

Hidrogeoquímica del Agua que Subyace a la JAPAY I, en Mérida, Yucatán, México

Armando Cabrera Sansores¹, Julia Pacheco Avila¹, Elías Cuevas Sosa², José Ramírez³, Manuel Comas³, Alfredo Cámara³

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de ampliar el conocimiento hidrogeoquímico del acuífero en una zona ubicada al sur de la ciudad de Mérida, Yucatán. En ésta, se ubica el principal campo de pozos de abastecimiento de agua potable, la JAPAY I la cual abastece al 65 % de la población de Mérida.

Se colectaron muestras de 17 pozos someros y 26 pozos profundos localizados en los alrededores del área mencionada. Los muestreos se llevaron a cabo en los meses de marzo y octubre de 2000, considerados como periodos de estiaje y lluvia respectivamente.

Los parámetros analizados fueron: calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), sodio (Na^+) potasio (K^+) bicarbonatos (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{--}), cloruros (Cl^-) y como parámetros de campo, la conductividad eléctrica, la temperatura, el contenido de oxígeno disuelto y el pH. Tales análisis son suficientes para el estudio de los principales procesos químicos en la mayoría de los acuíferos y sus relaciones con los sistemas hidrológicos. En términos generales se llegó a la conclusión que el comportamiento hidrogeoquímico del acuífero en la zona al sur de la Ciudad de Mérida Yucatán, es similar en los periodos de lluvia y estiaje. Además se observó que la familia de aguas predominante en el área estudiada es la Mixta-Bicarbonatada dejando en segundo término a la familia Cálcica-Bicarbonatada.

Palabras claves: iones, familias de aguas, isoconcentraciones, variación espacial, estiaje, lluvia.

INTRODUCCIÓN

La hidrogeoquímica estudia los aspectos geoquímicos del agua en sí y su relación con las rocas de la corteza terrestre. Frecuentemente es determinada por la medición de los constituyentes fisicoquímicos reportados en estudios de aguas subterráneas, los cuales nos permiten observar la calidad y distribución e incluso origen del agua, fenómenos de intrusión salina y probable tipo de rocas a través de las cuales circula el agua.

Entre los elementos que la hidrogeoquímica considera importantes por ser mayoritarios, se

encuentran: calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), sodio (Na^+) potasio (K^+), bicarbonatos (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{--}), cloruros (Cl^-), y como parámetros de campo, la conductividad eléctrica, la temperatura, el contenido de oxígeno disuelto y el pH. Tales análisis son suficientes para el estudio de los principales procesos químicos en la mayoría de los acuíferos y sus relaciones con los sistemas hidrológicos (Custodio, 1976, Deusth, 1997).

Los recientes progresos en el campo de la geoquímica, así como los realizados en el campo de las técnicas analíticas, han creado un gran estímulo a favor de la investigación hidrogeoquímica, de tal

¹ Profesor Investigador del Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental de la FIUADY

² Egresado de la Maestría en Ingeniería Ambiental

³ Técnico Académico del Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental de la FIUADY

suerte que ésta constituye hoy en día una de las ciencias de la tierra que han evolucionado con mayor rapidez (Deustch, 1997).

La evolución geoquímica del agua subterránea está íntimamente ligada a su circulación a través del terreno en alguna dirección preferencial. La circulación del agua subterránea a través de rocas cársticas es muy diferente a la circulación del agua por terrenos no cársticos. No es fácil explicar la existencia de aguas no saturadas en carbonato cálcico en calizas y aún menos, la presencia de aguas sobresaturadas. La presencia de aguas no saturadas de carbonato cálcico en contacto con medios ricos con ese material, puede explicarse a veces por una rápida circulación con un tiempo de contacto breve y por una escasa posibilidad de interacción cuando el medio es permeable por fisuración. Sin embargo, cuando la velocidad de saturación es muy pequeña, el agua no saturada puede penetrar profundamente en el terreno, de modo que es posible que el proceso de desarrollo cárstico se pueda producir muy por debajo del nivel freático. Las rocas carbonatadas generalmente no presentan complicaciones con respecto a su mineralogía, ya que están compuestas principalmente de cationes divalentes y radicales de carbonatos. Los tres principales minerales de carbonatos que se encuentran en estas rocas son: Aragonita, Calcita y Dolomita (Back y Hanshaw, 1970; Garrels y Christ, 1965).

La Península de Yucatán presenta un subsuelo de tipo cárstico, caracterizado principalmente por rocas carbonatadas con existencia de cavernas, cenotes y conductos de disolución, lo cual ocasiona una gran permeabilidad, provocando así, una rápida infiltración que propicia el arrastre de los contaminantes hacia el acuífero; asimismo, presenta una carstificación extensiva que conlleva a la ausencia de corrientes superficiales (Back y Hanshaw, 1974).

Debido a las características particulares del subsuelo, el agua subterránea existente en la región resulta ser la fuente básica de agua aprovechable para el abastecimiento de la población. El agua subterránea existe en casi cualquier parte, por abajo de la superficie terrestre, y la explotación de la misma consiste básicamente en determinar dónde se encuentra, y las condiciones que permitan llegar a los pozos, a fin de poder utilizarla en forma eficiente (Villasuso, 1980; Pacheco y Cabrera, 1996).

El acuífero existente en el Estado de Yucatán es de tipo libre en condiciones naturales. En la porción central, se aprecia una zonificación horizontal

en su calidad; en la parte superior, se tiene agua dulce con un espesor aproximado de 40 m, la cual descansa sobre una zona de mezcla o interfase salina y a una profundidad aproximada de 60 m comienza el agua salada (Villasuso, 1980).

En la Ciudad de Mérida, capital del Estado de Yucatán, el abastecimiento de agua potable es administrado por la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán, y se obtiene principalmente en campos de pozos localizados al sur de la ciudad, en donde se ubican los pozos de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán conocida como JAPAY I, que abastece al 65% de la población y debido a que el agua en las calizas cársticas es capaz de viajar grandes distancias, existe un riesgo real de que en el campo de pozos se pudiera obtener agua contaminada.

Las fuentes naturales del agua siempre se han considerado como parte vital de nuestro ambiente y su manejo en cuanto a cantidad del recurso ha sido común desde tiempo remoto; sin embargo, sólo recientemente se ha tomado conciencia de que la calidad del agua juega un papel importante en cuanto a la real disponibilidad del vital líquido.

A través de la urbanización y crecimiento de la población se han alterado, incluso destruido, cuerpos naturales de aguas inutilizándolos para ser usados como fuente de abastecimiento. En el manejo de la calidad del agua, los esfuerzos para evaluar y controlar la contaminación deben estar dirigidos a atenuar los impactos que la sociedad impone en su desarrollo. Por lo tanto, la evaluación de la calidad del agua deberá permitir detectar cambios en las características químicas con el fin de evaluar patrones y tendencias de alteraciones químicas.

El propósito del presente estudio es conocer el comportamiento hidrogeoquímico del agua subterránea del área que subyace el principal campo de pozos, conocido regionalmente como, la JAPAY I, que se ubica al Sur de la Ciudad de Mérida Yucatán.

Área de estudio

El área de estudio se localiza entre las carreteras Mérida – Timucuy y Mérida – Tzucalá, a diez kilómetros del periférico, al sur de la Ciudad de Mérida, alrededor del principal campo de pozos de abastecimiento de agua potable para la Ciudad de Mérida (JAPAY I).

Se ubica geográficamente entre los paralelos 20°56' y 20°45' de latitud norte y entre los meridianos

89°40' y 89°30' de longitud oeste, a una altitud promedio de 9 metros sobre el nivel del mar; esta área tiene aproximadamente 370 km², de superficie. Los límites son: al norte con la Ciudad de Mérida; al sur,

con los Municipios de Tecoh y Timucuy; al este, con el Municipio de Kanasín y al oeste, con el Municipio de Umán (Figura 1).

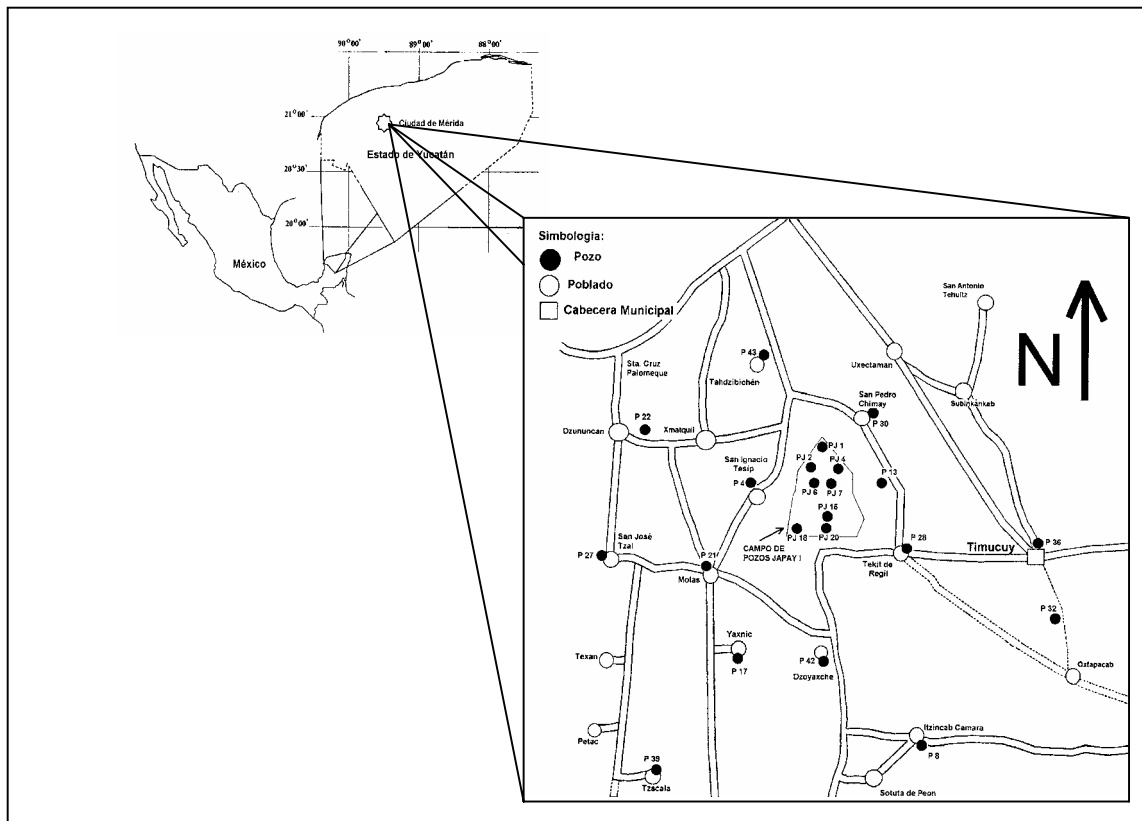


Figura 1. Área de estudio

METODOLOGÍA

Reconocimiento de campo

Se hizo con base en los reconocimientos de campo, monografías editadas por el Gobierno del Estado, fotografías aéreas y mapas de secciones regionales editadas por el INEGI (1996) .Se realizaron recorridos por los alrededores de la planta potabilizadora JAPAY I, ubicando los centros poblacionales de Thadzibichen, Molas, San Pedro Chimay, San Ignacio Tesip, San José Tzal, Santa Cruz Palomeque, Dzoyaxche, Itzincab Cámara, Subinkankab, Timucuy, San Antonio Tehuizt, Tekik de Regil, Petak, Texan Cámara, Yaxnic y las haciendas de Uxectaman, Oxtapacab y Tzacala.

Para conocer la variabilidad temporal y espacial en el área de estudio se seleccionaron 43 pozos, 17 someros y 26 pozos profundos; estos

últimos, considerados a 20 mts por debajo del nivel freático. El agua de los pozos se colectaron durante las temporadas de estiaje y lluvias en el año 2000, estos pozos fueron seleccionados por sus características de ubicación y facilidades de acceso que permitieron un monitoreo continuo.

Muestreos y preservación de muestras

Los muestreos se realizaron durante los meses de marzo y octubre del 2000, correspondientes a las épocas de estiaje y lluvia, respectivamente. En los sistemas de abastecimiento (pozos profundos) con sistemas de bombeo, la colecta de las muestras de agua de los pozos se realizó antes de pasar por el sistema clorador y se recolectó estando la bomba en operación y dejando fluir el agua cinco minutos, con el fin de desalojar el agua de la tubería y tener una muestra representativa del acuífero. En los muestreos de pozos someros, en los que no se tenía bomba de

extracción para muestras de agua, se utilizó una cubeta de plástico con capacidad de diez litros y para prevenir cualquier alteración de la muestra, la cubeta fue lavada con agua destilada antes de la toma de muestra.

Los recipientes donde se colectaron las muestras fueron de polietileno, el volumen de muestra colectada en las botellas para análisis físicoquímicos en laboratorio fue de un litro sin adicionar alguna sustancia para preservación, ya que los análisis se realizaron en un período no mayor de 48 horas; únicamente para el análisis de nitratos, la muestra fue colectada en una botella de 250 ml, adicionándole ácido sulfúrico hasta un pH menor que 2 y puesta a baja temperatura, para su preservación.

Análisis de campo

En cada punto de muestreo, se determinaron los parámetros de campo: temperatura, pH, conductividad eléctrica, salinidad y oxígeno disuelto, para conocer las características del acuífero al momento del muestreo; las mediciones de conductividad y temperatura fueron hechas en el campo con un conductímetro marca YSI modelo 30, el pH fue determinado en el campo con un potenciómetro marca YSI modelo 60 y el contenido de oxígeno disuelto fue determinado en el campo con un oxigenómetro marca YSI modelo 58.

Análisis de laboratorio

Se realizaron los análisis químicos a las muestras colectadas siguiendo las técnicas descritas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 1992) (Tabla 1).

Tabla 1. Técnicas analíticas

Análisis	Técnicas analíticas
Alcalinidad F	Titulación con ácido sulfúrico 0.02N
Alcalinidad M	Titulación con ácido sulfúrico 0.02N
Dureza de total	Titulación con EDTA
Dureza de calcio	Titulación con EDTA
Cloruros	Titulación con nitrato de plata
Sulfatos	Método turbidimétrico
Nitratos	Método UV
Sodio	Absorción atómica
Potasio	Absorción atómica

Aseguramiento de la calidad de los análisis químicos

Después de la realización de los análisis químicos, se verificó la calidad para los análisis, mediante el cálculo del balance iónico (porcentaje de error), aceptando como máximo un valor de 10%; de tal manera, que las muestras que rebasaran este límite no fueron consideradas para fines de interpretación, debido a este balance fue necesario efectuar los análisis de nitratos, ya que las concentraciones halladas fueron significativas. La fórmula para el balance iónico es la siguiente:

$$\% \text{ de error} = \frac{\sum \text{Cationes} - \sum \text{Aniones}}{\sum \text{Cationes} + \sum \text{Aniones}} \times 100$$

Para la aplicación de la fórmula anterior es necesario que las unidades de concentración estén expresadas en miliequivalentes por litro (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 18th edition), por lo que se procedió a realizar los cálculos correspondientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento espacial y temporal de los parámetros medidos

Los resultados obtenidos para los pozos someros y para los pozos profundos fueron graficados, para obtener las configuraciones espaciales de isovalores, empleando el programa SURFER; dichas configuraciones permitieron

observar el comportamiento de los parámetros medidos. El estudio fue realizado para los periodos de estiaje y lluvia con el fin de determinar las posibles variaciones existentes en el área de estudio, mediante las configuraciones temporales.

Parámetros de campo

Los resultados indicaron que con respecto a la temperatura y al potencial de hidrógeno existió una

marcada tendencia a mantener sus valores poco variables, oscilando éstos entre 26.10 a 27.20 ° C y entre 6.54 a 7.00 unidades de pH, respectivamente (Tablas de la 2 a la 5). Los valores para la conductividad eléctrica y para el oxígeno disuelto que se presentan en la región de estudio, mostraron una marcada variación, que se ve reflejada en los valores para las desviaciones estándar de 107.57 a 267.24 • 9/cm para la conductividad eléctrica y de 0.65 a 1.34 mg/l para el oxígeno disuelto (Tablas de la 2 a la 5).

Tabla 2. Valores promedio y desviación estándar obtenidos para los pozos someros durante el período de estiaje

Parámetro (mg/l)	0	•	Valor mínimo	Valor máximo
Ca ⁺⁺	105.43	12.52	81.54	133.28
Mg ⁺⁺	31.60	12.08	4.60	50.96
Na ⁺	59.45	24.99	32.50	121.80
K ⁺	4.58	8.08	1.40	29.50
HCO ₃ ⁻	389.73	42.27	318.86	463.80
Cl ⁻	124.37	45.00	70.30	237.15
SO ₄ ⁼	26.33	9.82	15.87	49.61
NO ₃ ⁻	35.06	25.67	11.07	100.69
Temp. °C	27.46	0.85	26.10	29.50
PH	6.90	0.21	6.67	7.54
C.E. (• 9/cm)	1105.471	240.21	845.00	1760.00
O.D.	3.34	1.34	1.30	6.80

Tabla 3. Valores promedio y desviación estándar obtenidos para los pozos someros durante el período de lluvia

Parámetro (mg/l)	0	•	Valor mínimo	Valor máximo
Ca ⁺⁺	96.08	18.56	47.62	132.10
Mg ⁺⁺	32.01	10.93	20.53	50.39
Na ⁺	55.84	27.04	28.80	97.80
K ⁺	3.71	5.71	0.82	18.82
HCO ₃ ⁻	423.63	61.21	314.24	521.92
Cl ⁻	99.41	47.93	32.42	183.69
SO ₄ ⁼	13.66	11.01	5.81	47.90
NO ₃ ⁻	30.10	41.70	2.39	147.60
Temp. °C	27.40	0.42	26.60	28.10
PH	7.29	0.25	6.98	7.85
C.E. (• 9/cm)	994.81	267.24	553.00	1397.00
O.D.	2.16	0.90	0.50	3.90

Tabla 4. Valores promedio y desviación estándar obtenidos para los pozos profundos durante el período de estiaje

Parámetro (mg/l)	0	●	Valor mínimo	Valor máximo
Ca ⁺⁺	102.94	5.50	97.22	111.33
Mg ⁺⁺	44.17	7.88	27.62	53.34
Na ⁺	83.72	17.82	48.70	105.90
K ⁺	5.95	7.02	4.00	35.00
HCO ₃ ⁻	427.89	28.36	357.51	468.63
Cl ⁻	183.97	36.61	119.62	228.75
SO ₄ ⁼	31.62	5.32	15.87	38.78
NO ₃ ⁻	21.86	14.73	13.64	65.43
Temp. °C	27.76	0.299	27.20	28.40
PH	6.98	0.17	6.54	7.20
C.E. (● 9/cm)	1343.394	138.00	1033.00	1576.00
O.D.	4.26	0.83	3.10	6.80

Tabla 5. Valores promedio y desviación estándar obtenidos para los pozos profundos durante el período de lluvia

Parámetro (mg/l)	0	●	Valor mínimo	Valor máximo
Ca ⁺⁺	100.64	5.16	94.46	115.20
Mg ⁺⁺	48.55	6.19	34.06	56.92
Na ⁺	93.64	15.53	56.20	117.60
K ⁺	6.10	5.07	4.52	29.00
HCO ₃ ⁻	510.71	26.22	434.93	541.56
Cl ⁻	186.57	30.52	112.55	226.01
SO ₄ ⁼	21.60	7.97	15.30	54.23
NO ₃ ⁻	21.37	15.38	11.42	69.77
Temp. °C	27.48	0.44	27.00	28.70
pH	7.17	0.12	7.00	7.40
C.E. (● 9/cm)	1366.913	107.57	1054.00	1505.00
O.D.	2.61	0.65	2.01	4.10

Cationes

Los valores promedio para las concentraciones del ion calcio correspondientes a las épocas de estiaje y lluvias en las muestras colectadas en pozos someros y profundos mostraron valores similares (Tablas 2 a la 5 y Figs. 2a y 2b); sin embargo, se observó que los pozos profundos mostraron una menor variación en las desviaciones estándar, esto se debió a que en los pozos profundos el agua tiene un mayor período de contacto con la roca caliza, favoreciendo la disolución de la misma hasta alcanzar valores relativamente constantes. El

comportamiento del ion magnesio fue similar al del ion calcio (Figs. 2c y 2d), observándose un ligero incremento de más o menos 15 mg/l en los pozos profundos y conservándose los valores relativamente bajos para las desviaciones estándar tanto en las épocas de estiaje como en la de lluvias (Tablas 2 a la 5). La similitud entre el comportamiento de los cationes calcio y magnesio se debe a que estos iones tienen una geoquímica muy parecida, sin embargo, sus diferencias cuantitativas son resultado del mayor grado de solubilidad del carbonato de calcio respecto al carbonato de magnesio.

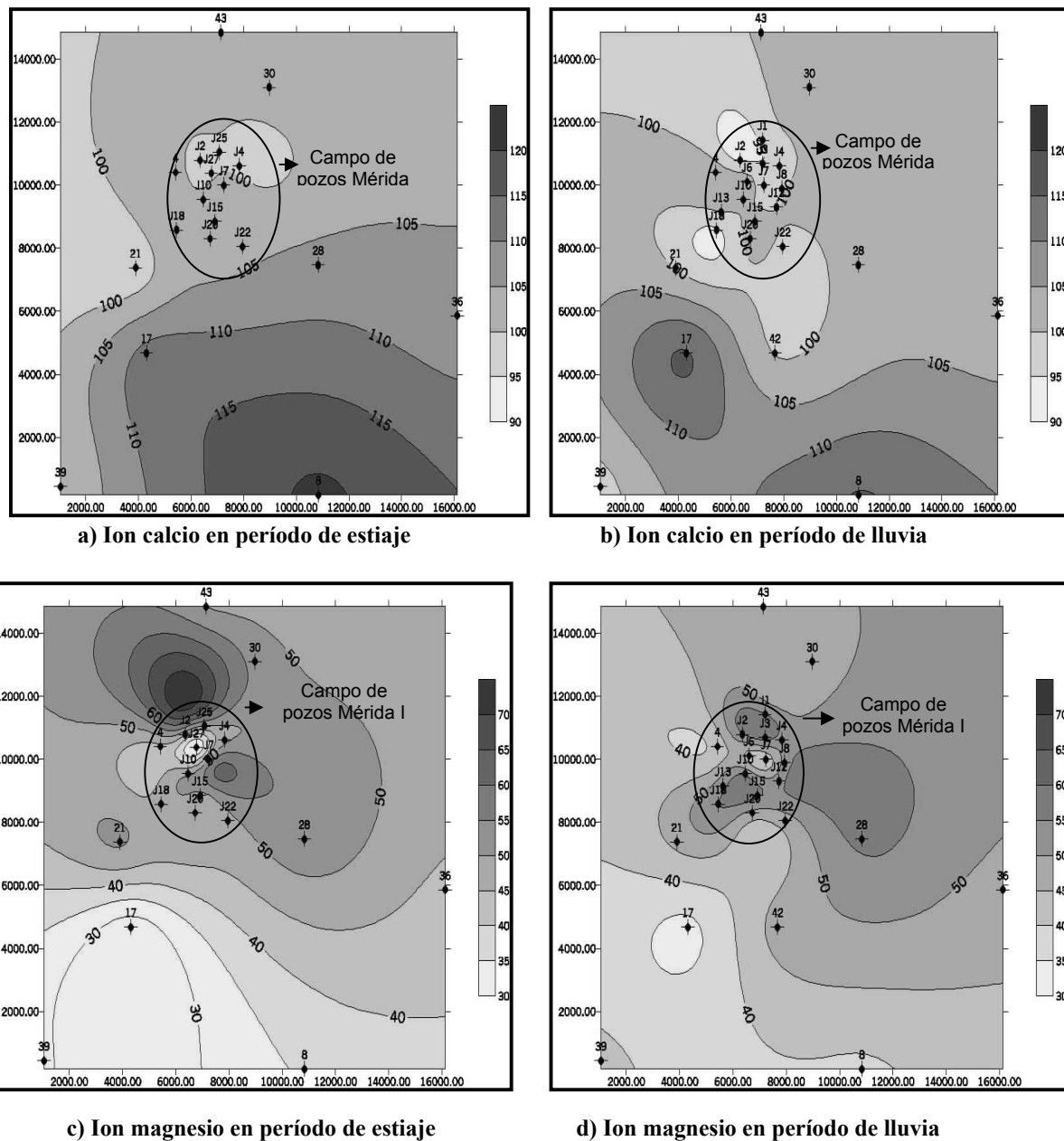


Figura 2. Isoconcentraciones de los iones calcio y magnesio para los pozos profundos en diferentes épocas de muestreo

De acuerdo con los resultados obtenidos, el ion sodio presentó una concentración mayor en los pozos profundos que en los pozos someros (Tablas 2 al 5), debido a la mayor cercanía de éstos con la interfase salina, principal aportador del ion sodio.

El comportamiento del ion potasio fue similar al del sodio, generalmente el potasio se encuentra en una proporción de orden de 10 veces inferior a la cantidad de sodio, debido a la baja movilidad del potasio. Los resultados indicaron que las concentraciones del ion potasio fueron mayores en

las muestras colectadas en pozos profundos (Tablas 2 al 5).

Aniones

El ion bicarbonato mostró un comportamiento similar en los pozos someros y en los pozos profundos, ya que para ambos tipos de pozos las mayores concentraciones fueron obtenidas durante el período de lluvia, debido a que durante este período se ve favorecida la disolución de la roca caliza. Las mayores concentraciones de bicarbonatos

fueron obtenidas en los pozos profundos, debido a que en éstos, el agua tiene un mayor período de contacto con la roca (Tablas del 2 al 5).

El comportamiento de ion cloruro (Fig. 3a y 3b) fue similar en ambos tipos de pozos ya que durante el período de lluvia se observó una ligera dilución respecto al período de estiaje. Es de notar que en los pozos profundos se observaron las mayores concentraciones de este anión, debido a que los pozos profundos tienen mayor cercanía con la interfase salina, principal aportador del ion cloruro.

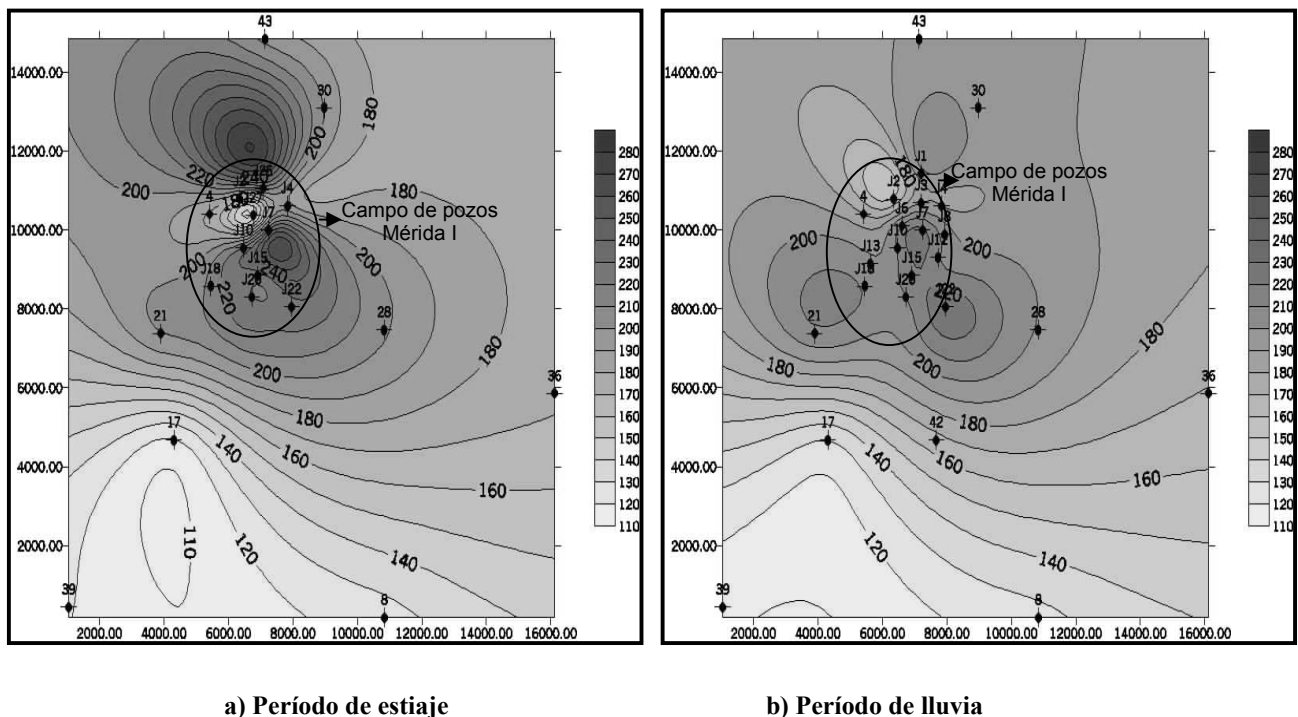


Figura 3. Isocentraciones del ion cloruro en pozos profundos en diferentes épocas de muestreo

El ion sulfato presentó un comportamiento similar en pozos someros y pozos profundos, ya que al no haber una aporte significativo de sulfatos en área de estudio, la dilución se hace presente durante el periodo de lluvia y se observa claramente en la Figura 4a y 4b.

Familias de aguas predominantes en la región

Mediante el diagrama triangular de Palmer-Piper se determinaron las familias de aguas que predominan en el área de estudio de acuerdo con el contenido iónico. Este diagrama permite representar a un mismo tiempo varias muestras y por consiguiente facilita la comparación de sus calidades químicas

basadas en los iones predominantes. Por lo tanto, aguas del mismo tipo aparecerán en el diagrama formando agrupamientos de puntos. Para elaborar este diagrama se utilizaron los valores de los diferentes iones obtenidos para cada uno de los pozos.

Familias de aguas correspondientes a pozos someros

En este tipo de pozos no se observa diferencia entre las muestras analizadas durante los períodos de estiaje y lluvia, ya que los dos tipos de familias de aguas existentes en la región son en su mayoría Mixta-Bicarbonatada, dejando en segundo

término a la familia Cálctica-Bicarbonatada (Figura 5a y 5b).

Para el muestreo realizado durante el período de estiaje la familia de agua predominante fue la Mixta-Bicarbonatada con el 53% de las muestras, dejando en segundo término a la familia de agua Cálctica-Bicarbonatada con el 47% de las muestras analizadas (Figura 5a).

Durante el período de lluvia la familia de agua Mixta-Bicarbonatada nuevamente fue la familia predominante con el 57% de las muestras analizadas, dejando en segundo término a la familia de agua Cálctica-Bicarbonatada con el 43% de las muestras analizadas (Figura 5b).

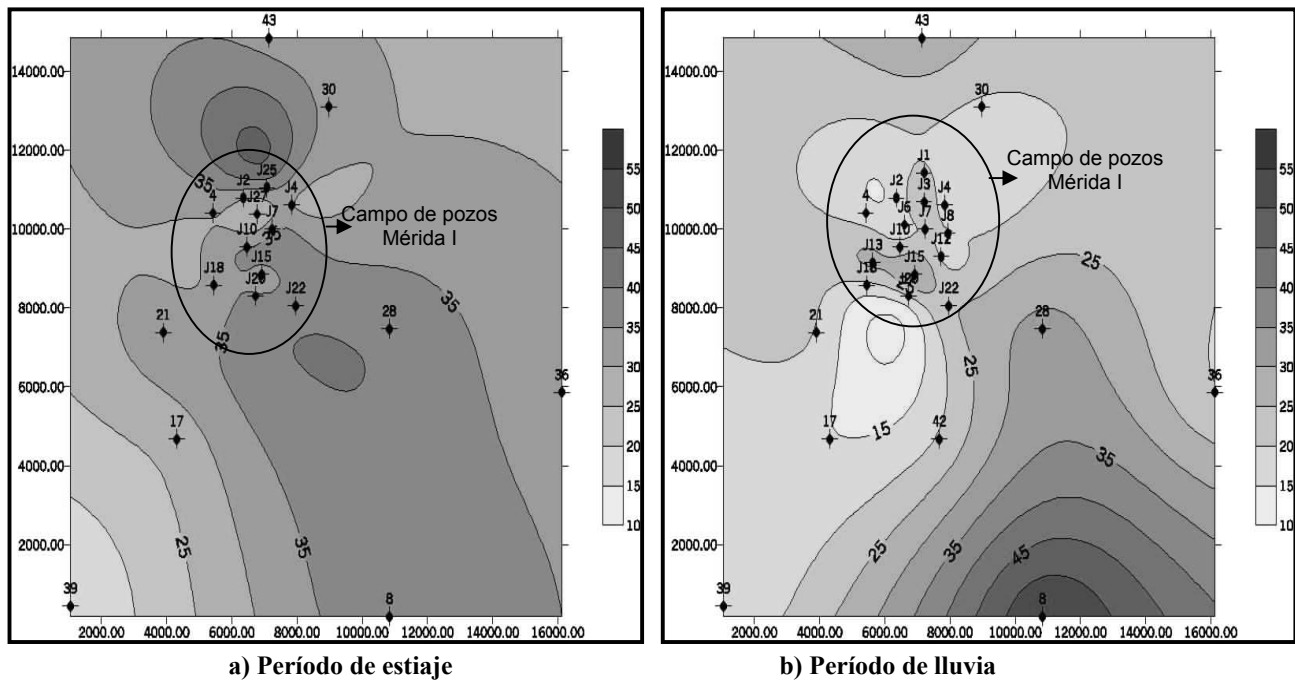
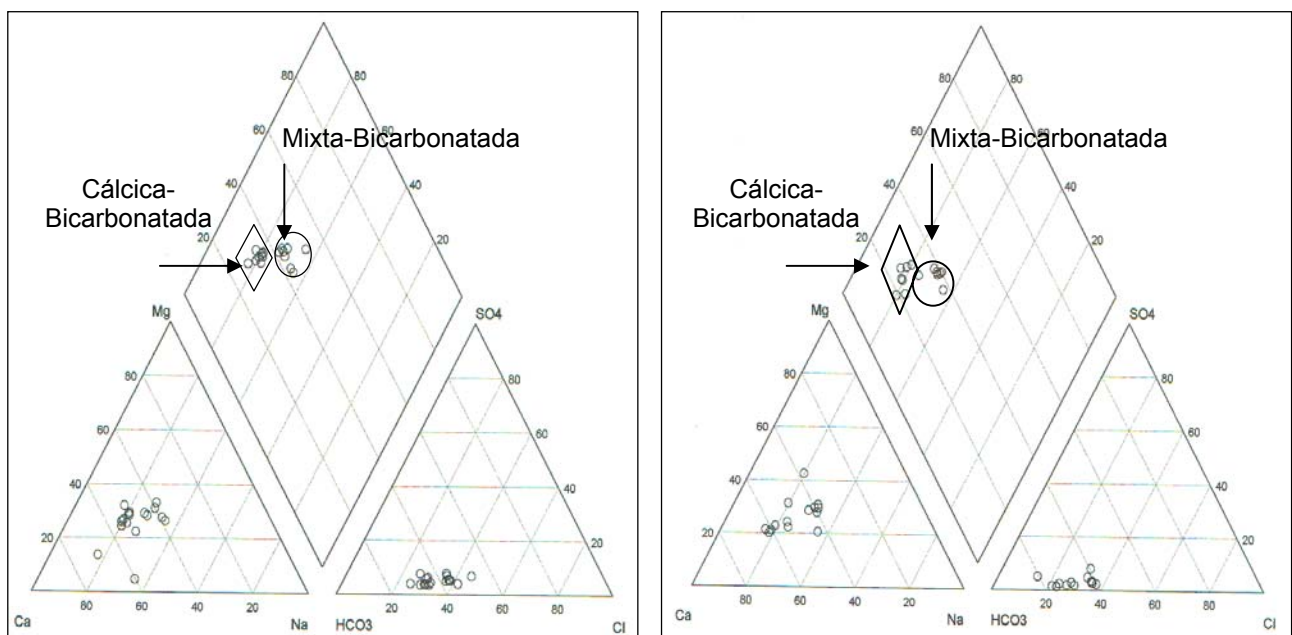


Figura 4. Isoconcentraciones del ion sulfato en pozos profundos en diferentes períodos de tiempo



a) Período de estiaje

b) Período de lluvia

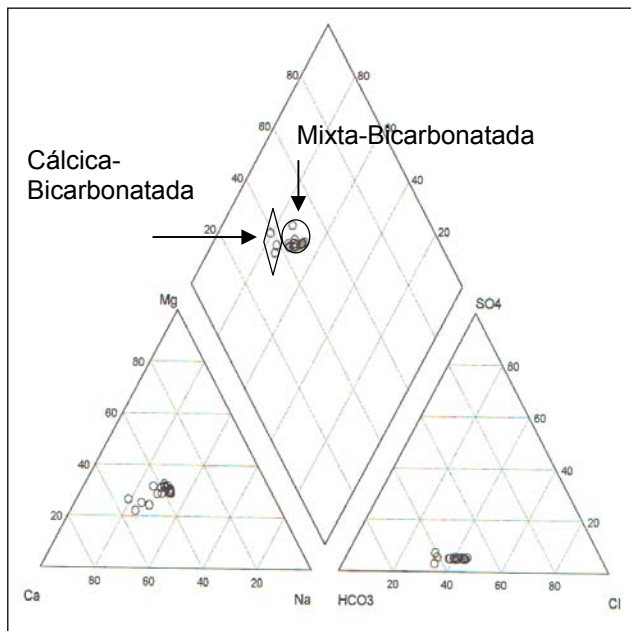
Figura 5. Familias de aguas identificadas en los pozos someros

Familias de aguas correspondientes a los pozos profundos

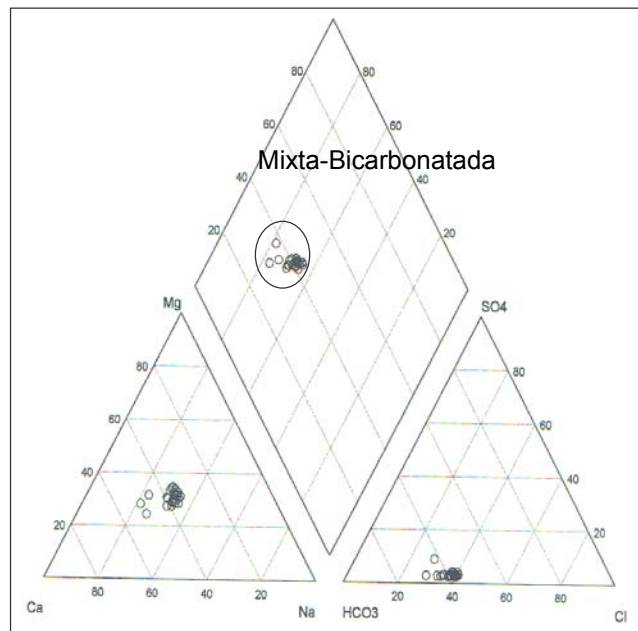
En este tipo de pozos se observa un mayor agrupamiento entre las muestras de agua analizadas, debido a que la gran mayoría corresponden a la familia de agua Mixta-Bicarbonatada, sin embargo, también se presentan muestras de aguas correspondientes a la familia Cálctica-Bicarbonatada (Figura 6a y 6b).

Para el muestreo realizado durante el período de estiaje la familia de agua predominante fue la Mixta-Bicarbonatada con el 84% de las muestras, dejando en segundo término a la familia de agua Cálctica-Bicarbonatada con el 16% de las muestras analizadas (Figura 6a).

Durante el período de lluvia la única familia observada fue la familia de agua Mixta-Bicarbonatada con el 100% de las muestras analizadas (Figura 6b).



a) Período de estiaje



b) Período de lluvia

Figura 6. Familias de aguas identificadas en los pozos profundos

CONCLUSIONES

Durante los recorridos realizados en los períodos de estiaje y lluvia para monitorear el comportamiento químico del agua subterránea en la zona sur de Mérida, Yucatán, se observó que los valores para la temperatura y el potencial de hidrógeno (pH), permanecieron casi constantes tanto para los pozos someros como para los profundos. Los valores para la conductividad eléctrica fueron mayores en las aguas colectadas en pozos profundos

que en los someros, debido al aporte de sales como consecuencia del mayor tiempo de contacto con la roca y a su cercanía con la interfase salina. El comportamiento del oxígeno disuelto en el agua subterránea mostró una estratificación con respecto a la profundidad, correspondiendo los valores mayores a los pozos someros y los menores a los pozos profundos.

Los valores promedio para el ion calcio fueron similares para las épocas de estiaje y lluvia, tanto en pozos someros como para los profundos. Sin

embargo, se observó que los valores encontrados en las aguas de pozos profundos tuvieron una menor variación, lo que indica una uniformidad tanto espacial como temporal.

El comportamiento del ion magnesio fue similar al del calcio dadas sus características geoquímicas similares. Se observó que la uniformidad espacial y temporal descrita para el calcio, se cumple también para el magnesio.

Los comportamientos de los iones sodio y potasio fueron similares, ambos tuvieron sus mayores valores en las aguas correspondientes a los pozos profundos. Asimismo, se encontró que la relación entre las concentraciones de sodio y potasio fue de 1:10 debido a la baja movilidad de este último elemento.

Algunos iones como el sodio, potasio, sulfato y cloruro alcanzan sus mayores concentraciones en las muestras obtenidas de los pozos profundos, esto se debe a la mayor cercanía de este tipo de pozos con la interfase salina, principal aportador de estos iones en nuestro medio.

Respecto al contenido aniónico, el ion bicarbonato mostró similitud en el comportamiento temporal, encontrándose los valores mayores durante la época de lluvias; respecto del comportamiento espacial, se observó que las concentraciones en los pozos profundos fueron mayores que para los someros. En ambos casos, el comportamiento de este ion tiene estrecha relación con el comportamiento de los iones calcio y magnesio debido al sistema de

equilibrio de carbonatos que se da en ambientes cársticos. Los iones cloruro y sulfato, mostraron las mayores concentraciones en los pozos profundos durante la temporada de estiaje; durante la época de lluvias, se notó una ligera dilución en las aguas correspondientes a ambos tipos de pozos.

De los análisis iónicos realizados en las muestras de agua colectadas en pozos someros, se encontró que pueden agruparse en la familia de aguas denominadas Mixta-Bicarbonatada y Cálcica-Bicarbonatada. Para los pozos profundos, el agrupamiento fue más uniforme, encontrándose que la familia de agua predominante fue la Mixta-Bicarbonatada, esta clasificación surge de la uniformidad encontrada para los valores de los iones calcio, magnesio y bicarbonatos, principalmente.

En general se puede decir que el comportamiento hidrogeoquímico del acuífero ubicado al sur de la ciudad de Mérida, Yucatán no presentó variaciones trascendentales con respecto a los tipos de pozos y a las épocas climáticas considerados.

AGRADECIMIENTO

Al Sistema de Investigación Regional Justo Sierra del CONACyT, por el financiamiento económico para la realización del proyecto "Delimitación de una zona de reserva hidrogeológica para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Mérida, Yucatán", Clave 980607. Asimismo, J. Pacheco agradece al CONACyT y al PROMEP, el apoyo otorgado para realizar estudios de Doctorado.

REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WEF. (1992). "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". Edición 18. Clesver L.S., Eaton A.D. y A.E. Greenberg.
- Back W., Hanshaw B. (1970). "Comparison of Chemical Hidrogeology of the Carbonate Peninsula of Florida and Yucatan". Journal of Hidrology, 330 -368.
- Back W., Hanshaw B. (1974). "Hidrogeochemistry of the Northern of the Yucatan Peninsula, Mexico with a Section on Mayan Water Practices". Field Seminar on Water and Carbonate Rocks of the Yucatan Peninsula, Mexico. USA: New Orleans Geological Society; 53-54.
- Cabrera S.A., Pacheco A. J. (1996). Efecto del Uso de Fertilizantes en la Calidad del Agua Subterránea en el Estado de Yucatán. "Revista de Ingeniería Hidráulica en México".
- Custodio Ll. E. (1976). "Hidrogeoquímica Subterránea", vol 2, 2ª edición. Ediciones Omega, Barcelona, España.

- Deustch W. (1997) "Groundwater Geochemistry Fundamentals and Applications to Contamination" by CRC Printed in United States of America.
- Garrels R., Christ C. (1965). "Solutions, Minerals and Equilibria" Ed. Freeman, Cooper & Company. Printed in United States of America.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (1996). Anuario Estadístico del Estado de Yucatán. Gobierno del Estado de Yucatán, México.
- Pacheco A. J., Cabrera S.A., (1996). Efecto del Uso de Fertilizantes en la Calidad del Agua Subterránea en el Estado de Yucatán. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XI Num. 1, II Época, enero-abril, pp. 53-60.
- Villasuso P.M. (1980). "Interpretación de los Fenómenos Hidrogeoquímicos en el Acuífero de la Península de Yucatán". Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México.