

## **CALIDAD BACTERIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DEL AGUA DEL ACUÍFERO TEPALCINGO-AXOCHIAPAN, MORELOS, MÉXICO**

### **PHYSICOCHEMICAL AND BACTERIOLOGICAL WATER QUALITY OF THE TEPALCINGO-AXOCHIAPAN AQUIFER, MORELOS, MEXICO**

**Esperanza S. Robles<sup>1</sup>, Elizabeth Ramírez<sup>1</sup>, Ángel Durán<sup>1</sup>, María E. Martínez<sup>1</sup>, María E. González<sup>1</sup>**

(1) Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala  
Av. De los Barrios #1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Edo. de México - México  
(e-mail: erobles@servidor.unam.mx)

*Recibido: 27/02/2012 - Evaluado: 09/05/2012 - Aceptado: 06/07/2012*

#### **RESUMEN**

Se determinó la calidad del agua del acuífero Tepalcingo-Axochiapan, México. Se efectuaron seis muestreos y se tomaron muestras en ocho pozos de agua potable antes de añadirle cloro y en un manantial. Se determinaron dos parámetros bacteriológicos y once fisicoquímicos. La mayoría de los pozos y el manantial presentaron aguas muy duras. Los pozos mostraron concentraciones más elevadas de sólidos disueltos en las zonas de menor altitud con excepción del manantial. De acuerdo al análisis discriminante y a las distancias de Mahalanobis, el manantial presentó mayores diferencias con respecto a los demás pozos. Bacteriológicamente, el manantial y un pozo no son adecuados para actividades recreativas y fisicoquímicamente tres pozos son inadecuados como fuente de suministro de agua potable. La falta de servicios sanitarios y el drenaje en algunas zonas puede estar ocasionando el deterioro de la calidad del agua del acuífero en dichas zonas.

#### **ABSTRACT**

The water quality of the Tepalcingo-Axochiapan aquifer, Mexico was determined. Six samplings were carried out, taking samples from eight wells before chlorine and one spring. Two bacteriological and 11 physicochemical parameters were analyzed. Most of the wells and spring presented hard water. The wells showed higher concentrations of dissolved solids at lower altitudes, exception of the spring. Discriminate analysis and the Mahalanobis distances showed that the spring had the biggest differences with respect to the other wells. Bacteriologically the spring and a well are not suitable for amusement activities and physicochemically three wells are not suitable as a source of drinking water. The lack of sanitation and drainage in some areas may be causing deterioration of water quality in the aquifer in such areas.

Palabras clave: pozos de agua; sólidos disueltos; contaminación; coliformes totales y fecales  
Keywords: wells; dissolved solids; contamination; total and fecal coliforms

## INTRODUCCIÓN

La calidad del agua está dada por el contenido de sustancias minerales junto con las propiedades fisicoquímicas y biológicas. Es un concepto, de alguna manera relativa, ya que no se puede hacer una clasificación absoluta de la "calidad". Esto es porque el grado de calidad del agua ha de referirse a los usos a que se destina. La calidad necesaria para cada uso varía, al igual que los criterios utilizados para evaluarla. Por ejemplo, para el agua potable se exigen altos estándares de calidad, mientras que se admite una menor calidad para su uso en los procesos industriales. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos (PNUMA, 2008).

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. Para ello, se mide la concentración de sus componentes y los efectos o propiedades causadas por la presencia de estas sustancias. El riesgo más grave para la salud humana relacionada con la calidad del agua de beber es el que derivada de la contaminación microbiológica, particularmente la fecal. Por lo que la protección de la salud exige que las fuentes de contaminación microbiológicas estén situadas lo bastante lejos de las fuentes de agua potable para eliminar o reducir el riesgo que representan (PNUMA, 2008; Foster *et al.*, 2003).

El análisis bacteriológico es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación del agua. El examen no implica la búsqueda directa de los gérmenes patógenos, ya que estos no sobreviven mucho tiempo fuera del cuerpo de los animales y del ser humano de manera que puedan ser detectados en el agua, mientras que los organismos no patógenos que están siempre presentes en el tracto intestinal de los humanos y animales se excretan junto con los patógenos pero en mucho mayor número, ideales para utilizarlos como indicadores de contaminación fecal; los más utilizados son los coliformes, estos son capaces de sobrevivir durante varias semanas bajo condiciones ideales en el medio acuático por lo que pueden ser más fácilmente detectadas, y su presencia en el agua es considerada como un índice evidente de la contaminación fecal y por tanto de organismos patógenos (Altherholt *et al.*, 2003). Entre los indicadores fisicoquímicos se encuentran los materiales en suspensión, el color, la turbidez, la temperatura, el pH, la conductividad, por otra parte entre los indicadores de contaminación orgánica están la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total, entre otros (León, 2006).

El agua subterránea es importante tanto como fuente de agua como para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos. Se encuentra debajo de la superficie de la tierra y las grandes reservas de agua subterránea se denominan acuíferos. El acuífero es la formación geológica que almacena agua y actúa como depósito y reserva. La mayoría conforman grandes extensiones y su recarga es por el aporte de aguas pluviales, corrientes superficiales, y lagos que se infiltran a través del suelo hacia el acuífero, el agua escurre por gravedad desde las zonas de recarga hacia las de descarga, las cuales pueden ser ríos, lagos y manantiales; la explotación se efectúa mediante el bombeo en pozos (Jiménez, 2001; Price, 2007).

El agua subterránea se consideraba frecuentemente una fuente inagotable debido a su disponibilidad y buena calidad (Jiménez, 2001), pero diversos estudios indican que es muy vulnerable a la contaminación. Sustancias químicas y microorganismos como bacterias, virus y protozoarios pueden llegar a entrar en contacto con esta agua. Se han documentado brotes de hepatitis A y gastroenteritis viral, así como numerosos reportes de contaminación química (Anderson, 2003; Berger, 2003). Las fuentes de contaminación del agua subterránea son numerosas, siendo el vertimiento del agua residual sin tratar una fuente importante de contaminación, a veces como resultado de usarlas para la irrigación (Anderson, 2003; Ramírez *et al.*, 2006).

El agua subterránea es una fuente de abastecimiento para diversos sectores de una población, a nivel mundial constituye un alto porcentaje como fuente de suministro de agua, así tenemos que en México es una de las

principales fuentes de abastecimiento de agua potable. En México, existen alrededor de 653 cuerpos de agua subterránea o acuíferos, de los cuales 104 están sometidos a sobreexplotación. Del total de acuíferos se extrae más del 60% del agua destinada para todos los usos. El mayor número de estos se encuentran en el noroeste del país, sin embargo los que reciben una descarga significativa se localizan en el suroeste; de hecho a excepción de esta zona, existen problemas de disponibilidad debido a que las descargas son menores a las extracciones, esto se agrava aun mas por el deterioro de su calidad, debido a la contaminación (INEGI, 2006).

La problemática de los acuíferos del país es diversa pues depende de las características hidrogeológicas de las zonas, del uso de los acuíferos y de las aportaciones que estos reciben. Aunque no se dispone de información suficiente para diagnosticar la calidad de las aguas subterráneas de los principales acuíferos del país, dicha calidad se ha deteriorado debido a las actividades humanas (CNA, 2002). Diversos investigadores han encontrado contaminación bacteriológica y fisicoquímica en el agua subterránea, entre ellos se puede mencionar a Gallegos *et al.* (1999), Mazari-Hiriart *et al.* (1999), Batllori y Febles (2002), Granel y Gález (2002), Pacheco *et al.* (2004), Muñoz *et al.* (2004) y Lizárraga *et al.* (2006). Sin embargo otros investigadores han encontrado todavía acuíferos con buena calidad o con contaminación baja como es el caso de Borbolla *et al.* (2003), Vázquez y Domínguez (2001), González *et al.* (2006), Robles *et al.* (2010) y Ramírez *et al.* (2009). La contaminación de los acuíferos no solo es un problema en México, también se ha detectado en otros países como lo reportan en sus trabajos Lamrani *et al.* (2008), Murat y Aydin (2008), Sugimoto *et al.* (2009) y Guimarães *et al.* (2010).

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación nacional con el crecimiento de la población, la expansión de la actividad industrial y agrícola. Por lo que el objetivo del trabajo fue determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua del acuífero Tepalcingo–Axochiapan, Morelos, México.

En un estudio que realizó la CNA en 1982 sobre la determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle de Tepalcingo-Axochiapan, en la sección de calidad del agua concluyen que ésta, es de buena calidad y apta para uso potable, agrícola e industrial (CNA, 2002). Sin embargo en este estudio no se realizaron pruebas bacteriológicas, de ahí la importancia no solo de actualizar la evaluación sino de realizar también determinaciones bacteriológicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Zona de Estudio

El acuífero del Valle de Tepalcingo – Axochiapan se ubica en la porción oriente del estado de Morelos. Colinda en la porción norte con la Cuenca hidrológica del Valle de México, al oeste con el acuífero de Cuautla- Yautepec del estado de Morelos, al este con el acuífero de Atlixco- Izucar de Matamoros en el estado de Puebla y al sur con la cuenca del río Nexapa (Figura 1). La zona de recarga se ubica en el norte y la de descarga en la parte media y el sur.

Se llevaron a cabo seis muestreos bimestrales en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan y se seleccionaron 9 estaciones de muestreo, correspondientes a ocho pozos y un manantial (Figura 2). Los pozos P1, P2 y P3 se encuentran en las partes más altas (altitud de 1695.3, 1451.8 y 1372.3 msnm respectivamente), seguidos de P4, P5 y P6 (altitud de 1253.4, 1253.2, 1178.8 msnm) y los más bajos P7, P8, y P9 (altitud de 1043.7, 1039.8, y 1018 msnm). El flujo del agua va en la dirección de norte a sur.

El pozo P1 se localiza en el municipio de Zacualpan de Amilpas, P2 en Jantetelco y P3 en Jonacatepec, el manantial (P4) y los pozos P5 y P6 se ubican en el municipio de Tepalcingo y los pozos P7, P8, y P9 en el municipio de Axochiapan. Al sur de Jonacatepec, prácticamente en los municipios de Tepalcingo y Axochiapan hay una concentración de pozos profundos y norias que están afectando los manantiales de la zona, esto se ha manifestado por una disminución en el volumen que aportan los manantiales de la zona, en donde poco a poco han mermado su aporte hasta casi desaparecer. En todos estos municipios hay zonas que carecen de drenaje y

arrojan sus aguas residuales a barrancas, también poseen calles sin pavimentación. El uso general de los pozos es público urbano, P6 es semiurbano. P3, P4 y P9 son de servicios, suministran el agua a balnearios. Los pozos del 1 al 5 se encuentran en la parte norte del acuífero y del 6 al 9 en la zona sur (CNA, 2002).



Fig. 1: Localización del acuífero Tepalcingo-Axochiapan (Fuente: CNA, 2002).

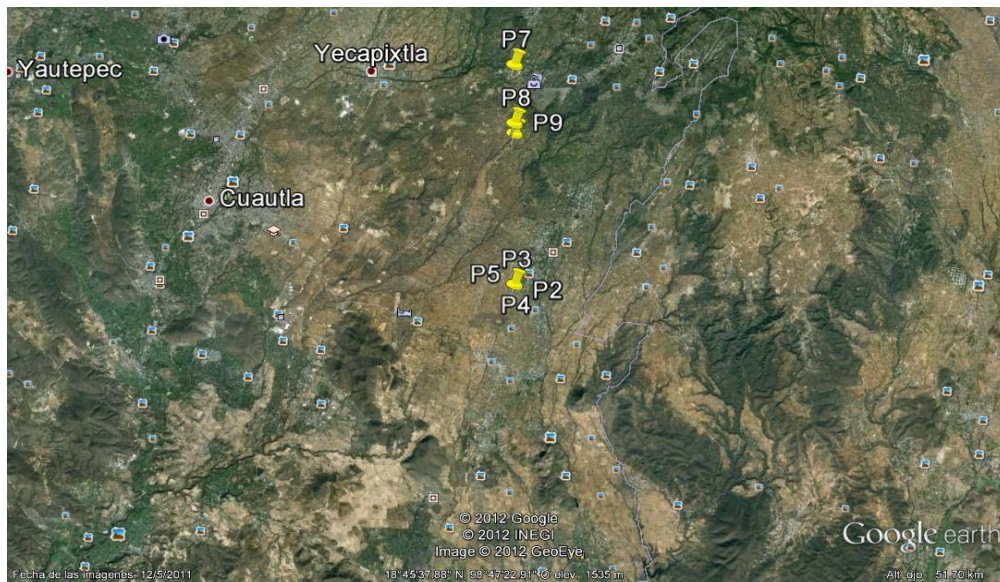


Fig. 2: Localización de las nueve estaciones de muestreo

### Trabajo de Campo.

Las muestras se tomaron antes del proceso de cloración. En campo se determinó en cada sitio de muestreo el pH con equipo Conductronic modelo pH 10 y se tomó una muestra en frasco estéril para los análisis bacteriológicos y en dos botellas de 1.5 L para los fisicoquímicos, acidificando una de ellas y transportando en hielo.

## Trabajo de laboratorio

Se determinaron por duplicado 2 parámetros bacteriológicos coliformes totales y coliformes fecales por la técnica de filtro de membrana utilizando medio mEndo para los primeros y medio mFC para los segundos. Se determinaron 12 parámetros fisicoquímicos por duplicado y se introdujo un estándar interno en cada lote de muestras; los parámetros analizados fueron: DBO<sub>5</sub> por la técnica de dilución, nitrógeno amoniacal por Kjeldahl, SAAM por azul de metileno, turbiedad con un turbidímetro Hach modelo 2100 P, nitritos por la técnica de diazotización, los nitratos por brucina, alcalinidad total por titulación con ácido sulfúrico, dureza total y de calcio por titulación con EDTA, sulfatos colorimétrica con cloruro de bario, cloruros por titulación con nitrato de plata, sólidos disueltos por gravimetría (APHA, 1998).

Los promedios de los resultados fisicoquímicos de los pozos de uso público urbano fueron comparados con los límites máximos permisibles de la norma oficial mexicana NOM 127-SSAI-1994 (SSA, 2000) de agua para consumo humano.

Las medias geométricas de los análisis bacteriológicos se compararon con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 (SEDUE, 1989) dependiendo del uso del pozo (como fuente de abastecimiento de agua potable o recreación).

Con el objetivo de determinar cuáles de las variables estudiadas eran las que discriminaban los pozos, se aplicó el método estadístico; análisis discriminante, el cual consistió en obtener: 1º las funciones discriminantes, las variables que conformaron cada función, así como, el porcentaje acumulado de explicación de cada función, 2º las distancias de Mahalanobis y niveles de significancia entre los pozos y 3º el diagrama de dispersión de las dos primeras funciones, el cual permite diferenciar los 8 pozos y el manantial. Para este análisis se utilizó el paquete estadístico MINITAB versión 16 (Dallas, 2000).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron un total de 702 análisis. Con los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos se calculó el valor promedio y la desviación estándar. También se compararon los promedios de los parámetros fisicoquímicos de cada lugar con los límites máximos permisibles de la norma NOM-127-SSAI-1994 (SSA, 2000) de agua para consumo humano (Tabla 1).

Tabla 1: Promedios de los parámetros fisicoquímicos y límites máximos permisibles de la NOM 127-SSAI-1994 (SSA, 2000)

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	Limite Permissible
pH	6,0 ± 0,1	7,0 ± 2,8	6,4 ± 0,1	6,6 ± 0,1	7,6±0,4	7,3 ± 0,2	7,3 ± 0,1	7,2 ± 0,1	7,2 ± 0,1	6,5-8,5
Dureza total en mg/L como CaCO <sub>3</sub>	172,0 ± 9,0	145,0 ± 6,0	184,0±7,1	<b>736,0</b> ± 23,0	319,0±17,0	<b>508,0</b> ± 24,2	384,0±24,2	409,0±14,0	354,0±19,4	500,0
Nitritos en mg/L	mld	mld	mld	mld	mld	mld	mld	mld	mld	1,00
Nitratos en mg/L	1,96 ± 0,30	2,10 ± 0,33	2,03 ± 0,32	0,82 ± 0,08	2,09 ± 0,27	2,20 ± 0,58	1,27 ± 0,47	0,81±0,37	1,78 ± 0,32	10,00
Nitrógeno amoniacal en mg/L	mld	mld	mld	mld	mld	mld	mld	mld	mld	0,50
Cloruros en mg/L	11,0 ± 2,9	3,8 ± 1,8	13,2 ± 2,2	26,0 ± 3,5	8,1 ± 2,1	30,7 ± 5,1	22,2 ± 4,5	14,9 ± 2,3	8,7 ± 2,5	250,0
Sulfatos en mg/L	56,0 ± 9,1	49,8 ± 4,3	91,2 ± 4,7	<b>740,0</b> ± 27,0	211,0 ± 12,9	348,0 ± 32,5	279,0 ± 29,5	354,0±28,3	326,0±18,8	400,0
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) en mg/L	mld	mld	mld	mld	mld	mld	mld	mld	mld	0.50
Sólidos disueltos en mg/L	328,0±9,6	297,0±11,7	352,0±27,7	<b>1198,0</b> ±32,7	556,0±27,3	852,0±16,6	893,0±44,5	737,0±18,8	659,0±9,5	1000,0
Turbiedad en unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)	0,77 ± 0,21	0,21 ± 0,10	0,17 ± 0,01	0,26 ± 0,11	0,25 ± 0,32	0,22 ± 0,14	0,27 ± 0,10	0,14 ± 0,01	0,25 ± 0,12	5,0

mld (menor del límite de detección): Nitritos = 0.001 mg/L; nitrógeno amoniacal = 0.05 mg/L; SAAM = 0.01mg/L  
 Nota: Los números realizados indican los valores que excedieron los límites de la norma

De acuerdo a la NOM 127-SSA1-1994 (SSA, 2000), la mayoría de los pozos cumple con las características fisicoquímicas requeridas, excepto el manantial (P4) en sólidos disueltos (1198 mg/L), sulfatos (740 mg/L) y dureza total (736 mg/L); el pozo P6 en dureza total (508 mg/L) y los pozos P1 y P3 en pH (6 y 6,4 respectivamente) (Tabla 1).

Con excepción del manantial P4, en general se aprecia la tendencia de un incremento en la concentración de los sólidos disueltos de los pozos de menor altitud respecto a los de mayor altitud como consecuencia de la disolución de los minerales de las rocas del suelo durante su flujo de las partes altas hacia las bajas, lo cual coincide con lo reportado por la CNA (2002). Las concentraciones elevadas de sólidos disueltos en el manantial P6 y que se encuentra a una altitud mayor con respecto a los pozos P5, P6, P7, P8 y P9, pudo deberse a la problemática de la disminución del volumen de agua que presenta este manantial y por consiguiente a una concentración de las sales disueltas.

El pozo P2 presentó agua moderadamente dura; P1 y P3 agua dura y los pozos P5, P6, P7, P8, P9 y el manantial (P4), tuvieron agua muy dura (Romero, 1999). Con los valores promedio de la alcalinidad total y dureza total se calculó la dureza carbonatada y la dureza no carbonatada; predominando la dureza carbonatada en todos los pozos en un intervalo de 133 a 304 mg/L, estando la no carbonatada en un intervalo de 12 a 204 mg/L. En contraste en el manantial (P4) prevaleció la dureza no carbonatada con un valor de 529 mg/L, lo cual coincide con los valores altos de sulfatos encontrados en ese sitio (Tabla 1).

Los análisis de la DBO<sub>5</sub>, nitrógeno amoniacal y sustancias activas al azul de metileno (SAAM), estuvieron por debajo de los límites de detección de los métodos empleados, lo que indica la baja o ausencia de contaminación por materia orgánica.

Con los valores de los coliformes totales y fecales se elaboró una tabla de frecuencias y se calculó la media geométrica para cada pozo y el manantial (Tablas 2 y 3).

Las pruebas bacteriológicas mostraron concentraciones de coliformes totales y fecales en todos los pozos y en los pozos P1, P3, P5, P9 y P4, se detectaron coliformes en todos los muestreos (Tabla 2). El manantial (P4) obtuvo la mayor cantidad de coliformes totales y de coliformes fecales presentando medias geométrica de  $1,83 \times 10^5$  Unidades Formadoras de Colonias (UFC)/100 ml y  $6,02 \times 10^4$  UFC/100 ml respectivamente; mientras que los pozos P6, P8, P2 y P7 tuvieron las medias geométricas más bajas 0,99, 1,02, 1,07 y 1,79 de CT y 0,29, 0,51, 0,63 y 1,08 de CF (Tabla 3).

De acuerdo a los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 (SEDUE, 1989) los pozos son aceptables para ser utilizados como fuente de suministro de agua potable (<1000 Número Más Probable (NMP)/100 ml de coliformes fecales), previa potabilización, a excepción del pozo P9 y del manantial P4. En el caso del manantial P4 y del pozo P9 cuyo uso es recreativo, no cumplen con los criterios ecológicos para ese tipo de actividad (<200 NMP/100 ml de coliformes fecales).

Tabla 2: Frecuencia de coliformes totales y fecales en los seis muestreos

***UFC/100 ml	P1	**P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
	*CT/CF	*CT /CF	*CT/CF	*CT /CF	*CT/CF	*CT/CF	*CT/CF	*CT/CF	*CT/CF
0		2/3				2/4	1/1	1/2	
1 -10		2/1	0/1			4/2	5/5	4/4	
11 -100		1/1	4/4		1/3			1/0	
101 - 1000	5/5		2/1		5/3				
> 1000	1/1			6/6					6/6

\*CT = Coliformes totales y CF = Coliformes fecales, \*\*Hubo solo 5 muestreos; \*\*\*UFC = Unidades formadoras de colonias

Tabla 3: Medias geométricas de los coliformes totales y fecales

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9
Coliformes totales en UFC/100 ml	503	1,07	77,3	183439	229	0,998	1,79	1,02	2064
Coliformes fecales en UFC/100 ml	288	0,626	47,7	60183	140	0,295	1,08	0,51	1923

UFC = Unidades formadoras de colonias

Con los resultados bacteriológicos y fisicoquímicos se realizó un análisis discriminante y de los datos obtenidos de este análisis se formaron principalmente 2 funciones: la primera formada por los parámetros sólidos disueltos, dureza total y sulfatos, los cuales explicaron el 88.6% de la variación ( $p < 0,01$ ). La segunda función estuvo formada por alcalinidad, cloruros y coliformes fecales que explicaron el 5.1% de la variación ( $p < 0,01$ ). En total las dos funciones explicaron el 93.7% de la variación total con una  $p < 0,01$  (Tabla 4).

Tabla 4: Resultados del análisis discriminante

Función	Valor característico	$\chi^2$	Porcentaje de varianza acumulada	Variables
1	542,5	804,2	88,6 ( $P < 0,01$ )	Sólidos disueltos, dureza total, sulfatos
2	31,29	542,8	93,7 ( $P < 0,01$ )	Alcalinidad, cloruros y coliformes fecales

En base a estas funciones, se calcularon las distancias de Mahalanobis en donde el manantial (P4) presentó las distancias más grandes con respecto a P1 con una distancia de 4440, P2 con 4358 y P3 con 4046 quienes a su vez mantuvieron distancias menores entre ellos (P2 y P3 con 32,4; P1 y P3 con 71,4; P1 y P2 con 119,4). Los pozos P8 y P9; P5 y P9; P6 y P7 también presentaron distancias menores (68, 101 y 140 respectivamente) (Tabla 5).

Tabla 5: Distancias de Mahalanobis entre las estaciones de muestreo

	1	2	3	4	5	6	7	8
2	<b>119,4</b>							
3	<b>75,4</b>	<b>32,4</b>	0					
4	<b>4440</b>	<b>4358</b>	<b>4046</b>	0				
5	693,2	516*	456	2087	0			
6	2095	2021	1808	786	678	0		
7	1740	1733	1530	1012	553	<b>140</b>	0	
8	1299	1214	1062	1114	260	269	171	0
9	968	866	746	1485	<b>101</b>	472	302	<b>68</b>

Los niveles de significancia fueron menores de 0.001 excepto \* con 0.031

Nota: Los números realizados son los que tuvieron las distancias más altas y las más bajas

Con las funciones 1 y 2 obtenidas en el análisis discriminante y las distancias de Mahalanobis se obtuvo el diagrama de dispersión (Figura 3), en donde se puede apreciar gráficamente los pozos que presentaron las diferencias más grandes y los que fueron más similares de acuerdo a las funciones 1 y 2, siendo los parámetros más relevantes los sólidos disueltos, dureza total y sulfatos (Función 1) ya que ellos marcaron la mayor variabilidad entre los pozos. Se observa como el manantial P4, fue el que tuvo las mayores diferencias respecto a los otros pozos, principalmente con los pozos P1, P2 y P3.

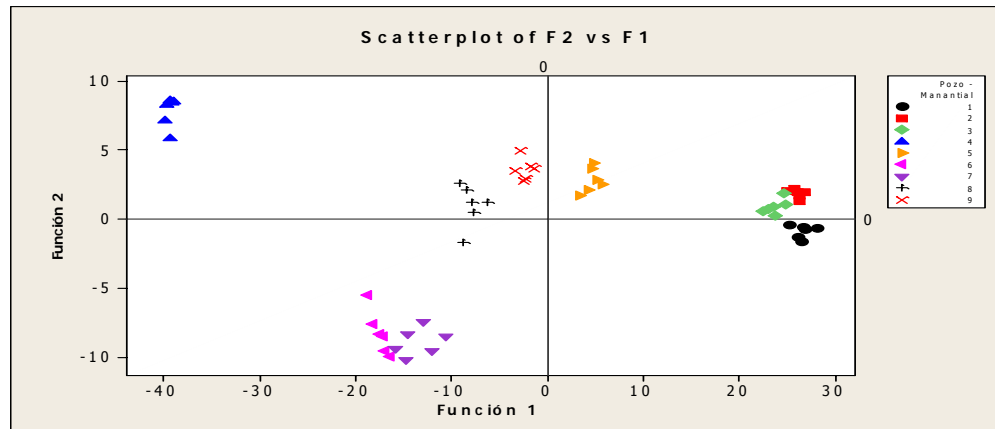


Fig. 3: Diagrama de dispersión de acuerdo a las funciones 1 y 2

## CONCLUSIONES

Todos los pozos cumplen bacteriológicamente como fuentes de suministro para agua potable y recreación de acuerdo con los Criterios Ecológicas de Calidad de Agua (SEDUE, 1989), a excepción del pozo P9 y el manantial (P4). Físicoquímicamente los pozos P1, P6 y P3 no cumplen con la NOM 127-SSA1-1994 (SSA, 2000) para agua de consumo humano.

La presencia de valores altos de coliformes fecales en el agua del manantial (P4) y en el pozo P9 es un problema, ya que por el uso recreativo al que se destinan, puede ocasionar daños a la salud de los usuarios si no se realiza la cloración del agua.

La detección de concentraciones elevadas de coliformes totales y coliformes fecales encontradas en algunas zonas del acuífero podría deberse a la carencia de servicios sanitarios y drenaje, empezando a deteriorar la calidad del acuífero en esas zonas. Otra causa también podría ser el incumplimiento de las normas en la construcción y en la protección de los pozos.

## 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. Al Programa PAPCA 2010-2011 de la FES Iztacala, UNAM, por su financiamiento.

## REFERENCIAS

1. Altherholt, T., Feerst, E., Hovendon, B., Kwak, J. & Rosen, J.D. (2003). Evaluation of indicators of fecal contamination in groundwater. *Journal American Water Works Association*, 95, 119-131.
2. Anderson, J.L. (2003). Groundwater Pollution. En M. Bortman, P. Brimblecombe & M.A. Cunningham. (eds.). *Environmental Encyclopedia* (pp. 679-681): Gale, Detroit.
3. APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WEF (Water Environmental Federation). (1998); *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20<sup>th</sup> ed. Washington, D.C. 1325 p.



4. Batllori, 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.
5. Berger, S.P. (2003). Microbes in Groundwater. En E. J. Dasch (ed.). *Water: Science and Issues* 3 (pp. 72-75): Macmillan, New York.
6. Borbolla, M.E., Cruz, L., Piña, O., Fuentes, J. & Garrido, G. (2003). Calidad del agua de Tabasco. *Salud de Tabasco*, 9 (1), 170-177.
7. CNA (Comisión Nacional del Agua) (2002). Subdirección General Técnica. Gerencia de aguas subterráneas. Subgerencia de evaluación y modelación hidrogeológica. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle de Tepalcingo-Axochiapan, Estado de Morelos. Informe Técnico, 42 p.
8. Dallas, E.J. (2000). Métodos Estadísticos Multivariados aplicados al análisis de datos. Ed. International Thomson Editores. México, D.F. 566 p.
9. Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. & Paris, M. (2003). Protección de la calidad del agua subterránea, guías para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Ed. Banco Mundial. Washington, D.C. 124 p.
10. Gallegos, E., Warren, A., Robles, E., Campoy, E., Calderón, A., Sainz *et al.* (1999). The effects of wastewater irrigation on groundwater quality in Mexico. *Water Sci. Technol.*, 40, 45-52.
11. 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*, 8, 31-46.
12. Granel, C.E. & Gález, H.L. (2002). Deterioro de la calidad de agua subterránea por el desarrollo poblacional: Cancún, Quintana Roo. *Ingeniería*, 6, 41-53.
13. Guimarães, R., de Souza, L.C. & Costa da Silva, R. (2010). Water quality of springs and Wells in properties located in rural and peri-urban areas from Botucatu Region, SP, Brazil. *Vet. e Zootec.*, 17(2), 275-287.
14. INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2006). Los análisis físicos y químicos en la Cartografía Hidrológica del INEGI. México.
15. Jiménez, C. B. (2001). Contaminación ambiental en México. México: Limusa.
16. Lamrani, A.H., Oufdou, K. & Mezrioui, N. (2008). Environmental pollutions impacts on the bacteriological and physicochemical of suburban and rural groundwater supplies in Marrakesh area Morocco. *Environ. Monit. Assess.*, 145, 195-207.
17. León, V.L.F. (2006). Índices de calidad del agua (ICA), formas de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
18. Lizárraga, M.L., de León, G.H., Medina, B.F. & Návar, J. (2006). Calidad del agua subterránea en Linares, Nuevo León, México. *Ciencia UANL*, 9, 426-430.
19. Mazari-Hiriart, M., Torres-Beristain, B., Velázquez, E., Calva, J.J. & Pillai, S.D. (1999). Bacterial and viral indicators of fecal pollution in Mexico City's southern aquifer. *J. Environ. Sci. Health*, A9, 1715-1735.
20. Muñoz, H., Armienta, M.A., Vera, A. & Cenicerros, N. (2004). Nitrato en el agua subterránea del Valle de Huamantla, Tlaxcala, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20, 91-97.

21. Murat, O.H. & Aydin, A. (2008). Hydrochemical and microbiological quality of groundwater in west thrace Region of Turkey. *Environ. Geol.*, 54, 355-363
22. Pacheco, A.J., Cabrera, S.A. & Pérez, C.R. (2004). Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. *Ingeniería*, 8, 165-179.
23. PNUMA (2008). Water Quality for Ecosystems and Human Health. 2ª ed. PNUMA, ERCE, UNESCO.
24. Price, M. (2007). Agua Subterránea. México: Limusa.
25. Ramírez, F.E., Campoy, E., Matuz, D. & Robles, E. (2006). *Acanthamoeba* isolated from contaminated groundwater. *Eukariot. Microbiol.*, 53(S1), 10-11.
26. Ramírez, F.E., Robles, V.E., Sáinz, M.M.G., Ayala, P.R. & Campoy, O.E. (2009). Calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec Morelos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25 (4), 247-255.
27. Robles, V.E., Ramírez, F.E., Ayala, P.R., Durán, D.A., Sáinz, M.M.G., Martínez, R.B. *et al.* (2010). Calidad del agua de tres pozos de la zona centro del acuífero Cuautla-Yautepec, Morelos, México. *BIOCYT*, 3(11), 159-175.
28. Romero, R.J.A. (1999). Calidad del agua, 273 p. 2ª ed. México; Alfaomega.
29. 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.
30. 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.
31. Sugimoto, Y., Toyomitsu, Y., Muto, I. & Hirata, M. (2009). Factors associated with well-to-well variation in nitrate concentration of groundwater in a nitrate-polluted District in Miyakonojo Basin, southern Kyushu, Japan. *Water Air Soil Pollut.*, 199, 23-32
32. Vázquez, O.J. & Domínguez, M.E. (2001). Calidad de agua en el Valle de México. Comisión Nacional del Agua. Recuperado, Septiembre 15, 2009. Sitio web: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/144.pdf>.