



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**Calidad del agua de seis pozos ubicados en
Ecatepec, Edo. de México.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA:

OSCAR ISAAC PRADO NÚÑEZ

DIRECTORA DE TESIS: QFB. ESPERANZA DEL S. ROBLES
VALDERRAMA

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Estado de México.

2012





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

El trabajo experimental se realizó en el **Laboratorio de Calidad del Agua**, del proyecto de **Conservación y Mejoramiento del Ambiente (CyMA)**, en la **Unidad de Investigación Interdisciplinaria en Ciencias de la Salud y Educación (UIICSE)** de la **Facultad de Estudios Superiores Iztacala** de la **Universidad Nacional Autónoma de México** durante el periodo comprendido del 2010- 2011.

Este trabajo se llevó a cabo bajo la dirección de la:

QFB. Esperanza del S. Robles Valderrama.

Proyecto (CyMA), Laboratorio de Calidad del Agua, UIICSE. FES Iztacala, UNAM.

Dedicatoria

A mis padres, por su apoyo incondicional que me han brindado con mis estudios, por su comprensión en todo lo que tuve que realizar durante la carrera y sus esfuerzos que hicieron cuando lo requería, ya que gracias a ustedes logre el término de mi licenciatura. A mi madre que amo, por entenderme en todos los proyectos que estoy realizando y su cariño que siempre me brinda... TE AGRADEZCO DEMASIADO POR TODO.

A mis hermanos por su continua atención, apoyo y consejos que son necesarios recibir. A mi familia principalmente a mis primos Alan, Rúben, Luis, Gabriel, Erwin, Karla y Erick, por todas aquellas reuniones, conciertos y platicas lo cual nos hizo mas unidos.

A Caro, debido a que en la universidad no tenia idea que iba encontrar a mi pareja el cual me llena de felicidad, tu amor y comprensión hizo que tuviera un impulso de energía renovada para seguir continuando con mis proyectos, por todos aquellas locuras que realizamos dentro y fuera de la universidad y como decimos lo que nos falta... te amo mucho hermosa.

A Ángel y Erick que desde que entramos en la universidad aprendimos tanto de nosotros, que nos hemos convertido en buenos amigos y espero que seamos los "mijos" de por vida. A la familia de Ángel que me abrió las puertas de su casa y me ha hecho estimarlos y quererlos mucho. A mis amigos Arun e Israel que nos conocimos y tuvimos ese flash que no dejábamos de platicar sobre nuestras ideas sobre como podemos mejorar al mundo jejeje, es algo que valoro mucho.

A mis amigos de "El lugar" en especial a Carlos, David, Nayeli, Alejandro, Eduardo, Edgar y Adrian que hemos estado como hermanos unidos por años y que nos hemos visto transformarnos, desde unos jóvenes rockeros con ideas revolucionarias, a ver como hemos estado logrando nuestras metas.

A mis profesores Esperanza, Blanca, María de Guadalupe, María Elena, Reynaldo y el señor Alberto por su apoyo, consejos y enseñanzas que me ayudaran en mi vida laboral y personal muchas gracias.

A mis compañeros de laboratorio el cual nos ayudamos y nos reímos mucho.

Agradecimientos

Por todas las facilidades brindadas para la realización de este trabajo y si participación en los muestreos les doy mi agradecimiento a la:

Subgerencia de Explotación y Monitoreo Geohidrológico

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subdirección General Técnica

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

Un agradecimiento muy especial por el financiamiento al Programa de Apoyo a los Profesores de Carrera para la Formación de Grupos de Investigación (PAPCA 2010-2011) de la FES Iztacala, UNAM.

A mi directora de Tesis la profesora Esperanza Robles por todo su apoyo brindado que me otorgo durante la realización de la tesis, ahora si por fin ¡lo logre!, jejeje.

A mis sinodales a la DRA. Patricia Bonilla, a la M en C. Elizabeth Ramírez, a la QFB. Esperanza Robles, a la BIOL. María de Guadalupe Sainz, al M en C. Ángel Duran, que me ayudaron a concluir de manera satisfactoria.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1 Antecedentes en México	14
2.2 Antecedentes en otros países	17
2.3 Parámetros bacteriológicos	20
2.4 Parámetros fisicoquímicos.....	21
pH.....	21
Alcalinidad total.....	21
Cloruros	22
Dureza	22
Turbiedad	23
Sólidos.....	23
Conductividad eléctrica.....	24
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	24
Demanda química de oxígeno (DQO).....	24
Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes)	25
Sulfatos	25
Nitratos	26
Nitritos	26
Temperatura	26
Fierro total	27
Manganeso.....	27
Potasio	28
2.5 Calidad del agua de un acuífero.....	28

2.6 Norma Oficial Mexicana	29
3. JUSTIFICACIÓN	30
4. OBJETIVO GENERAL	31
Objetivos particulares	31
5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	32
5.1 Clima	33
5.2 Hidrología	33
5.3 Geología	34
5.4 Edafología	34
6. MATERIALES Y MÉTODOS	36
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
7.1 Análisis descriptivo	40
7.1.1 pH	40
7.1.2 Temperatura	41
7.1.3 Alcalinidad total y a la fenolftaleína	42
7.1.4 Dureza total , dureza de calcio y dureza de magnesio	44
7.1.5 Sulfatos	47
7.1.6 Cloruros	49
7.1.7 Nitratos	50
7.1.8 Conductividad	51
7.1.9 Sólidos disueltos totales	52
7. 1.10 Potasio	53
7.1.11 Turbiedad	54
7.1.12 Hierro Total y Manganeso	55
7.1.13 DQO, DBO ₅ , N-NH ₃ y SAAM	57
7. 1.14 Coliformes totales y fecales	57
7.2 Análisis discriminante	59

8. CONCLUSIONES	63
9. RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS	66
Referencia en internet	73
ANEXO	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Técnica analítica para cada parámetro.....	39
Tabla 2. Clasificación de la Dureza en los 6 pozos.....	47
Tabla 3. Frecuencia bacteriología.....	59
Tabla 4. Resultados del análisis discriminante.....	60
Tabla 5. Distancias de Mahalanobis (DM)..... y Niveles de significancia (NS) entre las estaciones de muestreo	61
Tabla 6. Media, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo de los parámetros para cada pozo	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Localización del Acuífero de Cuautitlán-Pachuca, Edos. Méx. e Hgo.....	32
Fig. 2 Pozo 1 Ramal los Reyes Ecatepec	36
Fig. 3 Pozo 2 Ramal los Reyes Ecatepec	36
Fig.4 Pozo 3 Ramal los Reyes Ecatepec	36
Fig. 5 Pozo 4 Ramal los Reyes Ecatepec	36
Fig.6 Pozo 5 Ramal los Reyes Ecatepec	37
Fig.7 Pozo 6 Ramal los Reyes Ecatepec	37
Fig.8 Localización de los Pozos de Ecatepec.....	37
Fig. 9 Variación espacial y temporal de pH.....	41
Fig. 10 Variación espacial y temporal de la temperatura	42
Fig. 11 Variación espacial y temporal de alcalinidad total	43
Fig. 12 Variación espacial y temporal de la dureza total.....	45
Fig. 13 Variación espacial y temporal de dureza de calcio.....	46
Fig. 14 Variación espacial y temporal de dureza de magnesio.....	46
Fig. 15 Variación espacial y temporal de los sulfatos.....	48
Fig. 16 Variación espacial y temporal de cloruros.....	49
Fig. 17 Variación espacial y temporal de nitratos.....	51
Fig. 18 Variación espacial y temporal de la conductividad	52
Fig. 19 Variación espacial y temporal de los sólidos disueltos totales	53
Fig. 20 Variación espacial y temporal del potasio	54
Fig. 21 Variación espacial y temporal de la turbiedad.....	55
Fig. 22 Diagrama de dispersión de la función uno contra la función dos	62

RESUMEN

Los acuíferos que cubren el territorio nacional están siendo sobreexplotados o se encuentran muy cercanos a sus niveles máximos de extracción. El agua en la Ciudad de México que se extrae del sistema de acuíferos cubre aproximadamente un 70% de la demanda, mientras que el 30% se importa de otras cuencas. Por tal motivo es necesario verificar su calidad tanto bacteriológica como fisicoquímica. Para ello debe realizarse una serie de análisis cuyo objetivo es determinar si el agua está contaminada con microorganismos u otros contaminantes químicos y ver que cumplan con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Por lo que el propósito del presente trabajo consistió en determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua en seis pozos ubicados en el municipio de Ecatepec, Edo. de México en el Acuífero Cuautitlán-Pachuca. Se realizaron 6 muestreos los cuales se efectuaron en los meses de febrero, marzo, mayo, junio, agosto y septiembre del 2011, las muestras se tomaron antes del dosificador de cloro. *In situ* se realizaron las pruebas de pH, temperatura, OD y se colectaron muestras para las determinaciones bacteriológicas y fisicoquímicas. En el laboratorio se determinaron los parámetros bacteriológicos coliformes totales y coliformes fecales y los parámetros fisicoquímicos alcalinidad total, alcalinidad a la fenoltaleína, dureza total, dureza de calcio, dureza de magnesio, sulfatos, cloruros, turbiedad, sólidos disueltos, conductividad, nitratos, nitritos, demanda bioquímica de oxígeno, detergentes, pH, temperatura, potasio, manganeso y fierro total. Las técnicas realizadas estuvieron de acuerdo con las normas mexicanas. Se encontró que todos los pozos presentaron agua muy dura, predominando la dureza carbonatada. En el caso de todos los pozos el parámetro manganeso estuvo arriba del límite permisible de la norma NOM 127 y el resto de los parámetros fisicoquímicos estuvieron dentro de los límites permisibles con excepción del pozo 5 que sobrepasó los límites permisibles de la norma para los parámetros de cloruros y sólidos disueltos. De acuerdo a las distancias de Mahalanobis y al diagrama de dispersión se pudo observar una marcada diferencia del pozo 5 respecto a los otros pozos y los pozos más similares fueron el 4 con el 6 y el 3 con el 4, 6 y 1. La calidad bacteriológica encontrada en el agua de los pozos fue buena pues estuvo por abajo del límite máximo recomendable para ser utilizada como fuente de abastecimiento de acuerdo con los Criterios Ecológicos de Calidad. La contaminación presentada en los pozos debida principalmente a sales disueltas puede deberse más a una contaminación natural derivada del tipo de suelos en donde se encuentra este acuífero que a una contaminación antropogénica. Es necesario darle importancia a las instalaciones de los pozos, así como las descargas provenientes por la actividad humana.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda del agua a escala mundial acompaña a la disminución de su disponibilidad y por otro lado, la desigual distribución tiempo-espacial de la precipitación, la contaminación de las fuentes, y quizá la influencia de los cambios globales ha hecho que el hombre ponga sus esfuerzos en buscar fuentes alternativas de agua, orientándose nuevamente hacia el aprovechamiento de las aguas subterráneas, las cuales pueden estar afectadas por un mal uso, tanto del suelo como del agua (Coello y Galárraga, 2002).

El agua en la Ciudad de México se extrae del sistema de acuíferos para cubrir aproximadamente un 70% de la demanda, mientras que el 30% se importa de otras cuencas (Merino, 2000)._El subsuelo mexicano aloja gran número de acuíferos, fuentes de agua que funcionan a la vez como vasos de almacenamiento, redes de acueductos y plantas de tratamiento naturales. La importancia del agua subterránea es mayor en países como México con extensas regiones áridas, donde el subsuelo suele ser la principal y la única fuente permanente de agua (Internet¹).

Las aguas subterráneas que se depositan en los acuíferos del país son vitales para garantizar los abastecimientos de agua de la población, pues gran parte de las ciudades y localidades dependen de ellas. Igualmente son importantes para la agricultura, industria, comercio y servicios. Existen evidencias de que un número significativo de los acuíferos que cubren el territorio nacional están siendo sobreexplotados o se encuentran muy cercanos a sus niveles máximos de extracción. La sobreexplotación de los acuíferos se debe a diversos factores entre los que destaca el incremento en las demandas de agua de los diversos sectores de usuarios, la falta de medición y de sistemas de control de las extracciones del subsuelo, el desconocimiento de las disponibilidades de agua y de balances hidráulicos de los acuíferos y la ausencia de infraestructura hidráulica que propicie y facilite la recarga. A su vez, la demanda es resultado del incremento demográfico, expansión de las ciudades, crecimiento y diversificación de la industria, los servicios y el aumento de la frontera agrícola de riego. Las extracciones de aguas subterráneas superiores a las recargas naturales también se asocian a comportamientos sociales negligentes, prácticas de explotación depredadoras de los recursos naturales y procesos productivos ineficaces. En las ciudades y pueblos de México es común observar la exigencia

de nuevos pozos para el abastecimiento de agua potable, antes que discutir la puesta en práctica de métodos ahorradores del agua existente o el mejoramiento y eliminación de fugas y desperdicios en las redes de distribución. En el campo, son excepción los métodos y prácticas productivas que reconocen al agua como un recurso escaso y por lo tanto, del que se debe obtener el máximo beneficio por unidad de volumen (Internet²).

Las aguas subterráneas constituyen una de las principales fuentes de agua para el consumo humano. Al momento en que la lluvia llega al suelo, diferentes factores comienzan a afectar su uso futuro como fuente de consumo humano. Sin la intervención humana, el agua de lluvia se infiltra en el suelo, fluye en la superficie o se evapora de acuerdo a los patrones naturales (Internet³). Las aguas naturales existentes en la superficie del suelo están sometidas al peso de la gravedad. Se infiltran por los poros y las pequeñas fisuras que abundan en el suelo y en rocas subyacentes. Así, a partir de una cierta profundidad todos los intersticios entre las rocas acaban por llenarse de agua. El nivel asciende en razón de las infiltraciones (Pimienta, 1973). El agua subterránea puede salir espontáneamente formando manantiales, ríos o lagos, o puede ser extraída a través de un pozo (Ramírez, *et al.* 2009 y Hornsby, 2000).

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 (Robles *et al.* 2010).

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).

Se ha demostrado que el suministro de agua de buena calidad es la medida más importante que se puede tomar, para mejorar la salud de una colectividad al impedir las enfermedades de origen hídrico como hepatitis, diarreas infantiles, fiebre tifoidea y cólera. El consumo de agua contaminada puede producir síntomas que dependen de la vulnerabilidad de la persona que la consume y de la

naturaleza del agente de infección. El riesgo sanitario se puede ver como la combinación del “peligro” con la “exposición”. Un agua de muy mala calidad puede presentar un riesgo casi nulo si nadie la consume, al contrario, un agua con sólo un parámetro excedido puede tener un impacto sanitario importante si una ciudad entera se abastece de esa fuente. Además de los riesgos individuales y colectivos existen riesgos a corto, mediano y largo plazo. Los riesgos a mediano y largo plazo son generalmente de origen químico, tales como los causados por arsénico, plomo, cadmio o mercurio y producen intoxicación durante meses, años e incluso decenios (Chacana, 2002).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes en México

Pacheco *et al.* (2000), mencionan que más del 60% de la muerte de niños menores a cinco años en la península de Yucatán en México, fue causada por microorganismos patógenos transportados por el agua subterránea. Los mismos autores (2004) concluyeron que el agua subterránea en la parte oriental de Yucatán, México, presenta un elevado grado de contaminación y una calidad bacteriológica clasificada de peligrosa.

Cuevas *et al.* (2002), encontraron que la calidad química del agua al sur de la ciudad de Mérida se puede considerar buena, excepto para los nitratos en los pozos someros en los que se excede el valor establecido en la Norma Oficial Mexicana; respecto a la calidad bacteriológica, en el nivel freático se tuvo contaminación fecal y los pozos profundos ubicados en los alrededores del campo de pozos presentaron contaminación por materia fecal.

En México Mazari *et al.* (2002), llevaron a cabo un estudio prospectivo longitudinal en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México de la calidad de agua subterránea utilizada como fuente de abastecimiento para uso y consumo humano durante un ciclo anual que abarcó lluvias 2000 y secas 2001. Determinaron parámetros fisicoquímicos siendo los más relevantes nitratos, cloroformo, bromodiclorometano, trihalometanos totales y carbono orgánico total. Se observó la presencia de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales y otras bacterias patógenas durante el ciclo anual.

Borbolla *et al.* (2003), realizaron un estudio observacional, retrospectivo, transversal. La muestra se integró con 268 registros de agua potable, obtenidas de las muestras totales de aguas que ingresan al Laboratorio de Análisis Ambiental de la calidad de agua en Tabasco. Las variables bajo estudio fueron: color, turbidez, pH, dureza total como CaCO₃, sulfatos, nitratos como nitrógenos, cloruros, cloro residual y sólidos disueltos totales. Encontrando que todos los

valores promedio de las variables estudiadas estaban dentro de los rangos permisibles de la Norma Oficial Mexicana 127-SSA.1994, con excepción de la turbidez.

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 y Pacheco, (2004), determinaron la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación de nitratos en el estado de Yucatán analizando la metodologías: AVI, GOD, y DRASTIC. Asimismo se determinó y realizó el mapa de distribución espacial de la concentración de nitratos. Encontrando que de los 106 municipios que estudiaron 21 superaron el límite permisible de nitratos.

García (2007), Monroy (2007), Rubio (2007) y Domínguez (2009), realizaron un estudio en el Acuífero del valle de Cuernavaca. En donde analizaron 10 pozos y 2 manantiales encontrando que en general los parámetros fisicoquímicos estudiados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 (SSA, 1994), sin embargo bacteriológicamente si se presentó contaminación, aunque para los pozos no presente un peligro ya que este parámetro se midió antes de la cloración pero en el caso de los manantiales si puede ser un problema para la salud. Concluyendo que la presencia de estas bacterias indican la problemática de que la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales que van directas al suelo ya empiezan afectar al acuífero.

Rodríguez (2008) y Pineda (2008), estudiaron el acuífero de Zacatepec Morelos. Ambos concluyen que las descargas de agua residual que van al suelo en esta zona, provocan la degradación de la calidad del agua del acuífero de Zacatepec. Aunque las muestras se tomaron antes de que pasaran por el dosificador de cloro y que la contaminación bacteriológica se elimina una vez que pasa por dicho sistema, los resultados obtenidos ponen de manifiesto las constantes descargas de aguas residuales a la superficie del acuífero teniendo como consecuencia la contaminación del mismo.

Orozco *et al.* (2008), determinaron la calidad fisicoquímica y bacteriológica en aguas superficiales y subterráneas, tomando muestras distribuidas en el arroyo Colorado y el río Pumpuapa en el Estado de Chiapas en México. Encontraron que la concentración de metales, parámetros físicos y químicos en lo general, no excedieron los límites de la normatividad vigente, a excepción del pH que tiende a la acidez indicando que la calidad del acuífero ha sido modificada probablemente debido a la infiltración de los lixiviados y el escurrimiento de los desechos de un basurero hacia el arroyo.

En el Valle del Yaqui, Sonora, México, Cortés *et al.* (2009), analizaron la composición iónica de 224 muestras de agua y la clasificaron de acuerdo a los criterios más conocidos desde un punto de vista agrícola (el valor promedio para las características evaluadas fue: pH, 7.25, conductividad eléctrica, 2.06 dm m^{-1} , cationes en meq L^{-1} : Na^+ , 8.5; Ca^{2+} , 7.69; Mg^{2+} , 5.08; aniones en meq L^{-1} : SO_4^{2+} , 4.57; CO_3^{2+} , 0.83; HCO_3^- , 3.3; Cl^- , 12.5; relación de adsorción de sodio), y encontraron que el agua extraída del acuífero muestra limitaciones para la irrigación de especies sensibles a la salinidad, la calidad no es recomendable para uso agrícola.

Flores *et al.* (2009), efectuaron una investigación en el acuífero Chalco-Amecameca con la finalidad de conocer la calidad del agua del acuífero. Determinaron análisis fisicoquímicos como pH, temperatura, cloro residual libre, color, turbiedad, dureza total, Sales Disueltas Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno. Sus resultados muestran que únicamente en algunos casos los parámetros registraron valores superiores al límite máximo permisible, lo cual concluyen que en gran parte es atribuible a un deficiente manejo de los pozos.

Del Castillo (2009), determinó la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de tres pozos: Puerta de Fierro, Iztaccihuatl y Yecapixtla; ubicados en la zona oriente del acuífero Cuautla - Yautepec, Morelos, México y encontró que normativamente el agua del acuífero se encuentra en buenas condiciones para consumo humano y uso público-urbano. Los únicos parámetros que sobrepasan de la norma, son el pH que resultó ser ligeramente ácido, y los Coliformes totales y fecales. Para éstos últimos la preocupación es menor, ya que la muestra se tomó antes del dosificador de cloro.

Rodríguez (2010), determinó la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de dos pozos y un manantial: Panteón, Zarco y Santa Isabel ubicados en la zona oriente del acuífero Cuautla–Yautepec. los resultados se encuentran dentro de los límites permisibles a excepción de un pozo que presentó pH por abajo del límite. Los resultados bacteriológicos del Panteón y el Manantial presentaron contaminación en todos los muestreos mientras que el pozo Zarco solo la presentó en algunos meses. La falta de drenaje y las actividades agrícolas representan la principal fuente de contaminación del agua subterránea en estos tres sitios.

Ramírez *et al.* (2009), determinaron la calidad microbiológica (coliformes totales, coliformes fecales y amibas de vida libre) encontraron que todos los pozos muestreados en el acuífero de Zacatepec presentaron contaminación por coliformes totales y en 9 de ellos se detectaron coliformes fecales. También en todos se detectaron amibas de vida libre.

Robles *et al.* (2010), determinaron la calidad bacteriológica y fisicoquímica en el agua de tres pozos estudiados en el acuífero de Cuautla-Yautepec; la compararon con los límites máximos permisibles NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental. Agua para consumo humano. El agua de los pozos se considera dentro de la clasificación de agua muy dura, el pH en los pozos 2 y 3 registraron valores ligeramente ácidos respecto a la misma norma y se detectó contaminación bacteriológica en el acuífero. Ellos concluyen que el agua de la zona del acuífero cumple con las regulaciones sanitarias para ser fuente de abastecimiento público y para consumo humano.

2.2 Antecedentes en otros países

Da Silva y Araújo (2003), evaluaron la calidad bacteriológica y fisicoquímica de las aguas subterráneas utilizadas para consumo humano en dos áreas urbanas de Santa María da Feira Brazil. Se tomaron 120 muestras de agua y se compararon con los valores máximos permitidos para el consumo humano de las leyes federales vigentes en Brasil. Encontrando coliformes totales en 90.8% de las muestras y coliformes fecales en el 65,8% con más de 500 unidades formadoras de colonias de los organismos heterótrofos / ml (UFC / ml) en 74,1% de las

muestras. En los parámetros físico-químicos analizados no tuvieron el pH recomendado en el 82,8% de las muestras, en la turbidez 23,4%, cloruro 12,5% y color 7,5% la concentración de nitratos por encima de los estándares recomendados en el 88,2% de las muestras y el amoníaco, en el 32,7% de las muestras.

Miirlean *et al.* (2005), realizaron un estudio hidrogeoquímico en Rio Grande, RS, en Brazil, en el cual encontraron que en el 70-85% del área estudiada, el fluoruro, nitrato y el fosfato en las aguas subterráneas superan los límites máximos para el consumo humano conforme a la legislación ambiental de Brasil. El espectro de contaminantes químicos y su distribución espacial muestran los procesos de producción de fertilizantes que son responsables de la contaminación de las aguas subterráneas y las condiciones naturales de la región no son favorables para una protección mínima contra la infiltración de contaminantes en el acuífero.

Villalba *et al.* (2006), realizaron programas y trabajos en torno a la problemática Agua – Salud en Bolivia, y establecieron que en más del 80% de las fuentes superficiales y en más del 40% de las fuentes subterráneas existe contaminación por coliformes termo resistentes de origen fecal. Evidencian la contaminación de origen fecal y por tanto la inacceptabilidad del agua para consumo por el riesgo directo a la salud.

En una cuenca rural en Chile, la escasa agua subterránea disponible representa casi la única fuente de agua. Esta agua tiene problemas de calidad microbiológica. Es por eso que el objetivo de Valenzuela *et al.* (2009) fue el estudio y mejora del estado del conocimiento acerca de la calidad microbiológica del agua subterránea en una cuenca rural. Las colimetrías en todas las muestras de agua no alcanzaron los estándares mínimos para el agua potable estipulada por la normatividad chilena (0 CFU 100 mL⁻¹). En algunos pozos, las cuentas de placas tampoco cumplían con el estándar chileno de 1000 CFU 100 mL⁻¹ para fines de irrigación. Los resultados sugieren que la fuente principal de contaminación fecal es de origen animal. Las concentraciones de indicadores bacterianos tienen una base temporal, lo que conlleva a diferentes niveles entre temporadas, con una mayor concentración en la temporada lluviosa. Todos los pozos contienen patógenos oportunistas.

Carracosa *et al.* (2006), realizaron una caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero de Amurga, al sur de la isla de Gran Canaria, España, para obtener su calidad con respecto a la normativa vigente y definieron los orígenes de la salinidad de las aguas subterráneas, encontraron que con respecto a la calidad de las aguas subterráneas de la zona de estudio, la mayoría no cumplen las normas establecidas por el RD-140/2003, presentan un elevado grado de mineralización. Ningún pozo podría producir agua de calidad adecuada sin un tratamiento previo debido al elevado grado de mineralización y a los altos niveles de nitratos detectados en algunos de ellos. Todas las aguas son bastante duras, alcalinas y esto puede deberse a la interacción de estas aguas con la roca, principalmente.

Moral *et al.* (2008), realizaron una investigación sobre la evolución geoquímica del agua subterránea en acuíferos de Sierra de Segura (Cordillera Bética en el Sur de España). Analizaron las características fisicoquímicas encontrando bajos niveles de mineralización, relacionando la baja conductividad eléctrica del agua con los sólidos disueltos. Debido a que el agua circula a través de las rocas carbonatadas, Ca y Mg constituyen más del 90% de los sólidos disueltos en el agua. Así mismo los valores de pH medidos *in situ*, casi siempre iban de 7 a 8.

Ali *et al.* (2010), evaluaron la seguridad química y microbiológica de las aguas subterráneas en la región de Adamawa en Camerún. Los resultados mostraron que la mayoría de los parámetros físico-químicos (pH, salinidad, calcio, magnesio, cloruro, sulfato y fosfato) fueron aceptables en relación con las normas existentes. Sin embargo, algunas muestras presentaron valores por encima de estas normas. La turbiedad y la materia en suspensión fueron superiores a las recomendadas para el agua potable en la mayoría de las muestras. Afortunadamente, no se detectaron metales pesados en el agua de las ocho localidades. Con respecto a la seguridad bacteriológica, sólo una muestra no estaba contaminada con microorganismos patógenos, por lo cual las aguas subterráneas en general es considerado como seguro y potable, pero debe ser tratada antes del consumo y uso.

2.3 Parámetros bacteriológicos

El agua puede ser vector de gérmenes peligrosos, por lo cual es necesario comprobar y ver su potabilidad. Para ello debe realizarse una serie de análisis bacteriológicos cuyo objetivo es determinar si el agua está contaminada con microorganismos.

El análisis para la evaluación de la calidad biológica del agua consiste, generalmente en la determinación de indicadores bacteriológicos y no de organismos patógenos como tales. El indicador ideal es el que se encuentra presente cuando existe bacterias patógenas de origen fecal y cuyo número está relacionado directamente con el grado de contaminación (Jiménez, 2001).

Los indicadores bacteriológicos de contaminación comúnmente utilizados son los Coliformes totales y los Coliformes fecales, cuya presencia es indicativa de contaminación de origen animal o humano y de la presencia de posibles bacterias patógenas.

El tracto intestinal del ser humano contiene innumerables bacterias en forma de bastoncillo, conocidas como organismos coliformes. Cada persona evacua de 100 000 a 400 000 millones de organismos coliformes por día, además de otras clases de bacterias. Dado que el número de organismos patógenos presentes en las aguas residuales y aguas contaminadas son pocos y difíciles de aislar, los organismos coliformes que son más numerosos y de determinación más sencilla, se utilizan como indicador (Metacalf y Eddy, 1985). El grupo coliforme pertenece a la familia, *Enterobacteriaceae* e incluye varios géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. Dentro del grupo coliforme se investiga la presencia de *E.coli* por ser el coliforme más estrechamente ligado a contaminación fecal. Una de las características diferenciales de esta bacteria respecto al resto de los coliformes totales es la capacidad de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas a 44 °C (Díaz, 2004).

2.4 Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos son las características normales del agua, tal como pH, conductividad, sólidos totales, alcalinidad, dureza, oxígeno disuelto, etc. Algunos de estos parámetros tienen importancia para la salud, pero, en general, el objeto de establecer lineamientos es evitar el abastecimiento de aguas contaminadas (Tebbutt, 1990).

pH

La intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra se mide en la escala de pH, que en realidad mide la concentración de iones de hidrógeno presentes (Tebbutt, 1990). Algunas aguas subterráneas poseen valores de pH superiores a 8 y algunas inferiores a 5, pero la mayor parte está entre 6 y 8. Su importancia sanitaria es que en los extremos son letales o severamente inhibitorios para los organismos vivientes y se puede considerar como un envenenamiento por los iones de hidrógeno o hidroxilo. La alteración del pH en un ecosistema puede causar la muerte de peces y acabar con una corriente acuosa natural (Robles *et al.* 2004).

Alcalinidad total

La alcalinidad de un agua, definida como la capacidad para reaccionar con iones hidrógeno a un pH correspondiente a la formación estequiométrica del ácido carbónico (ó CO_2 y agua), se determina generalmente por la presencia de bicarbonato HCO_3^- , carbonato CO_3^- e hidroxilo OH^- . (Novotny, 2003). En altas concentraciones produce alcalosis metabólica en animales y seres humanos; provoca formación de espuma, acarreo de sólidos en el vapor, formación de CO_2 en el vapor de las calderas, impartiendo a éste, carácter corrosivo. Convierte quebradizo al acero de las calderas utilizadas en la industria y los baños. Las aguas muy alcalinas o muy ácidas afectan la ecología del cuerpo receptor (Robles *et a.* 2004).

Cloruros

El cloruro en forma de ión es uno de los aniones inorgánicos más importantes en el agua y las aguas de desecho. En las montañas y tierras elevadas los abastecimientos de agua son bajos en cloruros; las aguas de los ríos y los mantos acuíferos tienen, por lo general, una concentración mayor. Las aguas de los mares y océanos tienen una concentración más elevada por contener los residuos resultantes de la evaporación parcial de las aguas naturales que fluyen hacia ellos (Robles *et al.* 2004). Es responsable por el sabor salobre en el agua, es un indicador de posible contaminación residual debido al cloruro de la orina. El sabor del Cl^- se hace presente con 250-500 mg/L, aunque una concentración hasta de 1500 mg/L es poco probable que sea dañina para consumidores en buena salud (Tebbutt, 1990).

Dureza

Es la característica del agua que evita que el jabón haga espuma y produce incrustaciones en los sistemas de agua caliente. Es debida principalmente a los iones metálicos Ca^{++} y Mg^{++} aunque también son responsables el Fe^{++} y Sr^{++} . No representa riesgos para la salud, pero las desventajas económicas del agua dura incluyen un consumo excesivo del jabón y costos más altos de combustible. La dureza se expresa en términos de CaCO_3 y se divide en dos formas:

Dureza carbonatada debida a metales asociados al HCO_3^- .

Dureza de no carbonato debida a metales asociados con SO_4 , Cl^- , NO_3 (Tebbutt, 1990).

El grado de dureza del agua potable se ha clasificado en términos de su concentración equivalente de CaCO_3 , de la manera siguiente (OMS, 1987):

Blanda	0-60 mg/L
Medianamente dura	60-120 mg/L
Dura	120-180 mg/L
Muy dura	180 mg/L y más

Turbiedad

La presencia de sólidos coloidales le da al líquido una apariencia nebulosa que es poco atractiva y puede ser dañina. La turbiedad en el agua pueden causarla partículas de arcilla y limo, descargas de agua residual, desechos industriales o a la presencia de muchos organismos (Tebbutt, 1990).

Sólidos

Éstos pueden estar presentes, es suspensión, en solución o ambos.

Los sólidos disueltos totales (SDT) se deben a materiales solubles (Tebbutt, 1990). El término incluye todos los sólidos que pasan a través de un filtro de fibra de vidrio de 2 μm (o más pequeño). Los sólidos disueltos están relacionados con el contenido de sales disueltas. La importancia sanitaria es que en concentraciones muy elevadas afectarían el sabor del agua para consumo humano. Aun en caso de que carezcan completamente de propiedades nutrientes o tóxicas reducirán la solubilidad del oxígeno y contribuirán a la contaminación (Robles *et al.* 2004).

Los sólidos en suspensión (SS) son partículas pequeñas que se pueden medir al filtrar una muestra en a través de un papel fino (Tebbutt, 1990). El término incluye todos los sólidos que se quedan cuando la muestra se filtra a través de un filtro de fibra de vidrio de 2 μm (o más pequeño). Las fuentes de contaminación se encuentran en las emisiones de las industrias de metales no ferrosos. Así como

en los sectores de construcción, minería, textil y piel, pasta y papel (Robles *et al.* 2004).

Conductividad eléctrica

La conductividad de una solución depende de la cantidad de sales disueltas presentes y para soluciones diluidas es aproximadamente proporcional al contenido de SDT (Tebbutt, 1990).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presentes en las muestras de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica anaerobia (Ramalho, 1993). Se requiere un periodo de 5 días para que la mayor parte de la materia carbonosa sea oxidada

Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido (Ramalho, 1993).

Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes)

Los detergentes son sustancias que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del líquido en el cual se encuentran disueltos, de modo que éste adquiera mayor poder de penetración a través de los poros de ciertos materiales y pueda extenderse más fácilmente en la superficie de los cuerpos en los que se aplica. La importancia sanitaria, es que estos productos si se ingieren por vía bucal, pueden causar vómito. Al utilizar aguas que contengan detergentes para irrigación se pueden contaminar los suelos y, por consiguiente, los cultivos.

Los detergentes presentan un alto contenido de fosfatos, los cuales son nutrientes, provocando una sobrepoblación de la flora acuática, la cual al morir sufre una acción degradativa microbiana, ocasionando una mayor demanda de oxígeno que perjudica a la fauna y al propio cuerpo de agua (proceso de eutrofización) (Robles *et al.* 2004).

Sulfatos

Los sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$), son ampliamente distribuidos en la naturaleza. Sus concentraciones varían mucho en las aguas naturales. El sulfato puede derivarse de la lixiviación de los depósitos de yeso, anhidrita y esquisto, o de la oxidación de los sulfuros. Las aguas de regiones áridas y semiáridas pueden contener cantidades relativamente grandes de sulfato. Está presente en el drenaje de las minas ácidas. También se encuentran presentes en las emisiones de la industria textil y peletera. Su importancia sanitaria es que en concentraciones altas actúan como laxante y su combinación con otros iones imparte al agua un sabor desagradable. Cuando el sulfato se combina con el calcio forma escamas que originan graves problemas de incrustaciones en los intercambiadores industriales de calor, las calderas y los equipos de enfriamiento, que son difíciles de eliminar (Robles *et al.* 2004).

Nitratos

El ión nitrato es la base conjugada del ácido nítrico, el cual es un ácido fuerte que se disocia en el agua produciendo iones nitrato. Es la forma oxidada más estable en el medio ambiente de los compuestos de nitrógeno. La mayor parte de los compuestos nitrogenados presentes en las aguas naturales tienden a convertirse en la forma de nitrato y, por consiguiente, todas las fuentes de nitrógeno combinado (particularmente el nitrógeno orgánico y amoniacal) deben considerarse como fuentes potenciales de nitratos. Su importancia sanitaria es que la toxicidad de los nitratos en los humanos se debe a la reducción de los nitratos en nitritos. La toxicidad del nitrito es demostrada por su efecto vasodilatador en el sistema cardiovascular (Robles *et al.* 2004).

Nitritos

El ión nitrito es la base conjugada del ácido nitroso que es un ácido débil que se descompone fácilmente. Como fuente de contaminación el ión nitrito como tal es muy reactivo y se caracteriza por ser tanto como oxidante y reductor, además es menos estable que el ión nitrato. Los nitritos están presentes en el agua como compuestos intermedios en los procesos de oxidación y reducción y forman parte del ciclo de nitrógeno. Su importancia sanitaria es que las reacciones químicas entre nitritos y algunos plaguicidas pueden permitir la formación de nitrosaminas, las cuales son carcinogénicas y mutagénicas. Los nitritos interfieren en la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre de niños ocasionando serias enfermedades (Robles *et al.* 2004).

Temperatura

El término se utiliza para conocer el grado relativo de calentamiento o enfriamiento de un cuerpo (Robles *et al.* 2004). Básicamente importante por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas, reducción en la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores, entre otros (Tebbutt,

1990). La temperatura de las aguas superficiales fluctúa con las estaciones del año, mientras que en las aguas subterráneas naturales varía sólo ligeramente de su promedio anual (Maskew *et al.* 1994).

Fierro total

También conocido como hierro. Es un catión muy importante desde el punto de vista de contaminación, aparece en dos formas: ión ferroso (Fe^{++}), o más oxidado como ión férrico (Fe^{+++}). La estabilidad y aparición en una forma u otra depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras, ó composición de la solución. Afecta a la potabilidad de las aguas y es un inconveniente en los procesos industriales por provocar incrustaciones. Por todo lo anterior las aguas subterráneas solo contienen el ión ferroso disuelto (Anaya y Martínez, 2007). En las aguas superficiales el contenido del fierro varía de 1.0 a 0.5 mg/L. En el agua subterránea se encuentra, en concentraciones bastante más elevadas que en la superficial. A la fecha no se conocen efectos perjudiciales a la salud humana por beber agua contaminada con fierro, pero para algunos individuos con trastornos metabólicos congénitos, tales como hemocromatosis, para quienes el fierro se comporta como un agente tóxico-crónico general (Robles *et al.* 2004).

Manganeso

En las aguas superficiales el contenido de manganeso varía de 1.0 a 0.5 mg/L y en el agua subterránea se encuentra, a menudo, en concentraciones bastante más elevadas que en la superficial. A la fecha no se conocen efectos perjudiciales a la salud humana por beber agua contaminada con manganeso. Pero en muchos procesos industriales es nocivo debido a que tiñe en forma indeseable los productos manufacturados. El problema de Mn en represas se ha correlacionado con embalses que se estratifican (Robles *et al.*, 2004). El ión manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ión hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el MnO_2 que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm y requiere un pH ácido. La forma manganeso (Mn^{++}), que es más general por

aireación se oxida y precipita con un color oscuro de MnO_2 . (Anaya y Martínez, 2007).

Potasio

El ión potasio K^+ , corresponde a sales de muy alta solubilidad y difíciles de precipitar. Por lo regular se encuentra en toda el agua dulce, pero en concentraciones bajas que rara vez sobrepasan el nivel de 10 mg/L. Se elimina por intercambio iónico y ósmosis inversa. Su importancia sanitaria es que el potasio en forma de permanganato de potasio ($KMnO_4$) ha sido aplicado a los suministros de agua para remover sabor, olor, color, fierro, manganeso, y sulfuros, y para el control de trihalometanos (Anaya y Martínez, 2007 y Robles *et al.* 2004).

2.5 Calidad del agua de un acuífero

Los principales iones y parámetros que frecuentemente dan idea de la calidad del agua son: calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), sodio (Na^+) potasio (K^+) bicarbonatos (HCO_3^-), sulfatos ($SO_4^{=}$), cloruros (Cl^-), nitratos (NO_3^-) y como parámetros de campo, la conductividad eléctrica, la temperatura, el contenido de oxígeno disuelto, el pH y la densidad de bacterias coliformes totales y coliformes fecales (Cuevas *et al.*, 2002).

En un acuífero las propiedades del medio varían de un punto a otro, lo que hace variable el potencial del acuífero para protegerse, razón por la que algunas áreas son más vulnerables que otras. Por consiguiente, la vulnerabilidad se define como el riesgo de que las aguas subterráneas se contaminen con alguna sustancia en concentraciones por encima de los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la calidad del agua de consumo humano. Se distinguen dos tipos de vulnerabilidad del agua subterránea:

Vulnerabilidad intrínseca, que es un término usado para definir la vulnerabilidad del agua subterránea frente a los contaminantes generados por actividades humanas. Toma en cuenta las características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de un área, pero es independiente de la naturaleza de los contaminantes.

Vulnerabilidad específica, el cual es el término utilizado para definir la vulnerabilidad del agua subterránea frente a un contaminante particular o a un grupo de contaminantes. Toma en cuenta las propiedades de los contaminantes y su relación con los diversos componentes de la vulnerabilidad intrínseca (Pérez y Pacheco, 2004).

2.6 Norma Oficial Mexicana

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización a efecto de hacerla apta para uso y consumo humano.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, establece los límites máximos permisibles de calidad que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos (SSA, 2004).

3. JUSTIFICACIÓN

A gran escala se debe hacer una estrategia de protección del medio ambiente, ya que uno de los principales recursos para la vida es el agua. Con frecuencia en este recurso no se ha logrado adoptar acciones significativas que puedan asegurar la calidad natural del agua, ni se han tomado precauciones sobre peligros potenciales de contaminación y de salud humana. En todas las regiones de la tierra los acuíferos son utilizados para consumo humano y están teniendo una creciente amenaza de contaminación por la urbanización, desarrollo industrial, actividades agrícolas y emprendimientos mineros. Por tal motivo para el aprovechamiento de este recurso es necesario hacer pruebas fisicoquímicas y bacteriológicas, para saber la calidad de agua y así emplearlo en el sector público (Internet ^{2,3}).

4. OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua en seis pozos ubicados en el municipio de Ecatepec, Edo. de México.

Objetivos particulares

Determinar los parámetros bacteriológicos: Coliformes totales y Coliformes fecales.

Determinar los parámetros fisicoquímicos: alcalinidad total y a la fenolftaleína, dureza total, de calcio y de magnesio, sulfatos, cloruros, turbiedad, sólidos disueltos, conductividad, nitratos, nitritos, demanda bioquímica de oxígeno, detergentes, pH, temperatura, potasio, manganeso y fierro total.

Determinar la variación temporal de los parámetros analizados.

Determinar la variación espacial entre los pozos.

Comparar los resultados con la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Cuenca del Valle de México está situada en el borde sur de la Mesa Central, de 19° 26' de latitud norte y 99° 08' de longitud al o este de Greenwich. Tienen jurisdicción en la Cuenca, el Distrito Federal y los Estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla. La superficie del Valle de México es de 9,600 km². El acuífero de Cuautitlán-Pachuca se localiza al norte de la Ciudad de México, en el límite sureste del Estado de Hidalgo, comprendiendo alrededor de un 10% de su superficie total al Estado de México. El acuífero cubre una superficie 2850 km² tal como lo muestra la Figura 1.

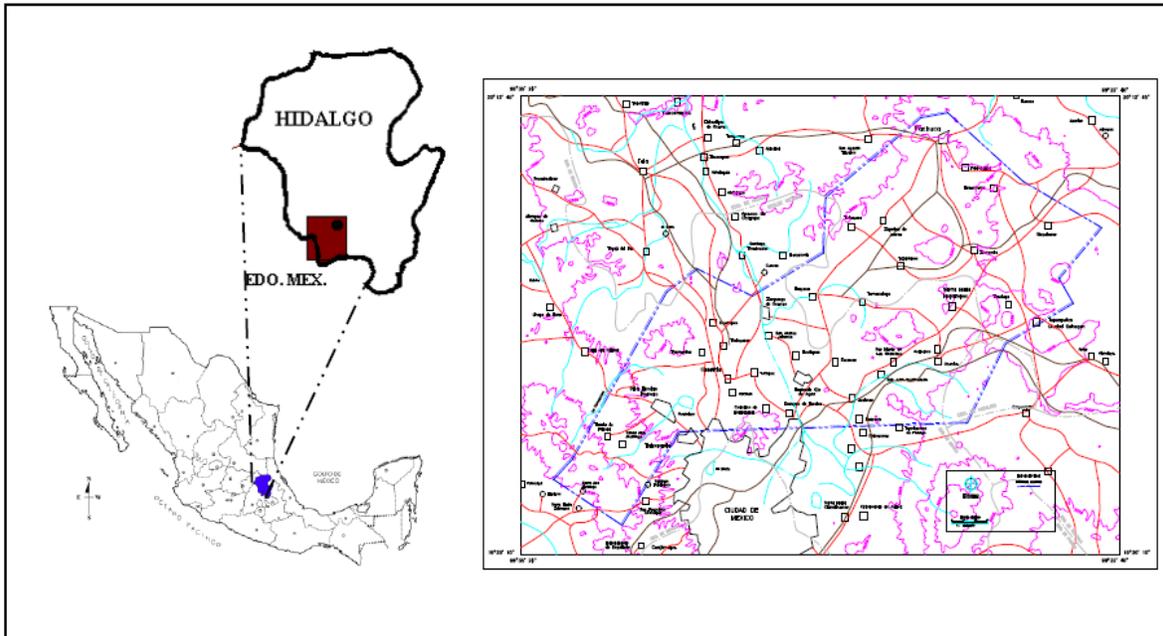


Fig. 1 Localización del Acuífero de Cuautitlán-Pachuca, Edos. Méx. e Hgo.

El Municipio de Ecatepec de Morelos se localiza en la porción nororiente del Estado de México y colinda con los Municipios de Acolman, Atenco, Coacalco, Jaltenco, Nezahualcóyotl, Tecámac, Tlalhepantla y Texcoco del Estado de México y con la Delegación Gustavo A. Madero del Distrito Federal (Internet ⁴).

El Municipio de Ecatepec de Morelos, se ubica en la región más poblada del Estado de México, denominada Valle Cuautitlán–Texcoco, formando parte del

Subsistema Ecatepec-Tecámac. En el Municipio de Ecatepec la actividad económica del sector primario se ha perdido gradualmente en la medida que el proceso de urbanización del Municipio ha ocupado las tierras de cultivo y ganado, este proceso de urbanización ha sido catalizado por la poca productividad de las tierras, la falta de apoyos para el agricultor y la inmigración de la población. En el sector secundario la actividad industrial del Municipio ha sido muy importante. El sector terciario, creció ampliamente en los últimos años, debido a diferentes factores como el crecimiento poblacional, la reducción de la actividad industrial, falta de empleos formales etc. Formado por el comercio y prestación de servicios se ubican dentro de la economía informal (Internet ⁴).

5.1 Clima

Dentro del municipio de Ecatepec de Morelos existen dos tipos de clima: en la parte poniente predomina el clima templado con lluvias y frío en invierno, cuenta con una temperatura promedio de 7°C en el período de invierno, y una máxima de 30°C alcanzada en verano. En la parte oriente del municipio se presenta un clima semiseco con lluvias en verano con una temperatura media anual de 14.9°C. En cuanto a la precipitación promedio, ésta se establece entre 584 mm. y 600 mm anuales. La precipitación máxima promedio de acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional es de 200.7 mm en el mes de agosto, la máxima en 24 horas es de 52.6 mm en el mes de julio y la precipitación mínima promedio es de 0.4 mm durante el mes de marzo (Internet ⁴).

5.2 Hidrología

El recurso hidrológico superficial de Ecatepec proviene del Río de los Remedios, ubicado al sur del Municipio y que funciona como límite municipal con Nezahualcóyotl e interestatal con el Distrito Federal, y del Gran Canal del Desagüe, que cruza todo el Municipio de sur a noroeste. Al este se localiza el depósito de evaporación solar “El Caracol”, que concentraba y evaporaba las aguas del ex Lago de Texcoco; en este sitio se extraía carbonato de sodio, sosa cáustica y sal común, que posteriormente eran procesados. Actualmente “El Caracol” se encuentra en desuso (Internet ⁴).

5.3 Geología

Los subsuelos están caracterizados principalmente por rocas andesitas en las partes altas de la Sierra de Guadalupe, este tipo de roca se caracteriza por tener una posibilidad de uso urbano de moderada a alta, tiene una resistencia a la compresión de 10, 000 a 35, 000 toneladas por metro cuadrado. Estos suelos tienen una velocidad de transmisión sísmica 600 a 1900 metros por segundo, se caracterizan por ser suelos semiduros. En las partes bajas de la ladera de la Sierra de Guadalupe se encuentran rocas de tipo arenisca, en algunos casos mezclados con tobas, cuya posibilidad de uso urbano es alta, se consideran suelos semiblandos con clasificación de riesgo sísmico alto. En las partes bajas del municipio existen suelos de tipo aluvial y lacustre, estos suelos tienen una posibilidad de uso urbano baja. Se consideran suelos blandos con una clasificación de riesgo máximo (Internet ⁴).

5.4 Edafología

En el Municipio de Ecatepec existen principalmente tres tipos de suelo:

En la Sierra de Guadalupe el suelo es feozem háplico, conformado por una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes; presenta textura media con abundancia de limo sin problemas de drenaje y de aireación, el lecho rocoso aparece entre 10 y 50 cm. de profundidad y solo se pueden desarrollar actividades agrícolas de bajos rendimientos, por sus características este suelo resulta apto para la construcción.

En la planicie del resto del municipio el tipo de suelo predominante es el zolonchak, en sus variantes mólico y gleyico. El zolonchak es un suelo con horizonte sálico (presenta abundante acumulación de sales al menos en una de sus capas), no son aptos para actividades agrícolas, ya que provoca problemas de absorción de agua por las plantas e intoxicación de las mismas, por tanto, requieren de lavados intensos si van a usarse para tal fin; algunas variantes de este suelo pueden ser propicias para albergar pastizales con especies resistentes y son poco erosionables (Internet ⁴).

Los zolonchaks mólicos son suelos que muestran una capa superficial blanda, con aceptables contenidos de materia orgánica y nutriente; generalmente son susceptibles de ser cubiertos por pastos, en tanto que los gleyicos son suelos que presentan una capa saturada de agua estacional o permanente con presencia de manchas rojas, amarillas o verdosas y no permiten el crecimiento de vegetación.

Las características de los zolonchaks gleyicos, provocan inundaciones en época de lluvia por la poca permeabilidad, el alto manto freático y la necesidad de dar salida al agua; en general el suelo de tipo zolonchak, sin importar su horizonte, son suelos que tienen la propiedad química de disolver y deteriorar materiales como el fierro y el concreto provocando agrietamientos, fracturas, debilidad y daños a las construcciones, por lo que en la construcción se debe contemplar los asentamientos diferenciales, y algún tipo de protección sobre todo para las cimentaciones.

De igual forma las redes de servicio subterráneo podrían corroerse y tendría que dárseles un mantenimiento frecuente y costoso, por lo que el concreto y el acero necesitan tratamiento y protección especial en este tipo de suelos (Internet ⁴).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 6 muestreos del agua en 6 pozos de Ecatepec de Morelos en el Acuífero Cuautitlán-Pachuca. Los muestreos se efectuaron en los meses de febrero, marzo, mayo, junio, agosto y septiembre del 2011 (figuras 2 al 7). Todos los pozos pertenecen a un área urbana.



Fig. 2 Pozo 1 Ramal los Reyes Ecatepec

Coordenadas:

Grados	Min	Seg
N 19	37	56.7
WO 99	03	11.5

Altitud: 2247 m



Fig. 3 Pozo 2 Ramal los Reyes Ecatepec

Coordenadas:

Grados	Min	Seg
N 19	38	24.9
WO 99	03	28.7

Altitud: 2252 m



Fig. 4 Pozo 3 Ramal los Reyes Ecatepec

Coordenadas:

Grados	Min	Seg
N 19	39	13.4
WO 99	03	58.7

Altitud: 2251 m



Fig. 5 Pozo 4 Ramal los Reyes Ecatepec

Coordenadas:

Grados	Min	Seg
N 19	39	28.3
WO 99	04	08.0

Altitud: 2254 m



Fig.6 Pozo 5 Ramal los Reyes Ecatepec



Fig.7 Pozo 6 Ramal los Reyes Ecatepec

Coordenadas:

Grados	Min	Seg
N 19	40	38.6
WO 99	04	51.8

Altitud: 2260 m

Coordenadas:

Grados	Min	Seg
N 19	40	59
WO 99	05	04.3

Altitud: 2252 m

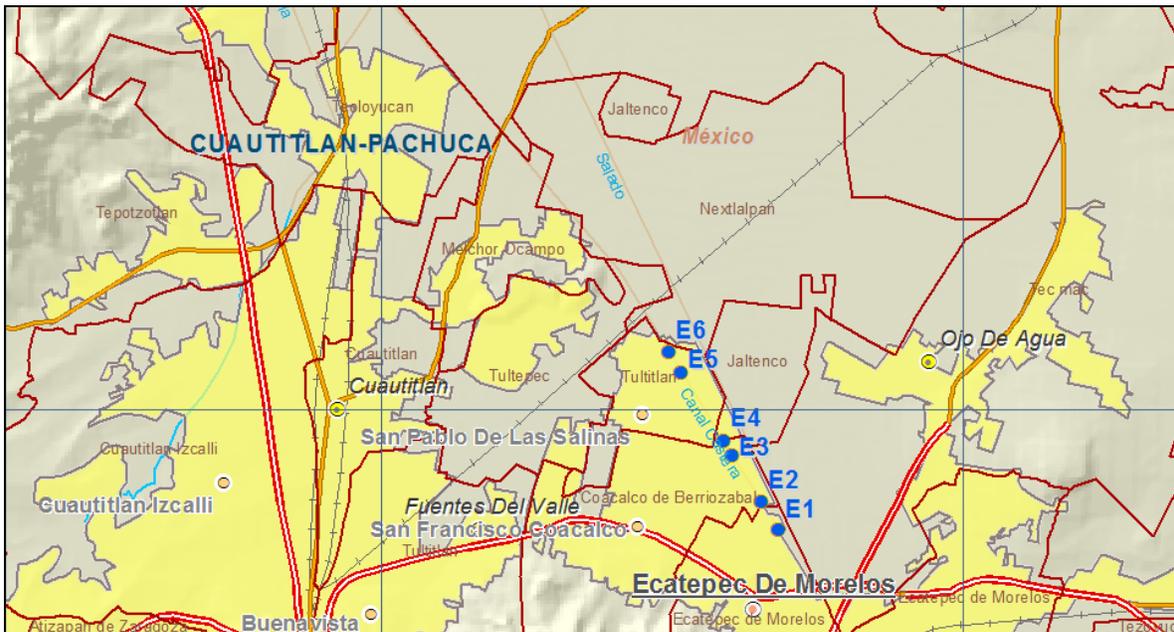


Fig.8 Localización de los Pozos de Ecatepec.

Las muestras se tomaron antes del dosificador de cloro, *In situ* se determinaron en cada pozo el pH con un potenciómetro HANNA Instruments HI 8314 y la temperatura con un termómetro de mercurio. Para las determinaciones bacteriológicas se tomó agua en una botella de 0.50 litros estéril, para las determinaciones fisicoquímicas se tomó agua en 1 botella de 0.25 litros la cual se acidificó con 1ml/L y dos botellas de 2 litros para las demás pruebas fisicoquímicas, las muestras se transportaron en hielo.

En el laboratorio se determinaron los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos de acuerdo a las técnicas indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Técnica analítica para cada parámetro

PARÁMETRO	TÉCNICA*
pH	Potenciométrica
Temperatura	Instrumento
DBO ₅	Dilución
Conductividad	Conductímetro
Sólidos disueltos	Gravimétrico
Alcalinidad Total y Fenolftaleína	Titulación por indicador
Nitratos	Brucina
Nitritos	Diazotización
Cloruros	Argentométrico
Sulfatos	Turbidimétrico
Dureza Total, de calcio y de magnesio	Titulación por EDTA
SAAM (detergentes)	Azul de metileno
Turbiedad	Turbidímetro
Fe total	kit de Hach
Manganeso	kit de Hach
Potasio	kit de Hach
Coliformes Totales	Filtro de membrana
Coliformes Fecales	Filtro de membrana

*Referencia: Robles *et al.*, 2007

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Análisis descriptivo

Con los resultados obtenidos de cada parámetro analizado se calcularon la media, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo para cada pozo (Tabla 6, ver anexo).

7.1.1 pH

En general los 6 pozos se muestran con pH neutros, a excepción del pozo 2 (pH = 8) (Tabla 6 y Fig. 9). Respecto a la variación temporal el pH mostró una tendencia a mantener sus valores con poca variabilidad (Fig. 9). El promedio de pH más alto lo tuvo el pozo 2 (8.0) y el más bajo el pozo 5 (7.0)

La evaluación del pH se emplea para caracterizar el agua y dar seguimiento a un proceso (neutralización, biológico anaerobio, corrosión). El pH de los cuerpos de agua y el agua residual doméstica, en general, es ligeramente alcalino por la presencia de bicarbonatos, carbonatos y metales alcalinos (Jiménez, 2001).

Los valores de pH encontrados se deben a la presencia de bicarbonatos HCO_3 ya que la prueba de alcalinidad a la fenolftaleína fue negativa. El valor de pH más alcalino que presentó el pozo 2 pudo deberse a que en ese lugar se alcanza a ver partes con pavimentado y partes en la que no hay, lo cual pudo filtrar algunas sustancias que cambiaran su pH; a su alrededor se encontró productos de limpieza particular y materiales de construcción en el cual uno de los materiales usado es la cal apagada que es hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ lo cual pudo aumentar el pH. Todos los pozos se mantuvieron dentro de los límites permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 para agua potable.

Los valores de pH encontrados en este estudio coinciden con los reportados por Carracosa, *et al.* (2006), Borbolla *et al.* (2003) y Cuevas *et al.* (2002), oscilando entre 7,4 y 8 para el agua subterránea.

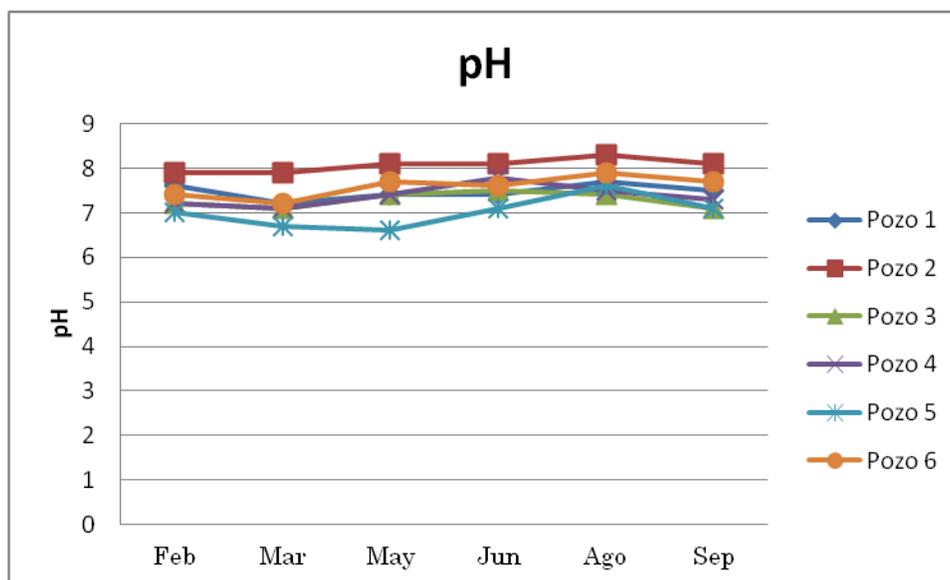


Fig. 9 Variación espacial y temporal de pH

7.1.2 Temperatura

La media de los valores de temperatura de los puntos muestreados oscila entre los 22 °C (el pozo 2) y los 29 °C (el pozo 5), (Tabla 6), estos valores son más altos que los ambientales y no corresponde a sus características de clima Templado- Subhúmedo con lluvias en verano, que tiene una temperatura media anual de 15.6 °C; el mes más caliente es en junio con 18.1°C, en comparación la temperatura máxima para el Estado de México, que son en los meses de abril y mayo, con una temperatura de 25.5°C; la temperatura más fría se registra en el mes de diciembre con 12.5°C (Internet ⁵).

En la Fig.10 se puede observar que el valor más alto lo presentó el pozo 5 mientras que los demás pozos son muy similares. El aumento de temperatura en el pozo 5 podría deberse a que el pozo sea somero y por lo mismo el agua subterránea puede estar afectada con el cambio climático en México. En general, los bosques templados fríos y semicálidos son los tipos de vegetación más sensibles al cambio climático y tenderían a desaparecer al incrementarse la temperatura. Los bosques tropicales secos, muy secos y espinosos, con

afinidades cálidas, tenderían a ocupar mayores superficies que en la actualidad (Villers *et al.*, 2000).

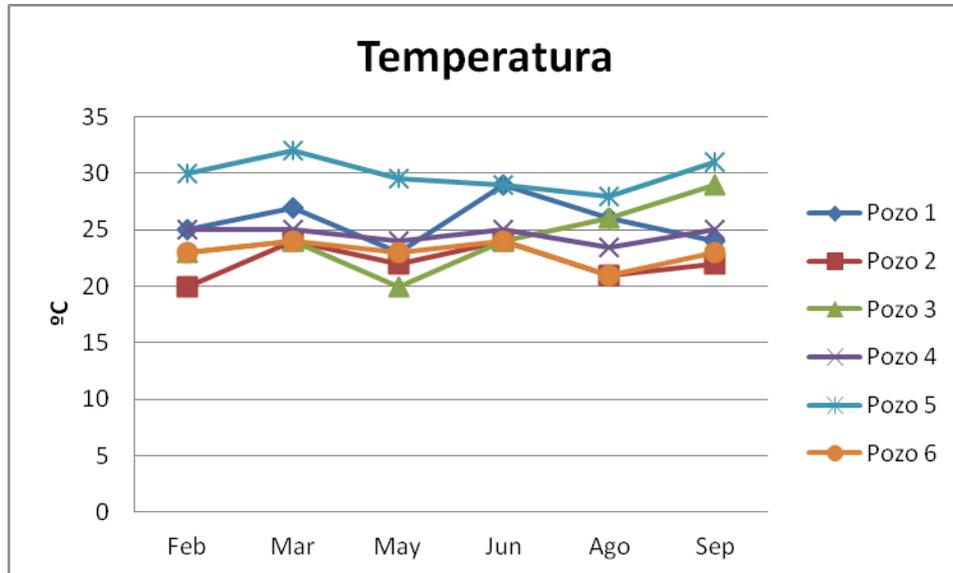


Fig. 10 Variación espacial y temporal de la temperatura

7.1.3 Alcalinidad total y a la fenolftaleina

El valor medio mas bajo lo obtuvo el pozo 6 con 338 mg/L como CaCO_3 , y el más alto el pozo 5 con 604 mg/L como CaCO_3 (Tabla 6). En la Fig.11 se puede observar que del mes de febrero al mes de marzo se mantiene relativamente constante en la mayoría del los pozos, habiendo una disminución en todas para el mes de mayo y en general del mes junio a agosto la alcalinidad total aumenta.

Debido que no se registró alcalinidad a la fenolftaleina y que esta tiene relación con el pH que es menor de 8.1 la concentración de los aniones es debido solamente por bicarbonatos (HCO_3^-) (Robles *et al.* 2004). El ión bicarbonato, HCO_3^- puede actuar como ácido o base por lo que es una especie importante en la química ácido-base del agua ya que como ácidos actúan en el agua liberando iones H^+ , y como bases aceptando iones H^+ ; la propia molécula de agua también hace ambas cosas (Manahan, 2007). Es por eso que se puede observar en la gráfica del pH que la mayoría de los valores es un neutro aunque en el pozo 5 se mostraron en 2

ocasiones un pH ligeramente ácido y en el pozo 2 se mostraron pH ligeramente básico.

Los incrementos de la alcalinidad total en los meses de junio, agosto y septiembre, podría deberse a que en esa época hubo huracanes que se crearon en los océanos Atlántico y Pacífico los cuales entraron a México y se extendieron en forma de lluvias que causaron inundaciones en los Municipios de Ecatepec y Cuautitlán, arrastrando contaminantes y sales al subsuelo llegando de esta forma al agua subterránea. Estos resultados también se pueden comparar con los obtenidos en Mérida por Cuevas *et al.* (2002), donde el ion bicarbonato mostró un comportamiento similar en los pozos someros y en los profundos, ya que para ambos, las mayores concentraciones fueron obtenidas durante el período de lluvia, debido a que durante este período ocurre la mayor disolución de la roca caliza. Las mayores concentraciones de bicarbonatos fueron obtenidas en los pozos profundos, debido a que en estos el agua tiene un mayor período de contacto con la roca.

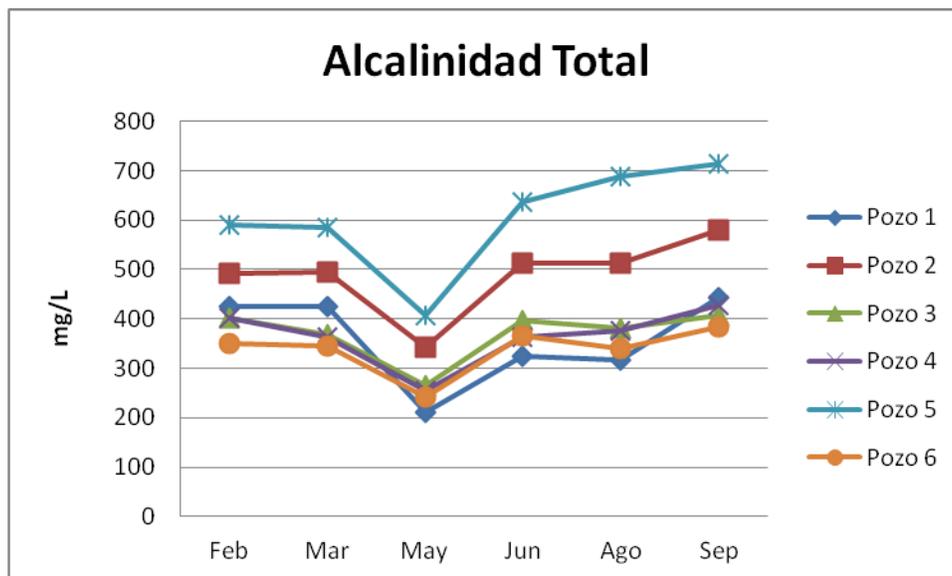


Fig. 11 Variación espacial y temporal de alcalinidad total

7.1.4 Dureza total , dureza de calcio y dureza de magnesio

La dureza total, de calcio y de magnesio más altas las presentó el pozo 5 con una media de 863, 229 y 634 mg/L como CaCO_3 respectivamente y las más bajas las tuvo el pozo 2 con 231, 49.7 y 182 mg/L como CaCO_3 respectivamente (Tabla 6 y Fig. 12, 13 y 14).

Los valores altos que presentó el pozo 5 en los tres tipos de dureza podría deberse a lo que Moral *et al.* (2008), en su estudio: muestran que el agua con una temperatura más alta tiende a presentar un contenido de Mg más alto. De acuerdo a esto se puede observar en la Fig. 10, los valores mas altos de temperatura así como la dureza de manganeso se presentaron en el pozo 5, además que presento el pH ligeramente ácido en 2 ocasiones, lo cual permite una mejor disolución de los iones calcio. El contenido de CO_2 en el agua es mayor en los cuerpos de agua superficiales y menor en las aguas subterráneas, ya que el CO_2 se obtiene principalmente de la atmosfera y de la respiración de los organismos. El CO_2 en el agua disuelve del suelo el magnesio y calcio de un mineral común la dolomita ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), para producir la dureza y alcalinidad subterráneas (Robles *et al.* 2004). Los niveles altos de Ca en el pozo 5 también podría deberse como se menciono anterior mente en el capítulo 7.1.1 de pH, a la cal apagada.

La dureza total estuvo dentro de los límites permisibles NOM-127-SSA1-1994, excepto en el pozo 5 que que estuvo por arriba del límite máximo permisible.

Debido a que el agua de los 6 pozos presentó concentraciones medias de dureza total por arriba de 180 mg/L como CaCO_3 (Tabla 6), se puede clasificar como agua muy dura. Este tipo de dureza también se ha presentado en otras zonas del país como el estudio de Robles *et al.* (2010), donde los 3 pozos de la zona centro el acuífero Cuautla-Yautepec, Morelos, México de clasificaron como agua muy dura.

La dureza total puede ser de dos tipos: temporal (carbonatada) y no temporal (no carbonatada). La primera se debe a la presencia de carbonatos y/o bicarbonatos; la segunda se debe a la presencia de otros tipos de aniones tales como SO_4 , Cl^- , NO_3 entre otros (Tebbutt, 1990 y Robles *et al.*, 2004).

Cuando la alcalinidad total es menor que la dureza total, entonces la dureza carbonatada (mg/L) es igual a la alcalinidad (mg/L) y la dureza no carbonatada es igual a la dureza total menos la dureza carbonatada. Cuando la alcalinidad es mayor que la dureza total, entonces la dureza carbonatada (mg/L) es igual a la dureza total (mg/L) (Robles *et al.*, 2004).

En base a lo anterior los pozos 1, 2 y 6 presentan dureza de tipo carbonatada, es decir, que su alcalinidad es debida principalmente a los bicarbonatos. Los pozos 3, 4 y 5 presentan tanto dureza carbonatada como no carbonatada, predominando más la carbonatada (Tabla 2).

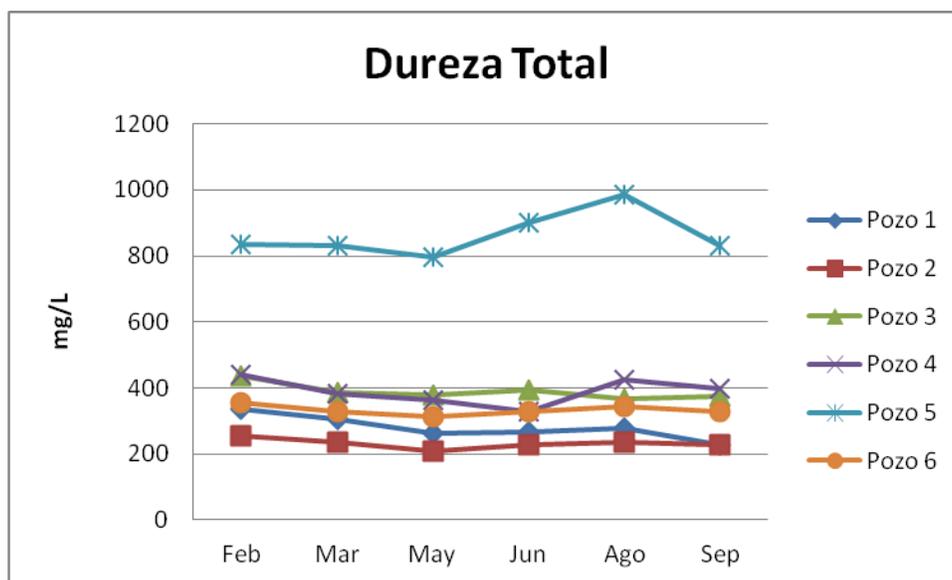


Fig. 12 Variación espacial y temporal de la dureza total

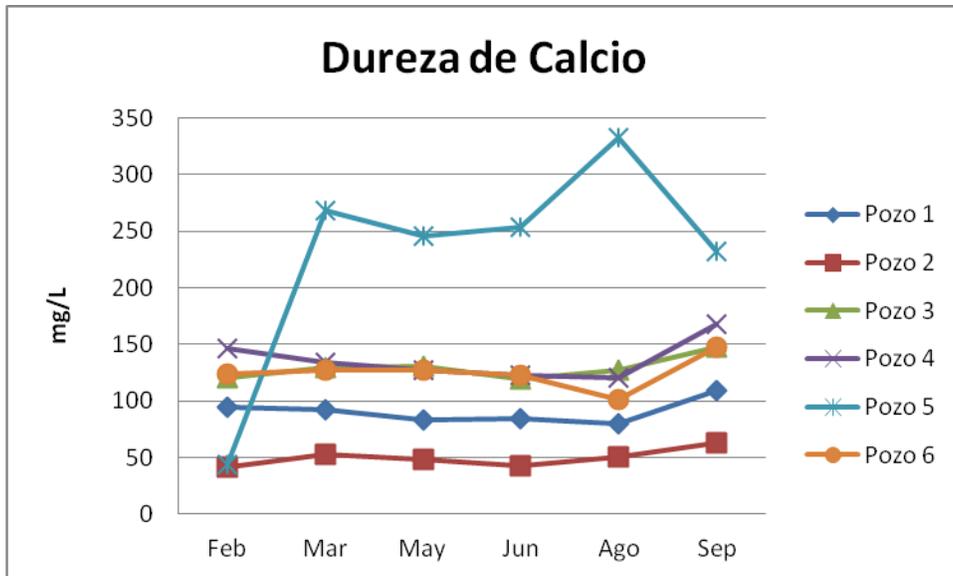


Fig. 13 Variación espacial y temporal de dureza de calcio

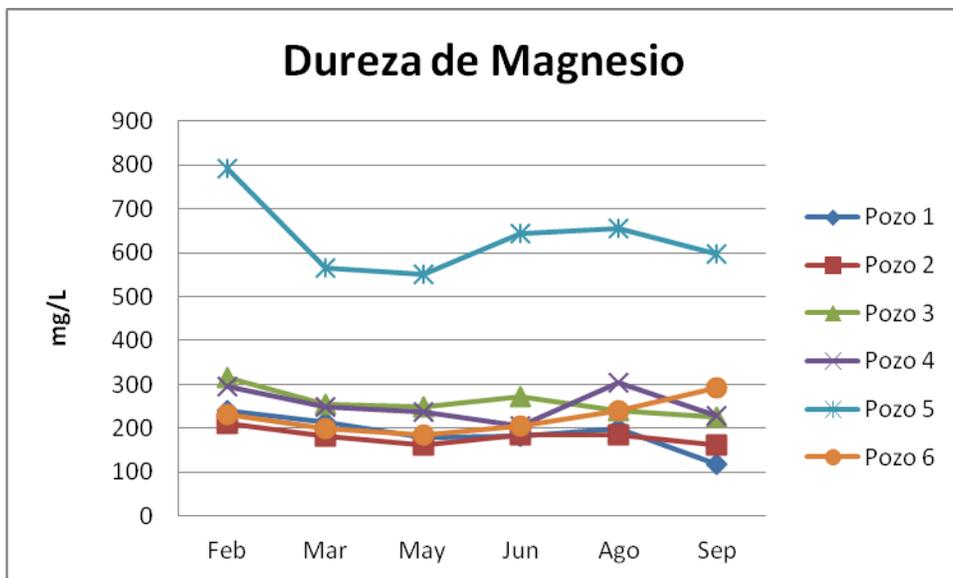


Fig. 14 Variación espacial y temporal de dureza de magnesio

Tabla 2. Clasificación de la Dureza en los 6 pozos

Tipo de Dureza (mg/L de CaCO ₃)	Alcalinidad Total Media	Dureza Total Media	Clasificación de agua	Dureza Carbonatada	Dureza no Carbonatada
Pozo 1	358	279.5	Muy Dura	279.5	0
Pozo 2	489.2	231.3	Muy Dura	231.3	0
Pozo 3	370.5	389.2	Muy Dura	370.5	18.7
Pozo 4	364.3	389.8	Muy Dura	364.3	25.5
Pozo 5	603.8	863.3	Muy Dura	603.8	259.5
Pozo 6	338	332.5	Muy Dura	332.5	0

7.1.5 Sulfatos

Los valores más altos de las medias se registraron en el pozo 2 con 246 mg/L seguidos del pozo 3 con 231 mg/L. La media más baja la obtuvo el pozo 5 con 38.2 mg/L.

Los valores muy bajos presentados en el pozo 3, en los últimos dos muestreos (Fig.15) fueron debidos a que en ambos muestreos la bomba se descompuso y las muestras se tomaron del pozo mas cercano. Sin embargo aunque el pozo nuevo estaba cercano al pozo en estudio, los valores encontrados muestran que éste último presenta propiedades químicas diferentes respecto al primero.

La concentración de sulfatos en todos los pozos se encontraron por debajo de 400 mg/L que es el límite máximo permisible de la norma NOM-127-SSA1-1994 para ese parámetro.

Los sulfatos (SO₄²⁻) después de los bicarbonatos, son los principales aniones presentes en el agua; los cuales pueden presentarse de manera natural o como consecuencia de descargas de aguas industriales y por la utilización de

fertilizantes agrícolas. Cuando los sulfatos se presentan de manera natural es posible que su origen se deba a algún depósito natural de minerales o por depositación atmosférica (Graniel *et al.*, 2009).

La presencia de valores bajos de sulfatos podría deberse a lo que reporta Cuevas *et al.* (2002), ya que al no haber una aporte significativo de sulfatos en la zona, la dilución tiene lugar durante el periodo de lluvia. Esto concuerda por que se observa que en el mes que corresponde a Febrero no es época de lluvias y es el valor más alto para ese pozo, pero para los siguientes meses, es época de lluvias los valores bajan. Aunque el efecto de dilución por el agua de lluvia variará en cada pozo dependiendo de la zona en que se encuentre y su mayor o menor captación de la lluvia a través del suelo (Fig. 15).

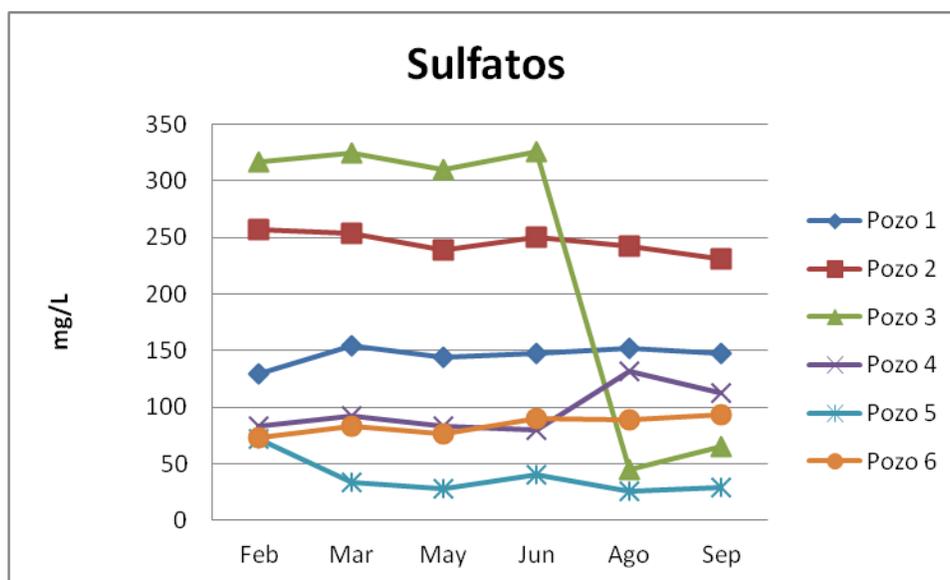


Fig. 15 Variación espacial y temporal de los sulfatos

7.1.6 Cloruros

El valor medio más alto de cloruros lo presentó el pozo 5 con 455 mg/L y el más bajo fue el pozo 1 con 89 mg/L (Tabla 6 y Fig. 16).

A excepción del pozo 5 los demás pozos estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles de la norma NOM-127-SSA1-1994, (250 mg/L).

Tebbutt, (1990), nos dice que el sabor del Cl^- se hace presente con 250-500 mg/L, aunque una concentración hasta de 1500 mg/L es poco probable que sea dañina para consumidores en buena salud.

Debido a que el agua subterránea se mueve lentamente, pueden pasar varios años antes de que un contaminante, liberado en la superficie de la tierra, sea detectado en el agua del acuífero a cierta distancia del sitio de contaminación. Desafortunadamente, esto significa que la contaminación ocurre antes de que sea detectada. Aun si se ha detenido la liberación del contaminante, pueden pasar varios años antes de que el acuífero se purifique en forma natural (Hornsby, 2000).

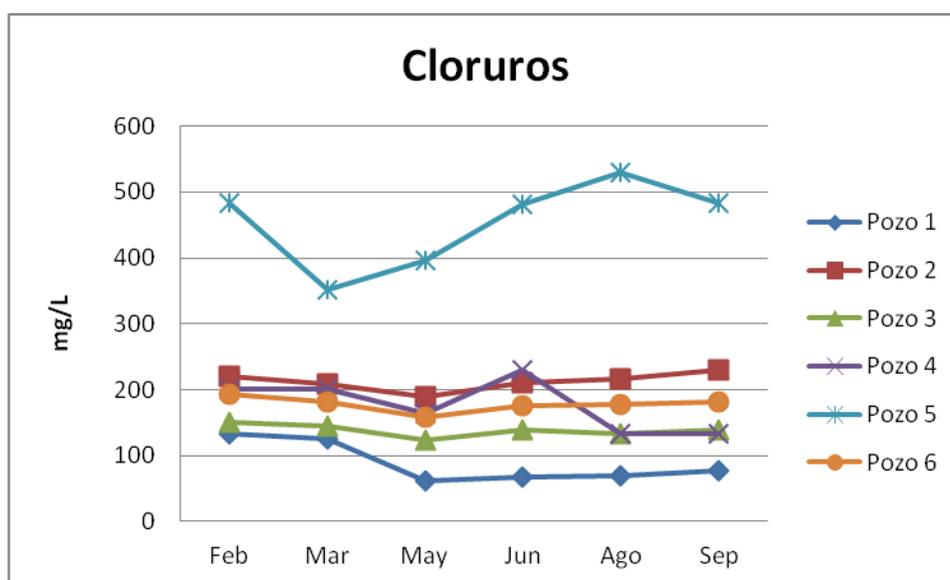


Fig. 16 Variación espacial y temporal de cloruros

7.1.7 Nitratos

Las concentraciones de los nitratos de todos los pozos cumplieron con los límites máximos permisibles de la Norma Oficial Mexicana.

El valor mas alto lo tuvo el pozo 1 con una media de 1.5 mg/L y el mas bajo lo presentaron los pozos 2 y 3 con medias de 0.043 y 0.04 respectivamente.

Las fuentes de nitrato en agua subterránea se pueden dividir en: naturales, residuos orgánicos, agricultura e irrigación Muñoz *et al*, (2004). Los nitratos se encuentran en cantidades muy pequeñas (trazas) en las aguas superficiales, pero pueden alcanzar niveles altos en algunas aguas subterráneas (superiores a 20 µg/L o más). (Robles *et al*. 2004), lo cual coincide en este estudio ya que los valores detectados oscilaron de 0.040 a 1.5 mg/L.

A diferencia de nuestros resultados Pérez y Pacheco, (2004), nos muestran como en otros lugares como Yucatán donde realizaron su estudio, los nitratos superaron el límite permisible alcanzando valores hasta de 45 mg/L y que esto pudo deberse al aumento de fertilizantes nitrogenados comerciales empleados en la agricultura y al retorno de desechos derivados de la explotación pecuaria u otras fuentes al suelo.

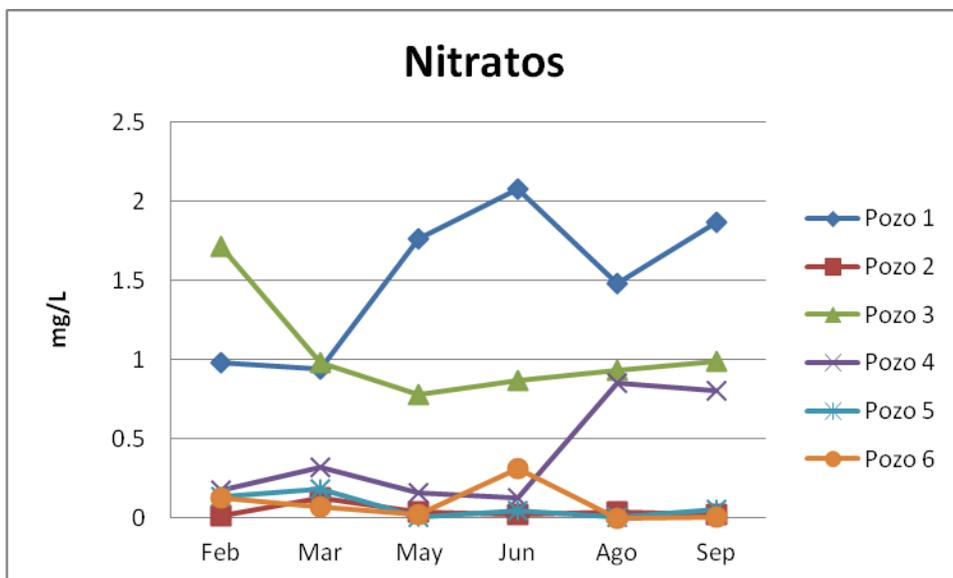


Fig. 17 Variación espacial y temporal de nitratos

7.1.8 Conductividad

El valor medio más alto de conductividad lo tuvo el pozo 5 con 2318 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el más bajo el pozo 1 con 1002 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad. Es indicativo de la materia ionizable total presente en el agua. Las sales disueltas son las que permiten al agua conducir electricidad. (Anaya y Martínez, 2007 y Jiménez, 2001). Por lo tanto podemos decir que el pozo 5 fue el que tuvo las concentraciones más altas de sales disueltas.

Carrascosa, (2006) en su estudio realizado en la zona sur de la isla Gran Canaria en España también encontró altas concentraciones de sales disueltas oscilando los valores entre 1000 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

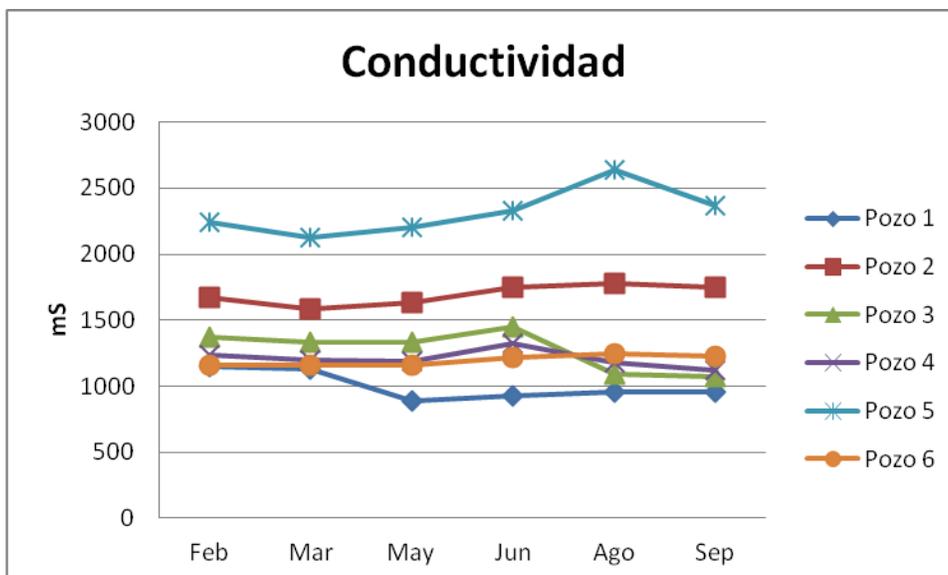


Fig. 18 Variación espacial y temporal de la conductividad

7.1.9 Sólidos disueltos totales

Las valores obtenidos de sólidos disueltos se pueden apreciar en la Fig. 19, obteniendo el valor medio máximo el pozo 5 con 1735 mg/L y el mínimo es para el pozo 1 con 728 mg/L.

Los sólidos disueltos son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. El origen puede ser múltiple tanto en las aguas subterráneas como en la superficial. La concentración de sólidos disueltos en el agua se debe a la presencia de minerales, gases, productos de la descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos que dan color, olor, sabor, y, eventualmente, toxicidad al agua que los contiene. Entre las sales inorgánicas que presenta se encuentran (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de sodio, potasio, calcio, magnesio y fierro) (Anaya y Martínez 2007 y Jiménez, 2001).

Se puede observar de acuerdo a sus medias que los pozos 2 y 5 se encuentran por arriba del límite máximo permisible de la norma (1000 mg/L). Es importante

notar que el pozo 3 está muy cerca del límite permisible de dicha norma y que por lo menos en un muestreo si sobrepasó dicho límite.

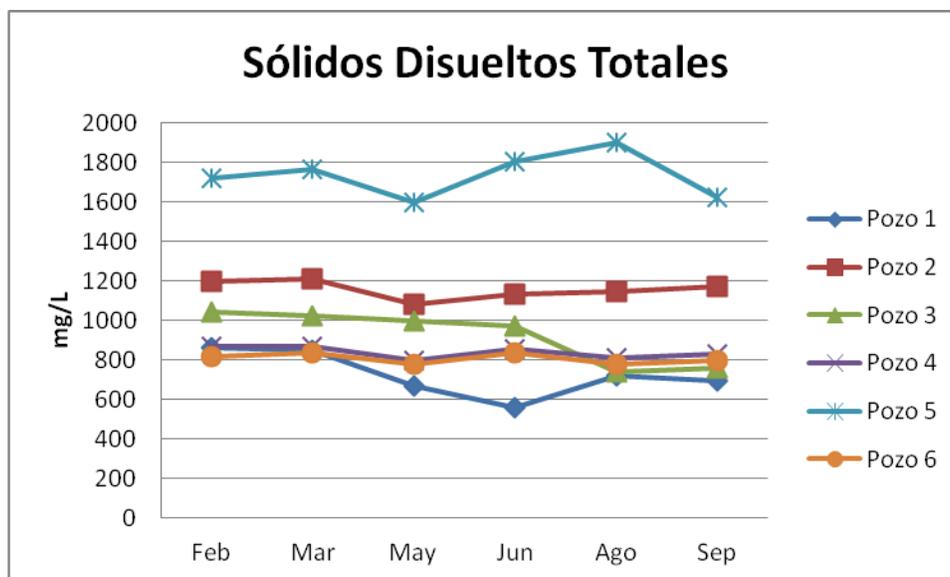


Fig. 19 Variación espacial y temporal de los sólidos disueltos totales

7. 1.10 Potasio

El valor de la media más alto lo presentó el pozo 5 con 26.2 mg/L y el más bajo el pozo 2 con 14 mg/L las cuales se muestran en la Tabla 6 y Fig. 20.

En la Fig. 20 se observa una variación general en todos los pozos temporal y espacialmente, y las concentraciones encontradas concuerdan con Cuevas *et al.* (2002), quienes encontraron valores de 0 a 35 mg/L.

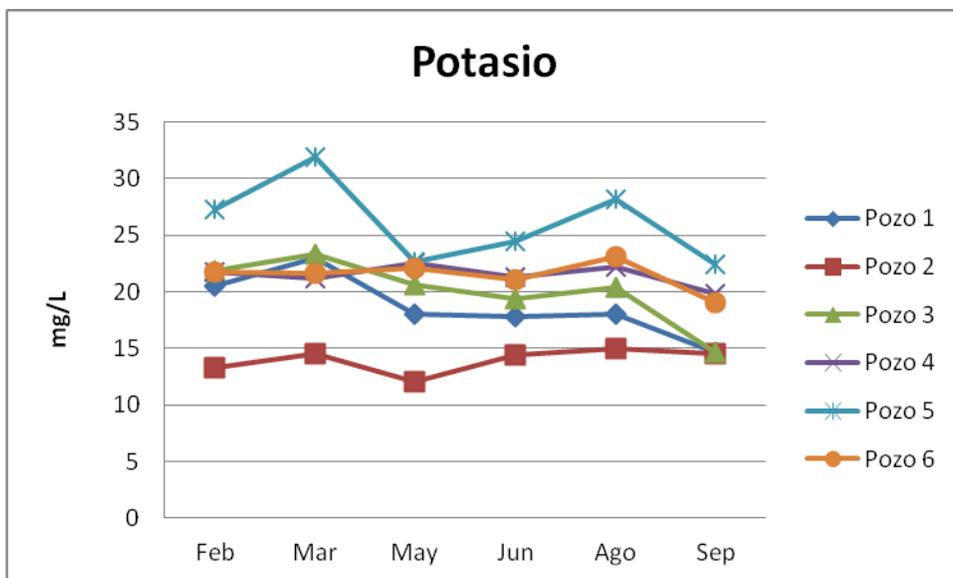


Fig. 20 Variación espacial y temporal del potasio

7.1.11 Turbiedad

La media más alta la tuvo el pozo 5 con 1.24 utn y la más baja la tuvo el pozo 6 con 0.22 utn.

La turbiedad es el parámetro que mide qué tanto es absorbida o dispersada la luz por la materia suspendida (sedimentable y coloidal) del agua.

De acuerdo al límite máximo permisible de la norma (5 utn) se puede observar que todos los pozos estuvieron dentro de la norma. Las aguas subterráneas suelen tener valores inferiores a 1 mg/L son muy transparente hasta profundidades de 4 a 5 m (Anaya y Martínez, 2007 y Jiménez, 2001).

El valor alto de turbiedad en el pozo 5 pudo deberse a que en este pozo también se encontraron los valores más altos de dureza total principalmente por dureza de calcio y magnesio.

La baja turbiedad encontrada coincide con lo reportado en la literatura en relación a que las aguas subterráneas rara vez son turbias; sin embargo, algunas son químicamente inestables y pueden volverse turbias al entrar al contacto con la atmosfera (Robles *et al.*, 2004). Esta ausencia de contaminación por turbidez se puede comparar también con los valores encontrados por Flores *et al.* (2009), en el acuífero de Chalco – Amecameca Estado de México, donde los valores fueron inferiores a lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994.

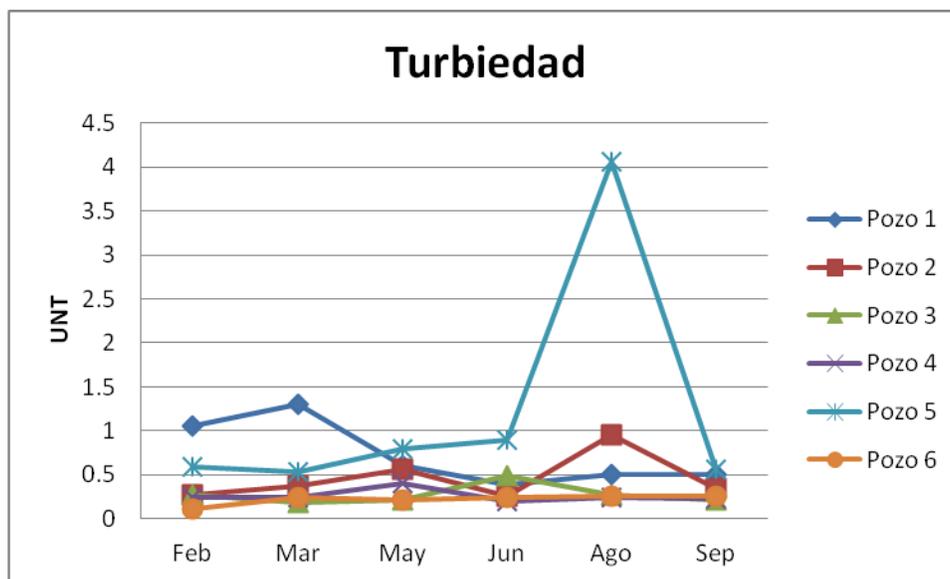


Fig. 21 Variación espacial y temporal de la turbiedad

7.1.12 Fierro Total y Manganeso

El fierro y el manganeso fueron dos parámetros que no se tenían contemplados realizar en este estudio pero por contar con un poco de los reactivos se realizaron estas determinaciones solo en algunos muestreos.

El fierro se determinó solamente en dos muestreos en cada pozo. En el pozo 1, 2 y 5 se detectaron concentraciones en ambos muestreos (de 0.08 y 0.06 para el pozo 1; de 0.04 y 0.05 y para el pozo 2 y de 0.07 y 0.04 mg/L para el pozo 5). En los pozos 3 y 6 los valores estuvieron por debajo de la sensibilidad de la técnica empleada (< 0.03 mg/L) y en el pozo 4 un muestreo estuvo por debajo de la

sensibilidad de la técnica y en el otro muestreo el valor estuvo en el límite de detección (0.03 mg/L).

Todos los valores se presentaron por debajo del límite permisible de la NOM-127-SSA1-1994, lo cual nos indica que no hay contaminación por Fe total en el agua subterránea. En comparación con el estudio realizado por Alonso *et al.* (2004), donde encontraron concentraciones de 2.2 mg/L de fierro en el agua de abastecimiento en un municipio de Oaxaca, México.

En relación al manganeso en el pozo 1, de los 4 muestreos analizados 2 fueron menores del límite de detección de la técnica (< 0.2 mg/L) y los otros dos tuvieron valores de 0.8 y 9.1 mg/L.

En el pozo 2, un muestreo presentó valores de 1.5 mg/L y los otros dos muestreos fueron menores de 0.2 mg/L. En el pozo 3, los cuatro muestreos presentaron valores (0.3, 0.4, 0.6 y 22 mg/L). En el pozo 4, de los 3 muestreos realizados uno fue menor de 0.2 y los otros dos tuvieron 0.3 y 22 mg/L. En el pozo 5, de tres muestreos dos fueron menores de 0.2 y el otro tuvo 22 mg/L. En el pozo 6 de los 4 muestreos solo dos tuvieron valores de 0.4 y 22 mg/L.

Los valores más altos de manganeso presentados en el mes de mayo, pudieron deberse a que en época de calor bajan los niveles de agua subterránea y se puede producir una mayor concentración de los contaminantes.

Los resultados del ion manganeso en el pozo 3 y en por lo menos uno de los muestreos de los demás pozos, no cumplieron con el límite permisible de la NOM-127-SSA1-1994 que es de 0.15 mg/L.

El fierro y manganeso, al igual que otros metales, pueden encontrarse en los ambientes naturales, disueltos o asociados a partículas en suspensión; la mayor proporción de estos elementos aparece como sales de hierro y manganeso que son más comunes, y frecuentemente presentes en el agua de las fuentes de abastecimiento de México. Una situación especial se presenta en los pozos donde

las incrustaciones producto de la precipitación de los hidróxidos y/o los óxidos metálicos de fierro y el manganeso y los depósitos producto del metabolismo bacteriano, obstruyen la permeabilidad de los substratos alrededor del pozo, el flujo de agua hacia el mismo disminuye y la capacidad del pozo se ve reducida (Petkova y Iliev, 2001).

El 4.7% de la corteza terrestre está compuesta de fierro (Alonso *et al.* 2004). La concentración de fierro en mantos acuíferos puede variar de 1 µg/L a 2 mg/L y puede tener su origen en minerales ferrosos de rocas y suelos; en cambio el manganeso se encuentra abundantemente en rocas metamórficas, sedimentarias y en una cantidad muy pequeña de rocas ígneas (Valdivia, 1997).

En las aguas superficiales el contenido de manganeso varía de 1.0 a 0.5 mg/L y en el agua subterránea se encuentra, a menudo, en concentraciones bastante más elevadas que en la superficial (Robles *et al.*, 2004).

7.1.13 DQO, DBO₅, N-NH₃ y SAAM

Dado que en la determinación de estos parámetros se obtuvieron resultados por debajo de la sensibilidad de las técnicas podemos decir que los pozos todavía no presentan contaminación por materia orgánica.

7. 1.14 Coliformes totales y fecales

En general los pozos presentaron concentraciones muy bajas de coliformes totales y fecales (Tabla 3).

El pozo 4 hubo solo un muestreo con contaminación bacteriológica en el intervalo de 1 a 5 ufc/100 ml para coliformes totales, seguido del pozo 5 en el que también hubo 1 muestreo en el intervalo de 6 a 12 ufc/100 ml tanto de coliformes totales como de coliformes fecales.

Los pozos 1, 2 y 3 hubieron dos muestreos contaminados tanto con coliformes totales como fecales dentro del ámbito de 1 a 5 ufc/100 ml.

El pozo 6 hubo 2 muestreos contaminados con ambos tipos de coliformes en el ámbito de 1 a 5 ufc/100 ml y un muestreo también con ambos coliformes en el ámbito de 6 a 12 ufc/100 ml.

Sin embargo y a pesar de haber encontrado esas concentraciones bajas de coliformes no se puede afirmar que su calidad bacteriológica sea buena aunque las muestras siempre se tomaron antes de que pasara el agua por el dosificador de cloro, en general se registraron valores bajos de cloro libre residual que oscilaron entre 0.02 y 0.26 mg/L lo cual pudo ser la razón de las concentraciones tan bajas ya que el cloro libre residual en concentraciones que oscilen entre 0.2 y 1.5 mg/L tienen acción desinfectante (Jiménez, 2001 y Robles *et al.*, 2004).

Por otro lado la presencia de coliformes en el acuífero, aunque sea en bajo número, indica que los microorganismos pueden estar presentes en el agua subterránea profunda y que estos sistemas acuáticos pueden soportar una comunidad microbiológica. Lo anterior es importante porque hasta hace relativamente poco tiempo se consideraba que la posibilidad de que ocurrieran procesos biológicos en el agua subterránea era poca y no significativa.

Una de las características principales de la zona es la falta de pavimento en algunos sitios, esto crea un acceso directo a contaminarse, lo cual podría ser una fuente de contaminación tanto bacteriológica como fisicoquímica del agua subterránea.

Tabla 3. Frecuencia bacteriología

Pozos	P1		P2		P3		P4		P5		P6	
ufc/100 ml	CT	CF										
0	4	4	4	4	4	4	5	6	5	5	3	3
1 a 5	2	2	2	2	2	2	1	-	-	-	2	2
6 a 12	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1

7.2 Análisis discriminante

De los datos obtenidos mediante el análisis discriminante (Tabla 4) se formaron 2 funciones que describen en conjunto el 97.9%.

La primera función describe el 80.9% de la varianza acumulada y está conformada por los parámetros dureza total, dureza de magnesio, cloruros, sólidos disueltos y conductividad.

La segunda función describe el 17% de la variación y está comprendida por los parámetros dureza de calcio y potasio.

Para comparar los 6 pozos muestreados, se calcularon a partir de la matriz de datos del análisis discriminante las distancias de Mahalanobis con su respectivo nivel de significancia, las cuales se muestran en la Tabla 5 y Fig. 22.

De acuerdo al diagrama de dispersión y las distancias de Mahalanobis obtenidas, tenemos que las variaciones que hubo entre los pozos de acuerdo a las funciones 1 y 2 (las dos funciones mas importantes que cubrieron los parámetros fueron las siguientes; dureza total, dureza de magnesio, cloruros, sólidos disueltos y conductividad la primera función y dureza de calcio y potasio la segundo).

El pozo 5 fue el que presentó las diferencias más grandes con el resto de los pozos, presentando la distancia más grande con el pozo 1 (261), seguido con el pozo 6 (230), luego los pozos 2 y 3 (203) y por último con el pozo 3 (192), todos con un nivel de significancia de 0. En el pozo 2 se observó grandes diferencias con respecto a los demás pozos, teniendo la mayor variación con el pozo 5 (203) pero una menor diferencia con los pozos 3(45.8), 4(67.9) y 6 (53), en relación al pozo 5 (Tabla 6 y Fig. 22).

Las diferencias que presentó en general el pozo 5 con respecto a los demás pozos coinciden con lo observado en el análisis descriptivo en donde se puede apreciar que este pozo tuvo las concentraciones más altas de sales disueltas.

Los pozos más similares fueron el pozo 4 con el 6 con una distancia de 1.84, seguido del pozo 3 con los pozos 4, 6 y 1 con unas distancias de 2.7, 5.93 y 8,5 respectivamente de acuerdo a las variables de Dureza total, Dureza de magnesio, Cloruros, Sólidos disueltos, Conductividad, Dureza de calcio y Potasio.

Tabla 4. Resultados del análisis discriminante

Función	Valor característico	χ^2	Nivel de significancia observada (P)	Porcentaje de varianza acumulada	Variables
1	295	320	0.000	80.9	Dureza Total, Dureza de Magnesio, Cloruros, Sólidos Disueltos, Conductividad
2	62	178	0.000	97.9	Dureza de Calcio, Potasio

Tabla 5. Distancias de Mahalanobis (DM) y Niveles de significancia (NS) entre las estaciones de muestreo

		Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 6
Pozo 2	DM	43	—	—	—	—	—
	NS	0.000	—	—	—	—	—
Pozo 3	DM	8.5	45.8	—	—	—	—
	NS	0.000	0.000	—	—	—	—
Pozo 4	DM	11.4	67.9	2.7	—	—	—
	NS	0.000	0.000	0.032	—	—	—
Pozo 5	DM	261	203	192	203	—	—
	NS	0.000	0.000	0.000	0.000	—	—
Pozo 6	DM	9	53	5.73	1.84	230	—
	NS	0.000	0.000	0.000	0.114	0.000	—

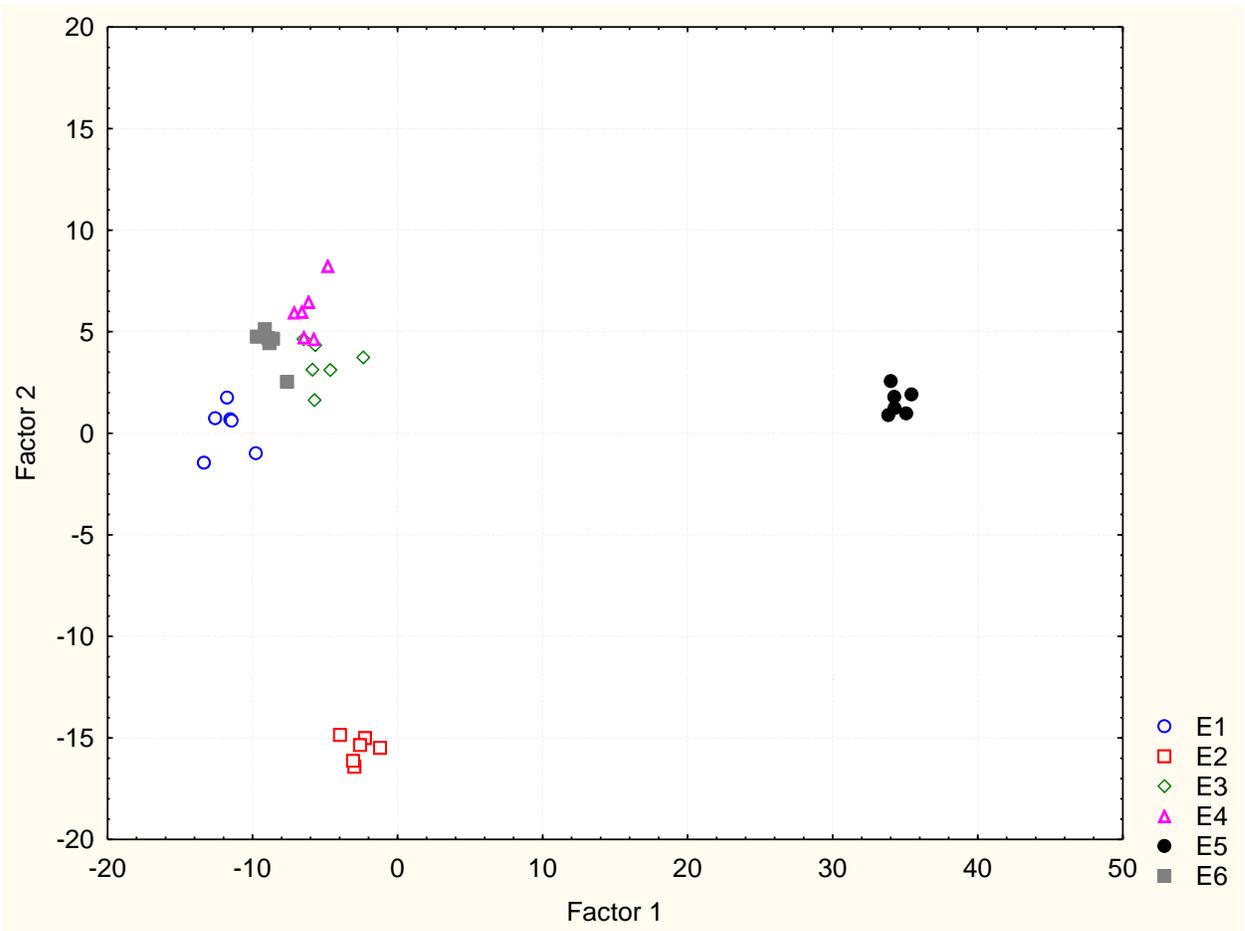


Fig. 22 Diagrama de dispersión de la función uno contra la función dos

8. CONCLUSIONES

De acuerdo a la dureza total todos los pozos presentaron agua muy dura, en general siendo o predominando el tipo carbonatada.

Todos los pozos estuvieron por arriba del límite permisible de la norma NOM 127 para el parámetro manganeso.

El resto de los parámetros fisicoquímicos estuvieron dentro de los límites permisibles en todos los pozos con excepción del pozo 5 que sobrepasó los límites para los parámetros de cloruros y sólidos disueltos.

De acuerdo al análisis de varianza los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos analizados a través de sus medias no mostraron diferencias significativas en los seis meses de muestreo, lo que indica que las épocas estacionales no influyeron significativamente en el comportamiento de dichos parámetros.

De acuerdo a las distancias de Mahalanobis y al diagrama de dispersión se pudo observar una marcada diferencia del pozo 5 respecto a los otros pozos en función a las variables dureza total, dureza de magnesio, cloruros, sólidos disueltos, conductividad, dureza de calcio y potasio.

Los pozos más similares fueron el 4 con el 6 y el 3 con el 4, 6 y 1 en función a los mismos parámetros mencionados en el rubro anterior.

La calidad bacteriológica encontrada en el agua de los pozos en general fue buena pues estuvo por abajo del límite recomendable para ser utilizada como fuente de abastecimiento (<1000 ufc/100 ml de Coliformes fecales) de acuerdo a los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (SEDUE, 1989).

La contaminación presentada en los pozos debida principalmente a sales disueltas puede deberse más a una contaminación natural derivada del tipo de suelos en donde se encuentra este acuífero que a una contaminación antropogénica.

9. RECOMENDACIONES

Hay que darle importancia al mantenimiento y construcción de los tubos que bombean agua, debido a que una inadecuada construcción, ubicación, instalación y la vulnerabilidad alta o media de los materiales en que circula el acuífero pueden permitir la infiltración de contaminantes que alteran la calidad del agua subterránea. Así como las descargas de aguas negras provenientes de la actividad humana y de fosas sépticas que llegan al suelo.

REFERENCIAS

- ❖ Ali, A., Mohamadou, A., Saidou. (2010). Physicochemical and bacteriological qualities of groundwater from some localities in the Adamawa region of Cameroon. *Research journal of soil and water management* 1(3-4): 85-90.

- ❖ Alonso, G, M, G., Arnaud, V, M, R., Rojas, C, R. (2004). Tratamiento alternativo para la remoción de hierro en agua de abastecimiento municipal. Oaxaca México. *Higiene Sanidad Ambiental*, 4: 98-105.

- ❖ Anaya, G, M., Martínez, J, J. (2007). Manual de Captación de agua de agua de lluvia para áreas rurales: Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano en América Latina y el Caribe. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. PNUMA: 100-112 p.

- ❖ Borbolla, S, M, E., Cruz, V, L., Piña, G, O, E., Fuente, G, J. (2003) Calidad del agua en Tabasco. *Salud en Tabasco*. 9(1): 169-177.

- ❖ Carrascosa, C, M, D. (2006). Estudio de las aguas subterráneas desde el punto de vista físico-químico y orgánico del acuífero de Amurga (Sur de Gran Canaria). Tesis Doctoral (Ingeniería Ambiental y Desalinización), Departamento Ingeniería de Procesos, Universidad de las Palmas de Gran Canaria: 253 p.

- ❖ Chacana, A. (2002). Diagnóstico y análisis de riesgo sanitario por consumo de agua de sistemas precarios de la región metropolitana de Chile. Servicio de salud metropolitano del ambiente (SESMA). XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental: 1 p.

- ❖ Coello, X., Galárraga, R. (2002). Metodologías para el análisis de la vulnerabilidad de acuíferos en medios urbanos, el caso de Quito, Ecuador. Departamento de ciencias del Agua, Escuela Politécnica Nacional: 37 p.

- ❖ Cortés, J., Troyo, D., Murillo, A., García, H., Garatuza, P., Suh, L. (2009). Índices de calidad del agua del acuífero del valle del Yaqui, Sonora. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe. Terra Latinoamericana, 27(2): 133-141.

- ❖ Cuevas, E., Pacheco, J., Cabrera, A., Coronado, V., Vázquez, J. y Comas, M. (2002). Calidad química y bacteriológica del agua subterránea en el principal campo de pozos para el abastecimiento de Mérida, Yucatán, México. Universidad Autónoma de Yucatán Facultad de Ingeniería: 1-10 pp.

- ❖ Da Silva, R, C., Araújo, T, M. (2003). Qualidade da água do manancial subterráneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). Ciencia & Saúde, 8(4): 1019-1028.

- ❖ Del Castillo, A. R. E. (2009). Estudio bacteriológico y fisicoquímico del agua, en la zona oriente del acuífero de Cuautla – Yautepec Morelos, México. Tesis de Licenciatura en Biología FES-Iztacala, UNAM: 105 p.

- ❖ Díaz, R., Gamazo, C., López, G. (2004). Manual práctico de microbiología. 2^{da} edición. Editorial Masson. España: 155-157 p.

- ❖ Flores, V., Valladares, R., Holguín, Q. (2009). Agua potable en tres municipios del acuífero Chalco-Amecameca, Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 5 (2): 106-113.

- ❖ Domínguez, M, G, Y. (2009). Comportamiento de los contaminantes fisicoquímicos y bacteriológicos en el acuífero del Valle de Cuernavaca. Tesis para tener grado de Licenciatura. FES-Iztacala. UNAM. México: 83 p.

- ❖ Garcia, O, N, L. (2007). Estudio Físicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en las zonas centro-oriente del Valle de Cuernavaca, Morelos, México. Tesis para tener grado de licenciatura. FES-Iztacala. UNAM. México: 83 p.

- ❖ Graniel, Castro, E., Pacheco, M, A., Coronado, P, V. (2009). Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. Ingeniería 13-1: pp 49-58.

- ❖ Hornsby, A, G. (2000). Agua subterránea: El recurso oculto 1. University of Florida. Institute of food and Agricultural Sciences: 1-6p.

- ❖ Jiménez C. B. E. (2001). La Contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa. México: 194-195p.

- ❖ Manahan S, E. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. Reverte. UNAM. España: 725p.

- ❖ Maskew, F, G., Charles, G.J., Alexander, O.D. (1994). Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Ed. Noriega editores: 11p.

- ❖ Mazari, H, M., López, V, Y., Ponce, L, S., Calva, J., Rojo, F., Islas, P., Castillo, G., Sandoval, J., Amieva, R., Barrios, B., Vega X., Velázquez, E. (2002). Calidad del agua para uso y consumo humano en la Ciudad de México. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental: 1-8 p.

- ❖ Merino, Héctor. (2000) “Sistema Hidráulico”, en: Garza, Gustavo, coordinador, La ciudad de México en el fin del Segundo Milenio, Colegio de México: 162-167p.

- ❖ Metacalf y Eddy.Inc. (1985). Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, evacuación yreutilización de aguas residuales. 2^{da} edición, Ed. Laburi, S.A, Calabria: 117 p.

- ❖ Mirlean, N., Machado, I, M., Martinez, O, G., Demoliner, A., Baisch, P. (2005). O impacto industrial na composição química das águas subterrâneas com enfoque de consumo humano (Rio Grande, RS). *Quim. Nova*. 28, (5): 788-791.

- ❖ Monroy, P, D. (2007). Estudio Físicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en la zona Sur del Valle de Cuernavaca, Morelos, México. Tesis para obtener el grado de Licenciatura. FES-Iztacala. UNAM. México: 85 p.

- ❖ Moral F., Cruz S. J. J., Olías, M. (2008). Geochemical evolution of groundwater in the carbonate aquifers of Sierra de Segura (Betic Cordillera, southern Spain). *Journal of Hydrology*: 360, 281– 296p.

- ❖ 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(3): pp 91-97.

- ❖ Novotny, V. (2003). *Water quality*. Ed. John Wiley & Sons Inc. 2^{da} edition: 37p.

- ❖ Organización Mundial de la Salud (OMS). (1987). *Criterios relativos a la salud y otra información de base*. Publicación científica. Organización Panamericana de la Salud: 2. 239 p.

- ❖ Orozco, M, C., Aguilar, F, R., Cruz, L, J. (2008). Caracterización físicoquímica y bacteriológica de aguas subterráneas de pozos artesanales

y efluentes hídricos en la Costa de Chiapas (México). *Higiene y Sanidad Ambiental*. 8:348-349.

- ❖ Pacheco, A, J., Cabrera, A., Marín, L, E. (2000). Bacteriological contamination in the Karstic aquifer of Yucatán, México. *Geofísica International*, 39(3): 285-291.
- ❖ Pacheco, A, J., Cabrera, A., Pérez, C, R. (2004). Diagnóstico de la calidad de agua subterránea en los sistemas municipales en el estado de Yucatán, México. *Ingeniería*, 8(2): 165-179.
- ❖ Pérez, C, R., Pacheco, A, J. (2004). Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación de nitratos en el estado de Yucatán. *Ingeniería* 8(1):33-42.
- ❖ Petkova, S, V., Iliev, M, M. (2001). Remoción de hierro y manganeso del agua para consumo humano. Simposium “Gestión integral del agua”. Ceag-A60203: 1-17p.
- ❖ Pimienta, J. (1973). La captación de aguas subterráneas. Editores técnico asociados, S.A. España: 1p.
- ❖ Pineda, R, D. (2008). Estudio bacteriológico y fisicoquímico del agua en 5 pozos del acuífero de Zacatepec, Morelos, México. Tesis de Licenciatura FES – Iztacala. UNAM: 86 p.
- ❖ Ramalho, R, S. (1993). Tratamiento de aguas residuales. Ed. Reverte, S.A, 2^{da} edición, España: 705 p.
- ❖ Ramírez, E., Robles, E., Sáinz, M, G., Ayala, R., Campoy, E. (2009). Calidad Microbiológica del Acuífero de Zacatepec, Morelos, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25 (4): 247-255.

- ❖ Robles, V, E., González, A, M, E., Castillo, N, P. (2004). Contaminantes Físicos y Químicos del Agua: sus efectos en el hombre y en el medio ambiente. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, (UNAM). México: 120 p.

- ❖ Robles, V, E., González A, M, E., Sáinz, M, M, G., Martínez, P, M, E., Ayala P, R. (2007). Análisis de Aguas. Métodos fisicoquímicos y bacteriológicos. UNAM FES Iztacala. México: 188 p.

- ❖ Robles, V, E., Ramírez, F, E., Ayala, P, R., Durán, D, Á., Sáinz, M, G., Martínez P, M. E., Martínez, R, B., González, A, M, E. (2010). Calidad del agua de tres pozos de la zona centro del Acuífero Cuautla-Yautepec, Morelos, México. BIOCYT. 3(11): 159- 175.

- ❖ Rodríguez, M, J. (2008). Estudio bacteriológico y fisicoquímico del acuífero de Zacatepec, Morelos, en las zonas de Xochitepec, Miacatlán, Coatlan del Rio y Cuachichinola. Morelos, México. Tesis para obtener el grado de licenciatura. FES-Iztacala UNAM. México: 97 p.

- ❖ Rodríguez, S, T. (2010). Estudio bacteriológico y fisicoquímico del agua, en la zona poniente del acuífero de Cuautla–Yautepec, Morelos, México. Tesis de licenciatura. FES-Iztacala UNAM. México: 74 p.

- ❖ Rubio, R, M, A. (2007). Estudio fisicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en la zona Norte del Valle de Cuernavaca, Morelos, México. Tesis para el grado de Licenciatura. FES – Iztacala. UNAM. México: 96 p.

- ❖ Secretaría de Salud (SSA). (1994). 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. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. 16 de Diciembre de 1999: 1-3p.

- ❖ SEDUE. (1989). Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CE-CCA-001/89. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Diario Oficial de la Federación.

- ❖ Tebbutt, T, H, Y. (1990). Fundamentos de control de la calidad del agua. Ed Noriega editores: 21-26p.

- ❖ Valenzuela, M., Mondaca, M, A., Claret, M., Pérez, C., Lagos, B., Parra, O. (2009). Determinación del origen de la contaminación microbiológica del agua subterránea en una cuenca rural en Chile. *Agrociencia*. 43(4): 437-446.

- ❖ Valdivia, U, J. (1997). Evaluación de procesos de tratamiento de hierro y manganeso solubles en aguas subterráneas. Tesis de la División de Estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería Sección Ambiental UNAM.

- ❖ Villalba, A, R, F. (2006). Proyecto piloto de control y seguimiento de la calidad del agua para comunidades menores a 2.000 habitantes, en base a la normativa sectorial, VIII-Villalba-Bolivia-2: 1p.

- ❖ Villalpando, L, C. (2001). Por una cultura de conservación del agua subterránea. *El Faro*. 1(1): 9.

- ❖ Villers, R, V., Trejo, R, I. (2000). El cambio climático y la vegetación en México. En: México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología Universidad Nacional Autónoma de México; 57p.

ANEXO

Tabla 6. Media, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo de los parámetros para cada pozo.

Parámetros		Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	Pozo 5	Pozo 6	Límites permisibles NOM-127-SSA1-1994
Dureza total (mg/L como CaCO ₃)	Media	280±33.9	231±14.4	389±24.9	390±40.9	863±68.9	333±14.8	500 mg/L
	Valor máximo	335	254	437	441	987	355	
	Valor mínimo	228	210	368	329	798	311	
Nitritos (mg/L)	Media	Mld	Mld	Mld	Mld	Mld	Mld	1 mg/L
	Valor máximo	0	0	0	0	0	0	
	Valor mínimo	0	0	0	0	0	0	
Nitratos (mg/L)	Media	1.5 ±0.43	0.043±0.04	1.04±0.33	0.406±0.33	0.073±0.072	0.09±0.118	10 mg/L
	Valor máximo	2.08	0.124	1.72	0.851	0.187	0.311	
	Valor mínimo	0.94	0.014	0.778	0.126	0.007	0	
Cloruros (mg/L)	Media	89± 28.7	213±13.8	138±8.96	177±39.32	455± 66	178±11.8	250 mg/L
	Valor máximo	133	230	150	230	529	194	
	Valor mínimo	62	189	124	134	352	158	
Sulfatos (mg/L)	Media	146±8.17	246±9.89	231±136.78	97.2±20.88	38.2±17.4	84.1±7.89	400 mg/L

	Valor máximo	154	257	326	132	72	93.3	
	Valor mínimo	129	231	45	80.1	25.4	73	
Sólidos Disueltos (mg/L)	Media	728± 105	1158± 48	924± 135	840± 31.2	1735± 113	808± 27.5	1000 mg/L
	Valor máximo	863	1210	1042	870	1903	840	
	Valor mínimo	561	1080	743	797	1598	777	
Turbiedad (UNT)	Media	0.726± 0.33	0.461± 0.26	0.273± 0.11	0.26± 0.070	1.24± 1.39	0.223± 0.057	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UNT) o su equivalente en otro método.
	Valor máximo	1.3	0.95	0.49	0.4	4.06	0.26	
	Valor mínimo	0.39	0.26	0.18	0.2	0.53	0.11	
pH	Media	7.5± 0.17	8± 0.15	7.3± 0.172	7.38± 0.24	7± 0.354	7.6± 0.248	6.5-8.5
	Valor máximo	7.7	8.3	7.5	7.8	7.6	7.9	
	Valor mínimo	7.2	7.9	7.1	7.1	6.6	7.2	
SAAM (Detergentes) (mg/L)	Media	0	0	0	0	0	0	0.50
	Valor máximo	0	0	0	0	0	0	
	Valor mínimo	0	0	0	0	0	0	
Manganeso	Media	1.7± 3.62	0.31±	3.88±	3.75±	3.71±	3.75±	0.15

(mg/L)			0.58	8.87	8.94	8.95	8.94	
	Valor máximo	9.1	1.5	22	22	22	22	
	Valor mínimo	0	0	0	0	0	0	
Fierro total (mg/L)	Media	Mld	Mld	Mld	Mld	Mld	Mld	0.3
	Valor máximo	0.08	0.05	0.01	0.03	0.07	0.01	
	Valor mínimo	0	0	0	0	0	0	
Temperatura (°C)	Media	25.7± 1.97	22.2± 1.60	24.3± 3.01	24.6± 0.66	29.9± 1.42	23± 1.09	-
	Valor máximo	29	24	29	25	32	24	
	Valor mínimo	23	20	20	23.5	28	21	
Alcalinidad total (mg/L)	Media	358± 82.3	490± 78.4	371± 53.6	364± 58.6	604± 109	338± 50.3	-
	Valor máximo	444	580	407	427	715	385	
	Valor mínimo	212	343	265	256	408	241	
Alcalinidad a la Fenofaleina (mg/L)	Media	0	0	0	0	0	0	-
	Valor máximo	0	0	0	0	0	0	
	Valor mínimo	0	0	0	0	0	0	
Dureza de Calcio	Media	90.7± 9.64	49.7± 7.84	129± 10.5	137± 17.9	229± 97.7	125± 14.9	-
	Valor máximo	109	63	148	168	333	148	

(mg/L como CaCO ₃)	Valor mínimo	80.4	41.4	119	121	43.3	101	
Dureza de Magnesio (mg/L como CaCO ₃)	Media	189± 37.3	182± 18.6	260± 32	253± 38.9	634± 87.2	226± 38.8	-
	Valor máximo	240	213	317	305	791	293	
	Valor mínimo	119	162	225	206	552	184	
Conductividad (μS)	Media	1002± 102	1695± 77.4	1276± 155	1209± 65.9	2318± 180	1197± 40.7	-
	Valor máximo	1153	1782	1448	1320	2640	1247	
	Valor mínimo	886	1582	1075	1124	2130	1157	
DBO5 (mg/L)	Media	mld	mld	mld	mld	mld	mld	-
	Valor máximo	0	0	0	0	0	0	
	Valor mínimo	0	0	0	0	0	0	
Potasio (mg/L)	Media	18.6± 2.56	14± 1.07	20.1± 2.94	21.5± 0.95	26.2± 3.66	21.5± 1.33	-
	Valor máximo	23	15	23.3	22.5	31.9	23.1	
	Valor mínimo	14.7	12	14.7	19.8	22.4	19.1	

Mld = menor del límite de detección

* En rojo se muestran los valores que rebasan los límites máximos permisibles por la norma mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano.