
Estudio fisicoquímico y bacteriológico de la calidad del agua en pozos del acuífero de Cuernavaca, Morelos

E. Robles-Valderrama*, E. Ramírez-Flores., A. Duran-Díaz, R. Ayala-Patiño., M. G. Sáinz-Morales y M. E. González-Arreaga

*Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas, Área de Química.
Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Azcapotzalco, D.F.*

Physicochemical and bacteriological study of water quality of wells in the Cuernavaca aquifer, Morelos

Abstract

The objects of the study were: to determine the bacteriological and physicochemical quality of the aquifer of Cuernavaca, Morelos, México; and to compare the water quality reported previously with the results of this study. Monthly samplings were carried out during a year, taking samples from ten wells and two springs, distributed as follow: 4 in the north area, 4 in the middle and 4 in the south. The samples were taken before the chlorine dispenser to define the natural conditions of the aquifer. Two bacteriological parameters and 12 physicochemical were determined. An analysis of discriminates was performance to know the variability of wells, and in according with it, the parameters were grouped in 3 functions that described the 98.28% of the variability. In according with Mahalanobis distances and the dispersion diagrams, it was observed that one well was separated (Ojo de agua), 2 were in one group (Zapata and Tezoyuca), and the rest were in other group. According to the hardness: 3 wells were moderately hard water, 3 hard and the others soft water, with predominatinceg of the carbonated hardness. Physicochemical parameter averages were lower of the maximum permissible limits of the NOM-127-SSA1-1994 for drinking water. All wells were bacteriological contaminated at least in a sampling. This may be due to the high and medium vulnerability of the materials of the aquifer in some zones, or a construction inadequate or a deficient protection of the wells. Nevertheless, the capacity of dilution of the aquifer has allowed maintaining the same quality of the groundwater of the Valley of Cuernavaca, although in some areas the anthropogenic contamination is evident.

Key words: groundwater, water quality, total and fecal coliforms.

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar la calidad del agua del acuífero Cuernavaca y ver si la contaminación reportada anteriormente ha afectado más a este acuífero. Se llevaron a cabo muestreos mensuales durante un año, tomando muestras en diez pozos y dos manantiales distribuidos de tal forma que se ubicaron, 4 en la parte norte, 4 en la parte media y 4 en la sur. Las muestras se tomaron antes del dosificador de cloro con el objetivo de definir las condiciones naturales del acuífero. Se determinaron 2 parámetros bacteriológicos y 12 fisicoquímicos. Con los datos obtenidos se realizó un análisis discriminante, para ver la variabilidad de los pozos y también se compararon las medias de cada parámetro con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 para agua de consumo humano. De acuerdo con el análisis estadístico los parámetros determinados se agruparon en 3 funciones que explican el 98.28 % de la variación total. Con las distancias de Mahalanobis y los diagramas de dispersión se pudo apreciar una agrupación de los pozos y manantiales en relación a las diferencias marcadas en los parámetros que conforman las tres funciones y que separan totalmente a los pozos Zapata, Tezoyuca y Ojo de Agua del resto de los otros pozos y de los

* Autor de correspondencia
E-mail: erobles@servidor.unam.mx

manantiales. De acuerdo a la dureza tres pozos presentaron agua moderadamente dura, tres dura y el resto agua suave, predominando la dureza carbonatada. Bacteriológicamente los pozos presentaron contaminación por lo menos en un muestreo. Esto es debido en parte a la alta vulnerabilidad de los materiales del acuífero en unas zonas y media en otras, en los que va circulando el agua y por otro lado al posible incumplimiento de los pozos tanto en la construcción (NOM-003-CNA-1996), como en la protección (NOM-004-CNA-1996) de los mismos generando con ello otra fuente de contaminación del acuífero. Sin embargo hasta el momento la capacidad de dilución del acuífero ha permitido en general que se mantenga la misma calidad del agua del Valle de Cuernavaca, aunque se pueden apreciar zonas donde ya es evidente la contaminación antropogénica.

Palabras clave: acuíferos, calidad, parámetros fisicoquímicos, parámetros bacteriológicos.

Introducción

Un acuífero es la formación geológica que almacena agua y actúa como depósito y reserva. La mayoría conforman grandes extensiones y generalmente su alimentación es por el aporte de aguas pluviales, corrientes superficiales y lagos que se infiltran en el suelo. La explotación se efectúa mediante el bombeo en pozos y alcanza hasta un 0.6% de la provisión total del planeta (Jiménez y Cisneros, 2002; Colin, 2001).

La contaminación de las aguas subterráneas es un grave problema ambiental que difícilmente es remediable. Su ubicación en el subsuelo las mantiene protegidas de la contaminación inmediata, pero una vez que esto ha ocurrido es muy costoso y laborioso lograr su limpieza debido a la inaccesibilidad de muchos de los acuíferos (Alcocer *et al.*, 1998). La contaminación bacteriológica es una de las más importantes por sus repercusiones a la salud del hombre (Arcos *et al.*, 2005).

No existen muchos estudios que investiguen procesos de contaminación del agua subterránea en el país, en parte por la falta de infraestructura técnica y humana, y también por el escaso apoyo económico a este tipo de proyectos. Sin embargo, se tienen reportados y documentados algunos procesos de contaminación acuífera en el territorio nacional. Entre dichos estudios están los realizados por Mazari *et al.*, 1997; Gallegos *et al.*, 1999, Pacheco *et al.*, 2000; Soto *et al.*, 2000, Perdomo *et al.*, 2001, Muñoz *et al.*, 2004, Granel y Gález, 2002, Batllori y Febles, 2002, Lizarraga *et al.*, 2006 y Campos *et al.*, 2002, en los cuales se habla ya de problemas de contaminación. Mientras que en los estudios de Soto *et al.*, 2000, Vázquez y Domínguez, 2001 y González *et al.*, 2006 todavía encuentran una buena

calidad del agua subterránea.

El acuífero Cuernavaca colinda en la porción Norte con las Cuencas Hidrológicas del Valle de México y del río Lerma. Al Este y Sur colinda con los acuíferos de Cuautla-Yautepec y Zacatepec, respectivamente, ambos en el estado de Morelos. Al poniente colinda con la subcuenca del río Chalma del Estado de México.

Este acuífero se encuentra alojado en dos diferentes unidades de roca: la primera unidad consiste de rocas ígneas basálticas fracturadas que presentan una alta permeabilidad y distribución irregular; la segunda unidad la constituyen rocas que presentan una permeabilidad media y una distribución irregular.

Entre los estudios más recientes realizados en el acuífero Cuernavaca están los de Suárez (1988) y los de la CNA en 1995 y 1998 (CNA, 2002), donde tomaron muestras en octubre y noviembre encontrando cierto grado de contaminación en el acuífero Cuernavaca.

Uno de los programas prioritarios a ejecutar en el acuífero Cuernavaca que se puede extrapolar al resto del estado y porción alta de la Región Balsas, es continuar con el proceso de manejo y ordenamiento de las cuencas hidrológicas y de acuíferos, planteando acciones tendientes a resolver el problema de la contaminación, eliminar el desequilibrio hidrológico, inducir la conservación, la protección y el aprovechamiento del suelo, el agua, los recursos forestales y en general de todos los recursos naturales de la cuenca, contribuyendo de esta manera a restaurar el equilibrio ecológico y proteger el medio ambiente (CNA, 2002).

Por tal motivo el objetivo de este estudio fue determinar la calidad del agua del acuífero Cuernavaca y ver si la contaminación reportada

anteriormente ha afectado más a este acuífero.

Material y método

Se llevaron a cabo muestreos mensuales durante un año, tomando muestras en diez pozos y dos manantiales distribuidos de tal forma que se ubicaron 4 en la parte norte (Universidad, H. Prado, Herradura y el manantial el túnel), 4 en la parte centro (Texcal, Civac, Tabachines y Cañada) y 4 en la parte sur del Acuífero Cuernavaca (Manantial las Fuentes, Ojo de Agua, Zapata y Tezoyuca). Las muestras se tomaron antes del dosificador de cloro con el objetivo de definir las condiciones naturales del acuífero. Se determinaron los parámetros bacteriológicos Coliformes totales y Coliformes fecales y los parámetros fisicoquímicos pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), nitrógeno amoniacal, alcalinidad total y a la fenolftaleína, dureza total, cloruros, sulfatos, sólidos disueltos, nitratos y detergentes (APHA-AWWA-WEF, 1998 y Robles *et al.*, 2007).

Con el fin de identificar las variables que más discriminan a los pozos y manantiales, se realizó un

Análisis Discriminate, el cual comprendió el cálculo de las funciones discriminates y las variables que conformaron cada función. Así mismo, se obtuvieron las distancias de Mahalanobis, esto con el fin de poder determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los pozos.

Resultados

Se calcularon las medias, valores mínimos y máximos de los resultados obtenidos de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos (Tablas 1, 2 y 3).

Con los datos obtenidos se realizó un análisis discriminante del cual se formaron 5 funciones: la primera comprendida por Sólidos totales, Sólidos disueltos, Alcalinidad total, Dureza total, Dureza de calcio, Dureza de magnesio, OD, Sulfatos y Temperatura; la segunda por Coliformes Totales y Fecales; la tercera por Nitratos, Turbiedad y Cloruros; la cuarta por pH y Sólidos suspendidos y la quinta por nitratos. Las 5 funciones resultaron

Tabla 1. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de la zona norte.

Parámetro	Universidad	H. Prado	Herradura	Tunel	Lím. máx. permisible
Dureza total $mg\ l^{-1}$ como $CaCO_3$	36.9	47.8	37.9	59	500
Cloruros en $mg\ l^{-1}$	3.77	2.11	1.53	4.84	250
Turbiedad en UNT	0.10	0.16	0.13	0.18	5
Sulfatos en $mg\ l^{-1}$	3.82	5.36	4.06	10.3	400
Sólidos disueltos en $mg\ l^{-1}$	110	113	80.4	117	1000
pH	6.7	6.8	6.9	6.4	6.5 a 8.5
Nitrógeno amoniacal en $mg\ l^{-1}$	mld	mld	mld	mld	0.01
Nitratos en $mg\ l^{-1}$	0.73	0.44	0.71	1.67	10
SAAM en $mg\ l^{-1}$	mld	mld	mld	mld	0.01
DBO_5	mld	mld	mld	mld	na
Alcalinidad total $mg\ l^{-1}$ como $CaCO_3$	75.0	94.6	65.4	73.8	na
Alcalinidad a la fenolftaleína $mg\ l^{-1}$ como $CaCO_3$	0	0	0	0	na
Coliformes totales en ufc/100ml	1.55* 36** 0***	0.89* 3** 0***	1.20* 31** 0***	18.35* 1600** 130***	Ausencia o no detectables
Coliformes fecales en ufc/100ml	1.31* 36** 0***	0* 0** 0***	0* 0** 0***	7.96* 260** 18***	Ausencia o no detectables

* Media geométrica

** Valor máximo

*** Valor mínimo

na = no aplica

Tabla 2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de la zona centro.

Parámetro	Texcal	Civac	Tabachines	Cañada	Lím. máx. permisible
Dureza total mg l^{-1} como CaCO_3	102	43.6	91.3	73.9	500
Cloruros en mg l^{-1}	3.02	3.12	14.94	5.34	250
Turbiedad en UNT	0.29	0.15	0.22	1.07	5
Sulfatos en mg l^{-1}	8.39	4.75	8.41	4.72	400
Sólidos disueltos en mg l^{-1}	177	111	182	149	1000
pH	6.9	6.7	6.9	6.9	6.5 a 8.5
Nitrógeno amoniacal en mg l^{-1}	mld	mld	mld	mld	0.01
Nitratos en mg l^{-1}	0.87	0.98	0.90	0.21	10
SAAM en mg l^{-1}	mld	mld	mld	mld	0.01
DBO_5	mld	mld	mld	mld	na
Alcalinidad total mg l^{-1} como CaCO_3	176.5	77.5	181.9	144.1	na
Alcalinidad a la fenolftaleína mg l^{-1} como CaCO_3	0	0	0	0	na
Coliformes totales en ufc 100ml^{-1}	1.14 8 0	1.49 8 0	2.39 200 0	1.66 100 0	Ausencia o no detectables
Coliformes fecales en ufc 100ml^{-1}	0 0 0	1.18 4 0	0.82 4 0	1.24 50 0	Ausencia o no detectables

* Media geométrica na = no aplica

** Valor máximo

*** Valor mínimo

Tabla 3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de la zona sur.

Parámetro	Ojo de Agua	Fuentes	Zapata	Tezoyuca	Lím. máx. permisible
Dureza total mg l^{-1} como CaCO_3	195	47.3	457	350	500
Cloruros en mg l^{-1}	27.5	2.74	81.9	8.3	250
Turbiedad en UNT	0.40	0.47	0.23	3.14	5
Sulfatos en mg l^{-1}	69.36	7.95	89.66	128	400
Sólidos disueltos en mg l^{-1}	308	107	681	450	1000
pH	6	6.7	6.5	6.7	6.5 a 8.5
Nitrógeno amoniacal en mg l^{-1}	mld	mld	mld	mld	0.01
Nitratos en mg l^{-1}	2.54	0.81	2.77	0.13	10
SAAM en mg l^{-1}	mld	mld	mld	mld	0.01
DBO_5	mld	mld	mld	mld	na
Alcalinidad total mg l^{-1} como CaCO_3	204.3	86.5	443	328.6	na
Alcalinidad a la fenolftaleína mg l^{-1} como CaCO_3	0	0	0	0	na
Coliformes totales en ufc 100ml^{-1}	10.90* 1000* 0***	51.5* 20000* 270***	3.46* 102* 0***	3.64* 80* 0***	Ausencia o no detectables
Coliformes fecales en ufc 100ml^{-1}	7.55* 1000* 0***	23.36* 1000* 120***	1.56* 21* 0***	2.97* 60* 0***	Ausencia o no detectables

* Media geométrica na = no aplica

** Valor máximo

*** Valor mínimo

estadísticamente significativas ($p < 0.05$), explicando el 99.76 % de la variación total de los datos. Sin embargo con solo las tres primeras funciones se explica el 98.28 % de la variación total (Tabla 4). Con los resultados del análisis discriminante se obtuvieron las distancias de Mahalanobis (Tabla 5)

y los diagramas de dispersión (Figs. 1 y 2). Con las medias de la dureza se clasificó el tipo de dureza que presentó el agua de los pozos y de los manantiales y junto con las medias de la alcalinidad total se calculó la dureza temporal o carbonatada y la no carbonatada (Tabla 6)

Tabla 4. Resultados del análisis discriminante.

Función	Valor característico	X ²	Nivel de significancia observada (P)	Porcentaje de varianza acumulada	Variables
1	21.25	1126.22	0.000	92.63	Sólidos totales, Sólidos disueltos, Alcalinidad total, Dureza total, Dureza de calcio, Dureza de magnesio, OD, Sulfatos y Temperatura
2	5.40	730.64	0.000	97.13	Coliformes Totales y Fecales.
3	4.82	493.82	0.000	98.28	Nitratos, Turbiedad y Cloruros
4	2.17	269.11	0.000	99.30	pH y Sólidos suspendidos
5	0.48	121.94	0.000	99.76	Nitritos

Tabla 5. Distancias de Mahalanobis (▲) y niveles de significancia (◆) observados entre las estaciones de muestreo.

Poz/Ma	Ca	Ci	Fu	H P	He	O A	Tab	Tex	Tez	Tú	Uni	Zap	
Ca	--	37.3	64.7	23.9	59.2	372	37.2	36.6	1460	40.8	44.1	3861	▲
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	◆
Ci	37.3	0	49.6	3.9	5.9	553	116	118	1857	17.7	4.3	4458	▲
	0	--	0	0.246	0.028	0	0	0	0	0	0.182	0	◆
Fu	64.7	49.6	0	48.6	58.6	516	145	127	1721	22.4	49.3	4294	▲
	0	0	--	0	0	0	0	0	0	0	0	0	◆
H P	23.9	3.9	48.6	0	8.9	528	101	96.9	1770	21.0	4.9	4375	▲
	0	0.246	0	--	0	0	0	0	0	0	0.090	0	◆
He	59.2	5.9	58.6	8.9	0	640	158	154	1982	28.4	4.83	4693	▲
	0	0.028	0	0	--	0	0	0	0	0	0.107	0	◆
O A	372	553	516	528	640	0	225	242	573.	474	594	2038	▲
	0	0	0	0	0	--	0	0	0	0	0	0	◆
Tab	37.2	116	145	101	158	225	0	33.9	1259	116	134	3349	▲
	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	0	0	◆
Tex	36.6	118	127	96.9	154	242	33.9	0	1116	100	129	3272	▲
	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	0	◆
Tez	1460	1857	1721	1770	1982	573	1259	1116	0	1698	1895	1077	▲
	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	◆
Tú	40.8	17.7	22.4	21.0	28.4	474	116.	100	1698	0	22.3	4201	▲
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	◆
Uni	44.1	4.3	49.3	4.9	4.8	594	134	129	1895	22.3	0	4545	▲
	0	0.182	0	0.090	0.107	0	0	0	0	0	--	0	◆
Zap	3861	4458	4294	4375	4693	2038	3349	3272	1077	4201	4545	0	▲
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	--	◆

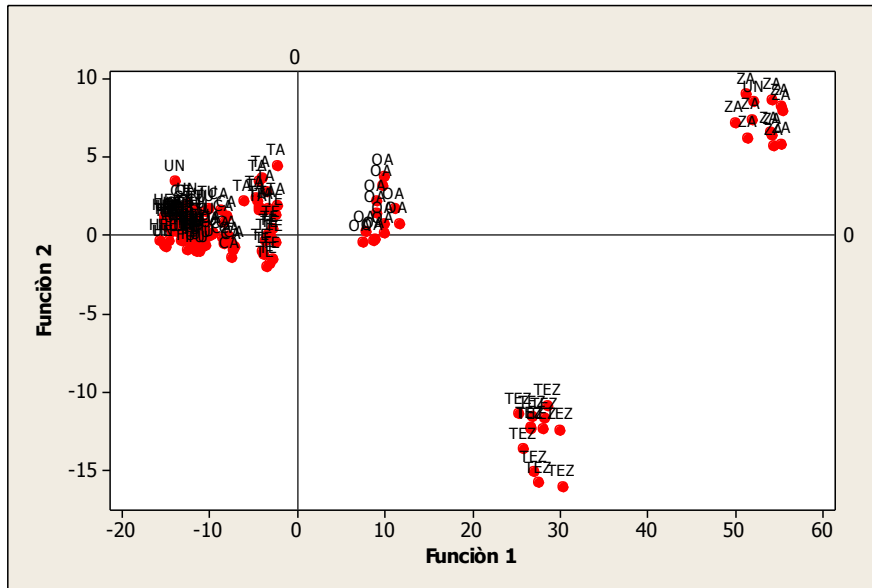


Figura 1. Diagrama de dispersión de la función 1 contra la función 2.

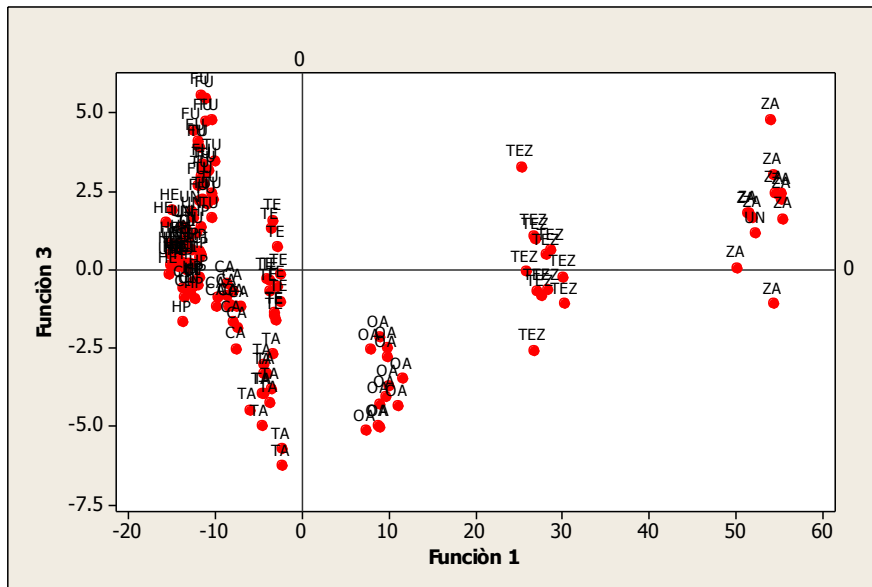


Figura 2. Diagrama de dispersión de la función 1 contra la función 3

Discusión

Los pozos que presentaron las distancias más pequeñas y que por consiguiente representan ciertas similitudes en los parámetros analizados fueron Herradura, H. Prado, Universidad y Civa y un poco mas separados Tunel, Fuentes, Tabachines y

Cañada. Mientras que los que marcaron grandes diferencias con respecto a los demás fueron Zapata y Tezoyuca separados entre ellos todavía por una gran distancia (1077.64).

El pozo Ojo de Agua se encontró también separado en una distancia intermedia en general con respecto a los otros.

Tabla 6. Clasificación del agua de los pozos y manantiales de acuerdo al grado de dureza.

Sitio de muestreo	Dureza total en mg l^{-1} como CaCO_3	Tipo de agua	Dureza Carbonatada	Dureza no carbonatada
Universidad	36.9	suave	36.9	0
H del Prado	47.8	suave	47.8	0
Herradura	37.9	suave	37.9	0
Tunel	59	suave	59	0
Texcal	102	Moderada-dura	102	0
Civac	43.6	suave	43.6	0
Tabachines	91.3	Moderada-dura	91.3	0
Cañada	73.9	Moderada-dura	73.9	0
Ojo de agua	195	muy dura	195	0
Fuentes	47.3	suave	47.3	0
Zapata	457	muy dura	443	14
Tezoyuca	350	muy dura	328.6	21.4

En general podemos decir que las similitudes de estas zonas se deben quizás a su localización; ya que estos pozos y manantiales se encuentran distribuidos básicamente en la zona norte y media del Valle de Cuernavaca zonas donde las concentraciones de sales disueltas no son muy altas; mientras que en la zona sur dichas concentraciones se elevan considerablemente marcando una apreciable diferencia. Los pozos que se encuentran más distantes (Zapata, Tezoyuca y Ojo de Agua) se encuentran precisamente en esa zona sur que es donde viene finalizando el Acuífero Cuernavaca y dando inicio al acuífero Zacatepec.

El comportamiento de agrupación de los pozos y manantiales en los diagramas de dispersión, de acuerdo a las 3 funciones que explican el 98.28% de la variación total, confirman lo observado en las distancias de Mahalanobis en relación a la diferencia marcada en los parámetros que conforman las tres funciones y que separan totalmente a los pozos Zapata, Tezoyuca y Ojo de Agua del resto de los otros pozos y de los manantiales.

De acuerdo a la clasificación del agua en base a su dureza, seis puntos de muestreo presentan agua suave, tal es el caso de Civac, Herradura, Hotel Prado, Universidad y los dos manantiales; Cañada, Tabachines y Texcal presentan agua moderadamente dura; mientras que los resultados de Ojo de Agua, Tezoyuca y Zapata nos dicen que el agua es muy dura. En cuanto a la dureza carbonatada, predominó más en Túnel, Zapata, Tezoyuca, Ojo de agua y Texcal; mientras que en H Prado, Herradura, Universidad, Fuentes, Tabachines, CIVAC y Cañada, tanto la carbonatada

como la no carbonatada estuvieron muy parecidas (Tabla 6).. Esto puede explicarse posiblemente por el tipo de suelo diferente que predomina en esas zonas y es importante porque la dureza carbonatada o temporal desaparece cuando se hierve el agua, es decir que puede precipitarse mediante ebullición prolongada; mientras que la dureza no carbonatada corresponde principalmente a sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y de magnesio y cuando el anión es el sulfato, puede dar como resultado la formación de escamas duras en las calderas y otras partes del equipo de intercambio de calor. Este tipo de dureza es más costosa y difícil de eliminar. (Romero, 1999., Robles, *et al.*, 2004).

Con respecto a la contaminación bacteriológica y tomando en cuenta que las muestras se tomaron antes del dosificador de cloro, los manantiales fueron los más contaminados, en primer lugar el manantial Fuentes seguido del manantial el Tunel y un poco menos el pozo Ojo de Agua. Dicha contaminación es el resultado de las fuentes externas de contaminación que se encuentran cercanos a ellos como es el caso del canal de agua residual que pasa a unos metros del manantial las Fuentes y la ubicación del manantial túnel en una barranca donde las casas arrojan sus desechos domésticos. En el caso del pozo Ojo de Agua se encuentra en una zona (Municipio de Temixco) donde también la falta de drenaje en algunas zonas y las actividades agrícolas que se desarrollan en este municipio permiten la infiltración de contaminantes afectando a este pozo. Dicha contaminación externa ha alcanzado ya al acuífero en esas zonas deteriorando su calidad.

Los pozos que presentaron la mejor calidad

bacteriológica fueron Hotel del Prado, Texcal, Herradura, CIVAC, Universidad y Cañada, lo cual nos indica que la zona norte y media del Valle de Cuernavaca, con excepción del manantial el Tunel, presenta mejores condiciones bacteriológicas que la zona sur. Sin embargo, aunque la calidad microbiológica del agua subterránea de estos pozos se puede clasificar como aceptable es importante resaltar la importancia del proceso de cloración para la purificación de las aguas antes de su distribución y así tener la certeza de que el agua de estos pozos es de buena calidad para el consumo humano.

Considerando que el agua de los pozos es para consumo humano y que esta solo recibe un proceso de cloración se compararon los parámetros fisicoquímicos para ver si cumplía con la NOM-127-SSA1-1994 y se observó que en general tanto los pozos como los manantiales se encuentran cumpliendo con los límites máximos aunque hubo algunos muestreos en los pozos de la zona sur en donde el pH y la turbiedad si excedieron la norma.

Los valores altos de nitratos reportados por la CNA, en los muestreos de 1995 y 1998, no coinciden con los encontrados en este estudio anual en el cual los valores si estuvieron dentro de los límites de la norma, esto debido quizás a las bondades de dilución del acuífero.

En lo que respecta a los sólidos disueltos estos tuvieron un ligero incremento pues la CNA reportó de 50 a 600 mg l⁻¹, siendo los valores más altos la zona sur y en este estudio se tuvo de 84 a 772 mg l⁻¹, siendo también la zona sur donde se encontraron los valores más altos.

Respecto a los demás parámetros los valores fueron muy semejantes en ambos estudios.

Conclusiones

En el caso del contenido de sales disueltas en el acuífero se presenta una contaminación natural proveniente del arrastre de dichas sales de acuerdo a la dirección del flujo del agua, en este caso de la parte más alta a la parte más baja, notándose una gran diferencia del contenido de sales entre los pozos y manantiales ubicados al norte (mayor altitud) con respecto a la zona sur (menor altitud).

La zona que presentó la mayor dureza fue la sur, clasificándose el agua de tipo muy dura. Mientras que en general los pozos de la zona norte y la

mayoría de los del centro presentaron agua suave, predominando en éstos la dureza carbonatada, mientras que en los demás fue muy parecida la cantidad de dureza carbonatada y la no carbonatada. La detección de contaminación bacteriológica en el acuífero nos indica que la capacidad de dilución del acuífero no es suficiente mostrando puntos específicos donde la filtración de las bacterias está llegando al acuífero, provenientes en parte a las descargas de aguas residuales que van directas al suelo y en otros casos al incumplimiento de los pozos tanto en la construcción (NOM-003-CNA-1996), como en la protección (NOM-004-CNA-1996) de los mismos.

La alta vulnerabilidad de los materiales del acuífero en unas zonas y media en otras, en los que va circulando el agua, permite la infiltración de contaminantes que alteran la calidad del agua subterránea.

Hasta el momento la capacidad de dilución del acuífero ha permitido en general que se mantenga la misma calidad del agua del Valle de Cuernavaca, aunque se pueden apreciar zonas donde ya es evidente la contaminación antropogénica, trayendo como consecuencia una degradación en la calidad del acuífero.

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 este estudio.

Bibliografía

- Alcocer, Javier; Lugo, Alfonso; Marín, Luis E.; Escobar Elva. 1998. Hydrochemistry of waters from five cenotes and evaluation of their suitability for drinking-water supplies, northeastern Yucatan. Mexico Hydrogeology Journal, Volume 6, Issue 2, pp. 293-301
- APHA-AWWA-WEF, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20^a, USA
- Arcos, P. M. P.; Ávila de Navia, S. L.; Estupiñán, T. S. M.; Gómez, P. A. C. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. NOVA- Publicación Científica. 3: 69 - 79.
- Batlóri, S. E., Febles, P. J. L. 2002. El agua subterránea en el desarrollo regional de la península de Yucatán. Avance y

- Perspectiva (21): 67-77 pp.
- Campos, C; Cárdenas, M; Guerrero, A. 2002. Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas en la Sabana de Bogotá (Colombia). Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. 202 – 207.
- Colin Baird. 2001. Química ambiental. Ed. Reverte. Barcelona, España. 622 p.
- Comisión Nacional Del Agua (CNA). 2002. Informe técnico “Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero de Cuernavaca, Morelos. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación Geohidrológica. 52 p.
- Gallegos, E., Warren, A., Robles, E., Campoy, E., Calderón, A., Sainz, G. Ma., Bonilla, P., y Escolero, O. 1999. The effects of wastewater irrigation on groundwater quality in México. Wat. Sci. Tech. Vol. 40. No. 2, pp. 45-52.
- González, C. J. C; Cabrera, G. A; Ayala, G. J. M. 2006. Flujo, calidad de agua y uso potencial de los manantiales de la microcuenca Atécuaro, Morelia, Michoacán, México. Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 8: 31 – 46.
- Granel, C. E y Gález, H. L. 2002. Deterioro de la calidad de agua subterránea por el desarrollo poblacional: Cancún, Quintana Roo. Ingeniería Revista Académica. 6(3): 41–53.
- Jiménez, E., Cisneros B. 2002. La contaminación ambiental en México: causas efectos y tecnología apropiada. Editorial Limusa. México D. F. 183p926 p.
- Lizárraga, M. L; De León, G. H; Medina, B. F; Návar, J. 2006. Calidad del agua subterránea en Linares Nuevo León, México. Ciencia UANL: 4(9):426 – 430.
- Mazari-Hiriart, M; Velásquez, E; Torres-Beristain, B y Ruiz de E, R. 1997. Calidad del agua subterránea en la zona sur de la ciudad de México con base en microorganismos. Instituto de Ecología.
- Muñoz, H; Armienta, M. A; Vera, A y Cenicerros, N. 2004. Nitrato en el agua subterránea del Valle de Huamantla, Tlaxcala, México. Revista Internacional Ambiental. 20(3): 91 – 97.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para usos y consumo humano límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación, (Modificada) 20 de junio de 2000. México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. Secretaría de Media Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación, 6 de enero de 1997. México.
- 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. Secretaría de Media Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación, 24 de julio de 1997. México.
- 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.
- Perdomo, C. H; Casanova, O. N. y Ciganda, V. S. 2001. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el Litoral Sudoeste de Uruguay. Agrociencia. 5(1): 10-22.
- 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.
- Robles, V.E., González, M.E. y Castro, N. P. 2004. Los contaminantes fisicoquímicos del agua: sus efectos en el hombre y el medio ambiente. UNAM FES Iztacala. México. 120 p.
- Romero, R. J. A. 1999. Calidad del agua. 2ª edición. Editorial Alfaomega. Escuela Colombiana de Ingeniería. 273 p.
- Soto, G. E; Mazari, H. M; Bojórquez, T. L. A. 2000. Entidades de la zona metropolitana de la Ciudad de México propensas a la contaminación de agua subterránea. Investigaciones Geográficas. 43: 60 – 75.
- Suárez, B. M. D. 1988. Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua subterránea del Valle de Cuernavaca, Morelos, México. Tesis de licenciatura en Ingeniero Geólogo. Fac. Ingeniería. UNAM. México. 84 pp.
- Vázquez, O. D y Domínguez, M. E. 2001. Calidad de agua en el Valle de México. CNA.