



BIOCYT 3(11): 159-175, 2010



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA
© 2010 BIOCYT

<http://www.iztacala.unam.mx/biocyt>

CALIDAD DEL AGUA DE TRES POZOS DE LA ZONA CENTRO DEL ACUÍFERO CUAUTLA-YAUTEPEC, MORELOS, MÉXICO

WATER QUALITY OF THREE WELLS OF THE CENTER ZONE OF CUAUTLA-YAUTEPEC AQUIFER, MORELOS, MEXICO

Robles Valderrama Esperanza, Elizabeth Ramírez Flores, Reynaldo Ayala Patiño, Ángel Durán Díaz, María de Guadalupe Sáinz Morales, María Elena Martínez Pérez, Blanca Martínez Rodríguez y María Elena González Arreaga

Laboratorio de Calidad del Agua, Conservación y Mejoramiento del Ambiente, UIICSE, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. De los Barrios, No.1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, México. C. P. 54090

RESUMEN

Se determinó la calidad bacteriológica y fisicoquímica de la zona centro del acuífero Cuautila-Yautepec, Morelos. Mensualmente se tomaron muestras de agua de tres pozos durante un año. Se analizaron dos parámetros bacteriológicos y 17 fisicoquímicos. Se realizó un análisis discriminante, el cual agrupó nueve parámetros fisicoquímicos que explicaron el 98.37 % de la variación total y que de acuerdo con las distancias de Mahalanobis se observó una marcada diferencia entre el pozo 1 con respecto a los pozos 2 y 3. El agua de los tres pozos se considera dentro de la clasificación de muy dura. El pozo 1, ubicado en la parte más baja, presentó la media más alta de dureza, (389.8 mg/l) del tipo tanto carbonatada como no carbonatada. Se compararon los valores promedios de cada parámetro fisicoquímico con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. A excepción del pH en los pozos 2 y 3 los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los límites permisibles. El pozo que presentó el contenido más alto de sólidos disueltos fue el pozo 1. La detección de contaminación bacteriológica en el acuífero indica la filtración de bacterias provenientes de descargas de aguas residuales que descargan al suelo y al incumplimiento en la protección y construcción de los pozos. El agua de esta zona del acuífero cumple con las regulaciones sanitarias para ser fuente de abastecimiento público y para consumo humano.

Palabras clave: acuífero, contaminación, calidad de agua, parámetros fisicoquímicos, parámetros bacteriológicos.

Correspondencia al autor: Laboratorio de Calidad del Agua, Conservación y Mejoramiento del Ambiente, UIICSE, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. De los Barrios, No.1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, México. C. P. 54090. Correo electrónico erobles@servidor.unam.mx

Manuscrito recibido el 07 de enero de 2010, aceptado el 12 de abril de 2010

ABSTRACT

The objective of this paper is to assess the bacteriological and physicochemical quality of the middle area of the aquifer of Cuautla-Yautepec, Morelos, Mexico. Monthly samplings were carried out during a year, taking samples from three wells. Two bacteriological and 17 physicochemical parameters were analyzed. A discriminate analysis was performed to know the variability of wells, and according with it, nine parameters were grouped in one function that explains 98.37 % of the variability. According with Mahalanobis distances it was observed that well 1 was separated of the wells 2 and 3. The three wells presented hard water (value above 180 mg/l total hardness as CaCO₃). Well 1, located in the lower area, had the highest mean hardness (389.8 mg/l) of the type carbonated and no carbonated. Physicochemical parameter mean were lower than the maximum permissible limits of the Mexican Standard NOM-127-SSA1-1994 for drinking water, exception of pH in wells 2 and 3. Well one presented the highest content of dissolved solids. The detection of bacterial contamination in the aquifer indicates the filtration of bacteria from wastewater that discharge to the ground and an inadequate construction or deficient protection of the wells. Water from the aquifer in this area meets the sanitary requirements for public water supply and drinking water.

Key words: groundwater, contamination, water quality, physicochemical parameters, bacteriological parameters.

INTRODUCCIÓN

En comparación con las aguas superficiales, el agua subterránea es una de las menos estudiadas, específicamente en los aspectos microbiológicos principalmente debido a la creencia de que éste tipo de agua era esencialmente limpia por la acción filtrante del medio poroso por el cual pasa el agua, por lo que la determinación del número de bacterias en el agua subterránea no se consideraba necesaria (Gerba y Bitton, 1984; Zoller, 1994; Price, 2007).

La sobreexplotación de acuíferos en muchas zonas así como otras actividades antropogénicas, han ocasionado deterioro de la calidad en algunos sitios y en muchos otros condiciones graves de decremento del nivel de los acuíferos; además de la disminución de la recarga natural debido a la elevada urbanización, que también influye en la calidad del agua de recarga (Iturbe y Silva, 1992).

Los niveles alarmantes de contaminación han propiciado que se limiten los usos del agua y se impacte la salud pública y el entorno ambiental de muchas comunidades (Pacheco et al., 2004).

La actividad humana en la superficie del terreno modifica los mecanismos de recarga de los acuíferos e introduce otros nuevos, cambiando la distribución, frecuencia, tasa y calidad de la recarga del agua subterránea. Esto ocurre principalmente en climas áridos y en menor grado en regiones húmedas. La comprensión de estos mecanismos y el diagnóstico de tales cambios resultan críticos para la evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea (Foster et al., 2003).

En México más del 50% del agua utilizada para el consumo humano, la industria y la agricultura proviene del agua subterránea, sin embargo a pesar de su importancia existe un gran desconocimiento de los acuíferos, su geometría y los volúmenes disponibles así como de la calidad del agua de muchos de ellos (Arriaga et al., 2000).

Pacheco et al. (2000), mencionan que más del 60 % de la muerte de niños menores a cinco años en la península de Yucatán, México, fue causada por microorganismos patógenos transportados por el agua subterránea. Los mismos autores (2004) concluyeron que el agua subterránea en la parte oriental del estado de Yucatán, México, presenta un elevado grado de contaminación y una calidad bacteriológica clasificada de peligrosa; por otro lado, Marín et al. (2001), encontraron compuestos orgánicos e inorgánicos en el agua subterránea de la ciudad de Mérida, Yucatán, México.

Muñoz et al. (2004), reportaron que la concentración de nitratos en el agua subterránea del valle de Huamantla, Tlaxcala, México, sobrepasó los límites permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el agua potable.

Pérez et al. (2002), reportaron altas concentraciones de nitratos y la presencia de coliformes fecales en el acuífero de Durango.

En pozos del acuífero de Zacatepec, Morelos, México, se observó la presencia de coliformes totales, fecales y protozoos del grupo de las amibas de vida libre (Ramírez et al., 2009).

La contaminación microbiológica y/o fisicoquímica ha alcanzado a algunos acuíferos, aunque dicha contaminación también está en función de la litología y la composición de agua inicial; las condiciones hidrodinámicas que imponen los ciclos de flujo, de la velocidad del flujo y de las reacciones de cinética (Edmunds et al., 2008).

Por tal motivo el objetivo de éste trabajo fue determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica de la zona centro del acuífero Cuautla-Yautepec, Morelos, México.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El acuífero Cuautla-Yautepec se localiza en la porción centro norte del estado de Morelos, colinda en la porción norte con la cuenca hidrológica del valle de México, al oeste con los acuíferos Cuautla y Zacatepec, al este con el acuífero de Tepalcingo-Axochiapan en el estado de Morelos y al sur con la cuenca del río Amacuzac, en los estados de Morelos y Guerrero (CONAGUA, 2002). Este acuífero está definido como un acuífero libre, en donde se ubican las formaciones de Tlayecac, depósitos clásticos continentales y Chichinautzin. Las dos primeras de regular permeabilidad y de tipo granular, mientras que la tercera de alta permeabilidad y de tipo fracturado (CONAGUA, 2002).

De manera natural, éste aporta a través de manantiales un caudal de 6827 l/s que ha sido determinante para el desarrollo de diversas actividades económicas de ésta zona, el clima de la región es cálido subhúmedo, lo que permite la existencia de una vegetación variada y una ancestral actividad agrícola en la que predomina el cultivo de caña de azúcar y arroz. Dentro de las actividades productivas que se desarrollan en ésta región predominan las que se refieren a la industria de la transformación, agrícolas y pecuarias (CONAGUA, 2002).

Trabajo de campo.

Mensualmente se tomaron muestras de agua durante un año de tres pozos del acuífero de Cuautla-Yautepec. Los pozos se encuentran ubicados en la zona media del acuífero. El pozo 1 se localizó en el municipio de Ayala a una altitud de 1134 metros sobre el nivel del mar (msnm), el pozo 2 en el municipio de Cuautla a una altitud de 1308 msnm y el pozo 3 en el municipio de Atlatlahucan a 1575 msnm.

Las muestras de agua se tomaron antes del proceso de cloración con el objeto de evaluar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del acuífero y no la efectividad del proceso de la cloración de los pozos.

En cada pozo se tomaron tres muestras de agua: una en bolsa estéril con capacidad de 250 ml para las determinaciones bacteriológicas y dos en botellas de 1.5 l para las determinaciones fisicoquímicas, acidificando una de ellas para las determinaciones de nitrógeno amoniacal y demanda química de oxígeno (DQO). Todas las muestras se trasladaron en hielo al Laboratorio de Calidad del Agua de la FES Iztacala, UNAM para su análisis. La temperatura del agua de cada pozo se determinó con un oxímetro marca YSI y el pH con un phmetro marca Conductronic.

Trabajo de laboratorio

A las muestras colectadas para determinaciones bacteriológicas se les analizó coliformes totales y coliformes fecales por la técnica de filtro de membrana (APHA, 1998 y Robles et al., 2007).

A cada muestra colectada para las determinaciones fisicoquímicas se les analizó demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) por la técnica de dilución, demanda química de oxígeno (DQO) por la técnica de reflujo abierto, nitrógeno amoniacal por la técnica de Kjeldahl, alcalinidad total y a la fenolftaleína por la técnica de titulación con indicador, durezas total, de calcio y de magnesio por la técnica de titulación con EDTA, cloruros por la técnica argentométrica con nitrato de plata, sulfatos con la técnica turbidimétrica de cloruro de bario, sólidos disueltos por la técnica gravimétrica, nitratos por la técnica colorimétrica con brucina, nitritos con la técnica de diazotización y sustancias activas al azul de metileno (SAAM) con la técnica colorimétrica de azul de metileno y turbiedad por la técnica turbidimétrica (APHA, 1998 y Robles et al., 2007).

Se calculó el promedio, valor mínimo y valor máximo a los datos obtenidos para cada uno de los pozos. Los datos obtenidos fueron comparados con los límites máximos permisibles de la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 para uso y consumo humano (SSA, 2000). Con los promedios de la dureza y de la alcalinidad total se obtuvo el tipo de dureza que presentan las aguas de los pozos (Romero, 1999).

Para establecer la variabilidad espacial y temporal se utilizó el software Minitab Statistical versión 5. Se hizo un análisis de componentes principales, un análisis discriminante y se calcularon las distancias de Mahalanobis (Dalas, 2000).

RESULTADOS

Se realizaron un total de 576 análisis. Los resultados obtenidos para los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos de los tres pozos se pueden apreciar en las tablas 1, 2 y 3 respectivamente.

Con los valores promedio de la alcalinidad total y dureza total se calculó la dureza carbonatada y no carbonatada.

El agua del pozo 2 presentó sólo dureza carbonatada (182.9 mg/l como CaCO_3), mientras que en los pozos 1 y 3, aunque predominó la dureza carbonatada (317.3 y 252.1 mg/l como CaCO_3), también se presentó dureza no carbonatada (72.5 y 8.9 mg/l como CaCO_3 respectivamente) (Tabla 4).

Los resultados obtenidos mensualmente para sólidos disueltos, coliformes totales y coliformes fecales se graficaron para determinar la variación espacial y temporal de cada uno (Figs. 1, 2 y 3).

Los valores de la DBO_5 , DQO, nitrógeno amoniacal y sustancias activas al azul de metileno (SAAM) estuvieron por debajo de la sensibilidad de los métodos empleados.

Considerando que el agua de los pozos es principalmente para consumo humano y que sólo recibe un proceso de cloración, se compararon los parámetros fisicoquímicos con la NOM-127-SSA1-1994 (SSA, 2000) (Tablas 1, 2 y 3).

Los resultados del análisis de componentes principales, análisis discriminante y distancias de Mahalanobis se presentan en las tablas 5, 6 y 7 respectivamente.

Tabla 1. Valores registrados para los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos correspondientes al agua del pozo 1

Parámetro	promedio	valor máximo	valor mínimo	límites permisibles NOM-127-SSA1-1994
pH	6.79	7	6.6	6.5-8.5
dureza total en mg/l como CaCO ₃	389.8	477	196	500
nitritos en mg/l	0	0	0	1.0
nitratos en mg/l	3.56	5.6	1.74	10
nitrógeno amoniacal en mg/l	0	0	0	0.5
cloruros en mg/l	28.4	36.7	17.3	250
sulfatos en mg/l	121.6	188	94	400
sustancias activas al azul de metileno (SAAM) en mg/l	0	0	0	0.50
sólidos disueltos en mg/l	688	740	600	1000
turbiedad en unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)	0.215	0.33	0.11	5
coliformes totales en UFC/100 ml	1.3	5	0	ausencia o no detectables
coliformes fecales en UFC/100 ml	1.3	5	0	ausencia o no detectables
temperatura	22.7	26	19	---
Alcalinidad total en mg/l como CaCO ₃	317.3	371	211	---
dureza de calcio en mg/l como CaCO ₃	170.7	250	104	---
dureza de magnesio en mg/l como CaCO ₃	219.1	318	147	---
conductividad en µs/cm	1024	1140	888	---

Tabla 2. Valores registrados para los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos correspondientes al agua del pozo 2

Parámetro	promedio	valor máximo	valor mínimo	límites permisibles NOM-127-SSA1-1994
pH	5.8	6.3	5.7	6.5-8.5
dureza total en mg/l como CaCO ₃	182.9	222	122	500
nitritos en mg/l	0	0	0	1.0
nitratos en mg/l	0.98	1.73	0.659	10
nitrógeno amoniacal en mg/l	0	0	0	0.5
cloruros en mg/l	8.38	31.2	1.4	250
sulfatos en mg/l	10.1	18.9	2.9	400
sustancias activas al azul de metileno (SAAM) en mg/l	0	0	0	0.50
sólidos disueltos en mg/l	264.5	327	237	1000
turbiedad en unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)	0.228	0.41	0.13	5
coliformes totales en UFC/100 ml	1.8	200	0	ausencia o no detectables
coliformes fecales en UFC/100 ml	1.8	200	0	ausencia o no detectables
temperatura	18.6	21	16	---
alcalinidad total en mg/l como CaCO ₃	187.3	210	120	---
dureza de calcio en mg/l como CaCO ₃	45.3	62	21.4	---
dureza de magnesio en mg/l como CaCO ₃	137.6	168	101	---
conductividad en µs/cm	378	428	338	---

Tabla 3. Valores registrados para los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos correspondientes al agua del pozo 3

Parámetro	promedio	valor máximo	valor mínimo	límites permisibles NOM-127-SSA1-1994
pH	6.1	6.9	5.8	6.5-8.5
dureza total en mg/l como CaCO ₃	261	295.8	246	500
nitritos en mg/l	0	0	0	1.0
nitratos en mg/l	0.96	1.9	0.46	10
nitrógeno amoniacal en mg/l	0	0	0	0.5
cloruros en mg/l	7.5	16.7	2.3	250
sulfatos en mg/l	8.3	15.7	4.7	400
sustancias activas al azul de metileno (SAAM) en mg/l	0	0	0	0.50
sólidos disueltos en mg/l	338.9	402.5	295	1000
turbiedad en unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)	0.19	0.31	0.08	5
coliformes totales en UFC/100 ml	7.6	200	1	ausencia o no detectables
coliformes fecales en UFC/100 ml	3.6	180	0	ausencia o no detectables
temperatura	20.8	26	17	---
alcalinidad total en mg/l como CaCO ₃	252.1	305	105	---
dureza de calcio en mg/l como CaCO ₃	49.7	72	26.5	---
dureza de magnesio en mg/l como CaCO ₃	211.3	269	186	---
conductividad en µs/cm	339	402	295	---

Tabla 4. Dureza carbonatada y no carbonatada

	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3
alcalinidad total en mg/l como CaCO ₃	317.3	187.3	252.1
dureza total en mg/l como CaCO ₃	389.8	182.9	261
Tipo de dureza			
dureza carbonatada o temporal en mg/l como CaCO ₃	317.3	182.9	252.1
dureza no carbonatada en mg/l como CaCO ₃	72.5	0	8.9

Tabla 5. Resultados del análisis de componentes principales

Componente	valor característico	varianza explicada (%)	porcentaje de varianza acumulada	variables que constituyen el componente
1	7.67	54.8	54.8	pH, alcalinidad total, dureza total, dureza de calcio, nitratos, cloruros, sulfatos, sólidos disueltos, conductividad.
2	1.96	14.1	68.9	coliformes totales y coliformes fecales
3	1.57	11.2	80.1	temperatura

Tabla 6. Resultados del análisis discriminante

Función	valor característico	X ²	nivel de significancia observada (p)	porcentaje de varianza acumulada	variables
1	2.046	27.29	0.0113	98.37	pH, alcalinidad, dureza total, dureza de calcio, nitratos, cloruros, sulfatos, sólidos disueltos, conductividad.

Tabla 7. Distancias de Mahalanobis

		Pozo 1	Pozo 2
Pozo 2	distancias de Mahalanobis	565.2	
	nivel de significancia	0.0000	
Pozo 3	distancias de Mahalanobis	396.8	27.03
	nivel de significancia	0.0000	0.0002

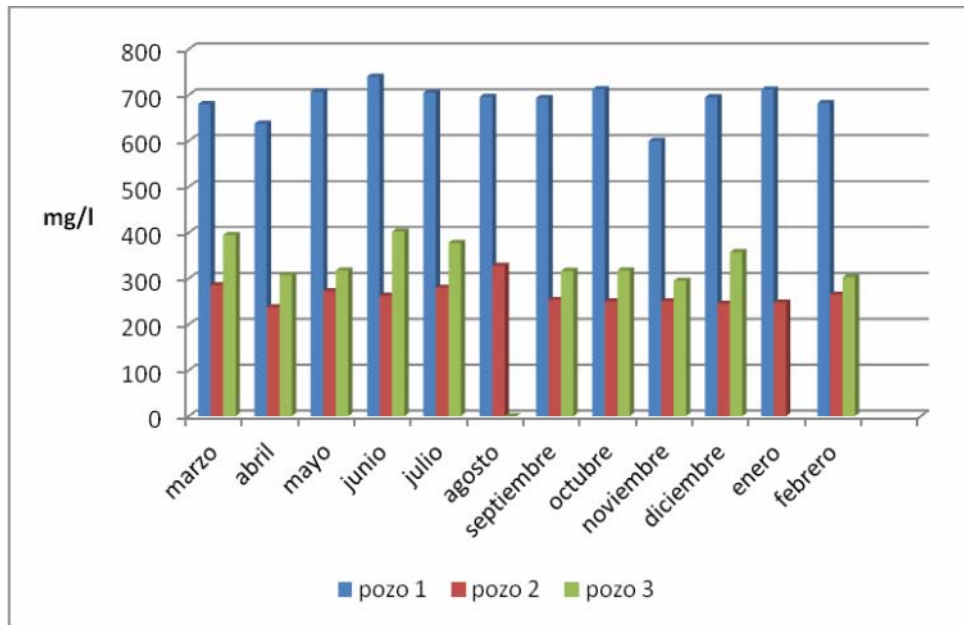


Fig. 1.- Variación espacial y temporal de los sólidos disueltos

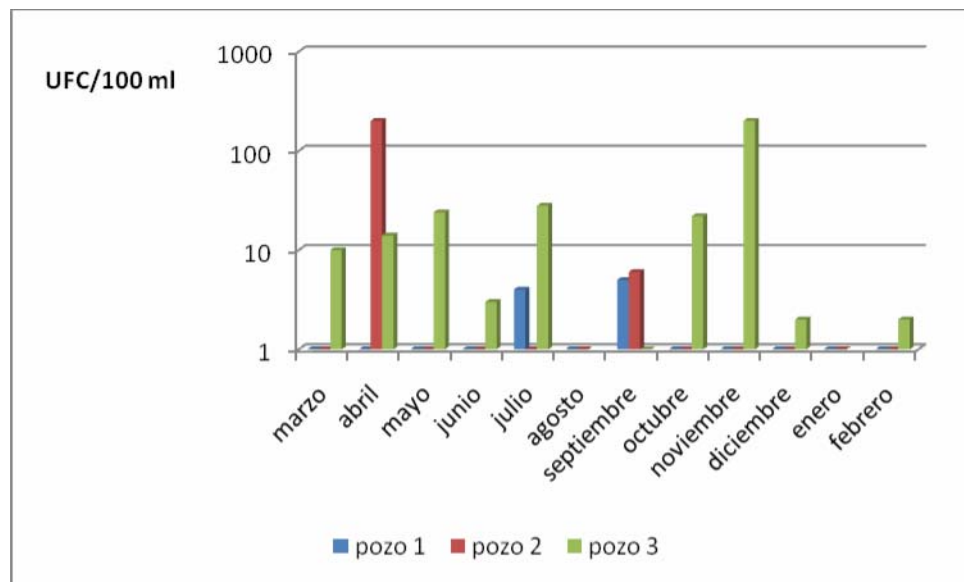


Fig. 2.- Variación espacial y temporal de los coliformes totales

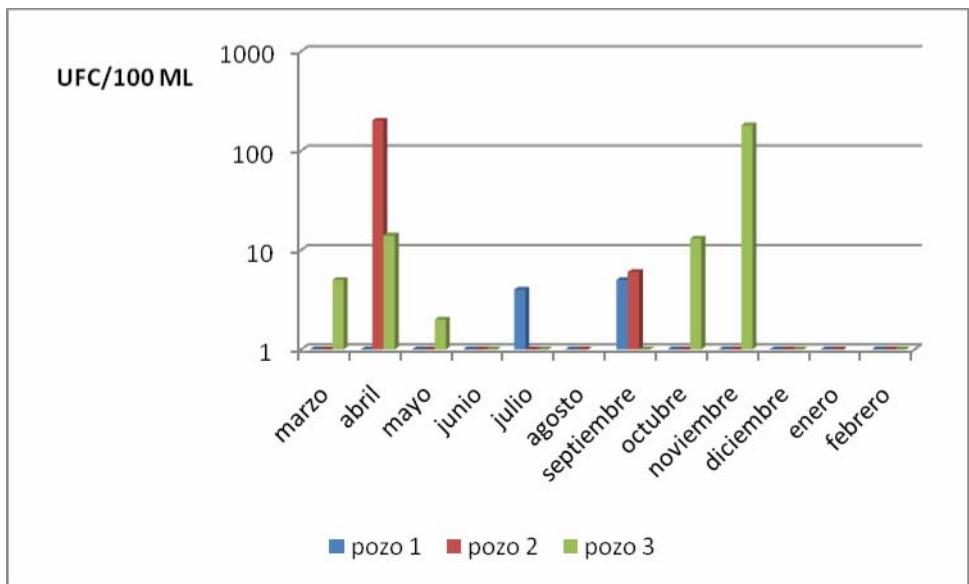


Fig. 3.- Variación espacial y temporal de los coliformes fecales

DISCUSIÓN

El agua de los tres pozos presentó concentraciones de dureza total por arriba de 180 mg/l como CaCO_3 (pozo 1: 389.8, pozo 2: 182.9 y pozo 3: 261 mg/l como CaCO_3), por lo que se puede clasificar como agua muy dura (ASTM, 1976).

El pozo 1 ubicado en la parte más baja de la zona centro del acuífero presentó el promedio de dureza total más alto (389.8 mg/l) e incluso en el muestreo correspondiente al mes de febrero se registraron 477 mg/l, valor cercano al límite máximo permisible por la NOM-127-SSA1-1994 (500 mg/l). Este pozo además de tener dureza carbonatada predominante también presentó dureza del tipo no carbonatada en concentraciones considerables (72.5 mg/l); mientras que el pozo 2 ubicado en la parte media presentó los valores más bajos (promedio de 182.9 mg/l) y presentó solamente dureza del tipo carbonatada o temporal. El pozo 1 presentó la dureza no carbonatada más alta (75.5 mg/l), que coincide con los promedios más altos de nitratos, cloruros, sulfatos, dureza de calcio y de magnesio (3.56, 28.4, 121.6, 170.7 y 219.1 mg/l) respectivamente.

Esta dureza posiblemente es causada por la presencia de sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio en el agua. Este tipo de dureza es importante ya que el anión sulfato puede dar como resultado la formación de escamas duras en las calderas y otras partes del equipo de intercambio de calor y es de eliminación más costosa y difícil que la carbonatada (Romero, 1999, Robles et al., 2004).

Los bajos valores obtenidos para la DBO₅, DQO, nitrógeno amoniacal y sustancias activas al azul de metileno (SAAM), están por debajo de los límites de sensibilidad de los métodos empleados, lo que indica la ausencia de contaminación por materia orgánica.

En la figura 1 se aprecia que el pozo que presentó las concentraciones más altas de sólidos disueltos fue el 1, seguido del 3 mientras que el valor mas bajo corresponde al pozo 2.

Con el análisis de componentes principales se formaron tres grupos: el primero formado por pH, alcalinidad total, dureza total, dureza de calcio, nitratos, cloruros, sulfatos, sólidos disueltos y conductividad; el segundo por coliformes totales y fecales y el tercero por la temperatura. Los tres grupos presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), lo que explica 80.1 % de la variación total de los datos (Tabla 5).

Con el análisis discriminante se formó un grupo comprendido por pH, alcalinidad total, dureza total, dureza de calcio, nitratos, cloruros, sulfatos, sólidos disueltos y conductividad, y explica el 98.37 % de la variación de los datos.

De acuerdo a las distancias de Mahalanobis los pozos que presentaron las distancias más cercanas y por consiguiente presentan ciertas similitudes en los parámetros analizados, fueron el pozo 2 con el pozo 3 con una distancia de 27.03, mientras que los pozos que presentaron las distancias más lejanas y por consiguiente los que fueron más diferentes en los parámetros analizados fueron el pozo 1 con el pozo 2, con una distancia de 565.2.

Las similitudes encontradas entre los pozos 2 y 3 se debe en gran parte a que presentaron las concentraciones más bajas de sólidos disueltos (264.5 y 338.9 mg/l en promedio respectivamente) (Tablas 1, 2 y 3 y Fig. 1), en comparación con el pozo 1 (promedio de 688 mg/l).

Estas diferencias se deben en parte a que el pozo 1 se encuentra localizado en la parte más baja (altitud de 1134 m) con respecto a los otros dos pozos (altitud de 1308 m y de 1575 m respectivamente) por lo que el flujo del agua va de la parte más alta a la más baja y a su paso va disolviendo sales de las rocas del suelo y de esta forma se va incrementando los sólidos disueltos en las partes bajas; lo anterior es acorde a lo reportado por CONAGUA (2002), donde se menciona que la evolución hidrogeoquímica del agua en el acuífero Cuautla-Yautepec se inicia a partir de las zonas de recarga ubicadas en la porción norte del acuífero (zona de mayor altitud), continúa hacia las zonas de descarga en la porción media y concluye en el área de transferencia en la porción sur del acuífero (zona de menor altitud). Dicha evolución genera un enriquecimiento de iones al circular el agua a través del subsuelo, que en términos generales puede definirse con contenidos de sólidos disueltos.

En relación a las medias geométricas de los coliformes totales y los coliformes fecales, se puede establecer que la contaminación por estos organismos es baja. El pozo 1 presentó valores de 1.3 UFC/100 ml tanto para coliformes totales como fecales; el pozo 2 registró 1.8 y el pozo 3, 7.6 para coliformes totales y 3.6 para coliformes fecales, siendo éste último el más contaminado y también el que presentó los valores más altos de coliformes totales y fecales en el mes de noviembre (200 y 180 respectivamente). En los pozos 1 y 2 no se detectaron coliformes totales y fecales en nueve muestreos (Figs. 2 y 3). En comparación con los valores de coliformes totales y fecales reportados por Pacheco et al. (2000), Pérez et al. (2002), y Ramírez et al. (2009), el agua de los pozos del acuífero de Cuautla-Yautepec se puede considerar aún de buena calidad.

En relación a la variación espacial de los coliformes totales y fecales, se observó que el pozo más contaminado a lo largo del año fue el 3, seguido del 2 y el menos contaminado el pozo 1. Esto puede explicarse en parte a la ubicación de los pozos ya que el más contaminado fue el pozo 3 que se encuentra en un área rural, en donde la carencia de drenaje es una fuente potencial de contaminación bacteriológica, mientras que los pozos 1 y 2 están en áreas más urbanizadas en donde el drenaje es un factor importante para evitar o disminuir éste tipo de contaminación (Gerba y Bitton, 1984) (Fig. 2 y 3).

De acuerdo con los criterios ecológicos de calidad del agua (SEDUE, 1989), para que un cuerpo de agua pueda ser considerado como fuente de abastecimiento de agua potable o riego agrícola, puede presentar un máximo de 1000 UFC de coliformes fecales/100 ml. Los valores de coliformes fecales presentes en los pozos se encuentran por debajo del límite establecido, por lo que el agua es adecuada como fuente de suministro. Si se considera que el agua de los pozos en estudio pasa por un dosificador de cloro antes de llegar al público usuario, también cumple con la NOM-127-SSA1-1994 y con los criterios de la SSA (2000) correspondientes a salud ambiental, agua para uso y consumo humano, en donde se establece que deben estar ausentes tanto coliformes totales como coliformes fecales.

Se puede observar que los valores mínimos, máximos y promedios de los parámetros fisicoquímicos están dentro de los límites máximos permisibles de la norma oficial NOM-127-SSA1-1994 (SSA, 2000), a excepción del pH en los pozos 2 y 3 que registraron valores ligeramente ácidos respecto a la misma norma (Tablas 1, 2 y 3). Esto indica que el agua de los tres pozos aún es de buena calidad para consumo humano, en comparación con lo reportado por Muñoz et al. (2004), y Pérez et al., (2002) para los acuíferos del valle de Huamantla, Tlaxcala y el de Durango respectivamente en los que observaron elevadas concentraciones de nitratos; por otro lado Marín et al. (2001), reportaron contaminación por compuestos orgánicos e inorgánicos en el agua subterránea de la ciudad de Mérida, Yucatán. Los valores para sólidos disueltos (237 a 740 mg/l), cloruros (1.4 a 36.7 mg/l), sulfatos (2.9 a 188 mg/l) y bicarbonatos (105 a 371 mg/l) son inferiores a los reportados por CONAGUA (2002).

La detección de contaminación bacteriológica encontrada en ésta zona del acuífero indica la filtración de bacterias provenientes de descargas de aguas residuales ya sea directas o a través de fosas sépticas que llegan al suelo y también posiblemente al incumplimiento tanto en la construcción (SEMARNAT, 1996a) como en la protección (SEMARNAT, 1996b) de los pozos. La vulnerabilidad alta y media de los materiales en que circula el agua del acuífero es otro factor que permite la infiltración de contaminantes que alteran la calidad del agua subterránea (CONAGUA, 2002).

Se puede concluir que A) el agua de los pozos de la zona centro del acuífero Cuautla-Yautepec presenta buena calidad ya que cumple con los "criterios ecológicos" para ser utilizada como fuente de abastecimiento y B) el proceso de cloración por el que atraviesa el agua de los pozos permite que ésta se encuentre dentro de los límites permisibles de la NOM-127-SSA1-1994, lo que la hace apta para uso y consumo humano.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Explotación y Monitoreo Geohidrológico y a la Subdirección de Aguas Subterráneas de la Dirección Técnica del organismo de cuenca Balsas, por el apoyo y facilidades brindadas para la realización de éste estudio. Al Programa PAPCA 2007- 2008 de la Fes Iztacala, UNAM, por el apoyo económico otorgado para la realización de ésta investigación.

REFERENCIAS

APHA (American Public Health Association), 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition. Washington, D. C. 1325 p.

ASTM (American Society for Testing and Materials), 1976. Manual de aguas para usos industriales. 3^a edición. Limusa. México. 457 p.

Arriaga, L., V. Aguilar y J. Alcocer, 2000. Aguas continentales y diversidad biológica de México. CONABIO (comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad). México. 327 p.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Cuautla-Yautepec, estado de Morelos. Informe técnico. Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia Regional Técnica. México. 51 p.

Dallas, E. J. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Internacional Thomson Editores, S. A de C. V. México, D. F. 566 p.

Edmunds, M. W. y P. Shand, 2008. Natural groundwater quality. Balckwell. European Union Countries. 190 p.

Foster, S., R. Hirata, D. Gomes, M. D. Elia y M. Paris, 2003. Protección de la calidad del agua subterránea, guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Banco Mundial. Washington, D. C. 124 p.

Gerba, P. y G. Bitton, 1984. Microbial pollutants their survival and transport pattern to groundwater. En: J. Willey & Sons (Eds.), Groundwater pollution microbiology. John Willey & Sons, New York, USA. Pp 65-88.

Iturbe, A. R. y M. A. E. Silva, 1992. Agua subterránea y contaminación. Series del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, (539): 1-54.

Marín, L. E., B. Steinich, J. Pacheco y O. A. Escolero, 2001. Hydrogeology of a contaminated sole-source kerst aquifer: The case of Merida, Yucatán, Mexico. Geofísica Internacional, 39(4): 359-365.

Muñoz, H., M. A. Armienta, A. Vera y N. Ceniceros, 2004. Nitrato en el agua subterránea del valle de Huamantla, Tlaxcala, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 20(3): 91-97.

Pacheco, A. J., S. A. Cabrera y L. E. Marín, 2000. Bacteriological contamination assessment in the karstic aquifer of Yucatán, México. Geofísica Internacional, 39(3): 285-291.

Pacheco, A. J., S. A. Cabrera y C. R. Pérez, 2004. Diagnóstico de la calidad de agua subterránea en los sistemas municipales en el estado de Yucatán, México. Ingeniería, 8(2): 165-179.

Pérez, L. M. E., M. G. R. Vicencio, M. T. Alarcón y M. Vaca, 2002. Influencia en la calidad del agua del acuífero de la ciudad de Durango, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 18(3): 111-116.

Price, M., 2007. Agua subterránea. Limusa. México. 330 p.

Ramírez, E., E. Robles, M. G. Sáinz, R. Ayala y E. Campoy, 2009. Calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos. México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 25 (4) 247-255.

Robles, V. E., A. M. E. González y N. P. Castillo, 2004. Contaminantes físicos y químicos del agua y sus efectos en el hombre y el medio ambiente. FESI, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 120 p.

Robles V. E., M. E. González, M. G. Sáinz., M. E. Martínez y R. Ayala, 2007. Análisis de aguas. Métodos fisicoquímicos y bacteriológicos. FESI, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 188 p.

Romero, R. J. A, 1999. Calidad del agua. Alfaomega, México. 273 p.

SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), 1989. Criterios ecológicos de calidad del agua. CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación. 01 de diciembre de 1989.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1996a. Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1996b. Norma Oficial Mexicana NOM-004-CNA-1996. Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.

SSA (Secretaría de Salubridad y Asistencia). 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano (modificación). Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización.

Zoller, U., 1994. Fundamentals, scope, and issues. En: Zoller, U. (Ed.), Groundwater contamination and control. Marcel Dekker Inc., New York, USA. Pp 1-4.

BIOCYT (Biología, Ciencia y Tecnología), año 3, número 11, julio-septiembre 2010. Publicación trimestral editada en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Avenida De Los Barrios, número 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, México, C. P. 54090. Teléfono: 56 23 11 73. Dirección electrónica: <http://www.iztacala.unam.mx/biocyt>

Editor responsable: Horacio Vázquez López. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo número: 04-2009-121617011000-203, ISSN: en trámite con número de folio 018439, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Responsable de la última actualización de este número biólogo José Ángel Lara Vázquez, Cabecera de la Carrera de Biología de la FES Iztacala, Edificio de Gobierno. Fecha de última actualización, 10 de agosto de 2010. Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente la postura del editor de la revista.

Se autoriza la reproducción (sin fines de lucro) total o parcial de los contenidos e imágenes de la revista, citando la fuente completa y la dirección electrónica.