

Dinámica de la interfase salina y calidad del agua en la costa nororiental de Yucatán

Graniel C. Eduardo¹, Vera M. Irany² y González Hita Luis³

RESUMEN

El desarrollo poblacional, turístico y agrícola han incrementado la extracción de agua subterránea para cubrir las demandas en Yucatán, México, por lo que la dinámica del acuífero costero está influenciada por estas extracciones, originando así la variación de la interfase agua dulce-agua salada. El estudio de la variación temporal de la interfase salina se llevó a cabo basándose en perfiles de calidad de agua, recolección de muestras de agua, medición de la superficie piezométrica y la determinación de los iones mayores en 12 pozos ubicados entre Telchac Puerto y El Cuyo. El flujo de agua subterránea es de sureste a noroeste y existen dos zonas hidrogeológicas; la primera entre Telchac Puerto y Dzilam Bravo compuesta de calizas de origen marino y la segunda entre San Felipe y El Cuyo, compuesta de calizas muy compactas y duras con alto contenido de arcillas y en algunas zonas se tiene margas y lutitas. En la segunda zona existe un flujo de agua dulce mayor, debido a que las fracturas existentes funcionan como canal preferente de circulación de agua que descarga al mar y que desplaza al agua salada que tiende a penetrar al continente.

Palabras clave: Intrusión marina, calidad del agua, Yucatán.

ABSTRACT.

The agricultural population and tourist development have increased the groundwater extraction to cover the demands in Yucatan, Mexico; reason why the dynamics of the coastal aquifer this influenced by these extractions, originating the variation of the salt water intrusion. The study of the temporary variation of the salt water intrusion was based on profiles of quality of water, samples of water, mensuration of the water level and the determination of the major ions in 12 wells located between Telchac Puerto and El Cuyo. The groundwater flow is from south to north and two hydrogeological areas exist; the first between Telchac Puerto and Dzilam Bravo composed of limestones of marine origin and the second between San Felipe and El Cuyo composed of very compact and hard limestones and with high content of clays and in some areas one has loams and shales. In the second area a flow of more fresh water exists, due to the fractures that it works as preferable channel of circulation of water that it discharges to the sea and that it displaces to the salted water that penetrate to the continent.

Keywords: salt water intrusion, quality water, Yucatan.

INTRODUCCIÓN

En un acuífero costero en condiciones naturales, se produce un movimiento tridimensional del agua dulce hacia el mar y considerando que el agua dulce y salada son miscibles, existe una zona de transición donde por procesos de difusión, estas aguas se mezclan progresivamente (López, 1988). La zona de mezcla se puede desplazar por efecto de:

disminución del flujo de agua dulce al mar, del aumento de la permeabilidad y heterogeneidad, de la diferencia de densidades y de las oscilaciones de las mareas. En un acuífero costero sin explotación existe un equilibrio agua dulce-agua salada que dependen del volumen de agua dulce que se vierta al mar (Figura 1).

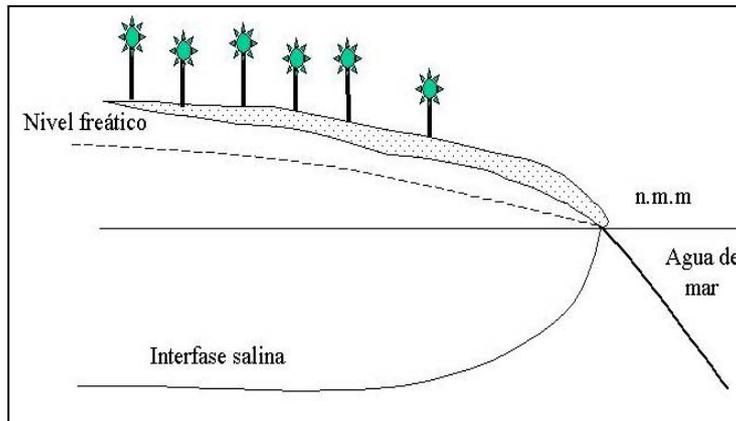


Figura 1. Interacción del agua dulce y el agua de mar bajo condiciones de equilibrio

Cuando el acuífero es explotado, el volumen de agua dulce que fluye hacia el mar se reduce y la interfase tiende a alcanzar un nuevo equilibrio, penetrando tierra adentro (Figura 2). Si el volumen de extracción es mayor que la recarga del acuífero el proceso dinámico de la intrusión es continuo y en un

cierto tiempo los pozos o sondeos de explotación se contaminarían por agua salina. Por lo tanto, para mantener la interfase en un cierto equilibrio hay que dejar que una porción de volumen de agua dulce se vierta hacia el mar (Custodio, 1983).

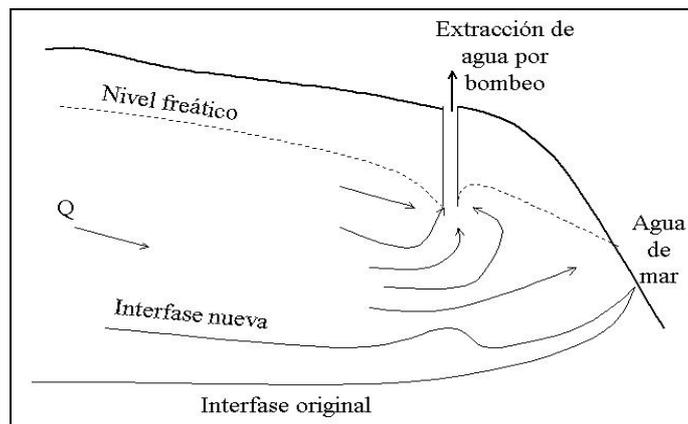


Figura 2. Flujo de agua a través de un sistema de bombeo

Los primeros estudios de la relación del agua dulce y del agua salada en regiones costeras se realizaron en Holanda y Alemania por Badon Ghyben en 1889 y Herzberg en 1901. En donde la máxima penetración de la cuña de agua salada viene limitada por el fondo impermeable del acuífero que se produce cuando (Figura 3):

$$h_d = z_0 \beta.$$

donde: h_d = cota sobre el nivel del mar del agua dulce en la vertical del punto A.

z_0 = profundidad de la base del acuífero bajo el nivel del mar y

$$1/\beta = (\gamma_s - \gamma_d) / \gamma_d.$$

donde:

γ_s = peso específico del agua salada, la cual varía generalmente entre 1,020 y 1,030 g/cm³, siendo el más frecuente 1,025 g/cm³.

γ_d = peso específico del agua dulce \cong 1000 g/cm³.

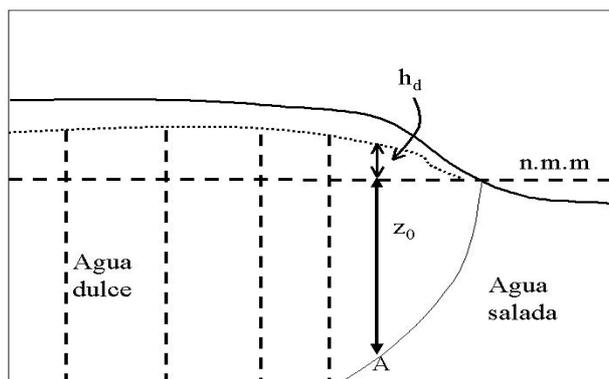


Figura 3. Relación de la carga hidráulica y la interfase salina

El valor de $1/\beta$ varía entre 33 y 55 siendo el valor más frecuente 40. Ello quiere decir que la interfase se sitúa a una profundidad bajo el nivel del mar igual a 40 veces la cota del agua dulce sobre el nivel medio del mar en aquel punto.

$$z_0 = 40 h_d$$

La ley de Ghyben-Herzberg describe correctamente la posición de la interfase salina si el ancho de la zona de mezcla es pequeño comparado con la profundidad de la base del acuífero y el movimiento del agua es prácticamente horizontal (Custodio, 1983).

En el Estado de Yucatán, el acelerado crecimiento poblacional, el desarrollo de la infraestructura turística y el incremento de las actividades agrícolas, han producido un aumento en la explotación del agua subterránea, única fuente de abastecimiento. La dinámica del acuífero costero se ve influenciada principalmente por las condiciones climáticas de la zona, así como por el incremento en la explotación del recurso hídrico, originando la variación del nivel en la interfase agua dulce-agua salada.

La dinámica del acuífero costero se ve expuesta a las influencias de los fenómenos meteorológicos relacionados con las estaciones del año. Ante el paso del Huracán Isidoro por la Península de Yucatán en septiembre del 2002, el acuífero se vio afectado por las intensas lluvias que azotaron Yucatán; por lo que la interfase salina fue retirada hacia el mar, debido a la alta permeabilidad del terreno lo que permitió el rápido desplazamiento de la interfase salina.

El acuífero de la zona costera, está constituido por calizas de moluscos, masivas, de color blanco a crema del Pleistoceno-Holoceno, cuyos

afloramientos conforman una banda más o menos amplia a lo largo de la costa, se le estima un espesor de 80 m y descansan sobre las calizas de la formación Carrillo Puerto del Mioceno Superior-Plioceno (Back, 1992). Este acuífero es altamente sensible por su gran permeabilidad, ya que se ha observado que la carga hidráulica producida por infiltración en la época de lluvias, origina una descarga hacia el mar (Perry *et al*, 1989; Marín y Perry, 1994).

En la zona entre San Felipe y El Cuyo se presentan depresiones topográficas que se ubican 5 m más abajo que el resto de la planicie, ésta es una consecuencia de la estructura geológica de la península ocasionada por una serie de fallas y dislocamientos (Back y Lesser, 1981); en algunos sitios el nivel estático llega a aflorar formando lagunas locales que se conocen como “sabanitas”. Las depresiones mencionadas constituyen una zona fracturada que por sus características y posición topográfica tiende a funcionar como un canal preferente a la circulación subterránea (Lesser, 1983). Los mayores volúmenes de agua infiltrados en la zona tienden a ser descargados al mar a través de dichas depresiones, desplazando así a la intrusión salina que se encuentra a lo largo de la costa.

La zona entre Dzilam de Bravo y Río Lagartos se caracteriza por ser acumulativa con cordones litorales (bermas y líneas de playa antiguas), en donde se da el avance de la línea de costa hacia el mar por emersión y sedimentación deltaica. Las formas cársticas más importantes son los manantiales costeros y cenotes, que representan zonas de descarga del acuífero asociadas con una de las zonas tierra dentro, de mayor densidad de fracturamiento. Las costas son erosivas (rocosas) con superficie de nivelación, plataformas de abrasión y terrazas (Tinajero, 1981).

El objetivo principal de este trabajo es estudiar el comportamiento de la dinámica de la interfase salina y analizar la calidad del agua dulce en la región nororiental del Estado de Yucatán, para el periodo de Diciembre 2002 a Mayo 2004. El estudio tiene como objetivos particulares: a) caracterizar las variaciones verticales regionales y estacionales de la interfase salina y b) monitorear la calidad y espesor de la lente de agua dulce en el acuífero costero del estado de Yucatán, para así planificar las extracciones de agua sin que afecten la calidad del agua subterránea.

METODOLOGÍA

La zona de estudio comprende la franja costera del estado de Yucatán y se localiza entre los paralelos 21° 10' y 21° 30' de latitud norte y los meridianos 87° 40' y 89° 20' de longitud oeste. La franja costera se extiende aproximadamente 40

kilómetros desde la línea de costa hacia tierra dentro, y cubre la porción del acuífero costero que presenta mayor vulnerabilidad a la intrusión de agua de mar (SARH, 1990). Las precipitaciones máximas del estado se presentan en la parte sureste y suroeste, y las precipitaciones mínimas en la parte norte (zona costera), observándose una distribución de la lluvia media en toda la zona localizada de suroeste y centro de la península (SARH, 1990).

Para el estudio de la dinámica de la interfase salina se perforaron 12 pozos de observación ubicados en 4 Transectos y 3 pozos en cada uno de ellos: Telchac Puerto-Motul (Transecto 1), Dzilam Bravo-Temax (Transecto 2), San Felipe-Panaba (Transecto 3) y El Cuyo-Colonia Yucatán (Transecto 4) (Figura 4); los cuales se georeferenciaron y se determinó la distancia de cada uno hacia la costa, tal como se indica en la Tabla número 1.

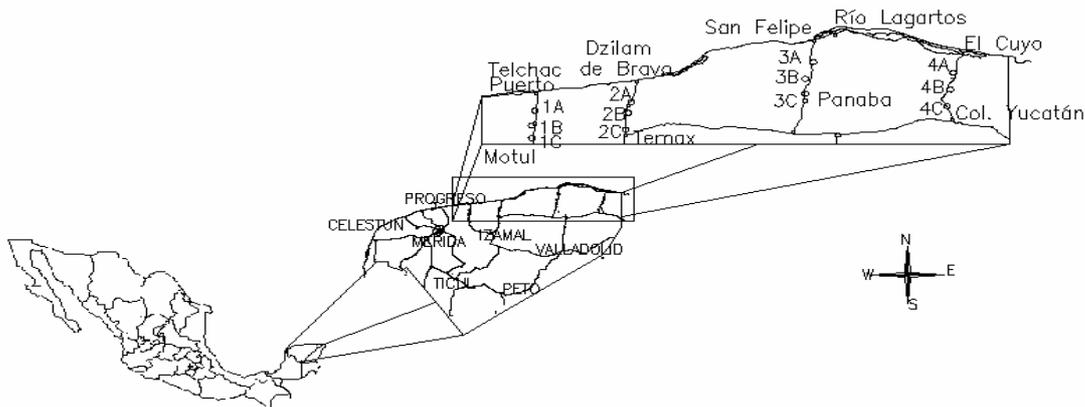


Figura 4. Ubicación geográfica de la zona de estudio

Durante la perforación de los pozos se recolectó material geológico de recorte de perforación cada 3 m, para realizar el corte litológico de cada uno de ellos. Posteriormente cada pozo fue referenciado al nivel medio del mar utilizando una Estación Total marca SOKKIA. Los pozos están construidos con tubería de PVC clase 7 de 6" de diámetro, con 6 m de tubería de lisa y lo demás de la profundidad con tubería ranurada de 1/2" de espesor y su obra de protección (Figura 5).

Para conocer el comportamiento de la interfase salina, en cada pozo se midió la profundidad al nivel estático, para así obtener la carga hidráulica del agua. *In situ* se realizaron los perfiles de calidad de agua (conductividad eléctrica, pH, Temperatura, OD y Eh) y se recolectaron muestras de agua para su análisis químico; la obtención de las muestras de agua se realizó de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas y fueron analizadas en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la FIUADY.

Tabla 1. Características de los pozos de observación

Pozo	Longitud w (° '' ''')	Latitud N (° '' ''')	Ubicación	Distancia a la costa (km)	Profundidad (mt)
1 A	21 18 01	89 16 13	Telchac Puerto	4.38	29
1 B	21 13 44	89 16 58	Telchac Puerto	12.50	39.2
1 C	21 10 10	89 16 59	Telchac Puerto	19.00	43
2 A	21 20 43	88 54 25	Dzilam Bravo	4.99	21.5
2 B	21 17 25	88 55 47	Dzilam Bravo	11.50	41
2 C	21 12 41	88 56 27	Dzilam Bravo	20.30	43.7
3 A	21 38 48	88 14 54	San Felipe	3.93	17
3 B	21 27 26	88 15 37	San Felipe	10.51	29
3 C	21 22 46	88 15 37	San Felipe	21.00	44
4 A	21 28 48	87 42 45	El Cuyo	4.04	17
4 B	21 24 18	87 43 04	El Cuyo	10.90	27.2
4 C	21 18 40	87 46 23	El Cuyo	22.70	39.3

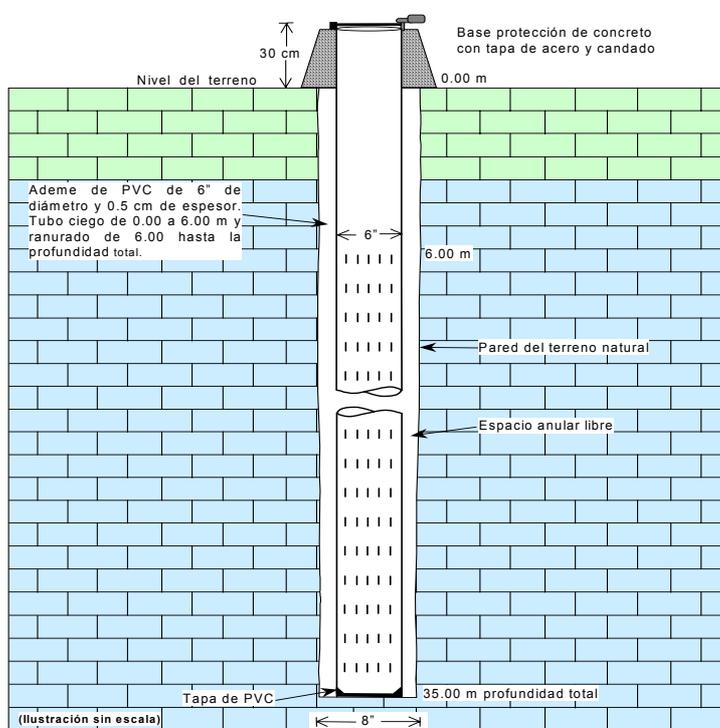


Figura 5. Diseño terminal del pozo de observación

En el laboratorio se determinaron las concentraciones de los siguientes iones: sodio, potasio, calcio, magnesio, nitratos, sulfatos, cloruros y bicarbonatos. En total se realizaron 5 campañas de monitoreo (diciembre 2002, febrero y octubre del 2003 y, febrero y mayo del 2004)

RESULTADOS Y DISCUSIONES

De acuerdo al corte litológico de los pozos, se tiene que los Transectos 1 y 2 presentaron casi el mismo material geológico y los Transectos 3 y 4

presentaron casi el mismo material geológico; en la Tabla 2 se presenta un ejemplo de las características típicas de los Transectos. Se tiene que entre los Transectos 1 y 2, el subsuelo está compuesto de calizas arenosas (calcarenita) con gran cantidad de fragmentos de moluscos y pequeños lentes de arcilla. Y entre los Transectos 3 y 4 se tiene calizas muy compactas y duras con alto contenido de arcillas y en algunas zonas se tiene margas y lutitas.

La carga hidráulica en la zona varió de 0.49 a 5.68 m (Tabla 3); los menores valores se

encontraron en los Transectos 1 y 2, teniendo así un gradiente hidráulico del orden de 0.11 m/km y los mayores valores en los Transectos 3 y 4, obteniéndose así un gradiente hidráulico de 0.05 m/km. Obteniéndole que la dirección del flujo subterráneo es de sureste a noroeste hacia la línea de costa, descargando toda el agua del continente hacia el mar (Figura 6). Durante el período de estudio se tuvo una variación máxima de la carga hidráulica de 1.0 m en los pozos, teniéndose que siempre se conservó la misma trayectoria de flujo.

De acuerdo a los perfiles de conductividad eléctrica de los pozos (Figura 7), se tiene que en el área entre Telchac Puerto-Motul y Dzilam Bravo-Temax, la interfase salina se encuentra a 20 m de profundidad cerca de la costa y a 35 m de profundidad en los puntos más lejanos; en el área entre San Felipe-Panaba y El Cuyo-Colonia Yucatán la interfase salina se encuentra a 20 m en los pozos más cercanos y en los otros pozos no se presentó la interfase salina (Figura 7).

Tabla 2. Litología de los pozos representativos de las dos zonas geológicas

Prof. (m)	Descripción Pozo 1 B	Descripción Pozo 4 B
0-3	Caliza color blanca con fragmentos de conchas, textura arenosa	Caliza dura color café claro con recristalización y sedimentos arcillosos
3-6	Caliza color crema con textura arenosa. Con fragmentos de moluscos y algunos fragmentos de calizas recristalizadas color crema y algunos fragmentos color café oscuro	Caliza dura color café claro con recristalización y sedimentos arcillosos
6-9	Calizas color crema con textura arenosa, detríticos pequeños y fragmentos de calizas recristalizadas y fragmentos de moluscos	Caliza dura color café claro con recristalización y sedimentos arcillosos, con conductos de disolución.
9-12	Calizas color crema con detríticos medianos y fragmentos pequeños de calizas recristalizadas	Caliza arcillosa dura
12-15	Calizas color crema, con fragmentos de calizas recristalizadas y fragmentos de moluscos. A los 13 m se tuvo un lente de arcilla	Caliza arcillosa dura
15-18	Calizas color crema con textura arenosa y pequeños fragmentos de caliza recristalizada	Caliza arcillosa con textura arenosa
18-21	Calizas color crema con textura arenosa y pequeños fragmentos de caliza recristalizada. A los 18 m se presento un lente de arcilla.	Caliza arcillosa con textura arenosa
21-24	Caliza blanca con arcilla con fragmentos de conchas, pequeños fragmentos de arrecifes y fragmentos pequeños de calizas recristalizadas. A los 24 m se tuvo arcilla.	Caliza compacta con sedimentos de arcilla
24-27	Caliza color crema con textura arenosa y fragmentos de conchas. A los 25 m se presentó arcilla. Entre 25 y 26 se encontró una caverna.	Caliza compacta con sedimentos de arcilla
27-30	Caliza color crema con textura arenosa y fragmentos de conchas	Caliza compacta con sedimentos de arcilla
30-33	Caliza de color crema con textura arenosa, fragmentos de conchas y fragmentos de caliza recristalizada color café oscuro	Caliza compacta con sedimentos de arcilla
33-36	Caliza con arcilla con textura arenosa y fragmentos de conchas.	Caliza compacta con sedimentos de arcilla
36-39	Calizas con arcillas con textura arenosa y fragmentos de conchas.	No hay recuperación
39-42	Calizas con textura arenosa y pequeños fragmentos de conchas.	No hay recuperación
42-45	Calizas blancas con arcilla rojiza con textura arenosa y fragmentos de conchas	Caliza compacta con sedimentos de arcilla
45-48		Caliza compacta con sedimentos de arcilla

Tabla 3. Datos de carga hidráulica de los pozos en estudio

Pozo	Carga Hidráulica (m)					
	Noviembre 2002	Diciembre 2002	Febrero 2003	Octubre 2003	Febrero 2004	Mayo 2004
1A	0.82	0.91	0.69	0.86	0.55	0.78
1B	2.13	1.87	1.45	1.11	1.01	1.01
1C	2.85	2.66	2.23	N.D.	1.43	1.25
2A	0.82	0.80	0.64	0.80	0.51	0.49
2B	2.36	2.31	1.88	1.91	1.5	1.32
2C	3.34	3.27	2.76	2.57	2.22	2.00
3A	2.04	2.14	1.88	1.91	1.65	1.65
3B	3.08	3.12	2.73	3.01	2.54	2.39
3C	3.46	3.44	3.03	3.09	2.74	2.57
4A	N.D	3.9	2.72	2.45	2.25	2.00
4B	N.D	4.82	4.30	5.03	4.21	4.05
4C	N.D.	5.64	5.36	5.68	4.98	4.73

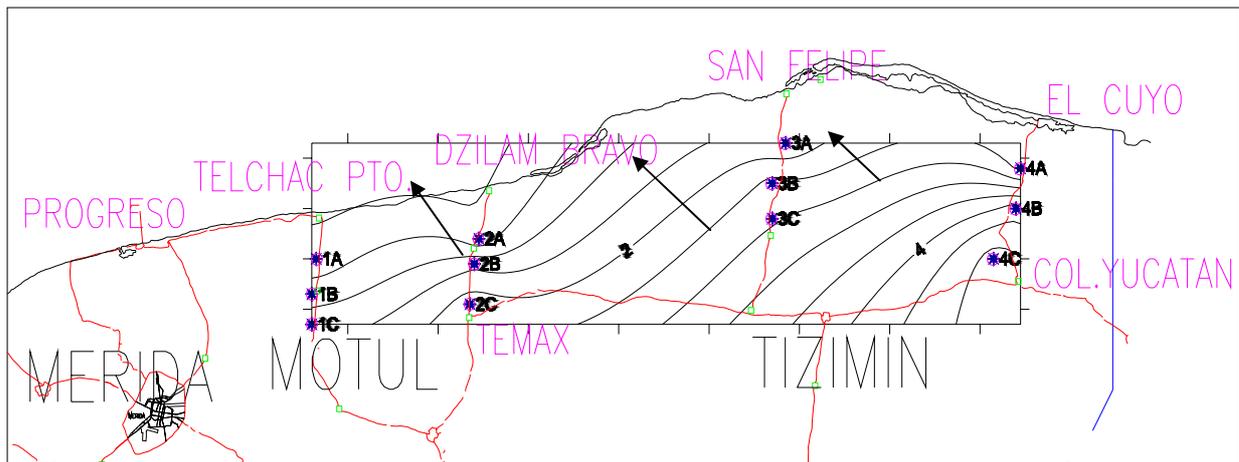


Figura 6. Dirección del flujo subterráneo en la costa nororiental de Yucatán

También se observa que después del paso del Huracán Isidoro por Yucatán, el nivel de agua está bajando por lo que el espesor del acuífero y la interfase salina están regresando a su posición correspondiente antes del huracán. En los perfiles de conductividad eléctrica correspondientes a octubre del 2003, la intrusión salina penetraba hasta los pozos más lejanos de la zona entre Telchac-Motul y Dzilam Bravo-Temax y para mayo del 2004 está fue desplaza hacia la costa, debido a la recarga de agua por la temporada de lluvias.

Considerando los resultados de las muestras de agua (Tabla 4), se determinó que el agua entre los Transectos 1 y 2 tiene un contenido de sales moderado correspondiendo a la familia calcica-sódica bicarbonatada y entre los Transectos 3 y 4 el

contenido de sales es igual moderado correspondiendo a la familia calcica-bicarbonatada, a excepción del pozo 4A que el agua resultó del tipo clorurada-sódica.

Considerando solo los resultados de los nitratos y de cloruros, ya que los otros parámetros presentaron resultados característicos a agua de calizas; se observa que la zona cercana a la línea de costa se encuentra expuesta a la contaminación por materia orgánica, ya que se presenta mayor concentración de nitratos en los pozos más cercanos a la costa, principalmente entre San Felipe-El Cuyo (Figura 8) y la concentración de cloruros es alta en los pozos cercanos a la costa, presentándose los mayores valores en los pozos cercanos al El Cuyo,

indicando así la presencia de agua salada en esos pozos (Figura 9).

La contaminación por materia orgánica y agua salada en la zona nororiental del estado de Yucatán es debido a la poca profundidad entre la

superficie del terreno y el nivel de agua, principalmente en la zona noreste del área de estudio donde existen cuerpos de agua superficial que reciben agua y cualquier sustancia que se encuentre en la superficie del terreno.

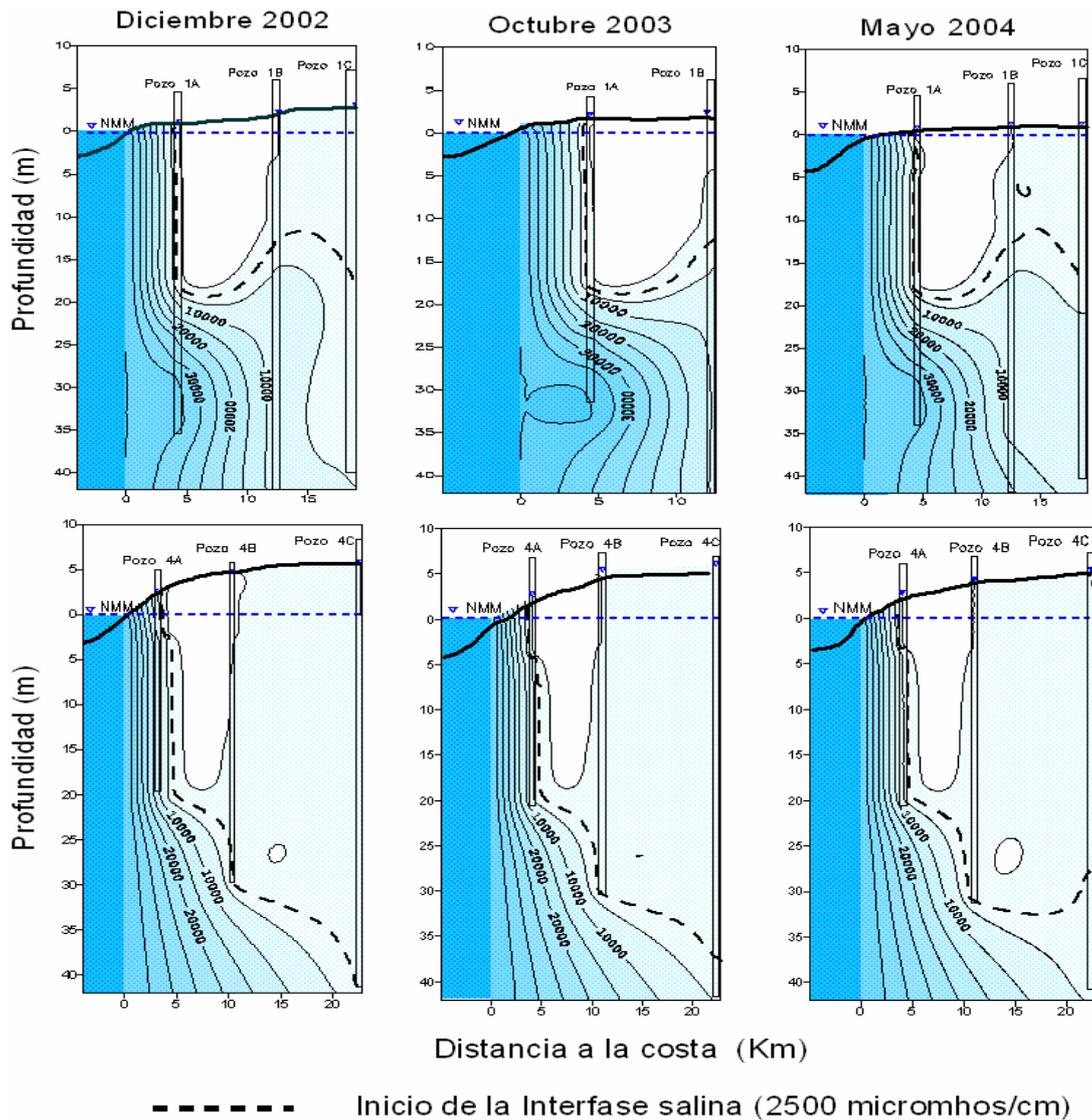


Figura 7. Variación temporal de la conductividad eléctrica (micro-ohms/cm) para los Transectos 1 y 4 de la zona costera nororiental del estado de Yucatán.

Tabla 4. Resultados de los análisis de agua de los pozos de observación

Fecha	POZOS	CATIONES (mg/l)				ANIONES (mg/l)			
		Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃
Dic-02	1^a	107.64	30.84	77.48		433.93	134.7	19.93	0.108
Oct-03		88.00	23.33	67.40	5.31	307.44	127.74	34.69	12.05
Feb-04		88.00	25.27	68.91	6.60	266.45	150.41	24.63	13.29
May-04		76.8	35.96	70	6.6	327.94	151.23	25.081	13.29
Dic-02	1B	113.1	43.07	76.94		412.24	120.8	19.93	0.571
Oct-03		94.40	34.99	86.35	8.70	333.06	185.43	45.08	21.00
Feb-04		112.00	34.99	73.54	19.20	338.18	187.49	36.73	31.01
May-04		163.2	34.02	85	19.2	450.91	183.77	50.55	17.72
Dic-02	1C	81.9	26.06	20.85		306.46	109	16.02	0.083
Feb-04		96	24.3	54.1	5	286.94	125.68	23.13	8.86
May-04		89.6	35.96	60	5	348.43	149.32	20.33	17.72
Dic-02	2A	121.87	22.55	87.3		455.62	131.1	36.15	0.048
Oct-03		105.60	13.61	101.16	11.01	358.68	190.58	53.62	3.98
Feb-04		116.8	21.38	94.15	10.8	358.68	185.43	47.86	0.89
May-04		113.6	29.16	110	10.8	404.8	162.72	51.98	1.33
Dic-02	2B	130.65	21.48	76.31		433.93	142.6	13.62	0.171
Oct-03		94.40	7.29	47.09	1.93	245.95	82.41	32.70	13.38
Feb-04		104	15.55	48.74	9.8	297.19	92.72	18.8	4.43
May-04		113.6	22.36	50	9.8	394.55	97.63	10.73	8.86
Dic-02	2C	90.67	25.71	118.18		287.48	209.5	18.72	0.21
Oct-03		76.80	14.58	38.45	0.83	251.08	63.87	50.84	8.55
Feb-04		80	13.61	35.14	1.4	212.65	103.02	10.27	13.29
May-04		72	20.41	40	1.4	235.7	80.4	7.75	8.86
Dic-02	3A	111.15	68.57	218.54		466.48	388.2	47.56	1.521
Oct-03		100.00	32.56	169.60	0.77	381.74	293.60	54.05	8.68
Feb-04		86.4	52.49	163.94	3.2	338.18	347.68	56.67	13.29
May-04		91.2	61.24	170	3.2	420.17	339.79	26.93	8.86
Dic-02	3B	101.4	58.04	120.04		366.12	248.3	31.79	0.539
Oct-03		72.00	37.42	37.43	29.40	302.32	86.53	43.68	3.56
Feb-04		72	33.05	31.7	25.9	343.31	103.02	24.24	3.1
May-04		68.8	38.88	40	25.9	343.31	93.8	19.83	4.43
Dic-02	3C	95.55	52.12	130.09		382.39	232.4	26.24	1.285
Oct-03		96.00	43.74	136.05	3.47	327.94	239.00	40.16	16.83
Feb-04		94.4	42.77	97.44	2.8	292.07	251.36	26.69	35.44
May-04		88	54.43	100	2.8	394.55	266.09	31.41	22.15
Dic-02	4A	167.7	116.09	1832		423.08	2641	137.4	0.086
Oct-03		176.00	65.61	763.37	15.81	276.70	1287.72	204.00	18.30
Feb-04		184	85.05	722.92	16.7	286.94	1473.15	187.02	31.01
May-04		152	89.91	912.15	16.7	343.31	1416.58	164.9	39.87
Dic-02	4B	72.5	4.74	35		246.79	50.17	12.61	0.204
Oct-03		78.40	15.55	46.50	1.21	235.70	76.23	34.67	2.06
Feb-04		83.2	14.58	49.81	1.2	263.89	90.66	13.26	0
May-04		80	17.5	60	1.2	312.56	111.03	16.88	0.89
Dic-02	4C	77.32	8.005	72		214.25	101.7	18.08	0.335
Oct-03		99.20	21.14	27.43	0.97	230.58	82.41	40.60	3.14
Feb-04		112	14.58	26.82	1.8	240.83	117.44	12.21	3.99
May-04		107.2	19.44	37.8	1.8	307.44	130.17	14.43	4.43

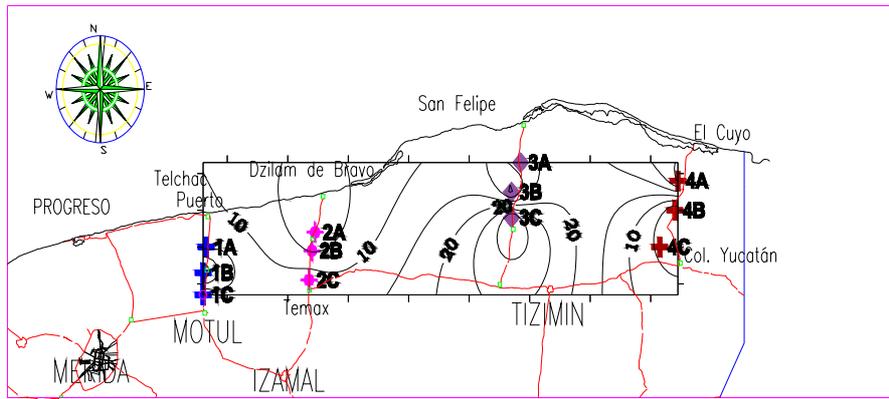


Figura 8.- Isoconcentraciones de nitratos (mg/l) en la zona costera nororiental del estado de Yucatán.

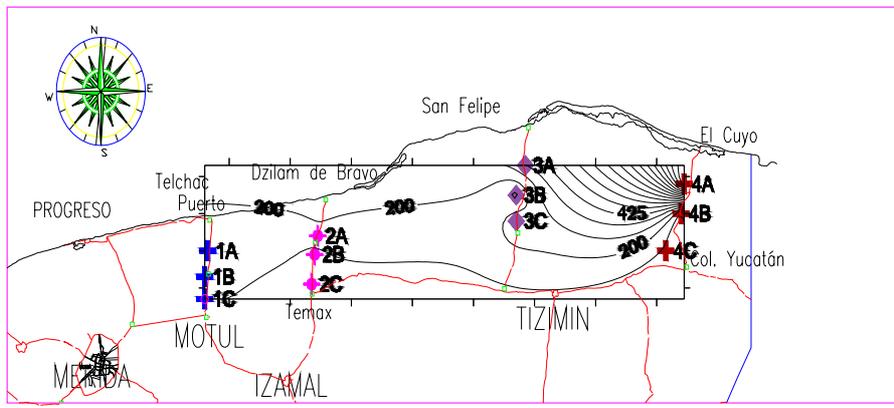


Figura 9.- Isoconcentraciones de cloruros (mg/l) en la zona costera nororiental del estado de Yucatán.

CONCLUSIÓN

En la porción nororiental del litoral costero de Yucatán, la dirección del flujo subterráneo es de sureste a noroeste, descargando toda el agua del continente hacia el mar.

La dinámica de la interfase salina es temporal de acuerdo a la época de recarga y de descarga, encontrándose que entre los Transectos 1 y 2, la interfase salina penetra en todos los pozos y la profundidad a la que se encuentra varía de acuerdo a la distancia de ellos hacia la costa. Entre los Transectos 3 y 4 se encontró que la interfase solo penetra hasta los pozos más cercanos a la costa y los otros pozos no se alcanzaron valores correspondientes a la interfase salina.

En conclusión general se tiene que en la costa nororiental del Estado de Yucatán existen dos zonas hidrogeológicas claramente identificadas; la primera zona corresponde al área entre Telchac

Puerto-Motul y Dzilam Bravo-Temax y la segunda zona corresponde al área entre San Felipe-Panaba y El Cuyo-Colonia Yucatán. En estas zonas existen diferencias entre el material geológico, la carga hidráulica, el gradiente hidráulico y la calidad de agua (concentración de sales). Los pozos ubicados cerca de la línea de costa se encuentran expuestos a la contaminación por materia orgánica y agua salada, debido a la poca profundidad entre la superficie del terreno y el nivel de agua subterránea, principalmente en la zona noreste donde existen cuerpos de agua superficial que reciben agua y cualquier sustancia que se encuentre en la superficie del terreno se infiltre al acuífero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, a la Comisión Nacional del Agua Gerencia Península de Yucatán y a la Facultad de Ingeniería de la UADY, el apoyo para este estudio.

BIBLIOGRAFIA

- Back W and Lesser JM. (1981). Chemical constraints of groundwater management in the Yucatan Peninsula, Mexico, *Journal of Hydrology*, (51), 119- 130.
- Back W. (1992), Coastal Karst Formed by Ground-Water Discharge, Yucatan, Mexico. *International Contributions to Hydrogeology*, Vol.13
- Custodio E., Llamas M. (1983); "Hidrología subterránea", Vol.2, Editorial Omega, Barcelona, España.
- Lesser y Asociados S.A. (1983). Estudio Geohidrológico de la zona Dzonot-Carretero, Yucatán.
- López G., Mena I. (1988). "Aspectos metodológicos en el estudio de la intrusión salina". Disponible en: http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/libro41/lib41.htm.
- Marín LE and. Perry E.C. (1994). The Hydrogeology and contamination potential of northwestern Yucatan, Mexico. *Geofísica Internacional* ,33(4), 619-623.
- Perry E, Swift J, Gamboa J, Reeve A, Sanborn R, Marín L, Villasuso M. (1989). Geological and environmental aspects of surface cementation, north coast. Yucatan, Mexico. *Geology*, (17), 818-821.
- SARH, (1990); Sinopsis Geohidrológica del Estado de Yucatán, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección General de Administrativo y Control de Sistemas Hidrológicos, México DF, 50 p.
- Tinajero, GJ, Velásquez A y Zúñiga OD. (1981). Hidrogeología e Hidrogeoquímica regional de la península de Yucatán, México. Cap. II.2 proyecto CPNH-IAS 8104. Estudio de las características geohidrológicas del acuífero en el área de Mérida Yucatán.