonómico se contó con la colaboración y asesoría del Dr. Francisco Comin Sebastian de la Universidad de Barcelona (España) y el Dr. Paul Hamillan del Canadian Museum of Nature de Ottawa (Canadá). Ambos investigadores participaron en los muestreos y se trasladaron consignando alicuotas a sus respectivos laboratorios, a fin de ser analizadas con equipo especializado (microscopio de epifluorescencia y microscopio electrónico de barrido).

Como información ecológica anexa se efectuaron mediciones de la profundidad, temperatura, conductividad, concentración de oxígeno disuelto empleando un equipo YSI 85 multiparametro.

La colecta, procesamiento y análisis de ésta información se llevó a cabo con Fondos del laboratorio de producción primaria del CINVESTAV. III. RESULTADOS.

Tabla 1.- Lista de cenotes muestreados. Cenotes del primer grupo. Estado de Yucatán: Anillo de cenotes R-102

Cenote	Latitud:	Longitud:
1. Chun Chaká	20°52'18.3" N	90°08'15.3" W
2. Chen Coco	20°52'52.8" N	90°11'38.7" W
3. Xpakil	20°51'02.4" N	90°12'14.1" W
4. Subinté	20°44'24.7" N	89°12'55.0" W
5. Oxolón	20°40'41.1" N	89°14'29.2" W
6. Tuch Ha	21°03'58.5" N	88°04'24.0" W
7. Cenote Chelem	21°02'03.0" N	88°49'33.1" W
8. Sanlo Domingo	21°13'33.3" N	88°14'19.3" W
9. Noah Usil	20°45'45.6" N	89°13'04.2" W
10. Yalahau	20°39'26.8" N	89°13'11.7" W
11. Kanáh	20°40'58.8" N	89°09'25.8" W

Tabla 2.- Lista de cenotes muestreados. Estado de Quintana Roo: Conloy R-103

Cenote	Latitud:	Longitud:
12. Avante	21°06'11.1" N	86°56'00.0" W
13. Leona	20°D59'37.2" N	87°12'15,6" W
14. Chum Sham	21°024'35.0" N	87°18'00.0" W
15. Ruinas	21°16'41.4" N	87°17'23.8" W

Tabla 3.- Lista de cenotes muestreados. Cenotes del segundo grupo. Estado de Quintana Roo: Corredor Cancun-Tulum R-105 y Tulum-Cobs R-107

Cenote	Latitud:	Longitud:
1. Chemuyil	20°20'37.2" N	87°21 '39.0" W
2. Aventura	20°18'51.9" N	87°21 "33.3" W
3. Paraiso	20°18 "51.3" N	87°21 '38.1" W
4. Los 3 Hermanos	20°16'15.3" N	87°11'28'59.5" W
5. Vaca-ha	20°16'14.7" N	87°28'49.9" W
6. Tortuga	21°16'39.1" N	87°28'31.5" W
7. Lortuguita	21°16'28.9" N	87°28'39.9" W
8. Grand Cenote	21°14'47.4" N	87°27'49.2" W
9. El Calavera	20°13'43.9" N	87°11'27'21.6" W
10. Cabanas Tulum	20°10'19.9" N	87°27'30.9" W
11. Ballena	20°10'12.6" N	87°27'28.5" W
12. San Eric	20°07'52.2" N	87°27'59.4" W
13. Lirios	20°10'17.t" N	87°27'30.0" W
14. Punta Soliman	20°11'17'16.2" N	87°22'29.8" W
15. Cristal	20°11'2'03.9" N	87°30'03.4" W

Tabla 4.- Lista de especies de filoplancton identificadas en 30 cenotes de Yucatán y Quintana Roo durante las 3 pocas que conforman la climatología de la Península de Yucatán.

IV. DESCRIPCION DE LOS 30 CENOTES (Fig.1).

2) CENOTE CHELEM

El cenote Chelem se encuentra localizado aproximadamente a 10 km del puerto de Dzilam de Bravo, estado de Yucatán. Se encuentra ubicado geográficamente *en el paralelo 21'24'3" latitud norte y meridiano 88'49'33.1" longitud oeste*. Este cuerpo de agua posee 10 m de diámetro y 5 m de profundidad. El espejo de agua a flor de tierra. El color del agua es transparente y la vegetación que lo rodea es propia de la costa.

3) CENOTE XPAKIL

El cenote Xpakil se encuentra localizado en las cercanías del poblado de Celestun, Yucatán. Su posición geográfica es *20°51'2.4" latitud norte y 90°12'14.1" longitud oeste*. Este cenote se utiliza en la extracción de agua para el puerto de Celestún. Presenta una forma circular con un diámetro de 15 m. El espejo de agua se encuentra a ras de la tierra y posee una profundidad mayor a 30m. El color del agua es verde-azul y su vegetación ha sido extraída permaneciendo aún algunas palmas y árboles; así como también se ha construido una plataforma donde se colocaron bombas de extracción y un camino de concreto que rodea por completo el sistema.

4) CENOTE CHEN COCO

El cenote Chen Coco está localizado al occidente del estado de Yucatán. Se encuentra ubicado geográficamente en el paralelo *20°52'52.8" latitud norte y el meridiano 90°11'38.7" longitud oeste*. Se encuentra aproximadamente a 500 m de la carretera. Presenta una forma circular, con un diámetro de 7 m. El espejo de agua se encuentra a nivel del suelo y está cubierto en un 50 % por *Nymphae*. El color del agua es verde-azuloso y la vegetación aledaña está compuesta por representantes de la selva baja caducifolia, así como por la palma Sabel yapa.

5) CENOTE CHUN CHAKA

El cenote Chun Chaka se encuentra localizado a 65 km del poblado de Kinchil, en el Estado de Yucatán. Se encuentra ubicado geográficamente en el paralelo *20°52'18.3" latitud norte y el meridiano 90°08'15.3" longitud oeste*. Aunque se encuentra dentro de un rancho, las perturbaciones no son aparentes. Se encuentra aproximadamente a 100 m de la carretera. Presenta una forma circular con un diámetro de 100 m. El espejo de agua se encuentra a flor de tierra; tiene una profundidad máxima de 10 m. El color del agua es café y la vegetación aledaña es

la navajuela. La fauna que habita el cenote son lagarlos.

6) CENOTE TUCH HA

El cenote Tuch Ha se encuentra localizado a 10 km del puerto de Rio Lagarlos en el Estado de Yucatán. Se encuentra posicionado geográficamente en el paralelo $21^{\circ}33'58.5''$ latitud norte y el meridiano $88^{\circ}04'24''$ longitud oeste. Este cenote ha sido implementado para el ecoturismo, ya que se encuentra dentro de la Reserva de Ría Lagarlos aproximadamente a 1 km de la carretera rumbo a Coloradas. Presenta una forma circular con un diámetro aproximado de 25 m. El espejo de agua se encuentra a flor de tierra. Tiene una profundidad máxima de 10m. El color del agua es verde-azuloso y la vegetación aledaña es típica de una selva baja pero con una perennifoliedad manifiesta, así como también cuenta con representantes característicos del bosque de manglar. Se reportan lagarlos y peces como fauna de este cenote.

8) CENOTE OXOLON

Oxolón es un cenote tipo abierto que conserva parte de su bóveda. Está localizado a 12 km del poblado Homian, Estado de Yucatán en el paralelo $20^{\circ}40'41.1''$ latitud norte y meridiano $89^{\circ}14'29.2''$ longitud oeste. Las perturbaciones son escasas, ya que solo se extrae agua de manera artesanal de una noria construida en una de las orillas del cenote. Se encuentra aproximadamente a 50 m del camino blanco que se dirige hacia la laguna de Yalahau. Presenta una forma circular con un diámetro de 20 m. El espejo de agua se encuentra a 13 m de la superficie. El color del agua es café y la vegetación selva baja caducifolia.

9) CENOTE SUBINTE

Cuerpo de agua localizado a 15 minutos del municipio de Hocaba, Yucatán. Su ubicación geográfica corresponde a $20^{\circ} 44' 24.7''$ N y $89^{\circ} 12' 55''$ O. Se encuentra aproximadamente a 75 m de la carretera. Presenta una forma oval con 12 m de largo por 5 m de ancho. El espejo de agua se encuentra 10 m de la superficie y conserva parte de su bóveda. El color del agua es azul profundo; la vegetación aledaña es rica en epifitas, especialmente bromelias, así como árboles ficus y helechos, característicos de ambientes terrestres húmedos. Se observan algunos peces.

10) CENOTE SANLO DOMINGO

El cenote de Santo domingo se encuentra localizado a 8 Km del poblado de San Felipe en el

Estado de Yucatán. Se encuentra posicionado geográficamente en el paralelo $21^{\circ} 31' 33.3''$ latitud norte y el meridiano $88^{\circ} 14' 19.3''$ longitud oeste. Este cenote se encuentra en condiciones de evidente deterioro, ya que se encuentra dentro de un corral y el terreno que lo rodea tiene una pendiente que provoca que el excremento proveniente de los corrales vierta al cuerpo de agua, el cual se encuentra a flor de tierra. Se ubica a 100 m de la carretera. Presenta una forma circular con un diámetro de 7 m, el color del agua es café y no presenta *vegetación aledaña en menos de 15 m, está habitado por lagarlos.*

11) CENOTE NOOH USIL

El cenote Nooh Usil se encuentra localizado a 1.5 Km del poblado de Hocaba en el Estado de Yucatán. Se encuentra posicionado geográficamente en el paralelo $20^{\circ} 45' 45.6''$ latitud norte y el meridiano $89^{\circ} 13' 04.2''$ longitud oeste. Tiene forma ovoide con aproximadamente 30 m de diámetro y conserva el 20 % de su bóveda. El espejo de agua se localiza a 16 m de la superficie, el color de esta es verde militar opaco, un 30 % de la superficie del agua está cubierta por vegetación

acuática del genera Nymphae. La vegetación aledaña es selva baja caducifolia de entre los que sobresalen representantes del genera sabal, así como muchas epifitas. Este cenote no es muy frecuentado debido a su inaccesibilidad y a que los pobladores de Hocaba tienen la creencia de que el agua sale y traga a las personas.

12) CENOTE YALAHAU

En el paralelo $29^{\circ} 39' 26.8''$ latitud norte y el meridiano $89^{\circ} 13' 11.7''$ longitud oeste. Se encuentra localizada Yalahau a 13 km de Cuzamá, Yucatán, el poblado más cercano. Es un cenote somero, circular con mas de 100 m de diámetro. Algunas de [as particularidades de este ecosistema son que el agua presents una coloración café militar opaco; en el fondo se puede observar vegetación sumergida; hay presencia de peces y tortugas. Esta rodeado par selva baja caducifolia y en sus márgenes se observan cyperaceas. Debido a su atractivo escénico, este sistema presenta pequeñas modificaciones en su cuenca como son un muelle rústico de piedra y una casa de mamposteria. Los pobladores lo utilizan de manera recreacional, especialmente para pescar, y coma abrevadero para el ganado.

13) CENOTE KANAH

El cenote Kanah se encuentra localizado aproximadamente a 5 km del poblado de Hubi, Estado de Yucatán. Se encuentra posicionado geográficamente en el paralelo 21° 40' 58.8" latitud norte y el meridiano 89° 09' 25.8" longitud oeste. Este cuerpo de agua es de aproximadamente 50 m de diámetro; el espejo de agua se encuentra a 12 m de la superficie. El agua presenta una coloración café verdusco opaco. La vegetación que lo rodea es del tipo de selva baja caducifolia, con cyperaceas adjuntas a los márgenes del cenote. Como fauna acuática se observan algunos peces y como fauna terrestre se observan diversas especies de aves. Este sistema no presenta ningún tipo de contaminación ni modificación.

14) CENOTE LEONA

El cenote Leona se ubica en el pueblo Leona Vicario, a 35 km de la ciudad de Cancún, Quintana Roo. Su posición geográfica encuentra en el paralelo 20° 50' 37.2" latitud norte y el meridiano 87° 12' 15.6" longitud oeste. Tiene forma circular con aproximadamente 40 m de diámetro y 7 m de profundidad. Es un cenote abierto que presenta cavernas, el suelo es rocoso y se observan algunos troncos en el fondo. El color del agua es verde oscuro transparente. Alrededor del cenote se observan reminiscencias de selva baja caducifolia, así como también las cyperaceas cubren el 30 % del espejo de agua, el cual se encuentra a 3 m de la superficie.

15) CENOTE CHUM SHAM

El cenote Chum Sham se localiza a 50 km. en la carretera hacia Chiquilá a 12 km. de Solferino, se encuentra geoposicionado en el paralelo 21° 24' 35.0" latitud norte y el meridiano 87° 18' 00.0" longitud oeste. Es un cenote con una pequeña apertura circular de 1 m de diámetro, el espejo de agua se encuentra a 2 m de la superficie y tiene una profundidad de 4 m. El agua es muy transparente y se observan bagres. La vegetación de alrededor del cenote es del tipo selva mediana perennifolia. Hay mucha hojarasca alrededor y excremento de murciélago flotando en la superficie. No presenta ninguna modificación en su cuenca.

16) CENOTE RUINAS

El cenote Ruinas se encuentra localizado a 30 m del camino San Angel-Ruinas en el Estado de Quintana Roo. Su posición geográfica se encuentra en el paralelo 21° 16' 41.4" latitud norte y el meridiano 87° 17' 23.8" longitud oeste. Presenta una pequeña apertura circular que permite ver un agua transparente, así como peces de la especie *Rhambidia guatemala/ensis*. Es un cenote somero de 1 m de profundidad. Está rodeado de selva mediana subperennifolia. Es utilizado por los campesinos como fuente de agua potable.

17) CENOTE AVANTE

El cenote Avante, se encuentra localizado en el pueblo del mismo nombre, a aproximadamente 1 km. de la carretera Cancin-Merida, se encuentra o georeferenciado en el paralelo 21° 06' 11.1" latitud norte y el meridiano 86° 56' 00.0" longitud oeste. Es un cenote de forma irregular (7 x 4 m) con aproximadamente 4 m de profundidad. El agua es transparente, lo que permite ver el fondo en parte pedregoso y arenoso. Conserva parte de su bóveda y el espejo de agua se encuentra a 7 m de la superficie. Este cenote es un balneario popular, muy visitado por los pobladores del propio Avante así como de los pueblos cercanos. Al estar un poco inaccesible, aún no se encuentra muy contaminado por basura, aunque si se observan en los alrededores desechos plásticos. La vegetación aledaña es selva mediana perenifolia.

18) CENOTE CHEMUYIL

En el paralelo 20° 20' 37.2" latitud norte y el meridiano 87° 21' 39.0" longitud oeste. Se encuentra localizado el cenote Chemuyil a 5 km del poblado de Chemuyil, Quintana Roo. Es un cenote ovoide de aproximadamente 10 m de diámetro con una profundidad de 6.5 m en la zona cercana a la cueva. El agua de este cenote es muy transparente, por lo que permite el crecimiento de perifiton (presumiblemente Chlorophytas) en el fondo. Se encuentra habitado por una gran variedad de peces de diversos tamaños. Se encuentra rodeado por manglar y por representante de selva baja caducifolia. Para ser un cenote de gran belleza se está implementando su uso turístico, aunque actualmente es poco visitado debido a que la carretera está en mal estado. No presenta modificación alguna en su cuenca; una brecha une este sistema con un *sacbeh* de aproximadamente 300 m de longitud.

19) CENOTE AVENTURA

Cenote de aproximadamente 75 m de diámetro ubicado en el parque recreativo Xel Ha en el paralelo 20° 18' 51.9" latitud norte y el meridiano 87° 21' 33.3" longitud oeste en el estado de Quintana Roo. Se encuentra a 2 m de la superficie

y presenta una profundidad de 2 m, el agua es muy transparente y al estar comunicado directamente con el mar, permite la presencia de peces marinas. Se encuentra rodeado por manglar y selva baja caducifolia de entre los que destaca la palma *Sabal yapa*. Al estar dentro de un parque de diversiones su uso como balneario es continuo, por lo que no se descarta alguna perturbación por remoción de sedimentos.

20) CENOTE PARAISO

En el parque recreativo Xel-Há se localiza el cenote Paraiso en el paralelo 20° 18' 51.3" latitud norte y el meridiano 87° 21' 38.1 longitud oeste en el Estado de Quintana Roo. Es un cenote de forma ovalada de aproximadamente 50 m de diámetro y 1.5 m de profundidad. El espejo de agua se encuentra a escasos 2 m de la superficie. De manera similar al cenote Aventura, el agua es muy transparente y al estar comunicado directamente con el mar, permite la presencia de peces marinos de gran belleza y tamaño.

21) LOS 3 HERMANOS

El cenote Los 3 Hermanos se encuentra localizado en el km 7.5 de la carretera Tulum-Cobs en Quintana Roo. Se encuentra posicionado geográficamente en el paralelo 20° 16' 15.3" latitud norte y el meridiano 87° 28' 59.5" longitud oeste. Es de forma circular con aproximadamente 5 m de diámetro y 3.8 m de profundidad. Se encuentra a ras del suelo, el color del agua es café. Se encuentra habitado por peces pequeños. Como está ubicado dentro de un pequeño rancho, no tiene vegetación circundante, además de que se ha modificado la cuenca para poder extraer agua para cultivo.

22) CENOTE VACA-HA

El cenote Vaca-Ha se encuentra localizado en el km 5.5 de la carretera TulumCobá en Quintana Roo. Su posición geográfica se encuentra en el paralelo 20° 16' 14.7" latitud norte y el meridiano 87° 28' 49.9" longitud oeste. Es de forma circular con aproximadamente 5 m de diámetro y 4.0 m de profundidad. Es un cuerpo de

agua abierto con agua transparente; presenta una escalera de madera a un costado que facilita el acceso de buzos cuya afluencia es frecuente.

23) CENOTE TORTUGA

El cenote tortuga se encuentra ubicado a un kilómetro del cenote Vaca-Ha. Sus coordenadas geográficas son 20° 16' 39.1" latitud norte y el meridiano 87° 28' 31.5" longitud oeste. Es de forma circular con aproximadamente 7m de diámetro y 4.0m de profundidad. Se encuentra a ras del suelo; los márgenes son de piedra y se observa la presencia de algunos árboles y raíces. Al igual que el cenote anterior, el agua es completamente transparente. Se encuentra habitado por algunos peces de diversos tamaños.

24) CENOTE TORTUGUITA

En el paralelo 20° 16' 28.9" latitud norte y el meridiano 87° 28' 39.9" longitud oeste se encuentra localizado el cenote Tortuguita a 250m del cenote Tortuga. Es un cenote ovoide de aproximadamente 3 m de diámetro con una profundidad de 1.5m en la zona cercana a la cueva, ya que la mayor parte de este cenote se encuentra cubierto por la bóveda y la vegetación. El agua de este cenote es muy transparente; en el fondo se observan restos de raíces, hojarasca y material terrígeno. Se encuentra rodeado por selva baja caducifolia. No presenta modificación alguna en su cuenca.

24) EL GRAND CENOTE

Cenote turístico de gran belleza, que se localiza en el km 3 de la carretera TulumCobá en Quintana Roo. Está ubicado geográficamente en el paralelo 20° 14' 47.4" latitud norte y el meridiano 87° 27' 49.2" longitud oeste. Tiene forma semicircular con aproximadamente 20m de diámetro y 4m de profundidad, alrededor de él se encuentran múltiples cavernas las cuales son exploradas por los turistas. El agua es completamente transparente y el espejo se encuentra a aproximadamente 5m de la superficie. Tiene dos muelles y escaleras de madera, pero alrededor del cenote la vegetación ha sido removida, conservándose algunas plantas epifitas y

árboles entre los que destaca el género Ficus. Cerca del cenote se han construido rústicos vestidores y banns para los visitantes.

26) CENOTE EL CALAVERA

En el paralelo 20° 13' 43.9" y el meridiano 87° 27' 21.6" longitud oeste se encuentra localizado el cenote El Calavera, a 1 km del poblado de Tulum, Quintana Roo a 30m de la carretera Tulum-Cobs. Es un cenote circular (8m), abierto, con cavernas alrededor y con una profundidad de 6m. El color de agua de este cenote es azul-verde esmeralda y el fondo del cenote es pedregoso. Se encuentra rodeado por vegetación arbórea del tipo mediana subperenifolia. Es frecuentado por el turismo a pesar de no tener infraestructura adecuada, ya que solo cuenta con una escalera improvisada.

27) CENOTE CABANAS TULUM

En el paralelo 20° 10' 19.9" latitud norte y el meridiano 87° 27' 30.9" longitud oeste se encuentra localizado el cenote de Cabañas Tulum a aproximadamente 100m del hotel del mismo nombre. Es un cenote de forma rectangular, de dimensiones aproximadas de 10 x 4 m, se encuentra rodeada por completo de manglar. El fondo es rocoso y el agua por estar muy transparente permite el crecimiento de perifiton el cual le da un color verdoso al agua. Su profundidad es de aproximadamente 2m. Se extrae agua de un pozo cercano al cenote para abastecer los hoteles.

28) CENOTE BALLENA

A 50m de la carretera hacia la reserva de Si'an Ka'an se encuentra el cenote ballena en los 20° 10' 12.6" latitud norte y el meridiano 87° 27' 28.5" longitud oeste. Este cenote se encuentra a flor de tierra, tiene aproximadamente 7m de diámetro y 2m de profundidad. El cenote está rodeado por manglares y palma Sabal yapa. El agua es transparente y se observa la presencia de algunos peces.

29) CENOTE SAN ERIC

A 30m de la carretera hacia la reserva de Si'an Ka'an se encuentra el cenote San Eric, el cual está posicionada a los 20° 07' 52,2" latitud norte y el meridiano 87° 27' 59.4" longitud oeste. Este cenote se caracteriza por tener forma de "U" y presentar tres riachuelos. Tiene un diámetro aproximado de 70m y una profundidad de más de 7m. Es un cenote abierto rodeado de manglares.

30) CENOTE LIRIOS

En el paralelo 20° 10' 17.1" latitud norte y el meridiano 87° 27' 30.0" de longitud oeste se encuentra localizado el cenote Lirios a 20m del camino hacia Si'an Ka'an. El color que presenta el agua es verde oscuro esmeralda, las dimensiones de este cenote son las siguientes: un diámetro aproximado de 30 m y una profundidad de 4 m. Este cenote se caracteriza por tener un riachuelo de 3 m de ancho que le sale por un extremo. El fondo es pedregoso y cubierto de perifilon, el cual debe su presencia a la transparencia del agua. Se observa la presencia de cuevas.

31) CENOTE PUNTA SOLIMAN

Hacia los 20° 17' 16.2" latitud norte y el meridiano 87° 22' 29.8" longitud oeste se encuentra localizado el cenote de Punta Soliman, este cenote se ubica a escasos 50 m del mar, así como para tener un diámetro de 30 m. El color de sus aguas es de un verde esmeralda y su profundidad es profundidad es de más de 3 m; el piso es arenoso. Por su cercanía al mar y su obvia conexión con éste es posible observar en su interior peces característicos de ambientes marinos como son el jurel y la rubia, así como también crías de peces marinos. Tiene una plataforma natural de piedra de 1m de ancho, en la orilla opuesta se encuentra una plataforma más ancha.

32) CENOTE CRISTAL

El cenote Cristal se encuentra localizado en la carretera Tulum-Carrillo Puerto, Quintana Roo, a escasos 3 km del poblado de Tulum, a aproximadamente 30 m de la carretera. Su posición geográfica indica su ubicación en el paralelo 20° 12'

03.9" latitud norte y el meridiano 87° 30' 03.4" longitud oeste. Es de forma circular con aproximadamente 20 m de diámetro y 5 m de profundidad. Es turístico, por lo que parte de su cuenca se ha modificado, sobre todo por la vegetación que lo rodea ya que ésta ha sido removida, aunque aún quedan representantes de la selva baja caducifolia, cyperáceas y manglar. Al ser su agua muy transparente, permite el asentamiento de macroalgas; también se observan antiguos troncos sumergidos y algunos peces pequeños.



Fig. 1. Mapa de los 30 cenotes localizados en los estados de Yucatán y Quintana Roo.

V. DESCRIPCION DEL PERFIL VERTICAL DE TEMPERATURA, CONDUCTIVIDAD Y OXIGENO DISUELTO DE LOS CENOTES DE YUCATÁN Y 4. ROO.

2) CHELEM

Temperatura

Esta variable presentó un gradiente desde la superficie del cenote hasta los 5 m. De acuerdo al perfil de temperatura de nortes, en esta época se apreció un gradiente de mayor magnitud que en el resto del año, con temperatura de 25.2 °C en la superficie y 25 °C en el fondo. En secas se registró una condición similar en el gradiente y en este periodo la temperatura fue de 27.8 °C y 27 °C en superficie y fondo respectivamente. Durante la temporada de Lluvias no se manifestó heterogeneidad en la temperatura de la columna de agua, la temperatura media en este periodo fue de 28.2 °C (Fig. 2a).

Conductividad

En Lluvias se observaron los valores mas bajos de conductividad comparando todas las épocas y junio con el periodo de secas mostró un gradiente notable en el que los valores más bajos se registraron en la superficie con un incrementó asociado con la profundidad; esta condición está asociada con el aporte de agua por escorrentia durante éste periodo así comp la diferencia de densidad que establece a las masas de agua con mayor conductividad (mayor actividad de sales) en los estratos inferiores de la columna de agua. Durante nortes no se apreció algún gradiente con respecto a ésta variable, en dicho periodo el valor media de conductividad fue de 3240 ps/cm. Para el periodo de secas se observó un gradiente similar al descrito para la época de secas, aunque de mayor magnitud; en la superficie se registró la conductividad mas baja de 3790 ps/cm y el descenso fue gradual hasta los 4 m, en donde se apreció un fuerte incrementó de la conductividad hasta 4100 ps/cm a los 5 m; lo anterior muestra la intensidad de

los procesos de evaporación que inciden sobre la superficie de los ecosistemas acuáticos durante éste periodo climático (Fig. 2b).

Oxígeno disuelto

En época de nortes se determine el gradiente mas intenso de la concentración de oxígeno; la variación estuvo dada entre 5.8 mg/l y 4.0 mgll desde la superficie hasta el fondo (5 m). En los periodos de secas y Lluvias se midieron concentraciones de oxígeno similares y el gradiente fue también muy parecido; para la época de secas se midió en la superficie 4.2 mg/l y en el fondo 3.3 mgll; mientras que durante Lluvias, los valores correspondientes al gradiente de superficie al fondo fueron 4.6 mgll y 3.5 mgll, respectivamente (Fig. 2c).

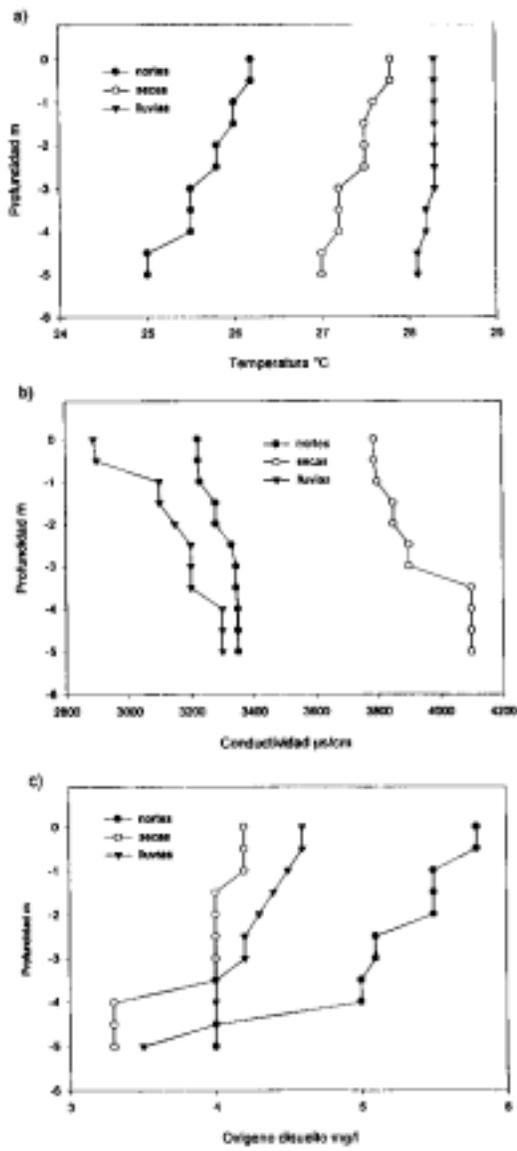


Figura 2.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Chelem durante tres épocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

3) XPAKIL

Temperatura

Durante la época de nortes la temperatura fue de 26.5 °C a 26 °C desde la superficie al fondo. En la época seca se distinguieron dos zonas, una de la superficie a los 20 m de profundidad con temperaturas de 28.8 °C a 28 °C, respectivamente y otra con una profundidad mayor a los 25 metros que presentó una temperatura de 26 °C, en esta época se tuvieron las mayores temperaturas de *lodo el año*. Por otra parte, en Lluvias se apreciaron tres zonas, de la superficie hasta los 15 metros se registró una temperatura de 27 °C, de 15 a 20 metros se observaron temperaturas de 26.5 °C y a más de 20 metros se obtuvieron temperaturas de 26°C (Fig. 3a).

Conductividad

Durante todo el año se observaron valores de conductividad menores en la superficie que en el fondo, esto se explica por un aporte de agua salina en el estrato inferior del cenote. En nortes, la conductividad fue de 3125 ps/cm en la superficie y 3175 ps/cm en el fondo. En la época de secas se apreciaron ligeras variaciones en la conductividad con una media de 3250 ps/cm; durante esta época se registraron los valores más altos de conductividad (Fig. 3b). En Lluvias se observaron los menores valores de conductividad, durante ésta época se apreciaron las diferencias de mayor magnitud entre la conductividad de la superficie (2975 ps/cm) y el fondo (3050 ps/cm).

Oxígeno disuelto

En nortes la concentración de oxígeno disuelto se mantuvo prácticamente constante a lo largo de la columna de agua, con un valor medio de 1.5 mg/l, siendo ligeramente mayor en los primeros 5 m de profundidad. Durante la época de secas fue posible apreciar dos zonas, la primera va de la superficie a 15 metros de profundidad con concentraciones de oxígeno disuelto de 3 mg/l a 2 mg/l

respectivamente, la segunda zona va de profundidades mayores de 15 metros y mantuvo un valor aproximado de 1 mg/l. Durante la época de Lluvias se presentó el mayor gradiente en la concentración de oxígeno disuelto y fue de 5.5 mg/l en la superficie a 2 mg/l en el fondo (Fig. 3c).

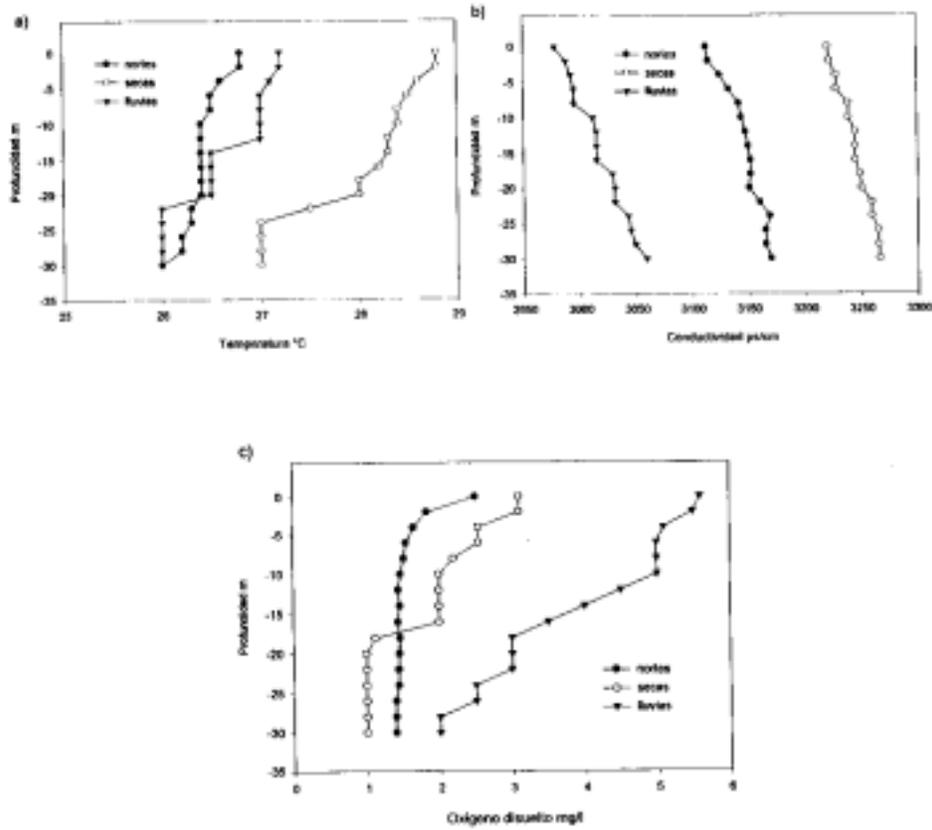


Figura 3.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Xpakil durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

4) CHEN COCO

Temperatura

Las temperaturas mas elevadas correspondieron al periodo de secas, mientras que en Lluvias y nortes se registraron valores similares de temperatura aproximadamente de 27.3 °C; el gradiente presente durante todo el año fue de agua mas caliente ocupando los estratos superiores de la columna de agua y un descenso de la temperatura conforme aumentaba la profundidad (Fig. 4a).

Conductividad

Los valores de conductividad mas bajos se registraron durante Lluvias, prueba del aporte significativo de agua dulce a través del manto freático y por precipitación directa; asimismo se observó un gradiente de agua mas dulce en el fondo (donde está surtiendo el mantó freático) y mayor conductividad en la superficie. Esta misma condición dominó durante nortes y secas, aunque con valores de conductividad mayores (Fig. 4b).

Oxigeno disuelto

El gradiente de concentración de oxigeno en el perfil vertical fue parecido al descrito para la conductividad, es decir, de la superficie al fondo del cenote. Los valores más altos se observaron en nortes y los menores en Lluvias, mientras que durante la época de secas se establecieron valores de conductividad intermedios (Fig. 4c).

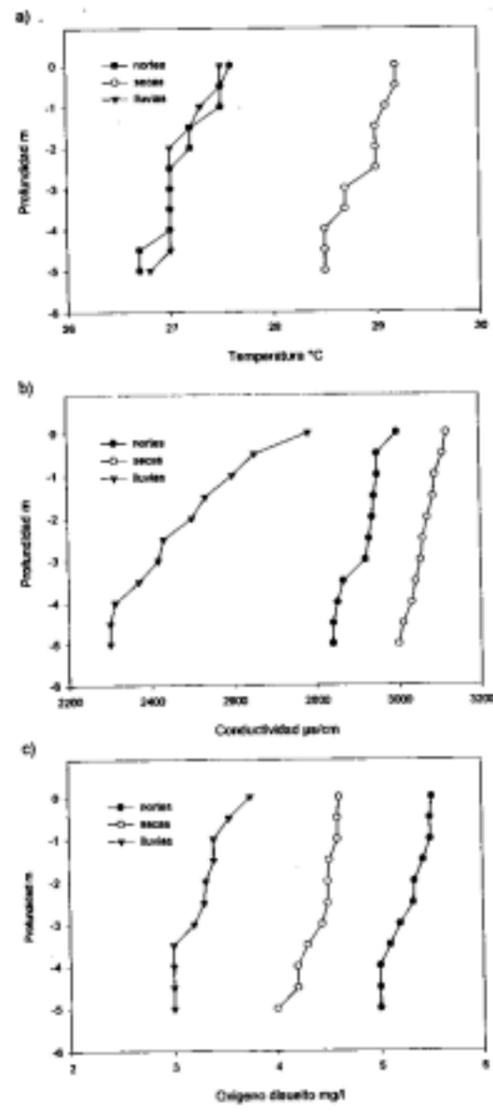


Figura 4.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Chen Coco durante tres pocas climatológicas: a) temperatura, b) conductividad, c) oxígeno disuelto.

5) CHUN CHAKA

Temperatura

Durante la temporada de secas se determine un gradiente de temperatura en este cenote, del fondo hacia la superficie, asimismo se apreció un cambio drástico de la temperatura a 2 m. El comportamiento de la temperatura en nortes y Lluvias fue de valores más elevados en la superficie y decremenlo hacia el fondo (Fig. 5a).

Conductividad

Durante la temporada de Lluvias se destacaron los valores de conductividad mas bajos del año, en este periodo se localicé un gradiente de agua menos dulce en la superficie del cenote (2512 ps/cm) indicativo que la fuente agua dulce subterránea. En secas se registraron los valores de conductividad mas elevados de 2812 ps/cm en la superficie y 2740 ps/cm en el fondo. La conductividad de nortes fue intermedia y mantuvo un carácter más homogéneo a lo largo de la columna de agua (Fig. 5b).

Oxigeno disuelto

El perfil de concentración de oxigeno durante las tres épocas señala que procesos de descomposición de materia orgánica disminuyen la concentración del oxigeno en el estrato inferior del cenote y de que a éste nivel, existe un aporte de agua dulce que característicamente es pobre en oxigeno (Fig. 5c).

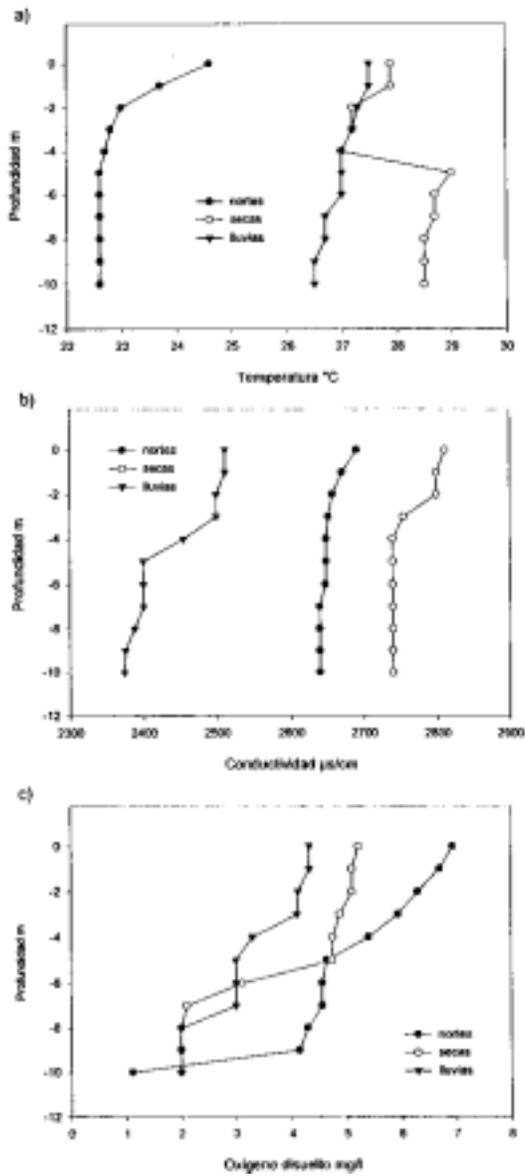


Figure 5.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Chun Chaka durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

6) TUCH HA

Temperatura

El gradiente vertical de temperatura durante la época de nortes fue más evidente que en el resto del año, se situó entre 26 °C en la superficie donde la radiación solar incide con mayor intensidad sobre éste cenote abierto, y 25 °C en el fondo donde se realiza el suministro subterráneo de agua dulce. Este mismo gradiente se apreció en secas y Lluvias aunque con valores de temperatura mayores (Fig. 6a).

Conductividad

El gradiente de conductividad fue similar durante las tres épocas, con valores elevados en la superficie influenciados por la evaporación efectuada sobre la superficie de éste cenote abierto, y menor conductividad en el fondo, en donde hay insumo de agua dulce al *sistema*. Se midió conductividad en superficie y fondo (10 metros) para nortes, secas y Lluvias de 1900-1680 ps/cm, 2100-1950 ps/cm y 1650-1450 ps/cm, respectivamente (Fig. 6b).

Oxígeno disuelto

El gradiente vertical de concentración de oxígeno disuelto en éste cuerpo de agua fue de la superficie al fondo; en Lluvias se registró la concentración más baja en el fondo de aproximadamente 3.3 mg/l; en secas el gradiente se ubicó con valores más altos que en Lluvias y menores que en nortes, lo cual podría deberse a la energía generada en éste último a través de los frentes fríos y tormentas tropicales características durante dicho periodo (Fig. 6c).

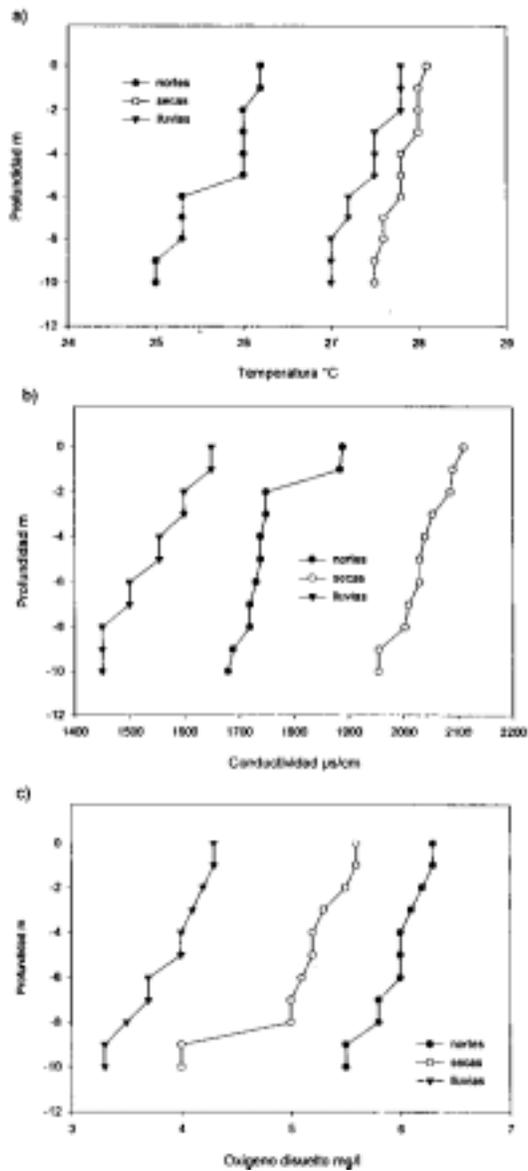


Figura 6.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Tuh Ha durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

8) OXOLON

Temperatura

Durante el muestreo correspondiente a la época de nortes se apreció una ligera variación de la temperatura en los diferentes niveles de profundidad, de 23.5 °C en la superficie 23 °C en el fondo del cenote; la ausencia de una clara estratificación en esta temporada está asociada a las bajas temperaturas del aire que pueden enfriar la columna de agua y homogeneizarla respecto a la red subterránea que alimenta a éstos cuerpos con agua fría.

En época de Lluvias y secas se mantuvo ésta condición cercana a la homogeneidad en la columnas de agua, registrándose consistentemente temperaturas más altas en la superficie de 26.7 °C y 28.2 °C en secas y Lluvias, respectivamente, así como un tenue gradiente hasta los 2.5 metros, donde se establecieron valores de temperatura menores, de 26 °C y 27.5 °C en secas y Lluvias, respectivamente (Fig. 7a).

Conductividad

En el periodo de nortes la conductividad fue de 1050 ps/cm en la superficie y 1090 plcm en el fondo. Durante secas se observó un gradiente de conductividad que va de la superficie (1125 ps/cm) al fondo (1190 ps/cm); aunque la diferencia de valores es de escasa magnitud puede considerarse que aún en esta época existe insumo de agua dulce al cenote y que por diferencia de densidades el agua menos

dulce se ubica en el fondo del cuerpo de agua (Fig. 7b).

Para la temporada de Lluvias se registró el intervalo de variación de conductividad a lo largo de la columna de agua más amplio; la recarga del manta freático durante éste periodo influye en el aporte de agua dulce al cuerpo de agua estableciéndose un gradiente vertical de mayor conductividad en la superficie (880 ps/cm) a valores más bajos en el fondo (825 ps/cm).

Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno más bajas se registraron en Lluvias (2.8-2.0 mg/l), pero el gradiente fue cualitativamente similar a lo observado durante las tres épocas climáticas; es decir, concentraciones de oxígeno más altas en la superficie donde es posible cierta energía mediante los vientos e intercambio gaseoso en la interfase agua-aire; y por otra parte, valores menores en el fondo donde se llevan a cabo procesos de descomposición de materia orgánica que demandan oxígeno. Los gradientes de oxígeno disuelto de superficie al fondo para el complemento anual en dicho cenote fueron de 3.8 mg/l a 3.0 mg/l y de 4.8 mg/l a 3.0 mg/l en secas y nortes, respectivamente (Fig. 7c).

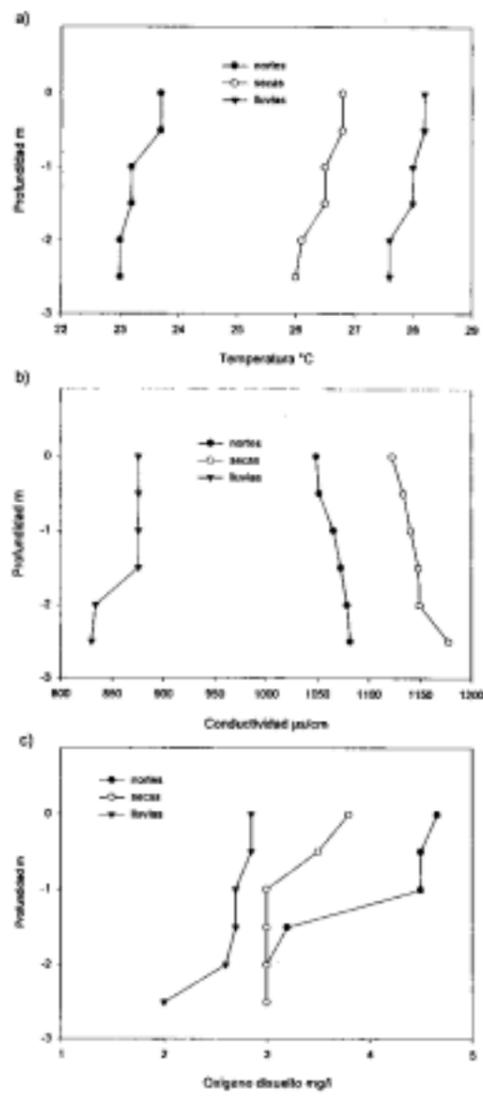


Figura 7.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote *Oxolón* durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad, c) oxígeno disuelto.

9) SUBINTE

Temperatura

Este cenote presentó durante la época de nortes temperaturas que fluctuaron entre 25.5 °C a 25.5 °C en la superficie y el fondo respectivamente, en esta época es posible observar la mayor diferencia entre el fondo y la superficie a pesar de tratarse de un cenote somero (3 m). Durante la época de Lluvias se observó una temperatura aproximada de 28.9 °C en toda la columna de agua. En la época más seca del año las temperaturas superficie-fondo van de 28.3 °C a 27.6 °C (Fig. 8a).

Conductividad

La conductividad durante la época de nortes fue de aproximadamente 950 ps/cm aumentando ligeramente conforme se incrementó la profundidad. En secas la conductividad fue de 995 ps/cm durante casi toda la columna de agua, la mayor durante todo el año, el aumento de la conductividad hacia el fondo se explica por la intrusión salina que se efectúa a cabo en estos sistemas en el periodo del año donde el volumen del freático es menor. En el periodo de Lluvias se estableció un gradiente más notable de la superficie del cenote (879 ps/cm) al fondo (793 ps/cm), lo cual hace patente el aporte de agua dulce proveniente del manta freática (Fig. 8b).

Oxígeno disuelto

En la época de nortes el oxígeno fluctuó de 2.05 mg/l en la superficie a 1.80 mg/l en el fondo. Durante el periodo de secas la concentración de oxígeno disuelto fue de 1.88 mg/l hasta 1.70 mg/l a los 2 metros de profundidad; las concentraciones de oxígeno disuelto más bajas se observaron en esta época. En Lluvias se apreció un gradiente similar de superficie a fondo con concentraciones de 2.25 mg/l y 2.00 mg/l, respectivamente (Fig. 8c).

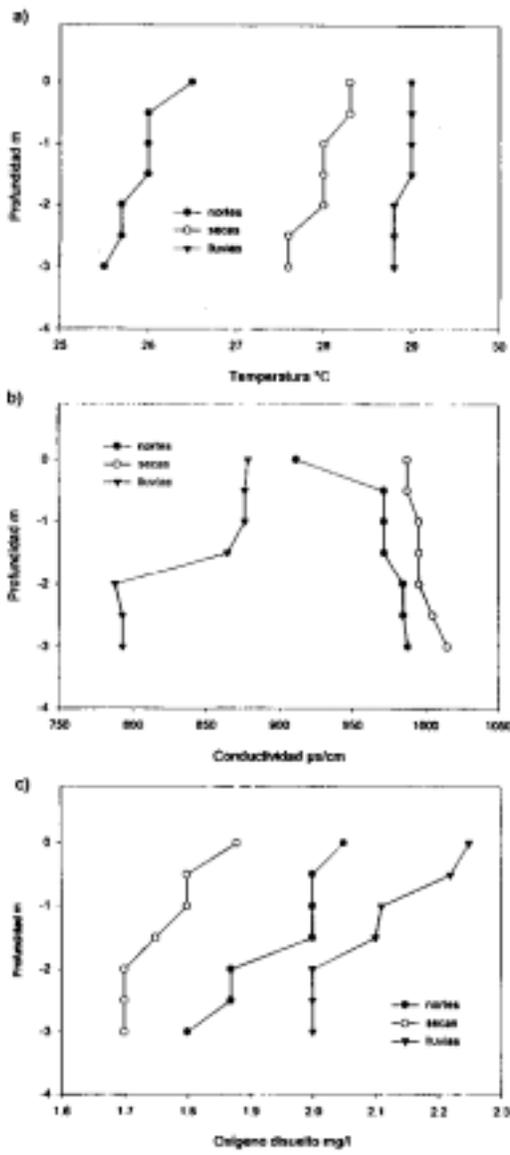


Figura 8.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Subinte durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

10) SANLO DOMINGO

Temperatura

La variación más amplia de temperatura a lo largo de la columna de agua correspondió a la temporada de secas, en la cual existió un gradiente desde la superficie con temperatura de 29.3 °C al fondo del cenote donde se registró un valor de 28.5 °C. El aporte subterráneo de agua dulce es máximo durante la época de Lluvias, lo cual fue evidente en las temperaturas bajas correspondientes al perfil vertical; así como en la homogeneidad de la columna de agua durante dicho periodo. Durante nortes se observó la temperatura más baja, al igual que una menor variación de la columna de agua (Fig. 9a).

Conductividad

Las estrecha fluctuación de la conductividad en Lluvias y nortes, al igual que el valor de conductividad mas bajo en estos periodos que en secas sugieren que el aporte de agua dulce de éste cenote somero es suficiente para homogeneizar la columna de agua mientras haya precipitación; cuando éste proceso atmosférico cambia a su menor expresión como en secas, la conductividad aumenta al mismo tiempo que el gradiente que va de la superficie al fondo (Fig. 9b).

Oxigeno disuelto

El gradiente trazado con mayor claridad se registró durante el periodo de secas, el comportamiento descrito por el perfil vertical presentó concentraciones de oxigeno disuelto más elevadas en la superficie (2.3 mg/l) que en el fondo del cenote (1.2 mg/l); la condición anóxica en el nivel inferior de la columna de agua sugiere la existencia de intensos procesos de descomposición de materia orgánica en éste sistema derivados del uso permanente que se hace del cenote como vertedero de desechos de las actividades pecuarias de la zona adyacente (Fig. 9c).

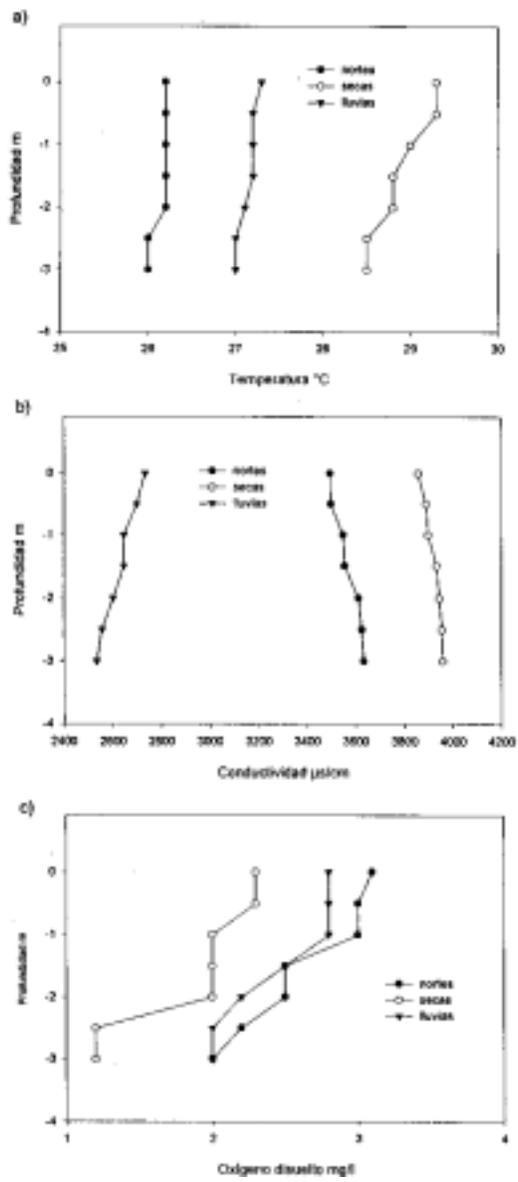


Figura 9.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Sanlo Domingo durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

11) NOOH USIL

Temperatura

La variación de temperatura durante la época de nortes presentó un gradiente ligeramente más marcado que a lo largo de las otras dos épocas climáticas; no obstante, la condición del gradiente describió un comportamiento similar durante todo el año, en el que los valores más altos correspondieron a la porción superficial de la columna de agua, en tanto que el aporte subterráneo de agua dulce produjo en el fondo temperaturas más bajas. La variación durante nortes fue de 23 °C a 22 °C y los valores medios de temperatura se definieron en 27.5 °C en secas y 28.3 °C para Lluvias (Fig. 10a).

Conductividad

La descarga de agua dulce durante el periodo de mayor precipitación a través de la extensa red subterránea de la Península condujo a una variación más amplia de la conductividad en función de la profundidad dentro de este cuerpo de agua de dimensión considerable (6.5 m); por diferencia de densidades, el agua menos dulce (760 ps/cm) se ubicó en el fondo del cenote y la masa de agua más dulce (720 ps/cm) en la superficie. En secas se registró un valor medio de conductividad de 980 ps/cm, el mayor de todo el año y se apreció un ligero gradiente vertical consistente con el de Lluvias; en nortes no se observó heterogeneidad de la columna de agua y el valor medio para este periodo fue de 840 ps/cm (Fig. 10b).

Oxígeno disuelto

Este cenote manifestó uno de los rasgos más apreciables en cuanto al perfil vertical de oxígeno, tanto por su consistencia a lo largo de las tres épocas en el que se afianzó un fuerte gradiente de la superficie al fondo, como por el intervalo de variación de aproximadamente 8.0 mg/l en la superficie a 0.8 mg/l a los 6.5 metros. La condición anóxica del fondo del cenote sugiere una intensa degradación de materia orgánica procedente de la abundante vegetación que le circunda, lo cual también es evidente en la cobertura de vegetación del género

Nynphae que se observó en la superficie de agua común en sistemas acuáticos con algún grado de eutrofización (Fig. 1 Oc).

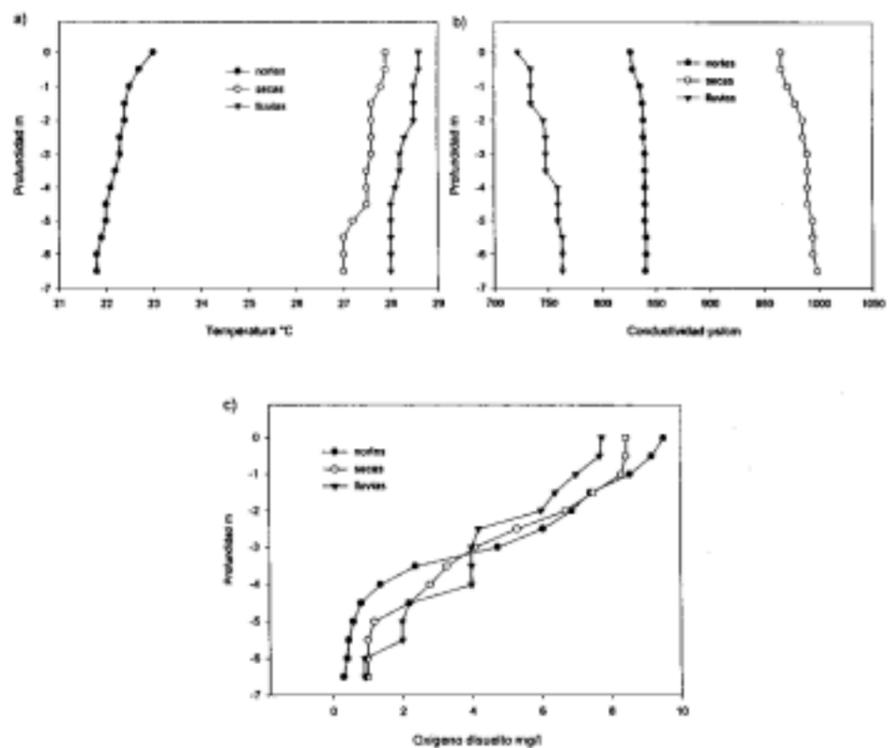


Figura 10.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Nooh Usil durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

12) YALAHAU

Temperatura

Este cenote presentó durante la época de nortes temperaturas que fluctuó de 25 °C a 24 °C en la superficie y fondo respectivamente; en esta época fue posible observar la mayor diferencia entre el fondo y la superficie a pesar de tratarse de un cenote somero (3 m). Durante la época de Lluvias se apreció una temperatura aproximada de 27.5 °C en toda la columna de agua. En la época más seca del año las temperaturas superficie-fondo fueron de 27.5 °C a 28.5 °C, permaneciendo superiores a los 28 °C desde la superficie hasta los 1,8 m de profundidad, en esta época se registraron las temperaturas más altas del año (Fig. 11 a).

Conductividad

La conductividad durante la época de nortes fue de aproximadamente 3500 ps/cm aumentando ligeramente conforme incrementaba la profundidad. Durante la época seca, la conductividad fue de 3800 us/cm, la más elevada durante todo el año; se apreció tan ligero aumento de la conductividad hacia el fondo, puede argumentarse que es consecuencia de la intrusión salina que se presenta a cabo durante estos meses. En la época de Lluvias, la conductividad disminuyó con aproximadamente 3100 ps/cm, se tienen valores mayores en el fondo debido al aporte de agua dulce proveniente del manto freático (Fig. 11 b).

Oxígeno disuelto

En la época de nortes, el oxígeno fluctuó en 8 mg/l, en esta época se obtuvo la mayor concentración de oxígeno disuelto. Durante la temporada seca la concentración de oxígeno disuelto fue de 7 mg/l durante los primeros 1.8 metros de profundidad disminuyendo a 6.2 mg/l a los 2 m. Las menores concentraciones de oxígeno disuelto se observaron en la época lluviosa, siendo aproximadamente de 6 mg/l en superficie y de 5.5 mg/l en el fondo (Fig. 11 c).

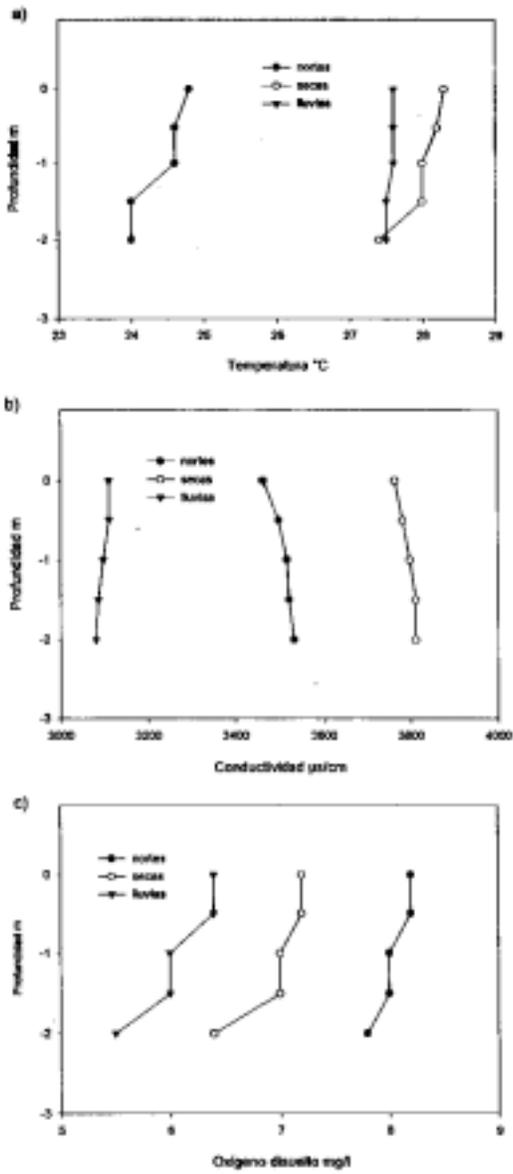


Figura 11.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna a de agua del cenote Yalahau durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; C) oxígeno disuelto.

13) KANAH

Temperatura

La variación mas amplia de temperatura a lo largo de la columna de agua correspondió a la temporada de nortes, en donde el descenso de la temperatura del sire genera un enfriamiento sobre la superficie del cenote, el cual, adicionalmente es depositario del insumo de agua dulce a través del freático debido a las lluvias que acompañan a los eventos climáticos en ésta época. Este aporte subterráneo de agua dulce es máxima durante la época de lluvias lo que se evidenció en las bajas temperaturas correspondientes al perfil de la columna de agua; en Lluvias la intensa descarga de agua genera la mezcla de la columna de agua y por tanto falta de estratificación. En secas la temperatura es máxima aunque también se registraron valores de temperatura en el fondo que sugieren que el aporte de agua dulce al sistema es permanente (Fig. 12a).

Conductividad

Las estrecha fluctuación de la conductividad en Lluvias y nortes, así como los valores menores respecto a lo observado en secas sugieren que el aporte de agua dulce de éste cenote somero es suficiente para homogeneizar la columna de agua mientras haya precipitación; cuando este proceso atmosférico disminuye al máximo como en secas, la conductividad aumenta al mismo tiempo que el gradiente que va de la superficie al fondo (Fig. 12b).

Oxígeno disuelto

El gradiente de concentraciones es análogo al descrito en los cenotes anteriores, muy similar durante las tres épocas climáticas tanto cualitativamente como cuantitativamente. Las concentraciones mas bajas correspondieron a la época de lluvias, [as máximas a nortes y el periodo de secas acolo valores intermedios (Fig. 12c).

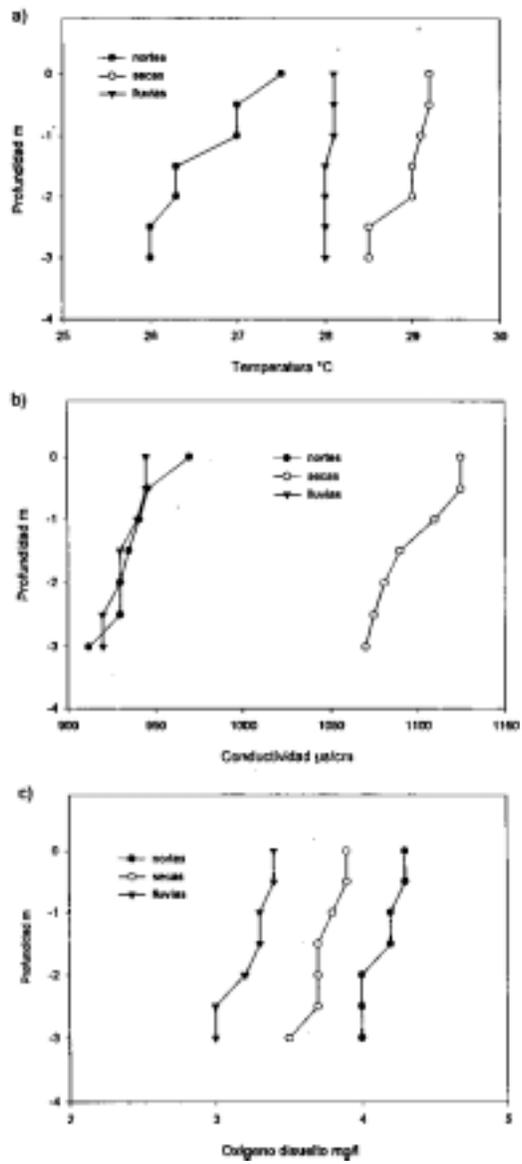


Figura 12.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Kanah durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad, c) oxígeno disuelto.

14) LEONA

Temperatura

Fue notable la homogeneidad que se constató a lo largo de los 6 m de la columna de agua de éste cenote, como rasgo distintivo puede decirse que en secas y Lluvias se registraron temperaturas muy similares, mientras que en nortes se determinaron los valores más bajos del año (Fig. 13a).

Conductividad

El gradiente fue casi inexistente y los valores mas bajos en Lluvias confirman el efecto de la presión hidrostática superior durante dicho periodo que genera un aporte de mayor intensidad de agua dulce a éste tipo de ecosistemas. En norte no se aprecio heterogeneidad en la conductividad de la columna de agua, mientras que en secas se registraron los valores de conductividad más elevados (Fig. 13b).

Oxigeno disuelto

Durante los muestreos correspondientes a cada época del año pudo constatar que existió un gradiente de la superficie al fondo del cenote, en la temporada correspondiente a nortes, ambos extremos del gradiente estuvieron definidos entre 1.28 mg/l y 0.78 mg/l; en secas y Lluvias fue evidente un comportamiento cualitativamente y cuantitativamente similar; los valores de oxigeno en superficie y fondo para ambos periodos fueron de 3.12-2.1 mg/l y 3.36-2.80 mg/l, respectivamente (Fig. 13c).

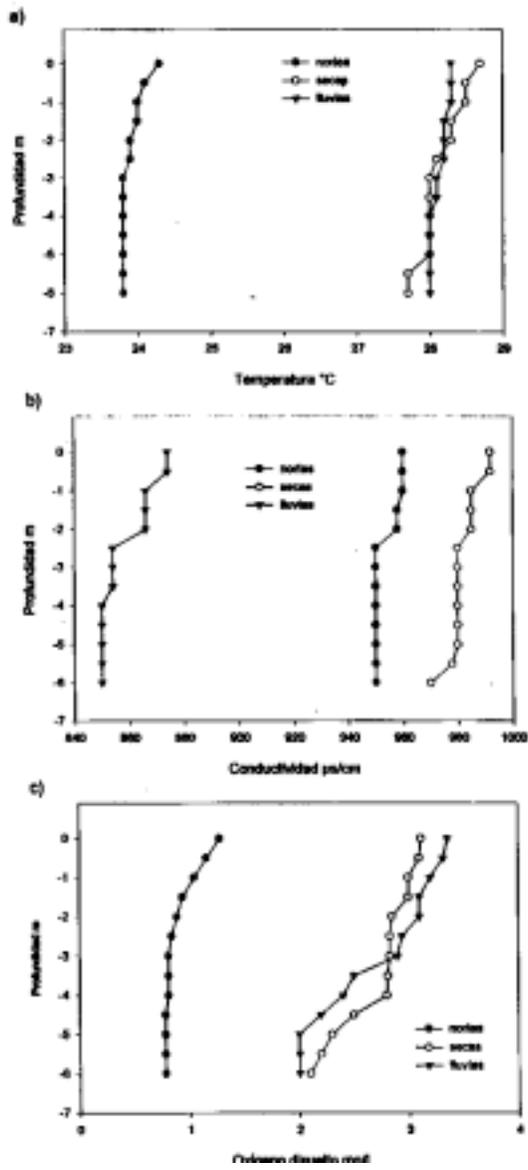


Figura 13.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Leona durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

15) CHUM SHAM

Temperatura

El gradiente más notable de temperatura se presentó durante la época de Lluvias, en la cual se localizaron los valores más altos en la superficie y a partir de los 2 m las temperaturas bajas. Durante la temporada de secas no se aprecia algún gradiente notable y en nortes se observó una condición totalmente homogénea de la temperatura en la columna de agua (Fig. 14a).

Conductividad

El perfil de conductividad de éste cenote manifestó un ligero gradiente que va de agua menos dulce en el fondo hasta registros de conductividad más bajos en la superficie, lo cual podría asociarse con que el agua más salada yace en los niveles inferiores de la columna de agua por su densidad. Este comportamiento se mantuvo durante las tres épocas climáticas definiéndose valores de conductividad mayores en secas, menores en Lluvias e intermedios en nortes (Fig. 14b).

Oxígeno disuelto

No se apreció estratificación de acuerdo a las concentraciones de oxígeno en la columna de agua durante los periodos de nortes y Lluvias, el valor medio para ambos fue de 0.43 mg/l y 1.90 mg/l, respectivamente (Fig. 14c); en secas fue evidente cierta heterogeneidad en la columna de agua, con valores elevados en la superficie (1.119 mg/l) y menores en el fondo (0.50 mg/l).

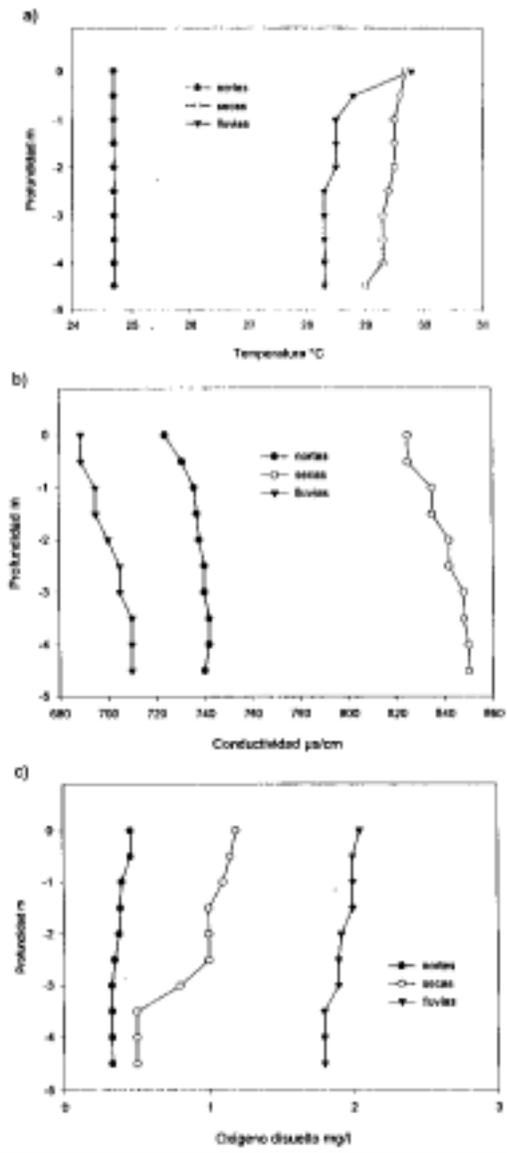


Figura 14.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columnas de agua del cenote Churn Sham durante tres pocas climatológicas a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

16) RUINAS

Temperatura

Se apreció un ligero gradiente de temperatura durante lluvias desde la superficie (28.9 °C) hasta el fondo (28.3 °C) de éste somero cuerpo de agua (Fig. 15a); los valores menores de temperatura se registraron en nortes (25.7 °C); la temperatura máxima se estableció en el periodo de secas (30.1 °C).

Conductividad

En ningún periodo climatológico fue apreciable algún gradiente de conductividad. En el periodo de secas se observó el valor más alto de 914 ps/cm; mientras que en Lluvias se registró la menor conductividad durante el año de 512 ps/cm. Asimismo, fue notable la homogeneidad de valores de conductividad durante el muestreo de nortes que se ubicaron en 678 ps/cm. La baja conductividad determinada aún durante secas sugiere un aporte constante y significativo de agua dulce a través de conexiones al freático (Fig. 15b).

Oxígeno disuelto

Se apreció un gradiente muy ligero durante nortes que se dibujó desde la superficie (3.8 mg/l) al fondo del cuerpo de agua (3.2 mg/l); secas y lluvias manifestaron una columna de agua homogénea respecto a la concentración de oxígeno disuelto, con valores de 2.0 mg/l y 2.1 mg/l, respectivamente (Fig. 15c).

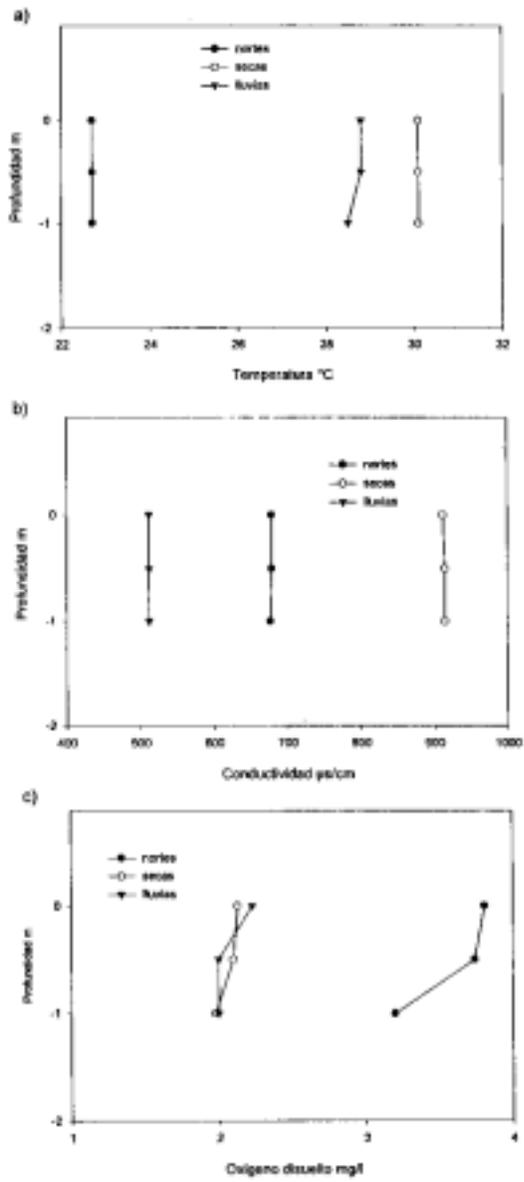


Figure 15.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Ruinas durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

17) AVANTE

Temperatura

En el periodo de nortes se apreciaron las temperaturas mas bajas asociadas al descenso de éste parámetro como consecuencia de la climatología característica de dicha época. El gradiente de temperatura fue de la superficie (25 °C) al fondo (24 °C), dicha disposición es consecuencia del suministro de agua dulce que es principalmente subterráneo y de que el agua, tanto más fría como densa se coloca debajo de la mass de agua con mayor temperatura.

En secas y Lluvias se advirtió el mismo gradiente que en nortes, aunque cuantitativamente difirió de ésta época ya que el intervalo de variación entre la temperatura más elevada de la superficie y la del fondo más fría fue de aproximadamente 0.5 °C para ambos periodos. En secas la temperatura en superficie fue de 29.3 °C y a los 4 m igual a 28.7 °C; durante la época de Lluvias las temperaturas correspondientes a superficie y fondo fueron de 28.3 °C y 28.0 °C (Fig. 16a).

Conductividad

La variación de éste parámetro fue prácticamente nula en nortes, la conductividad durante dicho periodo fue de aproximadamente 840 ps/cm. En secas, los valores de conductividad variaron entre 975 ps/cm y 995 ps/cm, con un gradiente de menor conductividad en la superficie aumentando progresivamente hacia el fondo. Para el periodo de Lluvias se registraron los valores de conductividad más bajos de

lodo el año, prueba del aporte significativo de agua dulce a través de la elevada precipitación en este sistema y de su efecto sobre la red de agua subterránea Peninsular. En ésta temporada se instaló el gradiente más amplio desde la superficie hasta el fondo, con 756 ps/cm y 810 ps/cm, respectivamente; son notables dos rasgos de la conductividad en el perfil vertical, a 1 y 2 metros (Fig. 16b).

Oxígeno disuelto

El gradiente de oxígeno presente durante las tres épocas climáticas fue de valores mas altos en la superficie que los del fondo. En nortes se registraron las concentraciones más bajas que fueron de 2.0 mg/l a 1.8 mg/l; mientras que en secas y lluvias fueron de 2.3--2.15 mg/l y 3.6-3.0 mg/l, en el gradiente desde la superficie al fondo (Fig. 16c).

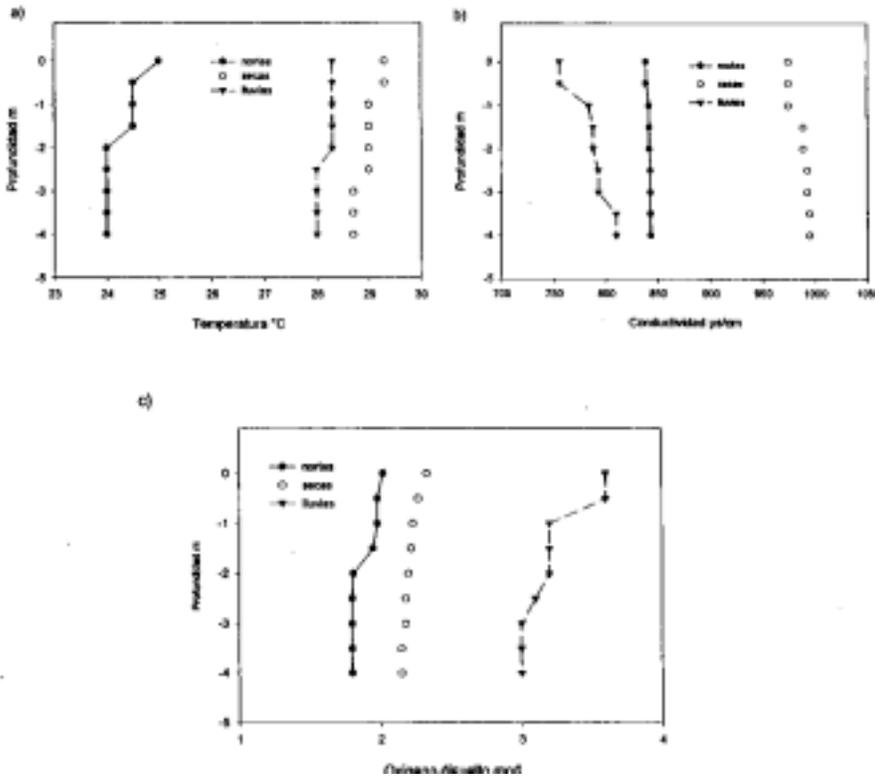


Figura 16.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Avante durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

18) CENOTE CHEMUYIL

Temperatura

La época que exhibió el comportamiento más homogéneo en éste cenote de profundidad considerable (7 m) fue la de nortes, ya que no se apreció variación de la temperatura a lo largo del perfil vertical que mantuvo un valor de 25.2 °C. El significativo calentamiento durante la temporada de secas promovió valores elevados de temperatura en la superficie (28.4 °C) donde la radiación solar incide con mayor intensidad y un marcado descenso de temperatura en el fondo donde se registraron 26,0 °C. En Lluvias se homogeneizó la temperatura de la columna de agua debido al aporte de éste recurso derivado de la recarga del mantó freático en dicho periodo; el valor medio de temperatura durante lluvias fue de 26.8 °C (Fig. 17a).

Conductividad

El ingreso de agua marina a los cenotes o intrusión salina se considera un proceso determinado por el balance de la presión hidrostática entre el freático y la fluctuación de la marea, por lo que suele ser más elevada en cenotes próximos a la costar lo anterior podría explicar el comportamiento del perfil vertical de la conductividad en Lluvias, en la cual se apreció un drástico incremento de conductividad desde 4470 ps/cm a los tres metros hasta 5000 ps/cm en el fondo. En secas y nortes no se presentó una condición de la magnitud de la de Lluvias, aunque el gradiente fue del fondo a la superficie; para ambos periodos la variación de la conductividad fue de 4878-5030 ps/cm en nortes y 4912-4965 ps/cm en secas (Fig. 17b).

Oxígeno disuelto

No existió una variación vertical de la concentración de oxígeno apreciable dentro de la columna de agua, aunque puede considerarse que valores ligeramente más bajos correspondieron al fondo del cenote durante las tres épocas. Las concentraciones más altas correspondieron a la temporada lluviosa (3.15-2.9

mg/l); en nortes y secas los intervalos de variación desde la superficie hasta el fondo fueron de 2.15-2.05 mg/l y 2.20-2.03 mg/l, respectivamente (Fig. 17c).

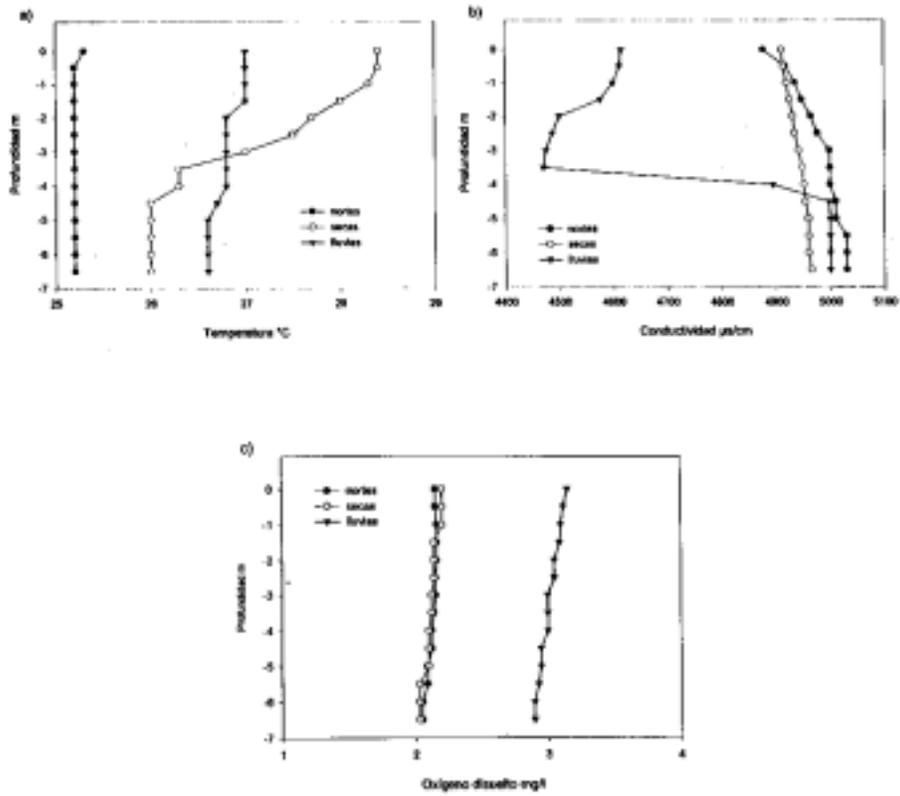


Figura 17.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Chemuyil durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

19) AVENTURA

Temperatura

El gradiente de temperatura en éste sitio fue de valores más altos en la superficie a temperaturas menores en el fondo; la época de nortes presentó una condición contraria a la descrita antes y debido a la influencia de procesos atmosféricos que caracterizan a dicho periodo acusaron temperaturas menores en los estratos superiores de la columna de agua que en el fondo, aunque podría considerarse dentro de ciertos límites un contexto homogéneo de temperatura en toda la columna de agua (25.5 °C). En secas se apreciaron las temperaturas más altas de todo el año de 28.3 °C en promedio; mientras que en Lluvias se obtuvieron los valores menores, de aproximadamente 27.2°C (Fig. 18a).

Conductividad

En nortes se apreció un gradiente más notable, en donde la conductividad mayor correspondió al fondo del cenote (1670 ps/cm) y una disminución gradual hacia la superficie del cuerpo de agua (1342 ps/cm). En secas se determinaron los valores de conductividad más altos de todo el año y el gradiente fue definido en 1423 ps/cm en superficie hasta 1687 ps/cm en el fondo; mientras que en Lluvias se observó la conductividad menor de 1245 ps/cm en superficie y 1345 ps/cm en el fondo (Fig. 18b).

Oxígeno disuelto

La escasez de precipitación durante nortes y secas podría estar asociada con las concentraciones de oxígeno disuelto similares para los muestreos correspondientes a ambos periodos; por otra parte en la época de Lluvias se registraron las concentraciones más altas del año iguales a 4.12 mg/l en la superficie y 3.90 mg/l en el fondo; éste gradiente de la superficie al fondo se mantuvo en las tres épocas climáticas (Fig. 18c).

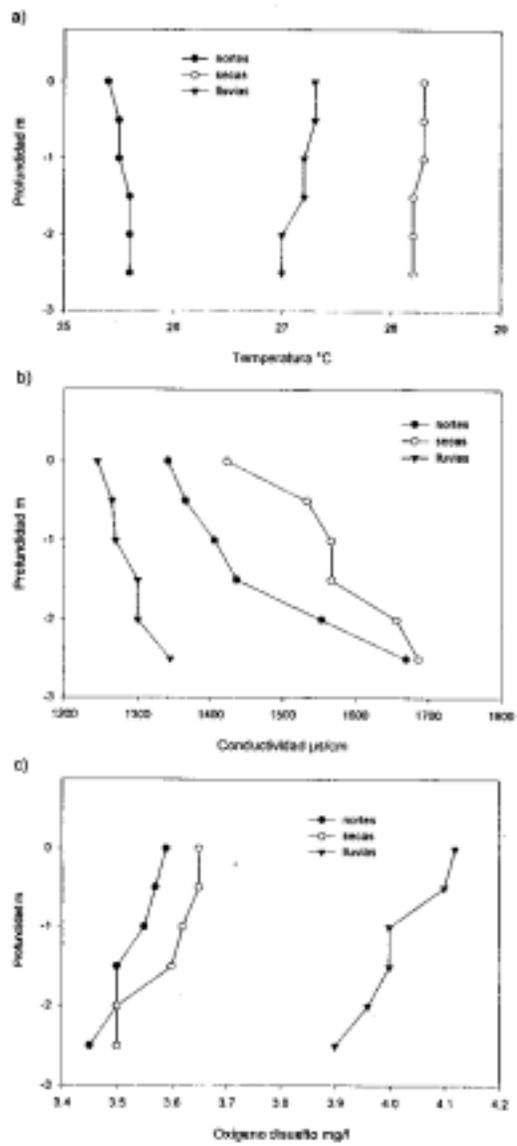


Figura 18.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Aventura durante tres pocas ciñnalológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

20) PARAISO

Temperatura

En el periodo de nortes se apreciaron las temperaturas más bajas asociadas al descenso de ésta variable como consecuencia de la climatología característica de dicha época. No se observó gradiente de temperatura y el valor medio fue de 25.8 °C. En secas y Lluvias se advirtió un ligero gradiente en éste cenote somero, de agua más fría de la superficie al fondo; la temperatura media en Lluvias fue de 28.2 °C y en secas de 29.2 °C (Fig. 19a).

Conductividad

Durante [as tres pocas climáticas se observó una variación de la conductividad con un gradiente de valores más bajos en la superficie aumentando progresivamente hacia el fondo. Para el periodo de nortes se registró la conductividad más baja de todo el año (1450-1600 ps/cm). En Lluvias se observó la conductividad más elevada con el gradiente más amplio desde la superficie hasta el fondo, con 1700 us/cm y 1810 ps/cm, respectivamente (Fig. 19b).

Oxígeno disuelto

El gradiente de oxígeno presente durante secas y Lluvias fue de valores más altos en la superficie que los registrados en el fondo (Fig. 19c). En nortes se registró una condición contraria, en donde las concentraciones más bajas se registraron en superficie (2.8 mg/l) que en el fondo (3.8 mg/l).

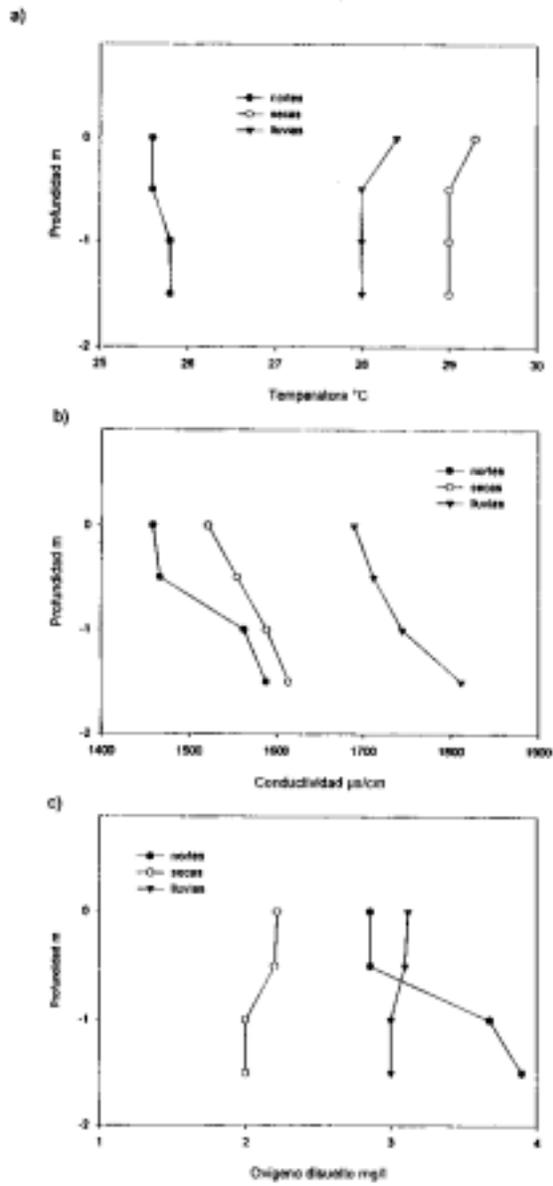


Figura 19.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Paraiso durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

21) LOS 3 HERMANOS

Temperatura

Durante el muestreo correspondiente a la época de nortes no se apreció variación de la temperatura en los diferentes niveles de profundidad, registrándose un valor de 24.5 °C a lo largo de los 4 m que presenta éste cenote; la falta de estratificación en ésta temporada está asociada a las bajas temperaturas del aire que pueden enfriar la columna de agua y homogeneizarla respecto a la red subterránea que alimenta a estos cuerpos de agua característicamente fría (Fig. 20a).

En época de lluvias y secas cambió ésta condición homogénea en la columna de agua, registrándose consistentemente temperaturas más altas en la superficie (28.5 °C) y un gradiente hasta los 4 metros donde se establecieron valores de temperatura menores, de 26 °C y 27 °C en Lluvias y secas respectivamente.

Conductividad

De igual forma, el comportamiento de la conductividad en la columna de agua *correspondiente a la época de nortes se aparte del observado en el resto del año*. En éste periodo la conductividad fue de 700 ps/cm en la superficie y 710 ps/cm consistentemente desde 0.5 m..

En secas se observe un gradiente de conductividad que va de la superficie (750 ps/cm) al fondo (820 ps/cm); aunque la diferencia de valores es de escasa magnitud, puede considerarse que aún en esta época existe insumo de agua dulce al cenote y que por diferencia de densidades opera una disposición de agua menos dulce en el fondo del cuerpo de agua (Fig. 20b). Para la temporada de lluvias se registró el intervalo de variación de la conductividad más amplio a lo largo de la columna de agua de este cenote; la recarga del manta freático durante éste periodo influye en el aporte de agua dulce al cuerpo de agua estableciéndose un gradiente vertical de menor conductividad en la superficie (700 ps/cm) a valores más altos en el fondo (820 ps/cm).

Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno más bajas se registraron en nortes (1.0-1.3 mg/l), aunque el gradiente de valores fue cualitativamente similar a lo observado en secas y Lluvias; es decir, concentraciones de oxígeno más altas en la superficie donde es posible cierta energía mediante los vientos e intercambio gaseoso en la interfase agua-aire; y por otra parte, valores menores en el fondo donde se llevan a cabo procesos de descomposición de materia orgánica que demandan oxígeno. Los gradientes de oxígeno disuelto de superficie al fondo para el complemento anual en dicho cenote fueron de 3.0 mg/l a 2.9 mg/l y de 3.4 mg/l a 3.0 mg/l en secas y Lluvias, respectivamente (Fig. 20c).

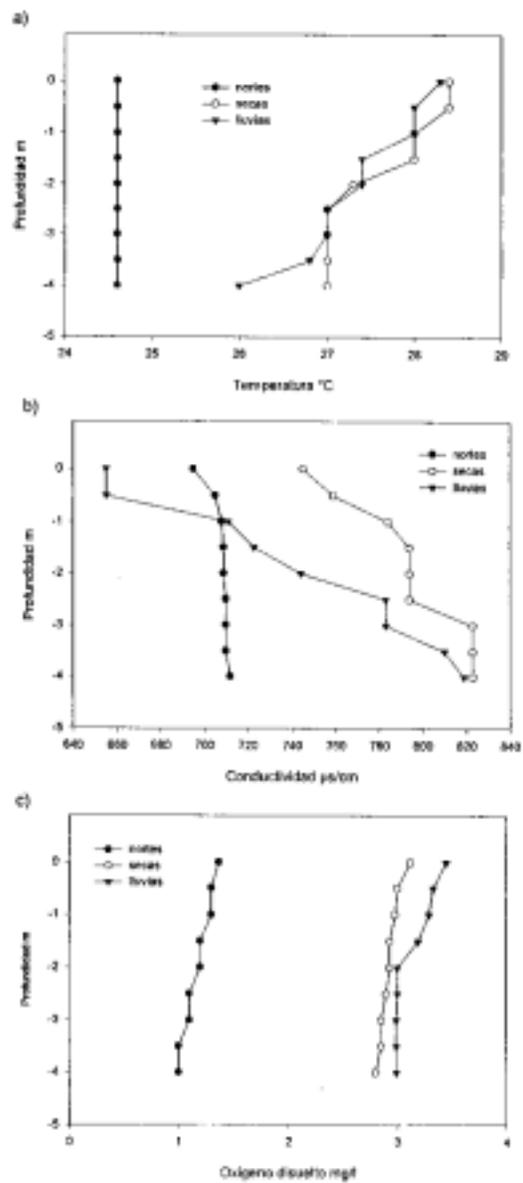


Figura 20.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Los 3 Hermanos durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

22) VACA-HA

Temperatura

Durante la época de nortes, la temperatura se mantuvo alrededor de los 25 °C, siendo ligeramente mayor en la superficie. En secas se apreció un gradiente que va de 29 °C a 28 °C de la superficie al fondo; en esta época se constataron las temperaturas mas elevadas del año. Durante el periodo lluvioso la temperatura permaneció casi constante a 27 °C en la columna de agua (Fig. 21a).

Conductividad

En la época de nortes la conductividad fue aproximadamente de 2300 ps/cm de la superficie hasta los 3.5 m de profundidad; en el fondo la conductividad aumentó considerablemente hasta 2700 ps/cm debido a la entrada de agua saladas al sistema. Durante la época seca se observó un gradiente que progresaba de la superficie (2600 ps/cm) al fondo del cenote (2700 ps/cm). En la época de Lluvias, se observaron dos zonas, en el primer metro de profundidad se determinaron valores de conductividad de 2100 ps/cm, a mayor profundidad la conductividad aumentó a 2400 ps/cm (Fig. 21 b).

Oxigeno Disuelto

En las tres pocas se apreciaron valores mayores de oxigeno disuelto en la superficie que en el fondo. En la época de nortes la concentración de oxigeno va de 2.5 mg/l a 1.7 mg/l, de la superficie al fondo respectivamente. En la época de secas, se observó que durante los primeros 3 m la concentración fue de 2.3 mg/l, disminuyendo hasta 1.6 mg/l a profundidades mayores. En Lluvias se dieron las concentraciones más altas de todo el año; de acuerdo con lo anterior, se observó un gradiente de 3.2 mg/l aproximadamente en la superficie y 2.2 mg/l en el fondo (Fig. 21 c).

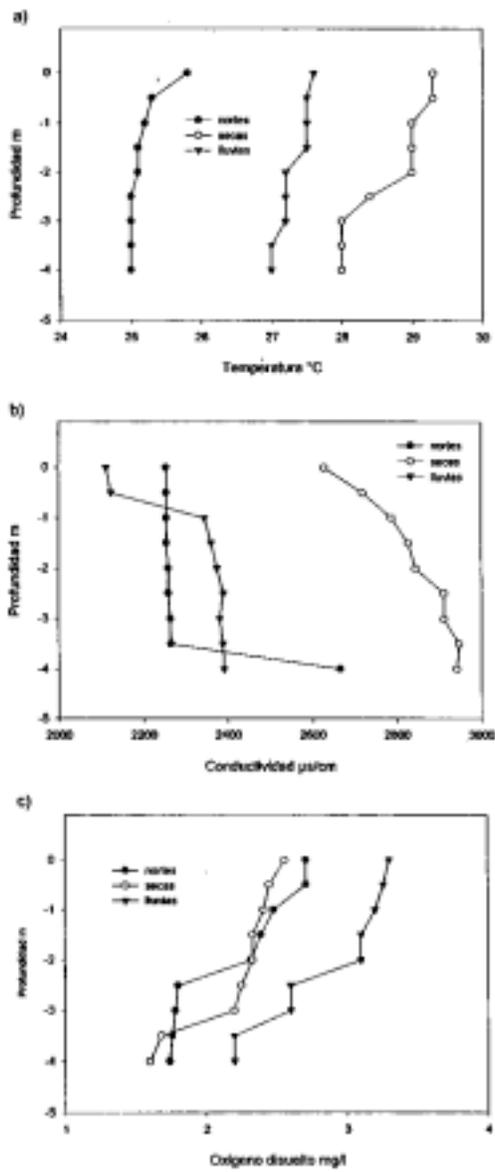


Figura 21.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Vaca Há durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

23) TORTUGA

Temperatura

Durante la época de nortes la temperatura va de 25.9 °C a 25.4 °C de la superficie al fondo, constituyendo el periodo climatológico menos variable. En la temporada de secas se distinguen dos zonas, una que va de la superficie a los 2 m de profundidad con temperaturas de 28.7 °C y otra con una profundidad mayor de 2.5 metros que presenta una temperatura de 28 °C, en esta época se registraron las temperaturas más altas de todo el año. En Lluvias, también se apreciaron dos zonas, de la superficie hasta los 3 metros se determine una temperatura de 27 °C, y de 3 m al fondo se observe una temperatura de 26.2 °C (Fig. 22a).

Conductividad

Durante los tres muestreos se observaron valores de conductividad menores en la superficie que en el fondo, esto sugiere un aporte de agua salina en el fondo del cenote a lo largo del año. En nortes, la conductividad va de 2450 ps/cm en la superficie y 2475 ps/cm en el fondo. En época de secas se apreció una variación en la conductividad de 2576 ps/cm en la superficie y 2650 ps/cm a los 4 metros, durante ésta periodo se registraron los valores de conductividad más altos. En Lluvias se estableció una conductividad menor y la variación entre los valores de conductividad de la superficie y el fondo fue de 1917 ps/cm y 1972 ps/cm, respectivamente (Fig. 22b).

Oxígeno disuelto

En la época de nortes la concentración de oxígeno disuelto fue ligeramente menos constante en la columna de agua que en secas o Lluvias, con un valor de 4.0 mg/l en la superficie y 3.0 a los 4 metros. Durante las pocas de secas y Lluvias no existió un gradiente vertical apreciable de oxígeno a lo largo de la columna de agua; el valor medio de oxígeno disuelto para ambos periodos fue de 3.7 mg/l y 3.3 mg/l, respectivamente (Fig. 22c).

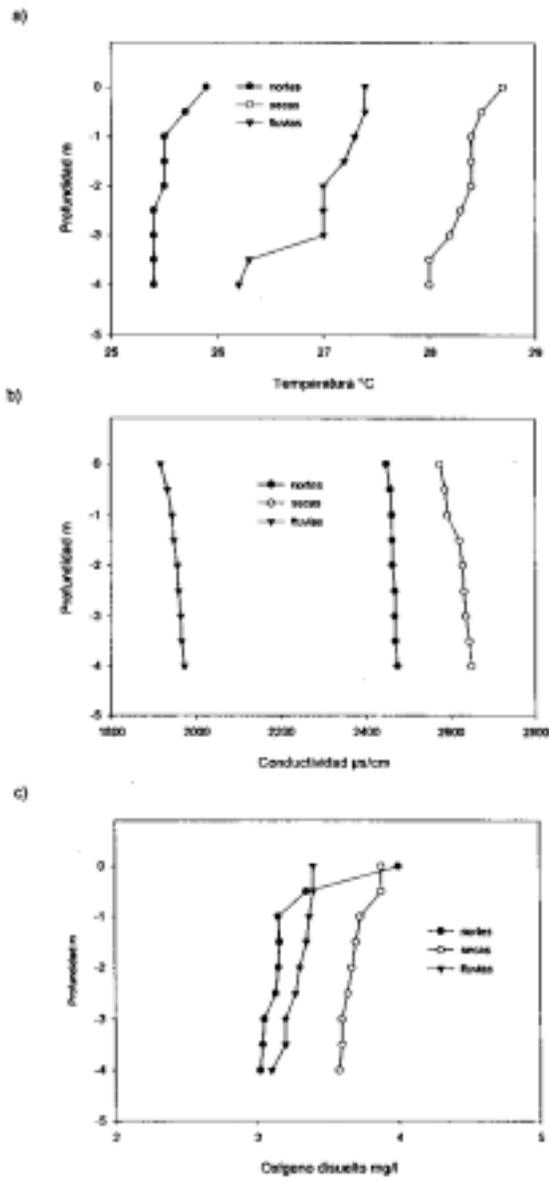


Figura 22.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Tortuga durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

24) TCRTUGUITA

Temperatura

Durante las tres épocas climatológicas, la temperatura exhibió un comportamiento homogéneo dentro de la columna de agua de la cual su característica más notable es la escasa profundidad. El valor medio de temperatura para cada una de las épocas fue de 25.8 °C en nortes, 29.9 °C en secas y 28.3 °C para el periodo de Lluvias (Fig. 23a).

Conductividad

Sólo durante Lluvias se manifestó diferencia entre la conductividad de la superficie del cenote con respecto al Fondo, los valores correspondientes para ambos estratos fueron 625 ps/cm y 614 ps/cm, lo cual confirma que el aporte de agua dulce a través de la red subterránea durante ésta época fue significativo. En nortes la conductividad fue de aproximadamente 798 ps/cm, mientras que en la temporada de sequia se registró una condición igualmente homogénea de la columna de agua y una conductividad de 830 s/cm (Fig. 23b).

Oxígeno disuelto

En las tres épocas se aprecian valores de anoxia, la cual fue más evidente durante Lluvias. A pesar de su escasa profundidad el abatimiento de la concentración de oxígeno en la columna de agua es manifiesto, lo cual podría deberse a las dimensiones que presenta éste cenote, cuya capacidad de carga de la materia orgánica en descomposición proveniente de la vegetación que le circunda es superada fácilmente (Fig. 23c).

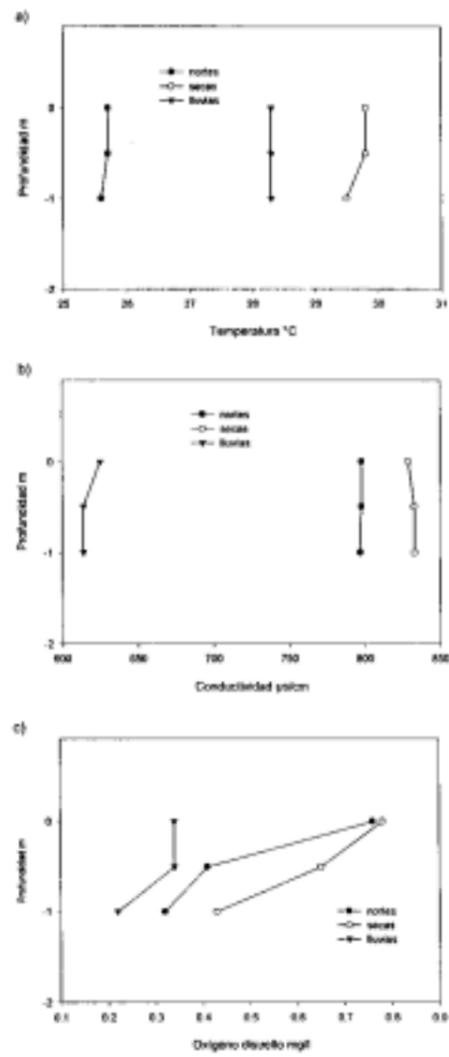


Figura 23.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Tortuguita durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

25) GRAND CENOTE

Temperatura

Las condiciones de la columna de agua fueron considerablemente homogéneas con respecto a la temperatura, en nortes se registró los valores mínimos de dicha variable y en Lluvias los mas altos, así como el comportamiento más heterogéneo; para el periodo de secas, la temperatura fue intermedia a la de las otras dos épocas y tampoco hubo algún rasgo apreciable de heterogeneidad en la temperatura de la columna de agua (Fig. 24a).

Conductividad

La columna de agua presentó durante [as tres épocas (con especial claridad en nortes) un gradiente de conductividad desde el fondo del sistema hasta la superficie en donde se midieron los valores de conductividad más bajos; lo anterior resultaría de la intrusión salina que se presenta en los cenotes cercanos a la costa y de que el agua con más sales permanece por debajo del agua dulce gracias a su densidad (Fig. 24b).

Oxígeno disuelto

Como en la mayoría de los cenotes descritos hasta ahora el perfil vertical de oxígeno describe un ligero gradiente de concentración desde la superficie donde es posible el intercambio gaseoso con la atmósfera hasta el fondo de naturaleza más dinámica y en donde el aporte de agua dulce, pobre en oxígeno se hace patente en el decremento de su concentración (Fig. 24c).

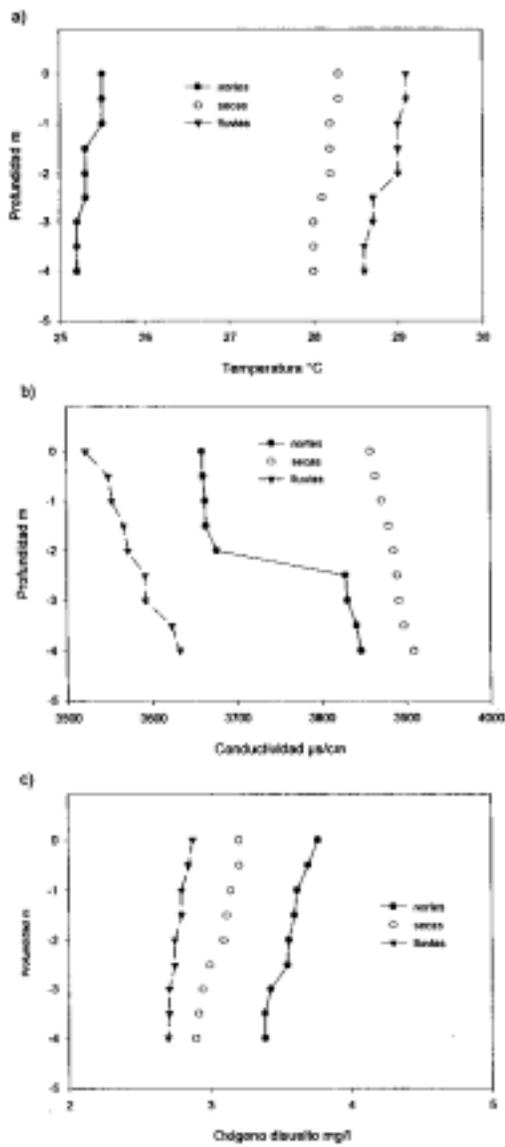


Figura 24.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Grand Cenote durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

26) CALAVERA

Temperatura

No se apreció la existencia de algún gradiente durante la temporada de nortes, los valores en dicho periodo se establecieron en 24.8 °C aproximadamente. Por otra parte, en secas se determine una diferencia más amplia entre las temperaturas de la superficie del cenote y la del fondo, lo cual representa el gradiente de temperatura más notable de todo el año; en éste periodo las condiciones del medio generan un mayor calentamiento en la superficie de los cuerpos de agua, propiciando un aumento de la tensión de vapor en la interfase con el aire lo cual deriva en mayor evaporación. El gradiente en ésta temporada estuvo dada entre 27.5 °C en la superficie y 26 °C a los 6 m; las temperaturas correspondientes a la época de Lluvias fueron de 28.3 °C y 27.5 °C, con un gradiente equivalente al observado en secas (Fig. 25a).

Conductividad

En Lluvias se presentó un gradiente de conductividad de la superficie al fondo (en donde el aporte de agua dulce se efectúa); los valores observados en Lluvias fueron de 4212 ps/cm en la superficie y 4042 ps/cm a 6 m. Para las épocas de nortes y secas no se advirtió heterogeneidad en la columna de agua con respecto a esta variable y los valores de conductividad en ambas temporadas fueron de 4516 ps/cm y 4800 ps/cm, respectivamente (Fig. 25b).

Oxígeno disuelto

No se observe heterogeneidad en la columna de agua con respecto a la concentración de oxígeno disuelto durante el año. Las concentraciones para cada época fueron de 5.1 mg/l, 4.8 mg/l y 3.6 mg/l para nortes, secas y Lluvias, respectivamente (Fig. 25c).

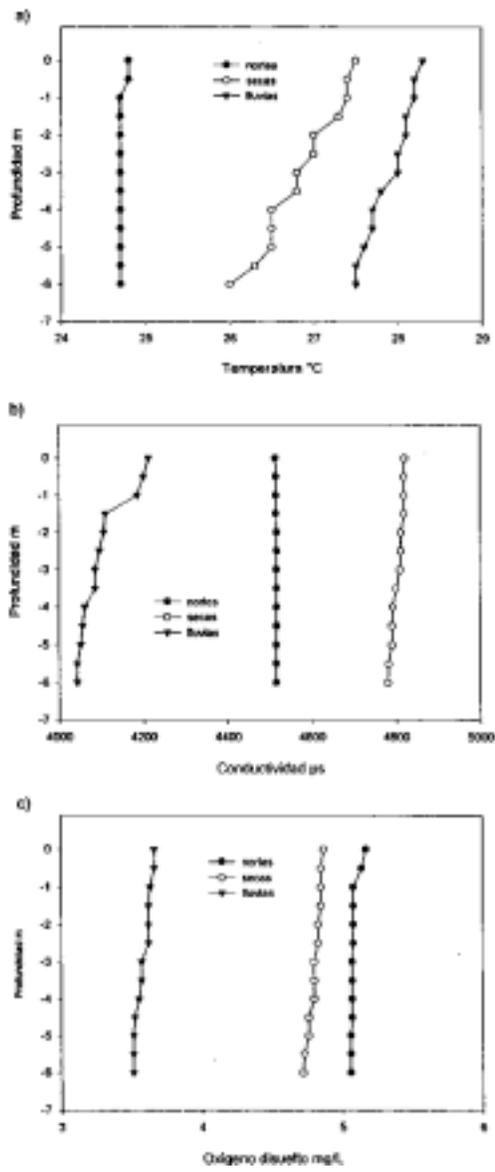


Figura 25.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columnas de agua del cenote Calavera durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

27) CABANAS TULUM

Temperatura

En secas y Lluvias se observó un gradiente de temperatura desde la superficie hasta el fondo del cenote (2 m), con temperaturas más bajas en Lluvias que en secas (Fig. 26a). La temporada de nortes exhibió un comportamiento diferente en términos del gradiente de temperatura, ya que se establecieron valores ligeramente más bajos en la superficie (25.6 °C) que en el fondo (25.7 °C).

Conductividad

El gradiente de conductividad fue semejante durante las tres épocas climáticas; al respecto, se determinaron valores menores en la superficie del cuerpo de agua y un aumento de la conductividad a lo largo de la columna de agua. En nortes se *registraron los valores de conductividad más bajos del año y en Lluvias los más elevados*, mientras que la época de secas se mantuvo con una condición intermedia (Fig. 26b).

oxígeno disuelto

Durante las tres épocas que caracterizan la climatología de la Península de Yucatán se apreció indistintamente un gradiente en [a concentración de oxígeno de la superficie hacia el fondo del cenote. El comportamiento del perfil de oxígeno durante la época de nortes muestra una relación entre la disminución de la concentración de oxígeno y el aumento de la profundidad aproximadamente lineal, lo cual sugiere que existen procesos en el fondo que abaten el oxígeno, tal como la descomposición aeróbica de materia orgánica, así como fenómenos en la superficie que pueden aumentar la concentración de oxígeno como el intercambio gaseoso con el aire. En este periodo se determinó un gradiente de 1.86 mg/l a 1.48 mg/l; la condición correspondiente en secas y Lluvias estuvo dada por 2.21 mg/l y 1.88 mg/l, así como 2.1 mg/l y 1.7 mg/l, respectivamente (Fig. 26c).

28) CENOTE BALLENA

Temperatura

Se apreció un ligero gradiente de temperatura desde la superficie hasta el fondo; los valores menores de temperatura se registraron en nortes con una media de 25.6 °C (Fig. 27a); las temperaturas máximas se establecieron en el periodo de secas (media de 29.2 °C) y en Lluvias se apreció un gradiente desde la superficie (28.4) hasta el fondo (28.3 °C).

Conductividad

En la temporada de secas y lluvias se apreció un ligero gradiente de conductividad con valores mas altos desde la superficie del cenote hasta el fondo. En el periodo de secas se observaron valores medios de 1320 ps/cm; mientras que en Lluvias se registraron conductividades medias de 1140 ps/cm. Fue notable la homogeneidad de valores de conductividad durante el muestreo de nortes que se centraron en aproximadamente en 1146 ps/cm (Fig. 27b).

Oxígeno disuelto

Se apreció un gradiente muy ligero en la concentración de oxígeno desde la superficie al fondo del cuerpo de agua; los valores más altos de oxígeno en la columna de agua se registraron en la época de Lluvias, con un gradiente de 1.83 mg/l en la superficie y 1.76 mg/l a los 2 m. En nortes se manifestó un gradiente de mayor magnitud en relación con las otras pocas climáticas determinado entre 1.32 mg/l y 1.12 mg/l, mientras que en secas se observó una concentración de oxígeno de 1.21 mg/l en superficie y 1.15 mg/l en el fondo (Fig. 27c).

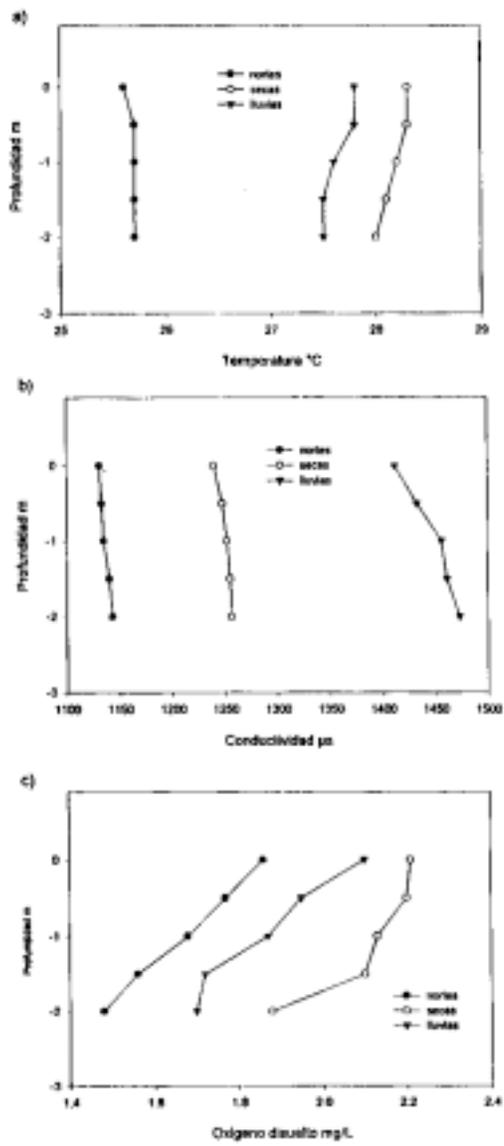


Figura 26.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Cabañas Tulum durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

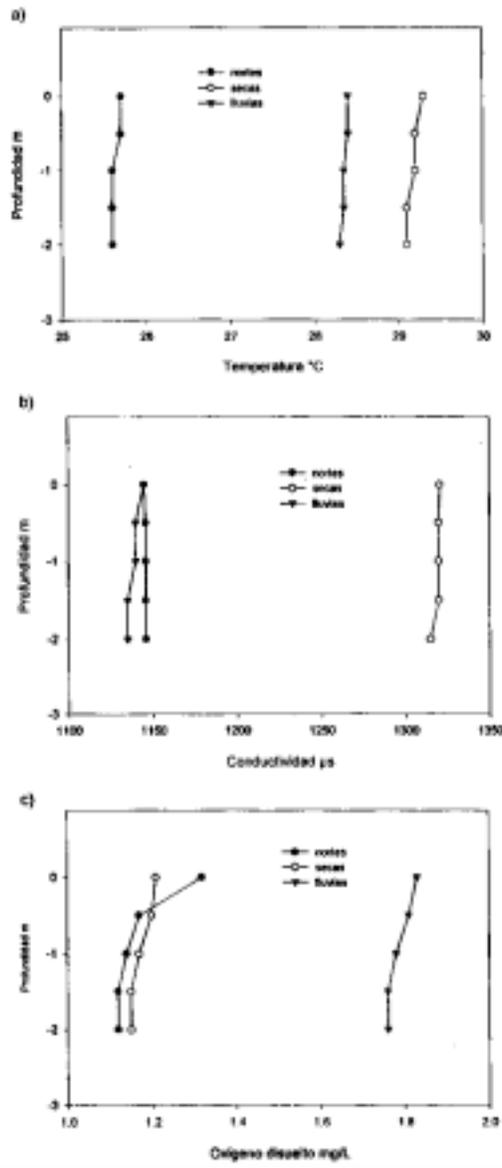


Figura 27.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Ballena durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

29) SAN ERIC

Temperatura

Fue notable la homogeneidad que se constató durante el periodo de nortes a lo largo de los 7 m de la columna de agua de este cenote; en secas se registraron [as temperaturas más elevadas del estudio para éste cuerpo de agua con un gradiente de la superficie (28.7 °C) al fondo (27.8 °C); para la temporada lluviosa se mantuvo ésta relación de temperatura con la profundidad en un gradiente determinado por un valor en la superficie de 27.6 °C y 26.8 °C a los 7 metros (Fig. 28a).

Conductividad

El gradiente fue casi inexistente en secas y nortes, con valores medios para ambos periodos de 1240 $\mu\text{s/cm}$ y 1185 $\mu\text{s/cm}$, respectivamente; el valor más bajo durante Lluvias, confirma que la presión hidrostática durante dicho periodo aumenta, generando un aporte de mayor intensidad de agua dulce a éste tipo de ecosistemas; asimismo, el gradiente vertical hace patente un proceso de intrusión salina que define la ubicación de agua menos dulce en el fondo de éste cenote localizado en las proximidades de la costa (Fig. 28b).

Oxígeno disuelto

Durante los muestreos correspondientes a cada época del año pudo constatarse un gradiente de la superficie al fondo del cenote; en la temporada correspondiente a nortes se observó el gradiente más marcado en el que ambos extremos estuvieron definidos entre 2.58 mg/l y 2.15 mg/l; en secas y Lluvias fue evidente un comportamiento similar del gradiente; los valores de oxígeno en superficie y fondo para ambos periodos fueron de 2.45-2.30 mg/l y 2.66-2.50 mg/l, respectivamente (Fig. 28c).

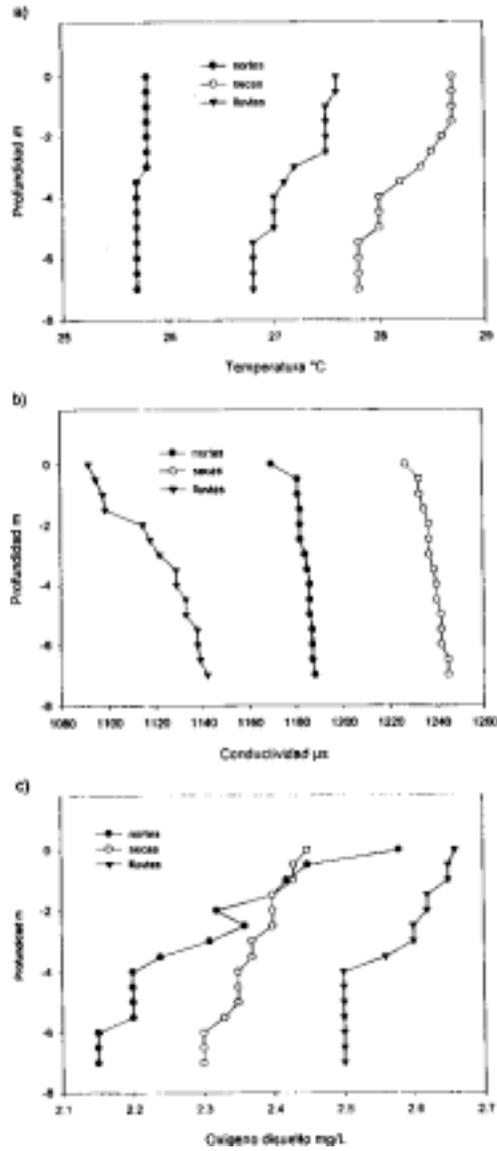


Figura 28.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote San Eric durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad, c) oxígeno disuelto.

30) LIRIOS

Temperatura

No existió gradiente en ninguna de las tres pocas climáticas y las temperaturas más bajas correspondieron a la temporada de nortes, seguida por el periodo de sequía y durante Lluvias se registraron las temperaturas más altas de todo el año (Fig. 29a).

Conductividad

El gradiente de conductividad durante el periodo lluvioso sugiere la existencia de intrusión salina en este cuerpo de agua costero; comparativamente la época de secas permanece con la misma condición de estratificación, aunque con valores superiores; finalmente en nortes no se apreció heterogeneidad en los valores de conductividad de la columna de agua (Fig. 29b).

Oxígeno disuelto

El comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto fue al igual que la temperatura poco variable y destaca ligeramente la época de nortes en la cual la energía asociada con los vientos que arriban durante este periodo favorecieron valores elevados de oxígeno en la superficie (Fig. 29c).

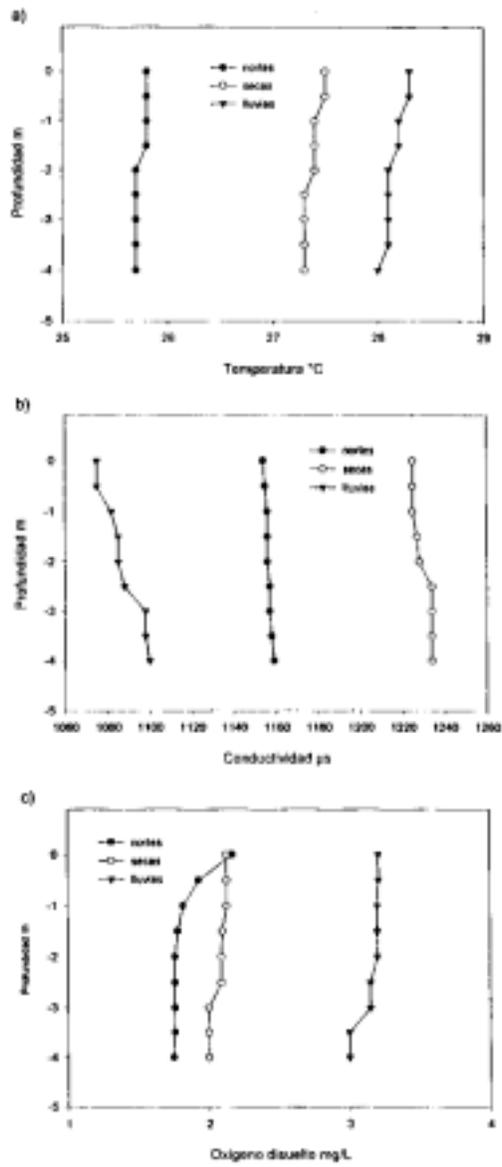


Figura 29.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Lirios durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad, c) oxígeno disuelto.

31) PUNTA SOLIMAN

Temperatura

El gradiente de temperatura en éste sitio fue prácticamente inexistente, con valores más altos en la superficie y temperaturas menores en el fondo; la época de nortes presentó un intervalo de variación de 26.9 °C en la superficie y 26.6 °C a los 3 m. En secas se apreciaron las temperaturas más altas de todo el año igual a 29.6 °C en promedio; mientras que al periodo de Lluvias correspondió un valor medio de aproximadamente 28.7 °C en toda la columna de agua (Fig. 30a).

Conductividad

En nortes se apreció un gradiente más notable, en donde la conductividad mayor correspondió al fondo del cenote (4000 ps/cm) y una disminución gradual hacia la superficie del cuerpo de agua (3680 ps/cm). En secas se determinaron los valores de conductividad más altos de todo el año y el gradiente fue definido en 3875 ps/cm en superficie hasta 3970 ps/cm en el fondo; mientras que en Lluvias se observe una conductividad menor de 3278 ps/cm en superficie y 3845 ps/cm en el fondo (Fig. 30b).

Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron similares para los muestreos correspondientes a secas y Lluvias, aunque para éste último se registraron los valores más bajos. Durante las tres épocas se registraron valores de oxígeno ligeramente mayores en la superficie que en el fondo (3 m); por otra parte, en nortes se observaron las concentraciones más altas del año iguales a 4.6 mg/l en la superficie y 4.4 mg/l en el fondo (Fig. 30c).

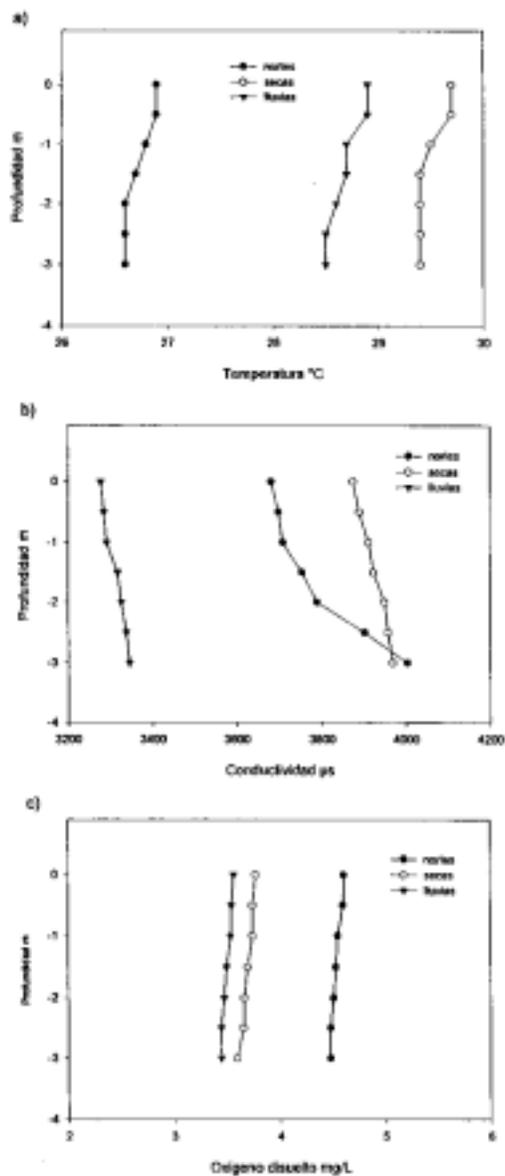


Figura 30.- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Punta Solimán durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

32) CRISTAL

Temperatura

El comportamiento de esta variable fue homogéneo a lo largo del perfil vertical (4.5 m), la temperatura media correspondiente fue de 25.5 °C. el gradiente observado en las épocas de secas y Lluvias fue de altas temperaturas superficiales y agua más fría en los estratos más bajos; la temperatura media presente en la columna de agua durante secas y Lluvias fue de 28.2 °C y 27°C, respectivamente (Fig. 31 a).

Conductividad

No existió gradiente de conductividad evidente en nortes, aunque se constató cierta relación de incremento en la conductividad con la profundidad en los periodos de secas y Lluvias. La conductividad media durante cada época fue de *3680 ps/cm*, *3950 ps/cm* y *3470 us/cm para nortes, secas y lluvias*, respectivamente (Fig. 31b).

Oxígeno disuelto

El gradiente observado a lo largo de las épocas climáticas fue de altas concentraciones en la superficie, las cuales disminuyeron hacia niveles más bajos de la columna de agua; en nortes el gradiente estuvo definido en el intervalo de 1.99 mg/l a 1.00 mg/l; en secas fue determinado entre 2.10 mg/l y 1.30 mg/l, mientras que en Lluvias la concentración de oxígeno disuelto fue de 2.45 mg/l en la superficie y 1.95 mg/l en el fondo (Fig. 31 c).

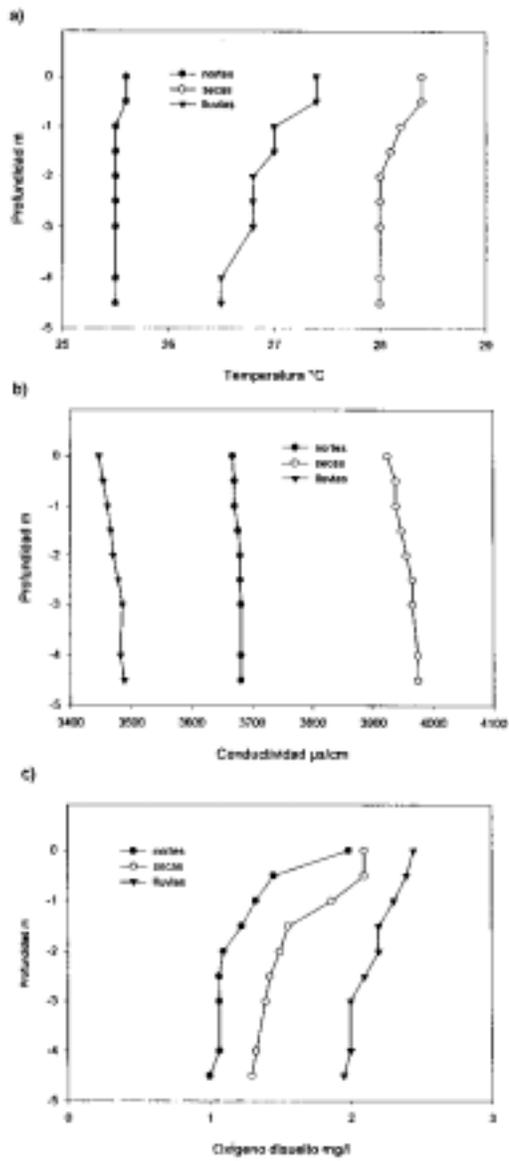


Figura 31- Perfil vertical de parámetros fisicoquímicos en la columna de agua del cenote Cristal durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.

VI. ANÁLISIS DE VARIABILIDAD DE LOS CENOTES DE YUCATÁN Y QUINTANA ROO

Temperatura

Una de las variables cuya influencia sobre los ecosistemas acuáticos de la Península de Yucatán ha probado constituir un factor de transformación de gran magnitud es la temperatura; su fluctuación está ligada directamente con la climatología de la zona y por tanto impone condiciones sobre los procesos de la columnas de agua con una variabilidad significativa a lo largo del año. De acuerdo con la figura 32 los cenotes de Yucatán y Quintana Roo despliegan una variabilidad notable entre las diferentes pocas climáticas evidente en la ubicación de las medias correspondientes a cada periodo del año. La caja correspondiente a la variabilidad contenida en la temperatura de los cenotes para la época de nortes no sólo muestra valores visiblemente más bajos

con respecto a los otros dos periodos climáticos sino también un rango de variabilidad más amplio que el observado para el resto del año. Lo anterior, es resultado de los procesos atmosféricos que caracterizan a esta temporada del año, en la cual se aproximan masas de aire polar que mantienen su integridad por miles de kilómetros y constituyen frentes Fríos que inducen el descenso de la temperatura y que al interactuar con masas de aire tropical, más caliente, subsiden ante estos, efectuándose el calentamiento por convección de los que fueron frentes fríos; con éste proceso se generan precipitaciones que pueden aportar agua dulce con baja temperatura a los sistemas acuáticos, complementándose con el efecto de enfriamiento de dichos sistemas derivado de la baja temperatura del aire.

Una de las particularidades de los fenómenos descritos anteriormente es su relativa escasa duración, lo cual estaría relacionado con la notable variabilidad definida por el intervalo que acompaña a la caja de la época de nortes y también con el hecho de que la media se encuentre localizada en el área de menores temperaturas, esto sugiere que los registros de dichas temperaturas mantuvieron una mayor frecuencia que los tendientes a temperaturas más altas.

Las temperaturas más elevadas, así como la variabilidad más relajada correspondió al periodo de secas, consecuencia de las elevadas temperaturas del aire, baja precipitación y máxima evaporación correspondientes a ésta temporada; asimismo, dichas condiciones pueden favorecer los procesos de descomposición de materia orgánica en los sistemas acuáticos.

En Lluvias pudo observarse una variabilidad mayor que durante la época de secas, aunque no de la magnitud observada por la época de nortes; el elevado y constante aporte de agua dulce a través de la precipitación se manifiestan en la ausencia de datos extremos, menor amplitud del intervalo y coincidencia de la media con la porción central de la caja, que demuestra además simetría entre los datos por encima y por debajo de la medida de tendencia central (Fig. 32a).

Conductividad

Las tres épocas mostraron diferencias significativas entre sus medias de conductividad. La temporada de secas presentó la media más alta de todo el año, así como la variabilidad más amplia. Cuando no existe la presión hidrostática generada por el volumen del manto freático, tal como sucede durante el periodo más seco del año, puede aumentar la intrusión salina, favoreciendo valores elevados de conductividad en éstos sistemas acuáticos. En Lluvias se observaron las conductividades más bajas del estudio y la menor variabilidad; se considera que el intenso insumo de agua a través de la precipitación propicia cierta consistencia entre los valores registrados de conductividad, evidenciado como una menor área de las cajas.

Durante nortes se observó una media de conductividad situada entre la de secas y la de la época de Lluvias, con una variabilidad levemente más alta a la que se apreció en Lluvias (Fig. 32b).

Oxígeno disuelto

La variabilidad acotada por las fluctuaciones de oxígeno no definió una diferencia significativa entre las medias correspondientes a cada época climática, aunque sí fue notable la variabilidad descrita por los datos al interior de cada periodo.

De acuerdo a lo anterior, la época de nortes mostró una variación superior a la de las demás épocas, seguida por la temporada de secas; la primera resultado de la energía que acompaña a los eventos climáticos que le caracterizan y la segunda probablemente asociada con los procesos de descomposición orgánica que emplean oxígeno y que se ven favorecidos con el contexto físico y ambiental dominante en ésta temporada (Fig. 32c).

La recarga del manta freático durante la época lluviosa de la Península favorece la homogeneización de la red de agua subterránea, determinando valores de oxígeno disuelto en los cenotes más consistentes durante dicho periodo; Iv anterior hace patente también que en éste periodo climático los diversos materiales adyacentes a estos cuerpos de agua son acarreados a través de sus conexiones hasta alcanzar su destino final que es el litoral.

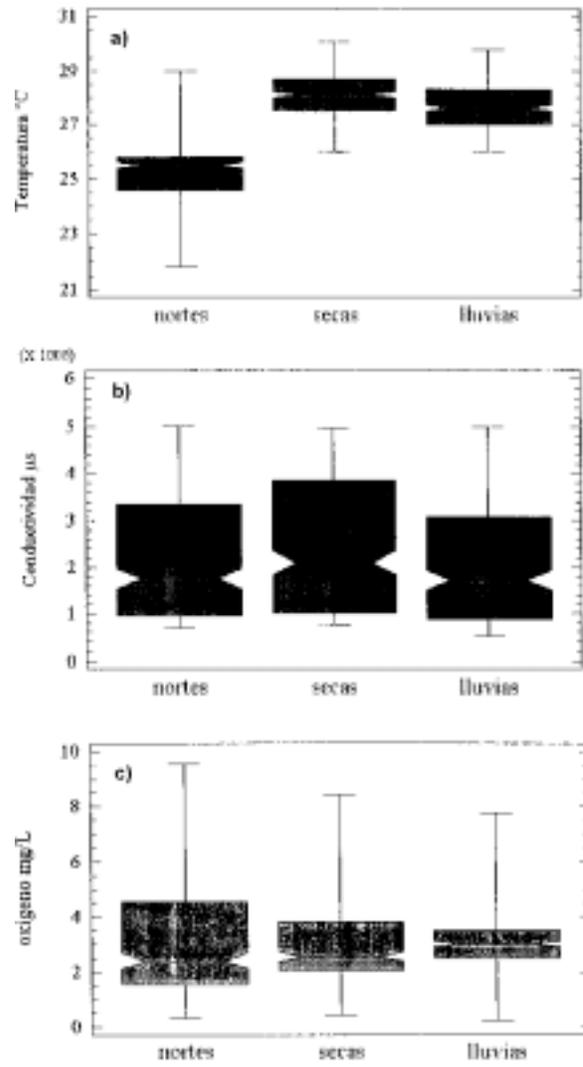


Figura 32.- Diagramas box & whisker para tres parámetros fisicoquímicos en los cenotes de Yucatán y Q. Roo durante tres pocas climatológicas: a) temperatura; b) conductividad; c) oxígeno disuelto.