



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

CARRERA DE BIOLOGIA

Estudio Bacteriológico y fisicoquímico del agua, en la zona poniente del acuífero de Cautla-Yautepec, Morelos, México.

TESIS

QUE PRESENTA

Tania Rodríguez Salas

Para obtener el título de

BIOLOGO

Director de Tesis

QFB. Esperanza del S. Robles Valderrama

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Estado de México, 2010.



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.

Dedicada

Al agua por se el elemento vital para la vida.

A mis padres y hermano por su apoyo y confianza que siempre me han otorgado para seguir adelante. Porque gracias a sus consejos he llegado a realizar la más grande de mis metas. La cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir. No es fácil llegar, se necesita ahínco, lucha y deseo, pero sobre todo apoyo como el que he recibido durante este tiempo.

Ahora más que nunca se acredita mi cariño, admiración y respeto. Gracias por lo que hemos logrado.

Mi tía Silvia por ser mi inspiración para estudiar esta carrera.

A mis profesores por enseñarme y tenerme paciencia.

A mis amigos Liz, Ale, Aldana, Alanis, Leo y todos mis compañeros que siempre estuvieron conmigo a lo largo de la generación viviendo cosas tan increíbles y sobre todo agradezco mucho el haber entrado a esta carrera por que aparte de aprender la biología como tal, aprendí algo muy importante que creo es una herramienta esencial para seguir adelante, esto es el trabajo en equipo y nunca perder la humildad y sencillez, gracias amigos por enseñarme esos grandes valores.

A mis amigos de la calle, que en todos los momentos me hicieron sonreír, gracias por estar conmigo.

Agradecimientos

Agradezco por todas las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo a la:

Subgerencia de Explotación y Monitoreo Geohidrológica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subdirección General Técnica

Comisión Nacional del Agua (CNA)

Por la participación en los muestreos les doy mi agradecimiento a la

Subgerencia de Aguas subterráneas

Dirección Técnica

Dirección General del Organismo de la Cuenca del Rio Balsas

Comisión Nacional de Agua (CNA)

Agradecimientos especiales

Ing. Delia Gonzales Rojas

Ing. Rafael López Soto

Ing. Anselmo Ordaz Ayala

Ing. Eliseo Rodríguez

Geógrafo. Alejandro Díaz Ponce

Técnico Topógrafo Antonio Orozco Vega

Agradecimientos a mis grandes amigos de la Comisión Nacional del Agua muchas gracias aprendí mucho de ustedes, son unas grandes personas que siempre llevare en mi corazón.

Índice de contenido

Resumen	5
1. Introducción	6-8
2. Marco teórico	9
2.1 Antecedentes en México	9-
13	
2.2 Antecedentes en otros países	13-
14	
2.3 Acuífero	14-
15	
2.3.1 Clasificación de los acuíferos	15-
16	
2.3.2 Ciclo hidrogeológico	16-
17	
2.3.3 Calidad	17-
18	
2.3.4 Fuentes de Contaminación	18
2.4 Parámetros bacteriológicos	19-
20	
2.5 Parámetros fisicoquímicos	20-
26	
2.6 Normatividad	27
3 Objetivos	27
3.1 Objetivos generales	27
3.2 Objetivos particulares	27
4. Descripción del área de estudio	28
4.1 Actividades socioeconómicas	30

4.2 Hidrología	30-
31	
4.3 Fisiografía	31
4.4 Clima	31-
32	
4.5 Precipitación	32
4.6 Evaporación potencial media anual	32
4.7 Estratigrafía	32-
33	
5. Materiales y métodos	33
6. Resultados y discusión	37
6.1 Análisis descriptivo	37-
64	
7. Conclusiones	65
8. Recomendaciones	67
9. Bibliografía	68-
74	

Índice de figuras

Fig1. Esquema de acuífero libre y cautivo	16
Fig2. Esquema del ciclo hidrogeológico	16
Fig3. Localización del acuífero Cuautla- Yautepec	29
Fig4. Localización de los pozos y el manantial en el acuífero Cuautla- Yautepec.	34
Fig5. Pozo panteón	35
Fig6. Pozo Zarco	35
Fig7. Manantial	35

Fig8. Determinación del oxígeno disuelto	35
Fig9. Comportamiento espacial y temporal de los Coliformes fecales	38
Fig10. Comportamiento espacial y temporal de los Coliformes totales	40
Fig11. Concentración de sólidos disueltos	42
Fig12. Concentración de cloruros	46
Fig13. Concentración de nitratos	48
Fig14. Concentración de sulfatos	51
Fig15. Comportamiento espacial de conductividad	53
Fig16. Comportamiento espacial de temperatura	54
Fig17. Comportamiento espacial de turbiedad	56
Fig18. Comportamiento espacial de oxígeno disuelto	58
Fig19. Comportamiento espacial del pH	59
Fig20. Diagrama de dispersión de la función uno contra la función dos	64

Índice de tablas

Tabla1. Fuentes de contaminación	18
Tabla2. Clasificación de la dureza del agua	23
Tabla3. Técnica analítica para cada parámetro	36
Tabla4. Análisis descriptivo de coliformes fecales	37
Tabla5. Comparación de coliformes fecales con la NOM-127	39
Tabla6. Análisis descriptivo de coliformes totales	39
Tabla7. Comparación de coliformes totales con la NOM.127	41
Tabla8. Análisis descriptivo de los sólidos disueltos	41
Tabla9. Comparación de los sólidos disueltos con la NOM-127	42
Tabla10. Análisis descriptivo de la dureza total	43

Tabla11. Análisis descriptivo de la alcalinidad total	43
Tabla12. Clasificación del agua de acuerdo a su dureza	44
Tabla13. Tipos de dureza	45
Tabla14. Comparación de la dureza total con la NOM-127	45
Tabla15. Analisis descriptivo de cloruros	45
Tabla16. Comparación de los cloruros con la NOM-127	47
Tabla17. Análisis descriptivo de nitratos	48
Tabla18. Comparación de los nitratos con la NOM-127	50
Tabla 19. Análisis descriptivo de los sulfatos	50
Tabla 20. Comparación de los sulfatos con la NOM-127	52
Tabla 21. Análisis descriptivo de la conductividad	52
Tabla 22. Análisis descriptivo de la temperatura	52
Tabla 23. Análisis descriptivo de la turbiedad	55
Tabla 24. Comparación de la turbiedad con la NOM-127	56
Tabla 25. Análisis descriptivo del oxigeno disuelto	57
Tabla 26. Análisis descriptivo del Ph	59
Tabla 27. Comparación del pH con la NOM-127	61
Tabla 28. Resultados del análisis de componentes principales	62
Tabla 29. Resultados del análisis discriminante	63
Tabla 30. Distancias de Mahalanobis	63

Resumen

Se 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. El muestreo se realizó mensualmente durante un año (marzo 2008- febrero 2009). Las muestras fueron colectadas antes del dosificador de cloro. *In situ* se determinó, el oxígeno disuelto, pH y temperatura; se tomaron muestras en frascos estériles para las muestras bacteriológicas y para las muestras fisicoquímicos se utilizaron frascos con capacidad de 1.5 L. Todas las muestras se conservaron en hielo y se trasladaron al laboratorio en donde se analizaron los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas. Se observó que la alcalinidad total se debe a bicarbonatos (HCO_3), ya que ningún pozo presentó un pH mayor a 8.3. Los dos pozos y el manantial tuvieron agua del tipo “muy dura”. Comparando los parámetros fisicoquímicos con los límites máximos permisibles de la norma mexicana de agua para consumo humano, NOM-127-SSA1-1994, se observó que 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.

Palabras claves: agua subterránea, calidad del agua, coliformes totales y fecales.

1. INTRODUCCIÓN

El agua desempeña un papel vital en el desarrollo de la vida, ya que absorbe las radiaciones caloríficas manteniendo una temperatura que hace posible el equilibrio de la humedad en el planeta, también es formadora de suelos, hábitat, medio de transporte y fuente de alimento para una gran variedad de organismos incluyendo al hombre (Casanelles, 1983).

El volumen total del agua en el mundo permanece constante, lo que cambia es la calidad y la disponibilidad. El agua está constantemente reciclándose; en términos de volumen total, el 97.5% del agua es salina, encontrándose un 99.99% de esta agua en los océanos y el resto lo forman los lagos salinos. El otro 2.5% del volumen de agua en el mundo es agua dulce (no salina). Sin embargo, no toda esta agua dulce está disponible para el consumo humano. Alrededor del 75% de ella, esta inmovilizada en los casquetes polares y en los glaciares, además un 24% está localizada en el subsuelo como aguas subterráneas (Gray 1996).

El agua subterránea es parte del ciclo hidrológico que se encuentra, en el subsuelo, ya que por la fuerza de gravedad una parte de la precipitación que cae sobre la tierra (en forma de lluvia, nieve, neblinas y heladas), y el agua sobrante de las aguas superficiales (como son los ríos, lagos, corrientes etc.) penetran en la capa vegetal, se infiltra y fluye a través de las partículas de tierra, arena, grava, o por las grietas de las rocas; el agua llena los pequeños huecos que hay en los materiales que constituyen el subsuelo. A esto se llama suelo o zona no saturada, porque no se observa completamente llena de agua, mientras que la zona saturada es aquella en la que el suelo se encuentra lleno de agua y alimenta las cuencas subterráneas formando los acuíferos (Guzmán, 1996).

El agua subterránea es un recurso natural, vital para un suministro de agua confiable y económico para consumo humano en los ámbitos urbano y rural (Foster, 1997). Constituye a nivel mundial una gran proporción del agua utilizada y representa aproximadamente el 20% en México, el 50% en Estados Unidos,

cerca del 30% en Canadá y el 70% en Europa (Escolero, 1993) Por ello, juega un papel fundamental (aunque a menudo poco valorado) en el bienestar humano y de algunos ecosistemas acuáticos y terrestres (Foster, 1997).

En México se aprovechan 340 zonas geohidrológicas, de las que se extraen aproximadamente 30 mil millones de m³ al año, utilizándose 63% para riego, 19% para satisfacer las necesidades de los habitantes, 13% para abastecer a la industria y 5% lo aprovecha la población rural (Escolero, 1993).

Debido a su disponibilidad, el agua subterránea es considerada una fuente inagotable pero recientemente las circunstancias indican que el agua subterránea es muy vulnerable a la contaminación y a su desaparición (García, 2007).

En lo referente a sistemas de agua subterránea ha prevalecido la idea errónea de que los acuíferos se encuentran protegidos de manera natural de las diversas fuentes de contaminación. Sin embargo, a partir de la década de los años setenta se ha registrado, una tasa alarmante, de la presencia de contaminantes de origen industrial, municipal y agrícola en agua subterránea; ya que el agua al filtrarse en las rocas, espacios abiertos, en gravas de grano grueso o cualquier tipo de aberturas grandes, también pasan las bacterias o desechos tóxicos, debido a que los inodoros, los pozos negros o el desagüe se encuentran cerca de los pozos o manantiales (Cherry, 1984).

Las fuentes de contaminación que pueden afectar los sistemas de agua subterránea pueden ser puntuales y no puntuales. Se consideran fuentes puntuales a las fábricas, refinerías, tintorerías, gasolineras, aeropuertos, tiraderos de basura, tanques enterrados, así como derrames que suceden al transportar compuestos químicos. Como fuentes no puntuales se consideran la aplicación de plaguicidas en zonas agrícolas, los canales de drenaje, los sistemas de tuberías para el transporte de hidrocarburos, entre otros. En general se estima que la mayoría de los contaminantes se encuentran en forma líquida y

que migran en fase acuosa interactuando a su paso con las partículas del suelo (Monroy, 2007).

Las aguas subterráneas pueden mantenerse libres de contaminantes si se eliminan los focos de infección posibles que se encuentren en sus proximidades. Los contaminantes especialmente peligrosos se encuentran arriba, en la superficie, ya que van deslizándose hacia abajo llegando a los acuíferos.

Es necesario considerar que para algunos compuestos volátiles la migración en forma de vapor es igual o más importante que el desplazamiento en forma líquida. Además existen una gran cantidad de desechos en estado sólido, que al descomponerse e infiltrarse el agua de lluvia a través de ellos, producen lixiviados. Tal es el caso del acuífero de Cuautla que está conformado por los materiales aluviales y las rocas volcánicas de la Formación Tlayecac, con agua apta para todo uso, pero la porción superior del área de Cuautla está contaminada por la infiltración del agua residual, lo que provoca una grave contaminación en el agua (internet¹).

La alteración en la calidad del agua extraída de pozos de abastecimiento es una manera de notar el impacto en agua subterránea. Sin embargo, en los pozos de extracción o abastecimiento se diluye el contaminante, por lo que no es la mejor manera de detectar el problema en sus primeras etapas.

La explotación excesiva de un acuífero puede modificar el equilibrio existente, desplazándose la superficie de interfase, lo que produce una salinización del acuífero y viceversa.

Por lo tanto las aguas subterráneas son un recurso natural importante, pero amenazado, que es fundamental para la calidad del medio ambiente para la producción industrial y agrícola y sobre todo para el abastecimiento de agua potable (B. Leopold y Kenneth, 1977).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES EN MEXICO

Alvarado realizó una evaluación de la calidad microbiológica del agua subterránea en Cd. Juárez a través de una serie de análisis de muestras, contemplando para el estudio una cantidad de 30 pozos ubicados dentro de la mancha urbana de Juárez. El muestro se hizo durante las épocas de calor y frío, determinando si éstas forman un parámetro. Concluyendo que se detectaron coliformes fecales en el agua potable. Situación que obliga a pensar en que el tratamiento del agua se está haciendo de manera ineficiente. Por lo que resulta necesario vigilar tanto el proceso de desinfección como la calidad del agua a través de programas de monitoreo y análisis. (Internet²).

Cabrera *et al.* (2002), realizaron un estudio hidrogeoquímico en la zona sur de la Ciudad de Mérida Yucatán, muestrearon 17 pozos someros y 26 profundos. Los muestreos los llevaron a cabo en los meses de marzo y octubre de 2000. Los parámetros que analizaron fueron calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y como parámetros de campo, la conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y el pH. Concluyendo que el comportamiento hidrogeoquímico del acuífero en esta zona es similar en los periodos de lluvia y estiaje observando que la familia de aguas predominantes en el área estudiada es la Mixta bicarbonatada, dejando en segundo término la cálcica- Bicarbonatada.

Cifuentes *et al.* (2002), Determinaron el riesgo de enfermedades entéricas entre niños que viven en un área de recuperación de agua en la Ciudad de México; entrevistaron a gente que tenía niños menores de 5 años, se tomaron muestras de agua de 5 pozos y se realizaron pruebas de coliformes fecales en las cuales se corrobora la presencia de contaminación por materia fecal en el agua subterránea. Los índices de diarrea fueron 10.7% en la estación seca y 11.8%

en la estación de lluvias; los niños de 1 año demostraron el índice más alto de diarrea en estación de secas, durante la estación de lluvias en las casas se percibía un color en el agua coincidiendo también con el índice más alto de diarrea en comparación con aquellas que no lo percibían; el consumo de alimentos en la calle era también otro factor de riesgo.

Granel *et al.*, (2007) realizaron un estudio al sur de la Sierrita de Ticul en el Estado de Yucatán, la cual está formada por calizas fosilíferas, el área de estudio es una de las zonas agrícolas más grandes del estado de Yucatán; el objetivo de estudio fue determinar el origen de los sulfatos en el agua subterránea y evaluar el comportamiento temporal y espacial, para la cual recolectaron muestras de agua a las cuales les determinaron temperatura, conductividad y los iones mayores (calcio, magnesio, sodio, carbonatos, cloruros y sulfatos). Concluyendo que en época de lluvias se incrementan las concentraciones de sulfatos y las zonas con mayor concentración se localizaron al centro del área, en donde se ubica la mayoría de las unidades agrícolas, esto debido a la infiltración de los fertilizantes sulfatados utilizados en la agricultura.

Muñoz *et al.*, (2004), investigaron la influencia de diversos parámetros ambientales e hidrobiológicos en los contenidos de nitratos del agua subterránea del valle de Huamantla, Tlaxcala. Observando que la concentración promedio de nitrato en la temporada de sequía (segundo muestreo) resultó casi al doble respecto a la registrada en la temporada de lluvias. En el primer muestreo detectaron cuatro puntos y en el segundo 7, donde la concentración sobrepasó la norma SSA-127-1994 de 44.29 mg/L de NO_3 y encontraron relación en las concentraciones en cuanto a la ubicación del pozo y el tipo de agricultura.

Pacheco y Cabrera., (2004) elaboraron un diagnóstico de la calidad en los pozos de extracción de agua potable, se evaluó la calidad química y bacteriológica del agua subterránea. Los resultados mostraron que el agua subterránea del Estado de Yucatán presenta una calidad bacteriológica contaminada en la parte oriental del estado. Las concentraciones de los cloruros, dureza total, nitratos, sodio y cadmio; excedieron los límites permisibles.

Pérez *et al.*, (2003), caracterizaron las aguas subterráneas que abastecen el distribuidor general de agua de la Ciudad de Zimapan Hidalgo, México. Seleccionaron 11 puntos de muestreo en los que determinaron 28 parámetros fisicoquímicos, durante 10 muestreos distribuidos a lo largo de un año (marzo 1999-2000), los resultados de los parámetros expresaron que las aguas eran de tipo bicarbonatadas-cálcicas y bicarbonatadas mixtas con bajos niveles de sulfatos, cloruros, sodio, potasio, sin embargo presentaron concentraciones de As muy elevadas de hasta 550 mg/L, superando la NOM-127-SSA1-1994 para agua potable. En el estudio de variación temporal observaron cambios significativos de carácter estacional con incremento en las concentraciones de los elementos.

Pérez y Pacheco., (2004) realizaron un estudio de vulnerabilidad en el estado de Yucatán analizando las metodologías AVI, GOD y DRASTIC, concluyendo que DRASTIC fue la metodología más adecuada para caracterizar la vulnerabilidad intrínseca en el estado de Yucatán en función de los datos hidrogeológicos de dominio público, mostrando que la distribución de la concentración de nitratos no tenían ninguna relación entre la vulnerabilidad intrínseca por lo que se concluyó que se requiere aplicar metodologías de vulnerabilidad específica para medios cársticos.

En 1996, la Subdirección General Técnica a través de la Gerencia de Agua Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua (CNA) encomendó a la empresa INRA, S.A. realizar un estudio de actualización de las condiciones geohidrológicas de la zona "Cuautla-Yautepec", estado de Morelos, para analizar la problemática de la región y proponer alternativas de solución, para definir la factibilidad técnica del aprovechamiento de las aguas subterráneas en regiones que, por sus características favorables, pudieran satisfacer las necesidades de agua para usos diversos. Los objetivos del estudio fueron identificar áreas favorables para la captación de los acuíferos, aportar bases técnicas para orientar la extracción y la distribución por uso del volumen de agua disponible y

formular el estudio justificativo de la reglamentación del acuífero, para su publicación y presentación a los usuarios. INRA, identificó que el acuífero de la zona de Cuautla- Yautepec está constituido por rocas volcánicas y carbonatadas; observando que el agua se descarga en los manantiales a través de las calizas cársticas concluyó que la calidad del agua subterránea, es en general apta para todos los usos, aunque hay indicios de que en las áreas de Cuautla, Yautepec, Oaxtepec y Cocoyoc, la parte superior del acuífero presenta cierta contaminación biológica por la descarga de aguas residuales y por la falta de protección sanitaria de los pozos.

García (2007), Monroy (2007) y Rubio (2007) 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 presento 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.

Solís *et al.* (2004), evaluaron la calidad microbiológica en el agua subterránea en los pozos de abastecimiento de agua para consumo, en dos épocas del año, en los poblados Santa Cruz y San Lázaro, Sonora México, tomando ocho muestras incluyendo: 1 pozo, 1 tanque de almacenamiento y 2 domicilios en cada poblado, determinando en cada uno de ellos: coliformes fecales y coliformes totales. Concluyendo que en el agua había presencia de organismos coliformes tanto totales como fecales, por lo tanto con estos resultados el agua de estos sistemas de abastecimiento de las localidades estudiadas, no es apta para consumo humano, por lo cual debe someterse a un tratamiento de potabilización con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta entregar el líquido al consumidor.

2.2 ANTECEDENTES EN OTROS PAÍSES

Candela (2002), describió en España Madrid que los posibles tipos de contaminación rural y urbana están en función a la actividad que los origina, dichas actividades son de tipo doméstico e industrial. La contaminación de tipo doméstico se produce principalmente a través de fosas sépticas, pozos negros, fugas de alcantarillado, vertido de aguas de letrinas y observó que en general se trata de una contaminación de tipo orgánica – biológica. La contaminación industrial puede deberse a la presencia de compuestos inorgánicos (metales y no metales), orgánicos (plaguicidas, derivados del petróleo productos de tintorería y en menor medida radiactivos).

Fernández (2002), valoró el riesgo real y potencial de la contaminación por nutrientes al que se encuentran expuestos los recursos hídricos subterráneos de la zona sur- suroeste de la provincia de Jaen España. Realizaron dos campañas de muestreos correspondiendo a 110 captaciones, concluyendo que solo seis zonas superaron la concentración de nitratos de 50 mg/L permitido por la legislación española en aguas para abastecimiento.

Nola *et al.*, (2002) Realizaron un estudio químico y bacteriológico durante un año en aguas subterráneas en el área ecuatorial en Camerún (central África), Evaluando la importancia de algunos factores químicos en las comunidades bacterianas fecales. Concluyendo que el grado de correlación entre parámetros químicos y la abundancia de bacterias extraídas es heterogénea; se mostró que en un manantial artificial el incremento de oxígeno disuelto, cloro, sodio, potasio, y magnesio favorecen la abundancia de coliformes fecales y las grandes concentraciones de CO₂ disuelto reduce la abundancia de estas bacterias totales, durante los meses de febrero y marzo (escasas lluvias), esto último debido probablemente al efecto de dilución causado por la precipitación pluvial.

Perdomo *et al.*, (2002) realizaron un estudio de la contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay; tomaron 50 muestras de aguas superficiales y 355 de agua subterráneas en zonas agrícolas. Su objetivo fue evaluar el nivel de nitratos y coliformes en las mismas, así como identificar las fuentes de contaminación, encontrando que las aguas superficiales tuvieron concentraciones muy inferiores a 10mg N/L al nivel crítico y estaban asociados a pozos contaminados, un resultado similar se obtuvo para coliformes fecales, aunque en los pozos contaminados la relación entre coliformes y nitratos fue inversa; eso quiere decir que la probabilidad de un pozo estar contaminado con uno u otro contaminante es mayor de lo que se podría inferir de estudios basados en solo uno de estos, las altas concentraciones de nitrato en algunos pozos parecen originarse de fuentes localizadas y no de fuentes agrícolas.

2.3 ACUIFERO

Un acuífero es una capa de agua que se almacena bajo la superficie de la tierra. Para que esto ocurra debe de tener ciertas características. La fundamental es que la capa inferior sea impermeable. A esta capa se le llama muro y partir de aquí el agua se acumula. La altura que alcanza el agua se llama nivel freático. El

nivel freático puede encontrarse a diferentes profundidades, incluso en un mismo lugar, dependiendo de las características geológicas, presión atmosférica y la meteorología. Puede ir desde unos centímetros hasta muchos metros por debajo de la superficie. El nivel freático no es horizontal sino que tiene una pendiente desde el nivel superior al inferior. La zona que se encuentra por encima y que no está saturada de agua se llama zona vadosa. En ella la circulación del agua es descendente por gravedad, ya que el movimiento principal es la infiltración. Si la presión del nivel freático es superior a la atmosférica el nivel del agua se llama piezométrico.

La descarga de aguas subterráneas en los ríos puede ser permanente o estacional, dependiendo de la altura de la capa freática dentro del acuífero. La capa freática se mide determinando la altura del agua en las perforaciones y en los pozos. Las precipitaciones rellenan el agua perdida o extraída del acuífero y así eleva el nivel de la capa freática. En periodos de sequias extremas el agua subterránea puede ser la única fuente de agua que alimente algunos ríos.

2.3.1 Clasificación de los acuíferos

Los acuíferos se clasifican como cautivos y libres. Un acuífero libre es uno que se recarga donde la roca porosa no está cubierta por un estrato impermeable de suelo o de otra roca. La capa no saturada de roca porosa está separada de la capa saturada de agua por una interface denominada capa freática. La capa no saturada es rica en oxígeno. Donde el acuífero está cubierto por una capa impermeable, el agua de la superficie no puede penetrar en la roca porosa (Gray, 1996) (Figura 1).

El agua subterránea en los acuíferos libres se origina principalmente por las precipitaciones y por eso es particularmente vulnerable a la presencia de los focos de contaminación atmosférica, proveniente principalmente de la industria (Gray, 1996).

Acuífero cautivo: no hay zonas no saturadas porque toda la roca porosa está saturada con agua ya que está por debajo del nivel de la capa freática y desde

luego no hay oxígeno (Gray, 1996). Debido a que los acuíferos cautivos están entre dos capas impermeables el agua generalmente esta bajo una considerable presión hidráulica, de forma que el agua alcanza la superficie por su propia presión a través de perforaciones y pozos, lo cual es conocido como pozos artesianos (Figura 1).

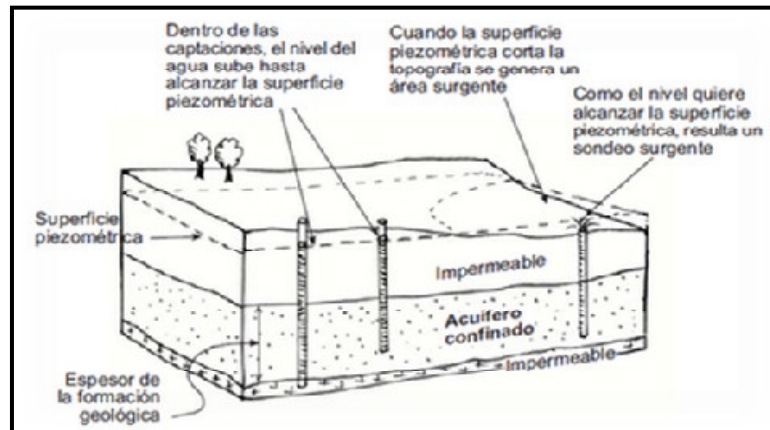


Fig 1. Esquema de acuífero libre y cautivo (Gray, 1996).

2.3.2 Ciclo hidrológico

El agua está en constante movimiento, dirigida por la energía solar. El sol provoca la evaporación de los océanos, lo cual forma las nubes y las precipitaciones (agua de lluvia). La evaporación también ocurre en los lagos, ríos y suelo, donde las plantas contribuyen con cantidades significativas de agua por evapotranspiración. Aunque alrededor del 80% de las precipitaciones vuelven a caer en los océanos, el resto cae sobre la tierra. Es esta agua la que rellena el suelo y las aguas subterráneas, alimenta las corrientes de los ríos, lagos y provee toda el agua necesaria para las plantas, animales y el humano (Figura 2).



Fig.2 Esquema del ciclo hidrogeológico (internet³)

El ciclo es continuo y así el agua es una fuente renovable. Las disponibilidades de agua dependen de las lluvias, esto quiere decir que cuando la cantidad de lluvia decrece el volumen de agua disponible en el suministro disminuirá.

La precipitación que se infiltra en el suelo y que percola lentamente dentro de la tierra se convertirá en agua subterránea, la cual se almacena en los sedimentos porosos y rocas. Las aguas subterráneas pueden permanecer en estas laminas porosas por periodos que van desde unos pocos días hasta millones de años. Finalmente el agua subterránea se traslada a la superficie por capilaridad ascendente natural, por las plantas, por la filtración del agua subterránea a los ríos superficiales, a lagos o directamente al mar, o por bombeo artificial desde pozos o perforaciones (Gray, 1996).

Los suministros de agua por tanto provienen de dos principales fuentes dentro del ciclo del agua: aguas superficiales y aguas subterráneas. Cada una de estas procedencias esta interrelacionada y cada una tiene sus propias ventajas y desventajas como fuentes de agua potable. Claramente como el agua se mueve a través del sistema de vías superficiales y subterráneas su calidad se altera, frecuentemente, así la calidad del agua que sale de la zona de captación será diferente del agua que ha caído en ella como precipitación (Gray, 1996).

2.3.3 Calidad

La calidad del agua subterránea depende de la naturaleza del agua de lluvia, así como de las aguas subterráneas existentes las cuales pueden tener una de decenas de miles de años, la naturaleza del suelo a través del cual el agua se infiltra y la naturaleza de la roca que forma el acuífero.

Ya que en general el agua está constituida por un gran número de iones tales como calcio, sodio, potasio y en menor cantidad hierro y manganeso. Todos estos son cationes que tienen cargas positivas, los cuales se encuentran en el agua con un anión (carga negativa) para formar compuestos denominados sales, los aniones mayoritarios son el carbonato bicarbonato, sulfato y cloruro (Gray, 1996)

2.3.4 Fuentes de contaminación

Existen varias causas potenciales del deterioro de la calidad de un acuífero y/o las fuentes de agua subterráneas. Estas se clasifican por génesis (Tabla 1).

Tabla 1. Fuentes de contaminación (Foster et al., 1997)

Tipo de problema	Causa subyacente	Contaminantes de interés
Contaminación del acuífero	Protección inadecuada de acuíferos vulnerables contra descargas y lixiviados provenientes de actividades urbanas/industriales e intensificación de cultivos agrícolas	Patógenos, nitrato o amonio, cloruro, sulfato, boro, arsénico, metales pesados, carbono orgánico disuelto, hidrocarburos aromáticos y halogenados, algunos pesticidas.
Contaminación de la cabecera del pozo	Construcción /diseño inadecuado del pozo que permite el ingreso directo del agua superficial o agua subterránea poco profunda contaminada	Principalmente patógenos
Intrusión Salina	Agua subterránea salada (a veces contaminada) inducida a fluir hacia acuíferos de agua dulce como resultado de una extracción excesiva	Principalmente cloruro de sodio, pero puede incluir además contaminantes persistentes provenientes de la acción del hombre
Contaminación que ocurre naturalmente	Relacionado con la evolución química del agua subterránea y la disolución de minerales (puede estar agravado por la contaminación atópica y/o la extracción excesiva	Principalmente hierro y flúor solubles, a veces sulfato de magnesio, arsénico, manganeso, selenio y otras especies inorgánicas.

Como consecuencia, las actividades humanas en la superficie pueden constituir una amenaza a la calidad del agua subterránea. La contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes sobre los subsuelos generados por descargas o lixiviados de actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras no es controlada adecuadamente, y en ciertos componentes excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo y estratos supra yacentes (Foster, 1997).

Los perfiles naturales del subsuelo ayudan a la autoeliminación de contaminantes durante el transporte subterráneo en la zona no saturada por resultado de la degradación bioquímica y de la reacción química; los procesos de retardo de contaminantes por fenómenos de adsorción son igualmente importantes, ya que aumentan el tiempo disponible para los procesos que conducen a su eliminación.

Sin embargo no todos los perfiles del subsuelo y estratos subyacentes son igualmente eficaces en la atenuación de contaminantes, lo cual causa que los acuíferos sean particularmente vulnerables a la contaminación cuando por ejemplo se encuentran rocas consolidadas altamente fisuradas (Foster, 1997).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de dos pozos y un manantial ubicados en la zona poniente del acuífero del Cuautla – Yautepec.

3.2 OBJETIVOS PARTICULARES

1. Determinar los parámetros bacteriológicos: Coliformes totales y Coliformes fecales
2. Determinar los parámetros fisicoquímicos: alcalinidad total y a la fenolftaleína, dureza total, de calcio y de magnesio, sulfatos, cloruros, turbiedad, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal, demanda bioquímica de oxígeno, detergentes, pH, temperatura y oxígeno disuelto.
3. Conocer la variación temporal de los parámetros analizados.
4. Conocer la variación espacial entre los pozos.
5. Comparar los resultados con la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

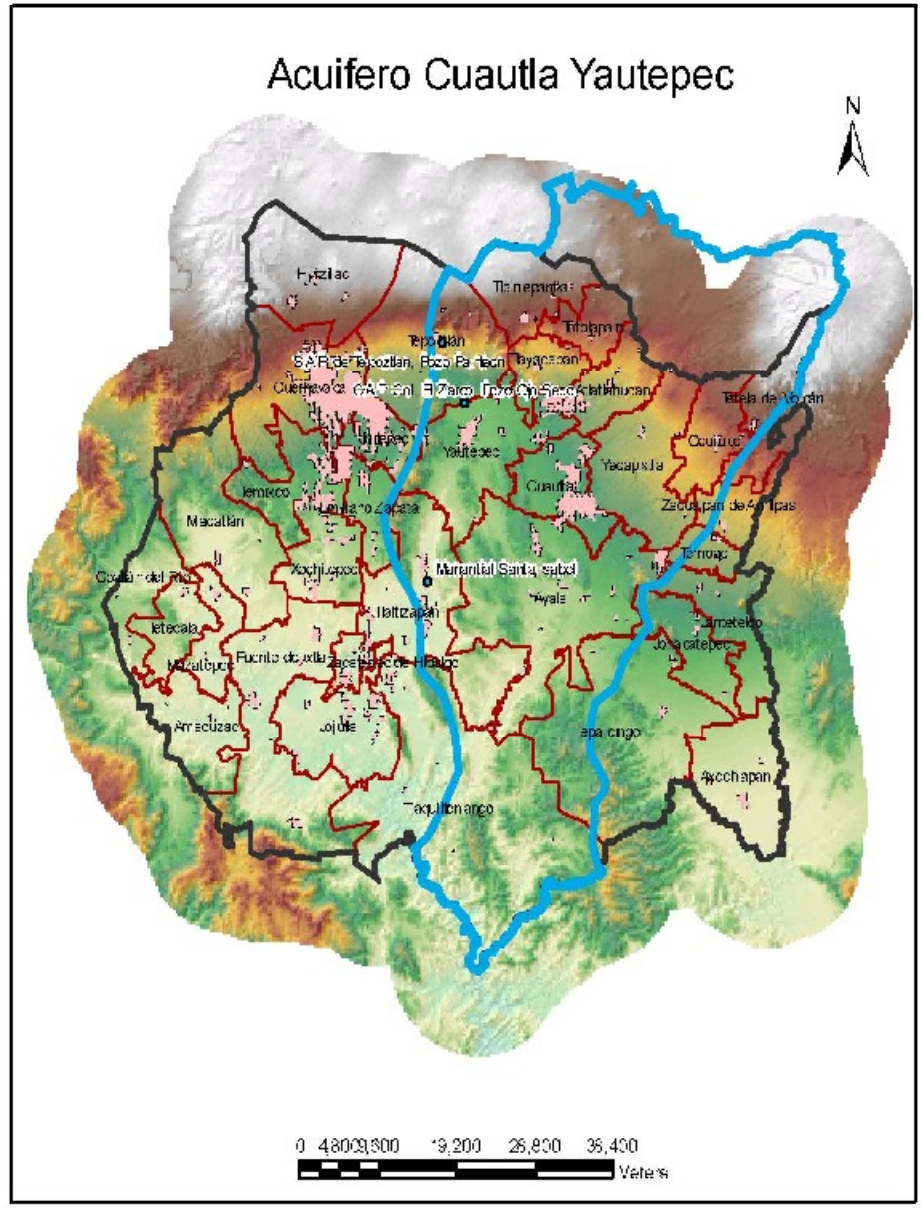
4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El acuífero Cuautla-Yautepec colinda en la porción Norte con la Cuenca Hidrológica del Valle de México, al Oeste con el acuífero Cuernavaca y Zacatepec, al Este con el acuífero de Tepalcingo-Axochiapan en el Estado de Morelos y al Sur con la cuenca del río Amacuzac, en el estado de Morelos y Guerrero. (CNA, 2002). El acuífero comprende a los municipios de Tlalnepantla, Totoloapan, Atlatlahuacan, Tlayacapan, Ocuitico, Tetela del Volcán, Yecapixtla, Yautepec, Cuautla, Ayala y parcialmente a los municipios de Tepoztlán Tlaltizapan y Tlaquiltenango. En la actualidad se extrae un volumen anual de 281 hm³/año de los cuales 216 hm³/año provienen de la descarga natural de manantiales, mientras que el restante 65 hm³/año se extraen de pozos profundos y norias a través de bombeo (Internet⁴) (Figura 3).

El 60.8% del agua extraída por pozos profundos y norias del acuífero de Cuautla- Yautepec se destina para uso público urbano, mientras que el 27.2 % se destina para uso agrícola y el resto de la extracción del agua es para uso industrial 3.4%, servicios 2.3 %, y doméstico 1.2 %. De la descarga natural de manantiales, se utiliza el 97.7% del agua para uso agrícola, mientras que el restante 1.4 % es para uso público urbano y el 0.7 % para uso de servicios (Internet⁴).

En general, del total de aguas subterráneas utilizada en el acuífero de Cuautla –Yautepec, el 81.6% se destina para uso agrícola, el 15.1 % para uso público urbano, el 1.9 % al uso industrial y el 1.1 % al uso de servicios (Internet⁴).

Desde el punto de vista técnico, la distribución del agua subterránea en este acuífero, presenta condiciones muy complejas, determinadas por aspectos geológicos y geomorfológicos, dando lugar a la presencia de sistemas acuíferos con características, funcionamiento e interconexión variada, en donde la explotación de las aguas del subsuelo es difícil debido a la errática distribución de su permeabilidad y potencialidad, lo que se traduce en captaciones de rendimiento desigual e impredecible (CNA, 2002).



Leyenda		Modulo digital de elevación	Fuente
Pisos	Acuíferos	Valor	Subgerencia de información geográfica de agua
Estado de Morelos	Municipios	High: 8378	Elaboro
Municipios	Municipios	Low: 655201	Liliane Chavez Santander Janina Rodríguez Salas

Figura 3. Localización del acuífero Cuautla- Yautepec

4.1 ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS

La agricultura es de temporal, y la caña de azúcar es el principal cultivo, además de varias siembras como el maíz, frijol, jitomate, arroz, pepino, cacahuate, sorgo, cebolla, algodón, y chile que riegan con los manantiales de la región.

El turismo es otra de las fuentes de ingresos con la que cuenta el área, esto se debe a que cuenta con bellos paisajes naturales, de recreo bosques y praderas, balnearios como Oaxtepec, Cocoyoc y agua hedionda, así como los sitios arqueológicos y diseños coloniales.

Se explotan minerales no metálicos como caliza y otros materiales para construcción, que incluyen rocas de diferentes clases y agregados para el concreto y revestimiento de carreteras.

La ganadería constituye una de las fuentes de ingresos en algunos poblados.

4.2 HIDROLOGÍA

La presencia del agua en estado de Morelos es el resultado de la interacción de varios factores, entre los que destacan la precipitación pluvial, el arreglo geológico, los aspectos geomorfológicos, las condiciones geohidrológicas, la cobertura vegetal, el uso y manejo del suelo, así como de aspectos generados por el aprovechamiento, uso y abuso de las aguas nacionales, utilizadas en el abastecimiento a centros de población y áreas productivas (Internet⁴).

Las aguas subterráneas que recorren la cuenca, consisten en corrientes intermitentes o perenes, algunas importantes como la el río Yautepec y Cuautla, que nacen en los manantiales de Oaxtepec y recibe los derrames de aguas corrientes como la de Tlayacapan y la de Totolapan (Internet⁴).

En su descenso se le unen otros manantiales como el de Oaxtepec, Itzamatlán, Temilpa, La taza y las estacas, para aumentar así finalmente su caudal (CNA 2002)

El río Cuautla también llamado Chinameca, tiene su origen en la gran cantidad de pequeños afluentes que corren por la sierra de Chichinautzin en la parte Nororiental del Estado, sigue su cauce en dirección al sur tomando las aguas

de los Manantiales el Almeal, Agua Hedionda y otros para desembocar finalmente en el Amacuzac (CNA 2002)

Los principales usuarios de las aguas superficiales en el estado de Morelos son los agricultores con el 96.6 %, el uso público urbano ocupa el 2.70 % a través de tomas directas de las corrientes y principalmente de los manantiales y el uso industrial aprovecha sólo el 0.70 por ciento.

La infraestructura hidroagrícola del Estado presenta considerables deterioros en su estado físico, ocasionado por el escaso mantenimiento que ha tenido a lo largo de su historia productiva, el estado actual de la infraestructura ocasiona bajas eficiencias de conducción, lo que se traduce en una pérdida de aproximadamente del 50 % del agua destinada al riego.

4.3 FISIOGRAFIA

Los valles de Cuautla y Yauhtepec se localizan en las provincias fisiográficas del eje neovolcánico y de la sierra madre del sur (CNA 2002)

4.4 CLIMA

En particular en el acuífero Cuautla- Yauhtepec se tiene clima templado en la parte norte de la sierra y en la ladera esta, semicálido en el Piamonte y cálido en la parte baja de los valles.

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García, el clima que predomina en el acuífero es el cálido subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 20°C.

Los tipos de climas que se definen en el acuífero Cuautla-Yauhtepec forman cinturones climáticos con orientación de Oeste a Este, los cuales van graduando conforme se desciende de las partes altas del norte hacia el sur, teniendo poca variación a lo largo del año (CNA, 2002).

De acuerdo a la elevación en la que se encuentran los pozos se puede decir que tiene un clima semicálido con temperaturas que fluctúan entre 18 y 22°C ya que se encuentran a altitudes entre los 1400 y 2000 msnm. Y clima cálido

con temperaturas mayores a los 22°C que se encuentra a altitudes menores de los 1400 msnm.

4.5 PRECIPITACIÓN

El acuífero recibe una precipitación media anual promedio de 1, 003 mm. Las temporadas de lluvia abarca los meses de mayo a octubre, siendo junio y agosto los meses más lluviosos con 220 y 260 mm; el estiaje comprende los meses de noviembre a abril durante la cual la precipitación media anual es menor a 10 mm (CNA, 2002).

4.6 EVAPORACIÓN POTENCIAL MEDIA ANUAL

La evaporación media anual presenta una graduación en la que los meses con mayor evapotranspiración se ubica en los meses de estiaje (marzo-junio), mientras que en la época de lluvias varia (CNA, 2002).

4.7 ESTRATIGRAFIA

El tipo de acuífero presente en la zona de estudio es un acuífero libre, se ubica en formaciones Tlayecac, depósitos clásticos continentales y Chichinautzin, las dos primeras de regular permeabilidad y de tipo granular mientras que la tercera de alta permeabilidad y de tipo fracturado. Sobre estos materiales se encuentran las obras que explotan las aguas subterráneas mediante pozos profundos y norias en el estado de Morelos. Este tipo de acuífero tiene además importantes descargas mediante manantiales (CNA, 2002).

Está presente la formación Tlayecac (Tptl); esta formación está constituida por materiales volcánicos de diferente constitución que se ubican al pie de monte del volcán Popocatepetl, dada su composición y distribución es muy similar a la formación Cuernavaca, la diferencia es la presencia de fragmentos volcánicos de diferente composición (andesita, basalto, riolacita).

Formación Chichinautzin: la formación está constituida de coladas lávicas, estratos de tobas, brechas y materiales piroclásticos estratificados de composición andesítica y basáltica (CNA, 2002).

En el estado de Morelos se presentan tres tipos de unidades geohidrológicas, cada una está constituida por varios tipos de roca, que se caracterizan en mayor o menor grado para almacenar conducir y ceder agua subterránea; el tipo de acuífero que se va estudiar se encuentra en la primera unidad geohidrológica, ya que está definido como un acuífero libre, en donde se ubican las formaciones de Tlayecac, depósitos Clásticos Continentales y Chichinautzin. De las que ya se mencionaron sus características en la parte anterior del acuífero (CNA, 2002).

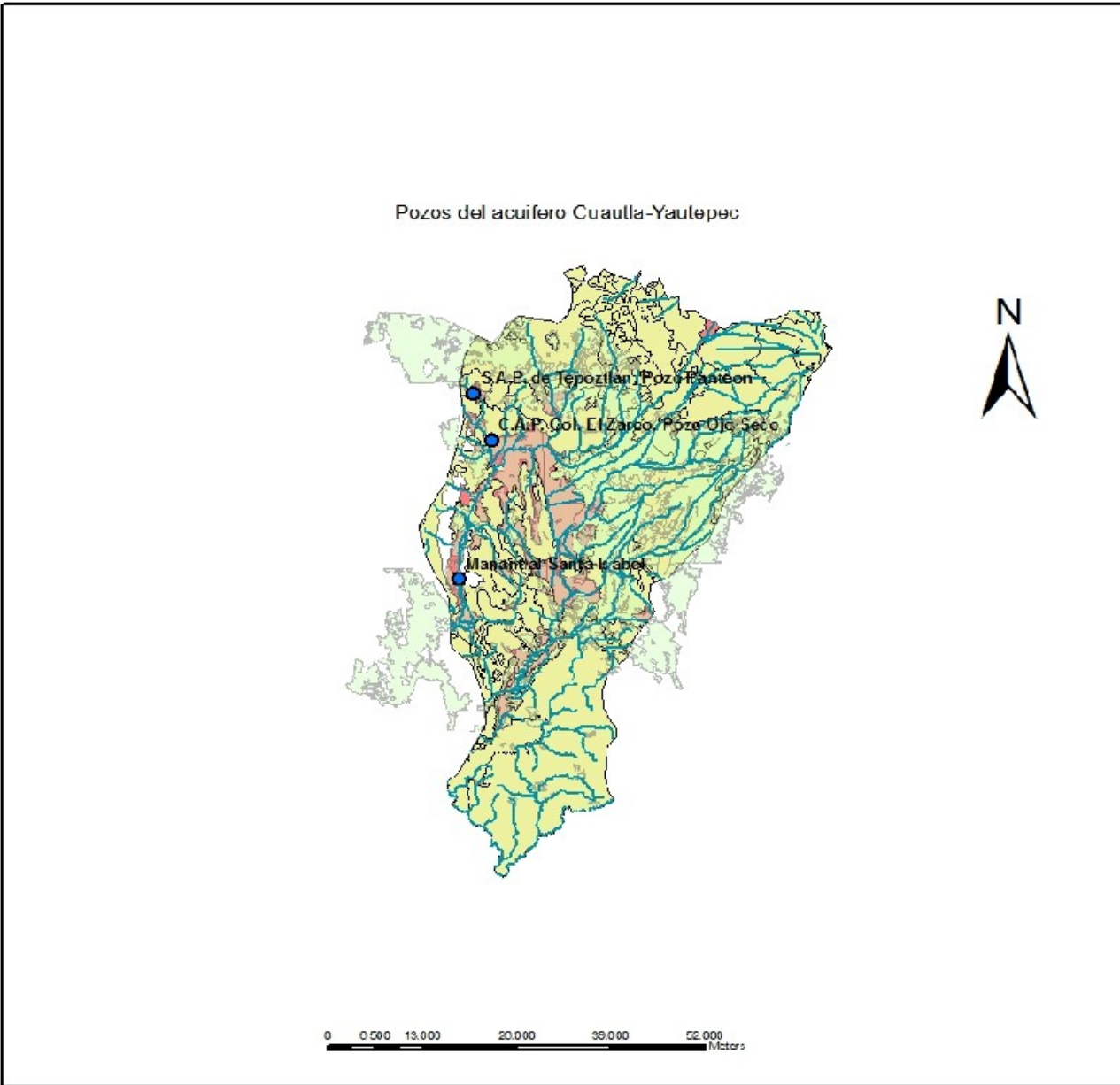
5. MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestreó mensualmente dos pozos y un manantial en la zona poniente del acuífero de Cuautla –Yautepec durante un año (Figura 4).

Los pozos analizados en la zona poniente del acuífero de Cuautla- Yautepec se presentan en las figuras 5, 6 y 7.

In situ se determinó en cada pozo el OD, pH y temperatura y se tomaron muestras, una en bolsa estéril para las determinaciones bacteriológicas y dos muestras en botellas de 1.5 litros, de los cuales una se acidificó y se mantuvo en hielo y la otra solo se mantuvo en hielo (Figura 8).

Todas las muestras se trasladaron en hielo al laboratorio en donde se realizaron los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos de acuerdo a las técnicas indicadas en la tabla 3 (APHA-AWWA-WEF, 1998).



<p>Leyenda</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Pozos — Ríos vegetación_acuífero Geología <all other values> CLAVE KI(oz) LI(al) 	<p>Fuente</p> <p>Subgerencia de información Geográfica del Agua</p>	<p>Elaboro</p> <p>Iania Rodríguez Salas</p>
<p>CONAGUA Comisión Nacional del Agua</p>		

Figura 4: Localización de los dos pozos y el Manantial en el acuífero Cuautla-yautepec.



Fig 5. Pozo Panteón



Fig 6. Pozo Zarco



Fig. 7 Manantial



Fig. 8 Determinación del Oxígeno disuelto

Tabla 3. Técnica analítica para cada parámetro

PARÁMETRO	TÉCNICA
pH	Potenciométrica
Temperatura	Instrumento
Oxígeno disuelto	Winkler modificado
Conductividad	Conductímetro
Sólidos disueltos	Gravimétrico
Sólidos suspendidos	Gravimétrico
Alcalinidad total	Titulación con indicador
Nitrógeno amoniacal	Nesslerización
Nitratos	Brucina
Nitritos	Diazotización
Cloruros	Argentométrico
Sulfatos	Turbidimétrico
Dureza total	Titulación con EDTA
Dureza de calcio	Titulación con EDTA
Turbiedad	Turbidímetro
DBO ₅	Dilución
Detergentes	Azul de metileno
Coliformes totales	Filtro de membrana
Coliformes fecales	Filtro de membrana

* Las técnicas son de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas y

APHA, 1998.

2.4 PARAMETROS BACTERIOLÓGICOS

La presencia de coliformes totales y fecales es un importante indicador de contaminación ya que su sola presencia indica contaminación y además la posible presencia de bacterias patógenas; por lo tanto la ingestión de agua contaminada por coliformes incrementa el riesgo de contraer enfermedades.

Dentro de los coliformes totales se pueden distinguir dos tipos, por un lado están los coliformes fecales que provienen del tracto intestinal de los animales de sangre caliente y que serían los mejores indicadores de afecciones humanas, por otro lado se encuentran los coliformes totales que además de provenir del tracto intestinal de los animales de sangre caliente, también un número menor pueden ser residentes naturales del suelo.

Coliformes totales

Comprende un grupo de bacterias constituido por bacilos gram negativos, aerobios y anaerobios facultativos, no formadores de esporas, oxidasa negativa, capaz de crecer en sales biliares y otros compuestos activos de superficie, con propiedades similares de inhibición de crecimiento y que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 35.5°C de 24 a 48 horas (Monroy, 2007).

Coliformes fecales

Comprende un grupo de bacterias constituido por bacilos gram negativos, aerobios y anaerobios facultativos, no formadores de esporas, oxidasa negativa, capaces de crecer en presencia de sales biliares y otros compuestos activos de superficie, con propiedades similares de inhibición de crecimiento y que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 35.5°C y 44.5°C de 24 a 48 horas (Monroy, 2007).

2.5 PARAMETROS FISICOQUIMICOS

Para la determinación de la calidad del agua es necesario realizar algunos parámetros físicos y químicos.

Parámetros físicos

Temperatura

La determinación exacta de la temperatura es importante puesto que el grado de saturación de OD, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura; (Jairo, 1999). Así como existe una estrecha relación con la conductividad, al aumentar la temperatura, aumenta la conductividad, la velocidad de las reacciones y la solubilidad de oxígeno disuelto disminuye (Robles *et al.*, 2004).

Para agua potable es deseable que el agua sea fresca y no tener variaciones en la temperatura, la mayoría de los individuos encuentran apetecibles las que tienen una temperatura de 10 a 15°C. (Jiménez, 2001). Para obtener buenos resultados la temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo (Jairo, 1999).

Turbiedad

Es una propiedad que ayuda a cuantificar la cantidad de luz que atraviesa una columna de agua con partículas orgánicas e inorgánicas dispersas que pueden contener microorganismos, por tanto las condiciones de turbidez incrementan la posibilidad de una enfermedad de transmisión hídrica. La dispersión de la luz se incrementa con la carga de partículas en suspensión. La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT)

La velocidad del flujo de agua es el factor que determina en mayor grado la composición de la carga en suspensión. Los sólidos en suspensión se transportan en las corrientes, suelen ser sedimentos como limo, arcilla o materia orgánica e inorgánica. La turbidez es casi siempre el resultado de la erosión de

material coloidal muy pequeño, incluyendo fragmentos de roca, limo, arcilla y óxidos metálicos del suelo. Es importante analizar este parámetro en la calidad de agua para consumo humano ya que se percibe la transparencia (Jairo, 2009).

Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. La forma mas usual de medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 25°C con un error menor del 1% (Jairo.1999)

Sólidos disueltos

Se define como sólidos la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103°C (Jairo, 1999). El contenido de sólidos disueltos se encuentra una relación con el contenido de sales disueltas (Robles *et al.*, 2004). Es importante realizar el análisis ya que si existe una gran cantidad de sólidos disueltos, se reducirá la solubilidad del oxígeno y contribuirán a la contaminación (Robles *et al.*, 2004).

pH

Es la intensidad de acidez o de alcalinidad de una muestra; se mide en la escala de pH, que mide la cantidad de iones hidrogeno presentes. En las aguas subterráneas, el pH juega un papel importante en el equilibrio carbónico y proceso redox (Jiménez, 2001).

El pH del agua se asocia con la corrosividad, dureza, acidez, cloración, coagulación, estabilidad del dióxido de carbono y alcalinidad (Jairo, 1999).

El pH ácido implica que algunas sustancias (principalmente iones metálicos como Cu, Pb, Zn y Cd) puedan entrar al agua ya tratada. La ingesta de metales

pesados puede ser un peligro para la salud humana. El pH tiene valores máximos y mínimos admisibles, que para el agua potable están entre 6.5 y 8.5.

Parámetros químicos

Alcalinidad total

Es la medida de la capacidad del agua para absorber iones hidrogeno sin cambio significativo del pH. Dicho simplemente la alcalinidad es una medida de la capacidad tamponadora del agua, y por tanto, una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Los constituyentes químicos principales de la alcalinidad en las aguas naturales son, bicarbonatos, carbonato e iones hidróxido. Estos componentes son mayoritariamente carbonatos y bicarbonatos de sodio, potasio, magnesio y calcio. Estos constituyentes se originan a partir del dióxido de carbono (de la atmósfera y como subproducto de la descomposición microbiana de la materia orgánica) y de los minerales en origen (principalmente compuestos químicos disueltos de rocas y suelos) (Spellman, 1998).

Dureza total

La dureza del agua se define como la suma de los cationes polivalentes disueltos en el agua. Los cationes más frecuentes son calcio y magnesio, aunque hierro, estroncio y manganeso pueden contribuir también. La dureza se registra normalmente como una cantidad equivalente de carbonato de calcio. Las aguas suelen clasificarse de acuerdo con el grado de dureza como sigue:

Tabla 2. Clasificación de la dureza del Agua

<i>Agua Suave</i>	<i>1 – 60</i>
<i>Moderadamente dura</i>	<i>61 – 120</i>
<i>Dura</i>	<i>121 – 180</i>
<i>Muy Dura</i>	<i>> 180</i>

Fuente: SARH, 1978, citado por Robles *et al.*, 2004.

Las aguas que discurren sobre calizas son propensas a ser duras porque la lluvia (naturalmente ácida debido a su contenido en dióxido de carbono) disuelve la roca y se lleva los cationes disueltos al sistema acuático (Jairo, 1999).

La dureza total = dureza por Ca+ dureza por Mg

Con los datos de la alcalinidad total y la dureza total, se puede calcular la dureza temporal o carbonatada y la no carbonatada.

La dureza carbonatada o temporal es aquella que desaparece cuando se hierve el agua, es decir que puede precipitarse mediante ebullición prolongada. Esto se produce porque los bicarbonatos sirven como fuentes de iones carbonato para precipitar Ca^{++} como CaCO_3 a temperaturas elevadas. La dureza carbonatada está dada principalmente por carbonatos y bicarbonatos. Se calcula de acuerdo a lo siguiente:

Si la alcalinidad total es mayor a la dureza total, la dureza carbonatada es igual a la dureza total. Pero si la alcalinidad total es menor a la dureza total, la dureza carbonatada es igual a la alcalinidad total.

La dureza no carbonatada corresponde principalmente a sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y de magnesio. La dureza de no carbonatos, sobre todo cuando el anión es el sulfato, puede dar como resultado la formación de escamas duras en las calderas y otras partes del equipo de intercambio de calor. Este tipo de dureza es más costosa y difícil de eliminar. Se calcula restando la dureza total menos la carbonatada (Romero, 1999., Robles, *et al.*, 2004).

Cloruros

El ion cloruro es una de las especies de cloro de importancia en aguas ya que aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente. Los cloruros logran acceso a las aguas naturales en muchas

formas: el poder disolvente del agua introduce cloruros de la capa vegetal y de las formaciones más profundas.

Los cloruros en concentraciones razonables no son peligrosos para la salud y son un elemento esencial para las plantas y los animales. En concentraciones por encima de 250 mg/L produce un sabor salado en el agua, el cual es rechazado por el consumidor; para consumo humano el contenido de cloruros se limita a 250 mg/L (Martínez, 1998)

Sulfatos

El ion sulfato es uno de los aniones más comunes en las aguas naturales, se encuentra en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg/L. Como los sulfatos de sodio y de magnesio tienen un efecto purgante, especialmente entre los niños, se recomienda un límite superior en aguas potables de 250 mg/L de sulfatos. El contenido de sulfatos es también importante porque las aguas con alto contenido de sulfatos tienden a formar incrustaciones en las calderas y en los intercambiadores de calor. En los sistemas de drenaje, cuando se tienen tiempos de retención largos, temperaturas elevadas y concentraciones significativas de sulfatos, ocurren problemas de corrosión (Robles, *et al.*, 2004).

Nitrógeno amoniacal

El nitrógeno amoniacal está presente en forma natural en aguas superficiales, profundas y de desecho. Se produce por la desnitrificación de compuestos que contienen nitrógeno orgánico y por la hidrólisis de la urea. También puede producirse por la reducción de los nitratos en condiciones anaerobias, por bacterias autótrofas nitrificantes del grupo de las nitrosomonas. Las concentraciones de amoniaco encontradas en aguas limpias y aguas de desechos varían desde cantidades menores de 10 µg N/L en las primeras, hasta más de 30 mg N/L en las (APHA, 1998). Bajas concentraciones de nitrógeno amoniacal están relacionadas con agua potable, corrientes de aguas limpias y aguas subterráneas de buena calidad (APHA, 1998).

Nitratos

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). Las principales fuentes de nitratos en agua potable incluyen fertilizantes y aguas residuales. La toxicidad de los nitratos en los humanos se debe a la reducción de los nitratos en nitritos, en cantidades excesivas provoca metahemoglobina infantil, hipertensión, malformaciones fetales y cáncer gástrico, ya que altas concentraciones de nitratos junto con trazas de pesticidas en el agua potable pueden formar nitrosaminas, las cuales son carcinogénicas y mutagénicas para prevenir esto se ha puesto un límite de 10 mg/L de nitratos en aguas potables (Robles, *et al.*, 2004).

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto depende de la temperatura, altitud, salinidad, disminuye al aumentar la salinidad, la temperatura y a la altitud con respecto al nivel del mar (7% cada 60 m). En la ciudad de México (2230 msnm) se tiene como concentración de saturación 7.2 mg/L O₂ a 20° C; a nivel del mar es de 9 mg/L (Rubio, 2007)

El oxígeno disuelto puede consumirse en procesos de oxidación de materia orgánica en la parte superior de la zona no saturada de un acuífero, sin embargo el contenido de oxígeno disuelto en aguas subterráneas profundas puede llegar a valores de saturación de 13.3 mg/L a 10°C y 7.6 mg/L a 30°C. Sin embargo las aguas anóxicas son frecuentes (Martínez, 1998).

Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno precisa para eliminar, la materia orgánica contenida en agua, por procesos biológicos aerobios. Suele referirse a un periodo de cinco días. En aguas subterráneas la DBO₅, suele ser inferior a 1 mg/L de O₂ (Jiménez, 2001).

Detergentes

Las sustancias activas al azul de metileno o detergentes son sustancias que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial de un líquido, causan daño a los vegetales acuáticos inhibiendo la fotosíntesis originando la muerte del fitoplancton, actúa sobre ciertos peces, produciéndole lesiones en las branquias, la dosis de toxicidad depende del tipo de detergente, el tamaño de la especie y otros factores físicos del medio ambiente.

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).

2.6 NORMATIVIDAD

Las Normas Oficiales Mexicanas son un conjunto de reglas emitidas por la federación que establecen requisitos y especificaciones.

La norma NOM-127-SSA1-1994, establece los límites permisibles de calidad del agua que sea destinada para uso y consumo humano (SSA, 2000).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Para determinar la calidad del agua de la parte oriente del acuífero de Cuautla-Yautepec es necesario considerar los resultados que expresaron los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos, así como la variación temporal y espacial que presentaron.

Con los resultados obtenidos mensualmente en cada punto de muestreo, se calculó la media, mediana, desviación estándar, coeficiente de variación y los valores mínimos y máximos. La media de cada parámetro se comparó con los límites máximos permisibles de la Norma Mexicana (NOM-127) para agua potable (SSA, 2002).

Comportamiento de los Coliformes totales y fecales

Los resultados de los parámetros bacteriológicos se transformaron para fines estadísticos por la ecuación: $\sqrt{0.5 + \text{valor}}$ y se les aplicó un análisis descriptivo (media, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo, coeficiente de variación y mediana) para comparar la variación espacial y temporal.

Los resultados del análisis descriptivo para Coliformes fecales se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Análisis descriptivo de los Coliformes fecales

	Manantial Sta. Isabel UFC	Pozo Panteón UFC	Pozo Zarco UFC
Media	11.10	63.05	0.88
Desv. Estándar	1.95	3.79	2.26
Coeficiente de variación	47.09	46.56	97.21
Valor mínimo	0	25	0
Valor máximo	72	200	55
Mediana	15	47.5	0

El pozo Panteón presentó mayor cantidad de coliformes fecales (63.05 ufc/100ml) seguido del Manantial (11.10 ufc/100ml) y por último el pozo Zarco (0.88 ufc/100ml). Esto puede deberse a que el pozo Panteón, se encuentra construido en una zona muy vulnerable a la contaminación favoreciendo la infiltración de las bacterias, también este pozo se encuentra en una zona en donde no hay un sistema de drenaje, utilizando fosas sépticas para eliminar sus desechos. El problema que tienen los sistemas de eliminación de los residuos domésticos tal como las fosas sépticas es que, la mayoría de residuos que entran en el suelo cada año no están tratados apropiadamente, debidos a que su construcción no es la adecuada, o no hay un buen mantenimiento por lo tanto no todos estos sistemas funcionan adecuadamente.

En el caso del Manantial que también presentó valores altos de coliformes totales se puede deber a que al ser un manantial la contaminación es directa; ya que son cuerpos de agua con mayor contacto con la atmosfera (Custodio, 1975).

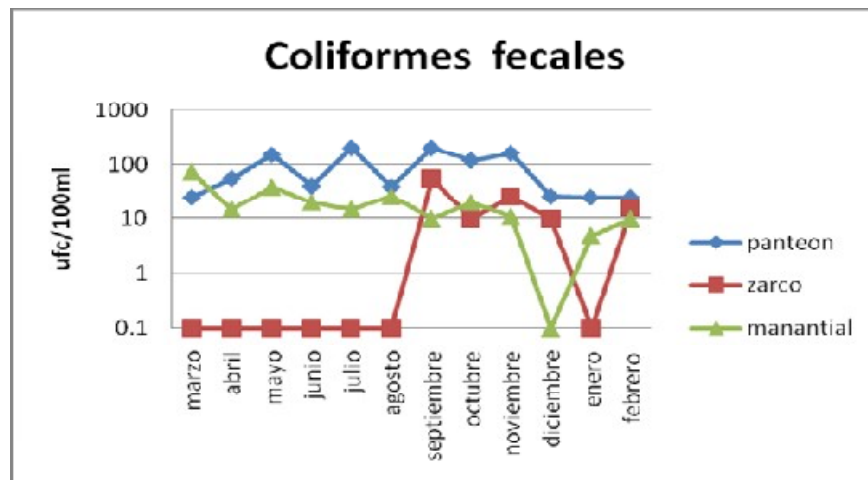


Figura 9. Comportamiento espacial y temporal de los coliformes fecales

En la figura 9, se puede observar que en los meses de julio y septiembre se presenta la mayor cantidad de coliformes fecales, esto se debe a la temporada de lluvia lo cual concuerda con (Cifuentes *et al.*, 2002) en la cual corroboraron contaminación fecal en época de lluvias, percibiendo un color y sabor diferente en el agua, lo cual causa enfermedades entéricas (Cifuentes *et al.*, 2002). Las bacterias asociadas a las coliformes fecales pueden causar enfermedades importantes en el hombre como diarrea, disentería, cólera y fiebre tifoidea. Algunas de estas bacterias también pueden infectar heridas abiertas (Spellman, 2000). Comparando las medias, valores máximos y mínimos de Coliformes fecales con la norma oficial tenemos que los dos pozos y el manantial presentan contaminación.

Tabla 5. Comparación de Coliformes fecales con la NOM-127-SSA1-1994

	Manantial	Pozo Panteón	Pozo Zarco	Lím max
Media	11.10	63.05	0.88	Ausencia o no detectables 0 UFC/100 ml
Valor máx	72	200	55	
Valor mín	0	25	0	

Comportamiento de los Coliformes totales

Los resultados del análisis descriptivo para Coliformes totales se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Análisis descriptivo de los Coliformes totales

	Manantial Sta. Isabel UFC	Pozo Panteón UFC	Pozo Zarco UFC
Media	33.62	123.51	2.22
Desv. Estándar	3.94	3.90	3.34
Coefficiente de variación	58.08	33.22	94.08
Valor mínimo	8	40	0
Valor máximo	200	400	90
Mediana	23	129	5.5

Al igual que sucedió con los coliformes fecales el pozo Panteón presentó mayor cantidad de coliformes totales (123.511 ufc/100ml) seguido del Manantial (33.62 ufc/100ml) y por último el pozo Zarco (2.22 ufc/ml). Como ya se había mencionado anteriormente esto puede deberse a que el pozo Panteón se encuentra construido en una zona muy cercana al panteón lo cual trae consecuencias de contaminación por coliformes totales.

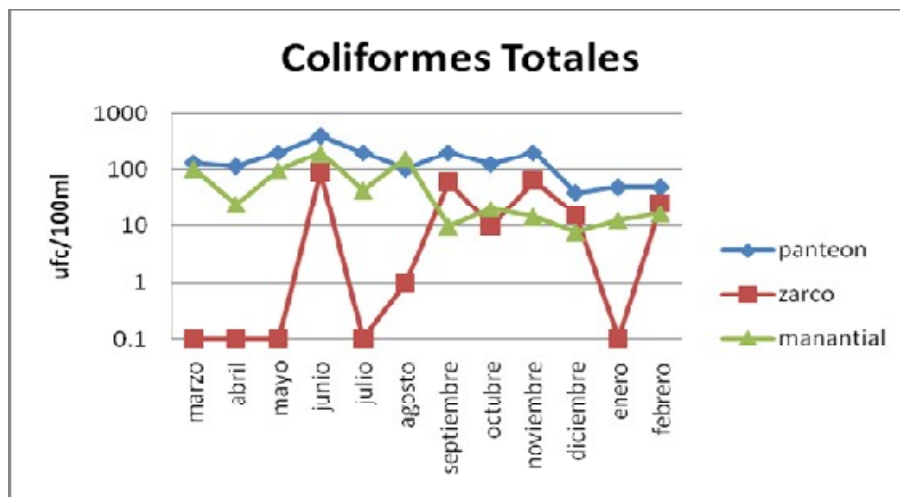


Figura 10. Comportamiento espacial y temporal de los coliformes totales

En la figura 10 podemos observar que los dos pozos y el manantial presentaron la mayor concentración de coliformes totales en el mes de junio, Panteón con 400 ufc/100 ml, el Zarco 90 ufc/100 ml y por último el Manantial con 200 ufc/100 ml, esto se debe a que es temporada de lluvias por lo tanto el lixiviado es mayor provocando una contaminación puntual. En los meses de diciembre, enero y febrero el pozo Panteón, presenta menor cantidad de coliformes totales y este se puede deber a que es la época de estiaje.

Comparando las medias, valores máximos y mínimos de Coliformes totales con la norma oficial tenemos que los dos pozos y el manantial presentan contaminación.

Tabla 7. Comparación de Coliformes totales con la NOM-127-SSA1-1994

	Manantial	Pozo Panteón	Pozo Zarco	Lím max
Media	33.62	123.51	2.22	Ausencia o no detectables 0 UFC/100 ml
Valor máx	200	400	90	
Valor mín	0	40	0	

Comportamiento de los sólidos disueltos

Los resultados del análisis descriptivo para los sólidos disueltos se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Análisis descriptivo de los sólidos disueltos

	Manantial Sta. Isabel mg/L	Pozo Panteón mg/L	Pozo Zarco mg/L
Media	842.5	381.3	447.8
Desv. Estándar	72.3	49.1	74.9
Coefficiente de variación	8.59	12.88	16.72
Valor mínimo	670	315	312
Valor máximo	912.5	467	580
Mediana	867.5	375	452.5

La mayor concentración de sólidos disueltos, la presentó el Manantial (media de 842.9 mg/L) (tabla 8), esto puede deberse al tipo de formación en el que se encuentra, ya que está constituido principalmente de calizas, y estas ceden iones al agua, por lo tanto se puede encontrar mayor cantidad de sólidos disueltos; por otro lado, se encuentra en la cuenca baja, por lo cual el agua ya lleva una gran trayectoria disolviendo las rocas; en el caso de los pozos (Panteón y Zarco) las concentraciones de sólidos disueltos son bajas (381.3 y 447.8 mg/L respectivamente) ya que se encuentran en la parte del acuífero que se encuentra sobre rocas ígneas y estas rocas difícilmente ceden iones al agua.

Respecto a la variación temporal se puede apreciar en la figura 11 que el manantial presentó el valor más bajo en agosto y en general los más altos en temporada de calor, esto pudo deberse a que en agosto es época de lluvias; ocurriendo el factor de dilución disminuyendo la concentración de sólidos disueltos mientras que en secas la concentración se elevó.

En los pozos el valor más alto se presentó en marzo y bajaron en enero.

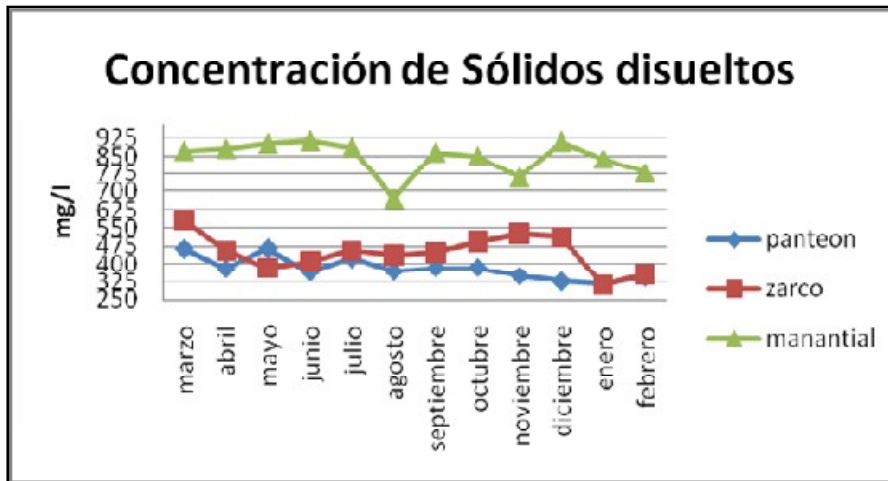


Fig. 11 Concentración de Sólidos disueltos

Comparando las medias, valores máximos y mínimos de los sólidos disueltos con la norma oficial tenemos que los valores se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles, aunque el manantial presentó la media y el valor máximo muy cercanos al límite (tabla 9).

Tabla 9. Comparación de los sólidos disueltos con la NOM-127-SSA1-1994

	Manantial	Pozo Panteón	Pozo Zarco	Lím max
Media	842.5	381.3	447.8	1000 mg/L
Valor máx	912.5	467	580	
Valor mín	670	315	312	

Comportamiento de la Alcalinidad total y Dureza total

Los resultados del análisis descriptivo para alcalinidad total y dureza total se presentan en las tablas 10 y 11

Tabla 10. Análisis descriptivo de la dureza total

	Manantial Sta. Isabel mg/L	Pozo Panteón mg/L	Pozo Zarco mg/L
Media	468.2	211.35	300.7
Desv. Estándar	104.8	20.20	60.8
Coefficiente de variación	22.38	9.56	20.23
Valor mínimo	345	172	216
Valor máximo	633	240	424
Mediana	261.7	117.40	139.30

Tabla 11. Análisis descriptivo de la alcalinidad total

	Manantial Sta. Isabel mg/L	Pozo Panteón mg/L	Pozo Zarco mg/L
Media	249.3	111.28	134.05
Desv. Estándar	46.2	20.87	66.60
Coefficiente de variación	18.52	18.75	17.72
Valor mínimo	159.4	66.60	99.60
Valor máximo	297.7	135.30	167
Mediana	261.7	117.40	139.30

El Manantial presento mayor dureza (media 468.16 mg/L) y alcalinidad (media 249.29 mg/L) que el pozo Zarco con una dureza total de 134.05 mg/L y alcalinidad total de 134.05 mg/L. Mientras que el pozo Panteón tuvo una dureza de 211.3475 mg/L y alcalinidad de 111.28 mg/L, esto puede deberse a que el Manantial se encuentra en la cuenca baja, lo cual trae consigo mucho arrastre de sales; y concuerda con que además se encuentra sobre calizas, al ser el

agua arrastrada desde la cuenca alta y desembocar en el Manantial trae consigo una concentración de sales disueltas (CNA, 1996).

Con los datos de alcalinidad y dureza se pudo observar que la media de la dureza total de los pozos Panteón, Zarco y Manantial (211.35, 300.7 y 468.2 mg/L respectivamente), es mayor que la media de la alcalinidad total de los pozos Panteón, Zarco y Manantial (111.28, 134.05 y 249.3 mg/L respectivamente) lo cual quiere decir que la dureza carbonatada es igual a la alcalinidad, y la dureza no carbonatada es igual a la diferencia de la dureza total y la carbonatada (Robles, 2004). De acuerdo a esto se determinó que las durezas carbonatada y no carbonatada estuvieron muy parecidas, predominando ligeramente más en el pozo Panteón y en el Manantial la carbonatada; en pozo Zarco predominó la no carbonatada (tabla 10).

La dureza carbonatada es aquella debido a carbonatos y bicarbonatos, este tipo de dureza conocida también como temporal es una dureza que se puede eliminar por ebullición del agua, mientras que la dureza no carbonatada es debida a sulfatos, cloruros y nitratos entre otros y por lo mismo requiere de tratamientos más complicados para su eliminación (Romero, 1999).

La dureza no carbonatada presente en los pozos y el manantial puede deberse a las altas concentraciones de sulfatos que se encontraron (tabla 19). Las altas concentraciones de sulfatos favorecen la corrosión de metales, lo que afecta al ser humano desde un punto económico y de salud.

Referente a la clasificación del agua según su dureza total (tabla 12), tenemos que los dos pozos y el manantial presentan agua de tipo muy dura ya que tuvieron valores mayores a 180 mg/L. Lo cual puede significar que el agua contiene sales incrustantes, dificultando la cocción de legumbres e impidiendo la formación de espuma del jabón (Rubio, 2007).

Tabla 12. Clasificación del agua de acuerdo a su dureza (Romero, 1999)

Agua suave	1-60 mg/L
------------	-----------

Moderadamente suave	61-120 mg/L
Dura	121-180 mg/L
Muy dura	≥180 mg/L

La alcalinidad que presentan los dos pozos y el manantial es debido a bicarbonatos ya que ningún pozo presentó un pH mayor a 8.3.

Tabla 13. Tipos de dureza

	Panteón	Zarco	Manantial
Alcalinidad	111.28	134.05	249.3
Dureza total	211.35	300.7	468.2
Tipo de dureza	Muy dura	Muy dura	Muy dura
Dureza carbonatada	111.28	134.05	249.3
Dureza no carbonatada	100.07	166.62	226.9

Comparando las medias, valores máximos y mínimos de la dureza total con la norma oficial tenemos que el valor máximo en el manantial (633 mg/L) sobrepasa el límite máximo de la norma, sin embargo la media es menor (tabla 14).

Tabla 14. Comparación de la dureza total con la NOM-127-SSA1-1994.

	Manantial	Pozo Panteón	Pozo Zarco	Lím max
Media	468.2	211.35	300.7	500 mg/L
Valor máx	633	240	424	
Valor mín	345	172	216	

Comportamiento de los cloruros

Los resultados del análisis descriptivo para cloruros se presentan en la tabla 15.

Tabla 15. Análisis descriptivo de Cloruros

	Manantial Sta.	Pozo	Pozo
--	----------------	------	------

	Isabel mg/L	Panteón mg/L	Zarco mg/L
Media	16.88	30.23	11.77
Desv. Estándar	4.75	8.28	4.13
Coefficiente de variación	28.16	27.11	35.12
Valor mínimo	11.10	16.40	7.23
Valor máximo	4.070	5.370	4.090
Mediana	15.85	29.40	10.06

La mayor concentración de cloruros la presentó el pozo Panteón (media 30.23 mg/L) (tabla 15), seguido del Manantial (media 16.88 mg/L) (tabla 15) y por último el pozo Zarco (media 11.77 mg/L) (tabla 15). Esto puede deberse a que en la zona que está ubicado el pozo panteón presentan fosas sépticas, para desechar residuos domésticos; Muchos propietarios de fosas sépticas evacuan en ellas detergentes, nitratos, cloruros y solventes (Frank, 2000).

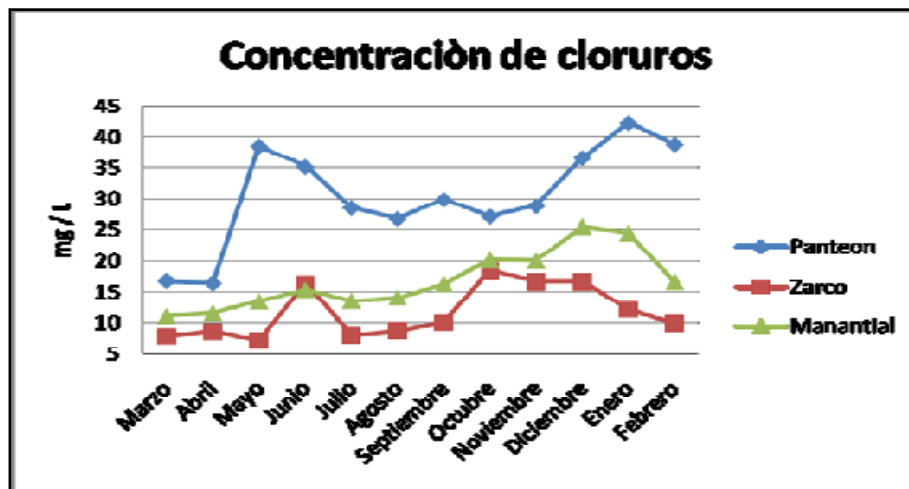


Figura 12. Concentración de cloruros.

Respecto a la variación temporal, se puede observar claramente en la (figura 12) que el pozo Zarco y Manantial presentan un decaimiento en el mes de diciembre a abril. El pozo Panteón presenta una elevación de la concentración de cloruros en el mes de mayo con respecto al pozo Zarco y el Manantial, esto puede deberse a una contaminación indirecta, tal como la entrada de agua

contaminada debido a la alteración de condiciones hidrodinámicas, preexistentes, tales como las producidas a causa de bombeos, drenajes.

Mientras se hizo el muestreo se observó que el pozo Panteón estaba en reparación, lo cual explica claramente que al estar en malas condiciones se puede contaminar.

Comparando las medias y valores máximos y mínimos de los cloruros (tabla 16) con la norma oficial tenemos que los valores se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles.

Tabla 16. Comparación de los cloruros con la NOM-127-SSA1-1994

	Manantial	Pozo Panteón	Pozo Zarco	Lím max
Media	16.88	30.53	11.77	250 mg/L
Valor máx	11.10	16.40	7.23	
Valor mín	4.07	5.37	4.09	

Comportamiento de los nitratos

Los resultados del análisis descriptivo para los nitratos se presentan en la tabla 17.

El nitrógeno es un nutriente especial para las plantas que normalmente se absorbe del suelo como nitrato o como amoníaco. Se utiliza para formar proteínas vegetales, como la mayor fuente dietética de aminoácidos para humanos y animales (Gray, 1996).

Hay dos orígenes principales de la contaminación por nitratos; el primero es el uso excesivo de fertilizantes para la agricultura y el segundo es cuando el nitrato se libera por oxidación del nitrógeno orgánico, llevada a cabo por las bacterias del suelo. Sin embargo, si los cultivos no están en crecimiento entonces el nitrato producido por la acción microbiana no es utilizado por las plantas y así es

arrastrado del suelo por el agua de lluvia hasta el acuífero (Gray, 1996); lo cual se puede observar en el análisis descriptivo tabla 17.

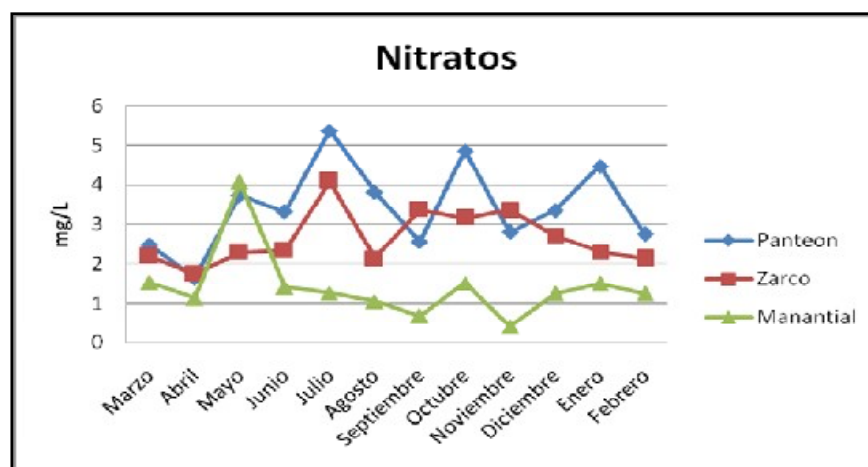
Tabla 17. Análisis descriptivo de Nitratos

	Manantial Sta. Isabel mg/L	Pozo Panteón mg/L	Pozo Zarco mg/L
Media	1.428	3.428	2.650
Desv. Estándar	0.899	1.079	0.692
Coefficiente de variación	62.98	31.48	26.10
Valor mínimo	0.420	1.650	1.750
Valor máximo	4.070	5.370	4.090
Mediana	1.260	3.335	2.320

Ya que la mayor concentración de nitratos, la presentó el pozo panteón (media de 3.428 mg/L) , esto puede deberse a que el pozo panteón se encuentra construido en una zona en donde no hay sistemas de alcantarillado, siendo esta una contaminación de tipo orgánica y biológica nacida en fosas sépticas. El NO_3 que se forma de estos restos por los procesos de mineralización y nitrificación del nitrógeno orgánico puede contaminar al agua subterránea al lavarse con las lluvias.

Los compuestos nitrogenados están normalmente relacionados con residuos humanos o animales, y el pozo al estar construido cerca de un panteón existe una gran relación con los residuos humanos o animales.

El pozo zarco y el manantial presentan concentraciones menores media (2.65 mg/L y 1.428 mg/L respectivamente).



Respecto a la variación de las concentraciones de nitrato son muy variables, a lo largo del año (figura 13), estos resultados se deben a que los nitratos lixivian a las capas freáticas durante todo el año, aunque el lixiviado depende de factores como geología, tipo de suelo y modo de aplicación de los fertilizantes.

Los mayores lixiviados ocurren en otoño e invierno, como se puede ver en el caso del pozo panteón y el manantial que presentan concentraciones altas en el mes de octubre; debido a que en esta temporada es cuando el contenido de humedad del suelo está incrementándose de modo que los microorganismos están estimulados a producir más nitrato (Jairo, 1999). Sin embargo se puede observar en la figura 13 que en el caso de los dos pozos hubo un incremento de nitratos en los meses de mayo y julio; y el Manantial tuvo un incremento en el mes de mayo lo cual concuerda con las temporadas de lluvias en el acuífero de Cuautla- Yautepec que comprenden los meses de mayo a octubre; lo cual no concuerda con (Hipólito, *et al.* 2004), quien encontró que la concentración de nitratos, es casi doble en tiempos de sequía con respecto a la temporada de lluvia. Ya que se observa claramente que en el mes de agosto se nota un decaimiento en la concentración de nitratos para los dos pozos y el manantial y esto puede ser ya que es época de lluvias y el factor dilución pudo haber bajado la concentración.

En otoño las precipitaciones comienzan a exceder a la evaporación de modo que el agua fluye hacia las aguas subterráneas, llevándose consigo cualquier nitrato soluble (Gray, 1996)

Comparando las medias, valores máximos y mínimos de los nitratos con la norma oficial (tabla 18) tenemos que los valores se encontraron por debajo de

los límites máximos permisibles. Lo cual es muy importante ya que el nitrato en el cuerpo es rápidamente asimilado en el intestino delgado y captado por la sangre. En el tracto gastrointestinal, los nitratos reaccionan con ciertos compuestos de los alimentos en condiciones de acidez para producir compuestos N-nitrosos con amidas y aminos, muchos de estos compuestos se conocen como carcinógenos y pueden dar a la formación de la metahemoglobina, lo cual es una enfermedad letal para el humano (Gray, 1996).

Tabla 18. Comparación de los nitratos con la NOM-127-SSA1-1994

	Manantial	Pozo Panteón	Pozo Zarco	Lím max
Media	1.428	3.428	2.65	10 mg/L
Valor máx	4.07	5.37	4.09	
Valor mín	0.42	1.65	1.75	

Comportamiento de sulfatos

Los resultados del análisis descriptivo para los sulfatos se presentan en la tabla 19.

Los sulfatos 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.

Tabla 19. Análisis descriptivo de Sulfatos

	Manantial Sta. Isabel mg/L	Pozo Panteón mg/L	Pozo Zarco mg/L
Media	253.2	36.37	139.3
Desv. Estándar	72.5	10.83	52.5

Coefficiente de variación	28.63	29.78	37.68
Valor mínimo	104.8	22.30	77.9
Valor máximo	401	55.90	226.5
Mediana	258.2	34.90	119.8

La mayor concentración de sulfatos, la presentó el Manantial (media de 253.2 mg/L) esto puede deberse a que en los alrededores del manantial se presentan sembradíos y utilizan fertilizantes y estos a su vez se infiltran en el agua. En el caso de el pozo Zarco (media 139.3 mg/L) se observa una disminución en la concentración de sulfatos al igual que en el pozo Panteón (media 36.37 mg/L) (tabla 19), esto puede deberse a que el pozo Panteón se encuentra cuenca arriba, seguido el pozo Zarco desembocando en el manantial; también se observa como las medias de sulfatos se van incrementando de acuerdo a la trayectoria del agua.

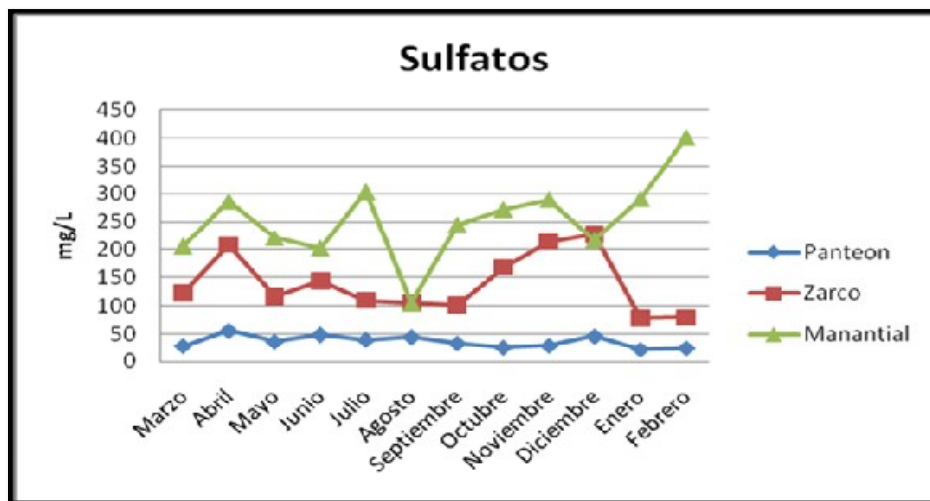


Figura 14. Concentración de sulfatos

Respecto a la variación temporal en el pozo Panteón se observa que no existe una variación temporal tan marcada como en el caso del pozo Zarco y Manantial; en estos últimos se aprecia que en el mes de agosto hay un decaimiento en la concentración de sulfatos debido a la dilución por el tiempo de lluvias, y en los meses de septiembre a diciembre se incrementa la

concentración quizás por la recarga del acuífero que ha sido alimentada en los meses de precipitación (figura 14).

Comparando las medias, valores máximos y mínimos de los sulfatos con la norma oficial tenemos que los valores se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles (tabla 20).

Tabla 20. Comparación de los sulfatos con la NOM-127-SSA1-1994

	Manantial	Pozo Panteón	Pozo Zarco	Lím max
Media	253.2	36.7	139.3	400 mg/L
Valor máx	401	55.9	226.5	
Valor mín	104.8	22.3	77.9	

Comportamiento de la Conductividad y Temperatura

Los resultados del análisis descriptivo para conductividad se presentan en la tabla 21 y los de temperatura en la tabla 22.

Tabla 21. Análisis descriptivo de la Conductividad

	Manantial Sta. Isabel $\mu\text{s/cm}$	Pozo Panteón $\mu\text{s/cm}$	Pozo Zarco $\mu\text{s/cm}$
Media	1154.2	549.5	614.3
Desv. Estándar	108.9	79.3	91.5
Coefficiente de variación	9.43	14.44	14.90
Valor mínimo	1024	437	424
Valor máximo	1286	667	729
Mediana	1033.5	476.3	590.8

Tabla 22. Análisis descriptivo de temperatura

	Manantial Sta. Isabel °C	Pozo Panteón °C	Pozo Zarco °C
Media	20.88	18.96	20.17
Desv. Estándar	2.845	1.912	2.597
Coefficiente de variación	13.63	10.09	12.88
Valor mínimo	15	16	16
Valor máximo	24	22	23
Mediana	22	19	21.25

El valor mas alto de conductividad (1154.2 $\mu\text{s}/\text{cm}$) y temperatura (20.88 °C) la presentó el Manantial; al encontrarse en la cuenca baja a una altura de 960 msnm

El tipo de formación que se encuentra en el manantial es principalmente de calizas, y estas ceden iones al agua, por lo tanto se puede encontrar mayor cantidad de sales. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación (Jairo, 1999), también se observa una mayor temperatura en el Manantial (20.88 °C); por otro lado se puede observar que el pozo Panteón presentó la menor conductividad y temperatura (549.5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 18.96 °C respectivamente), esto se debe a que el pozo Panteón se encuentra a 1643 msnm (cuenca alta) sobre rocas ígneas y estas difícilmente ceden iones al agua. Al encontrarse en la cuenca alta a mayor altitud se presenta menor temperatura. El pozo Zarco presenta (614.3 $\mu\text{s}/\text{cm}$) y (20.17 °C), esto también se debe a que el pozo se encuentra sobre rocas ígneas, y en el caso de la temperatura aumenta debido a la altitud (1564 msnm) en el que se encuentra; a menor altitud mayor temperatura.

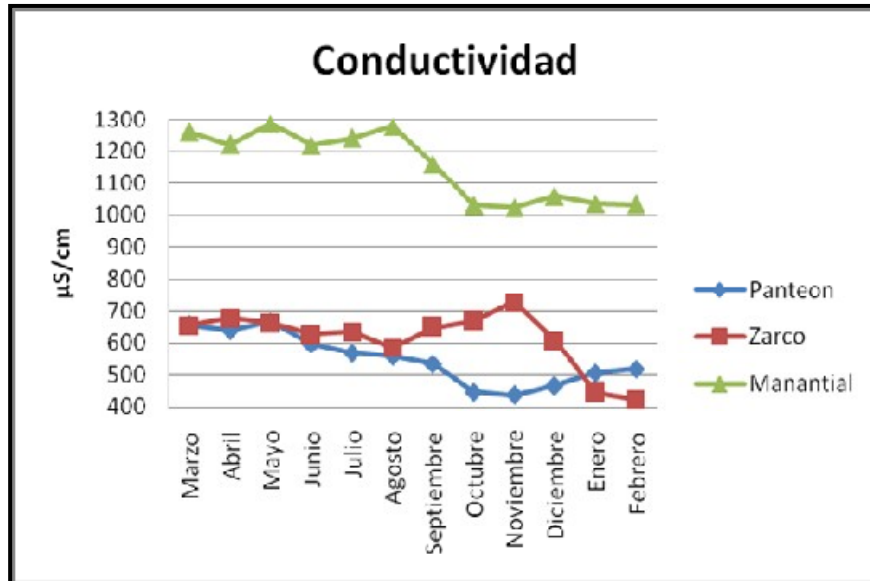


Figura 15. Comportamiento espacial de la Conductividad

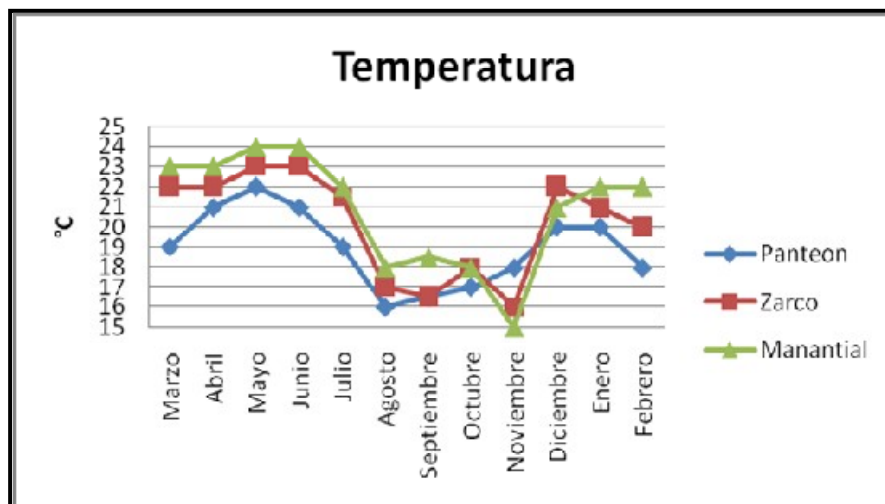


Figura 16. Comportamiento espacial de la Temperatura (°C)

Respecto a la variación temporal en el Manantial se observa (figura 15) que en el mes de mayo se presentó el valor máximo de conductividad (1286 $\mu\text{S}/\text{cm}$) al igual que fue el mes que presento mayor temperatura (figura 16) (24°C) lo cual coincide con (Jairo, 1999) que a mayor temperatura mayor conductividad.

En el caso del pozo Panteón se presenta la misma característica en el mes de mayo con la mayor conductividad y temperatura (549.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 19°C) (figura 15 y figura 16).

Mientras que el pozo Zarco presentó el valor máximo de conductividad en el mes de noviembre (729 $\mu\text{s/cm}$) (figura 15), mes en el que la recarga del acuífero ha sido alimentada en los meses de precipitación. El valor máximo de temperatura se presentó en el mes de mayo y junio (20.1°C) (figura 16) al igual que el pozo Panteón y Manantial.

Los valores mínimos de conductividad para el pozo Panteón (437 $\mu\text{s/cm}$) y Manantial (1024 $\mu\text{s/cm}$) (Figura 15) se presentaron en el mes de noviembre al igual que la menor temperatura, 15°C para el Manantial y 18.95 para el pozo Panteón (figura 16); esto se debe que a menor temperatura menor conductividad, en el caso del pozo Zarco no presenta las mismas características ya que su valor mínimo lo presentó en el mes de febrero (424 $\mu\text{s/cm}$) (figura 15); sin embargo el valor mínimo de temperatura se presenta en el mes de noviembre (16°C) (figura 16) lo cual coincide con el pozo Panteón y Manantial.

Comportamiento de la Turbiedad

Los resultados del análisis descriptivo para turbiedad se presentan en la tabla 23

Tabla 23. Análisis descriptivo de la Turbiedad

	Manantial Sta. Isabel UNT	Pozo Panteón UNT	Pozo Zarco UNT
Media	0.3542	0.5183	0.2542
Desv. Estándar	0.1742	0.2908	0.1794
Coefficiente de variación	49.18	56.10	70.59
Valor mínimo	0.1200	0.2000	0.1000
Valor máximo	0.6500	1.1200	0.7100
Mediana	0.3100	0.4300	0.1800

Los valores expresados en la tabla 23, se pueden deber a la presencia de partículas en suspensión como arcillas, limo, material orgánico finamente dividido, descargas de agua residual (Jairo, 1999) como es en el caso del pozo Panteón que presenta el valor máximo (0.5183 UNT) ya que en esta zona no

existe drenaje, y solamente hay fosas sépticas lo cual permite infiltración y esto le ocasiona al agua que tenga cierta turbiedad. El pozo Zarco (0.2542 UNT) y Manantial (0.3542 UNT) (tabla 23) presentaron menor turbiedad. Estos valores también coinciden con la cantidad de coliformes fecales (tabla 4) y totales (tabla 6) que se presentaron en los dos pozos y el manantial (véase coliformes totales y fecales).

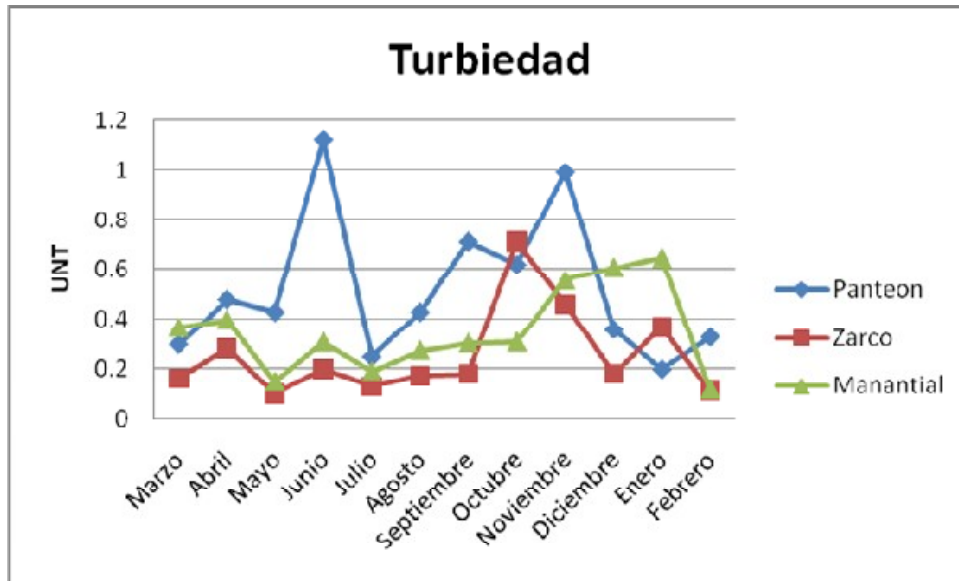


Figura 17. Comportamiento espacial de la Turbiedad

Respecto a la variación temporal (figura 17), se observa que el pozo Panteón presentó el valor máximo en el mes de junio (1.12 UNT) y el valor mínimo en el mes de enero (0.2UNT), en el caso del Manantial se observa que en el mes de enero se presentó el valor máximo (0.65 UNT) y el mínimo en febrero (0.12 UNT). Para el pozo Zarco el valor máximo fue en octubre (0.71 UNT) y el valor mínimo en mayo (0.1 UNT). Los resultados no expresaron una variación temporal importante ya que no se relacionaron con las estaciones del año.

Comparando las medias, valores máximos y mínimos de turbiedad con la norma oficial (tabla 24), tenemos que los valores se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles.

Tabla 24. Comparación de la turbiedad con la NOM-127-SSA1-1994

	Manantial	Pozo Panteón	Pozo Zarco	Lím max
Media	0.3542	0.5183	0.2542	5 mg/L
Valor máx	0.6500	1.1200	0.7100	
Valor mín	0.1200	0.2000	0.1000	

Comportamiento de la DQO, DBO, N-NH₃ y SAAM

En la determinación de estos parámetros se obtuvieron valores por debajo de la sensibilidad de las técnicas, tanto en los pozos como el manantial. Ya que estos parámetros representan a la contaminación por materia orgánica su ausencia indica que este tipo de contaminación aún no llega al acuífero.

Comportamiento del oxígeno disuelto

Los resultados del análisis descriptivo para oxígeno disuelto se presentan en la tabla 25.

La mayoría del oxígeno elemental proviene de la atmósfera que contiene 20.95% de oxígeno por volumen de aire seco. Por ello, el agua al contacto con la atmosfera tiene la capacidad de reoxigenarse. La solubilidad del oxígeno en el agua depende de la temperatura de esta, la presión parcial de oxígeno en la atmósfera y el contenido de sales en el agua.

Tabla 25. Análisis descriptivo del Oxígeno disuelto

	Manantial Sta. Isabel mg/L	Pozo Panteón mg/L	Pozo Zarco mg/L
Media	4.508	6.158	7.2
Desv. Estándar	1.444	1.103	0.754
Coefficiente de variación	32.02	17.92	10.48
Valor mínimo	2.9	4.8	6
Valor máximo	6.7	7.8	8.2
Mediana	4.1	6	7.3

El pozo Zarco presentó la mayor cantidad de oxígeno disuelto (7.2 mg/L) seguido el pozo Panteón (6.15 mg/L) y por último el Manantial (4.50 mg/L).

En general el manantial obtuvo la menor concentración de oxígeno disuelto, presentando las temperaturas más altas a lo largo del año (figura 18) y la menor altitud 960 msnm, lo cual coincide ya que a menor altitud mayor temperatura y por lo tanto menor concentración de oxígeno disuelto.

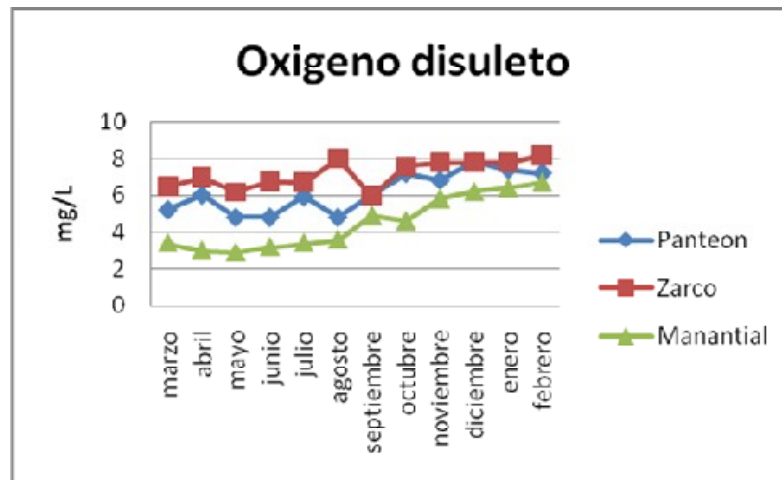


Figura 18. Comportamiento espacial de oxígeno disuelto (mg/ L)

Respecto a la variación temporal del oxígeno disuelto se puede observar que hay un incremento a lo largo del año, tanto en los dos pozos como en el manantial los cuales presentaron sus concentraciones más altas en los meses de enero y febrero en un rango entre 6.2 y 8 mg/L (figura 18).

El oxígeno disuelto en el agua produce un medio oxidante y juega un papel de gran importancia en la solubilización de iones que cambian con facilidad de valencia así como con la actividad de microorganismos (Internet⁵). En el caso del pozo Panteón se observó una disminución tal vez debido a la concentración de nitratos que presentó (figura 13) ya que la tendencia de los compuestos nitrogenados es oxidarse a nitratos a expensas del oxígeno disponible (Custodio, 1975).

Los dos pozos y el manantial presentaron menor concentración de oxígeno disuelto en los meses de mayo y junio (figura 18), ya que la solubilidad del

oxígeno disuelto depende de la temperatura, a mayor temperatura menor oxígeno disuelto ; lo cual concuerda con las temperaturas (figura 16) ya que mayo y junio son los meses más calientes del año.

Comportamiento del pH

Los resultados del análisis descriptivo para pH se presentan en la tabla 26

Tabla 26. Análisis descriptivo del pH

	Manantial Sta. Isabel pH	Pozo Panteón pH	Pozo Zarco pH
Media	6.70	6.34	6.65
Desv. Estándar	0.131	0.158	0.124
Coefficiente de variación	1.95	2.50	1.87
Valor mínimo	6.6	6.1	6.5
Valor máximo	7	6.6	6.9
Mediana	6.7	6.35	6.65

En climas áridos como en el caso del Manantial en donde se presentó la mayor temperatura (media 20.88 °C), ésta, favorece la evaporación e incrementa la concentración de los cationes intercambiables y el pH del suelo aumenta, por lo tanto se puede observar en la tabla 22, que el Manantial fue el que obtuvo mayor pH (6.70) seguido del pozo Zarco (6.65) y por último el pozo Panteon (6.34); en el caso de los pozos Zarco y Panteon se puede decir que debido a la pluviosidad, disminuye la concentración de los cationes en la disolución del suelo y favorece su percolación hacia el acuífero subterráneo, lo que origina su acidificación (Domènech, 2006).

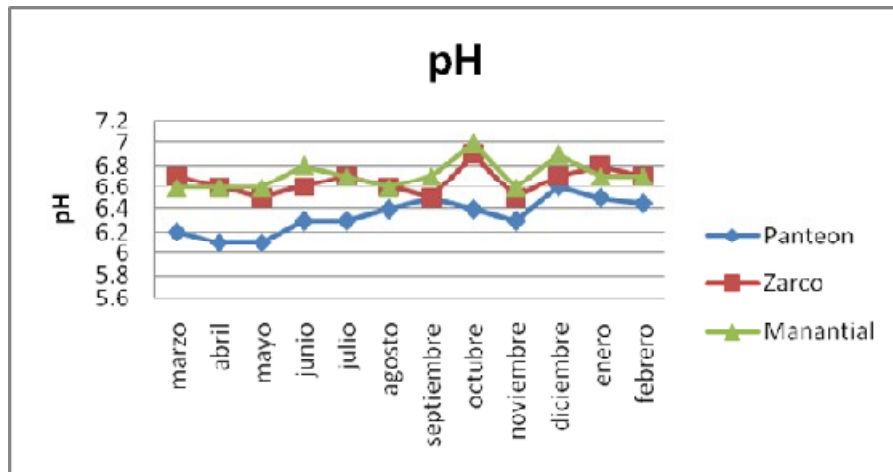


Figura 19. Comportamiento espacial del pH.

Normalmente el pH de las aguas naturales se mantiene entre 6.5 y 8; la causa de las variaciones es la presencia de CO_2 disuelto, H_2CO_3 y HCO_3^- que actúan como sistema tampón.

Respecto a la variación temporal del pH en general se puede observar que existe variación estacional; ya que en primavera-verano se observan pH ácidos (figura 19). Estos cambios están asociados al crecimiento de la biomasa que requiere la fijación de cationes esenciales (Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+) dando lugar a una tendencia de la acidificación del suelo. Mientras que en otoño-invierno los residuos de las plantas incorporan los cationes al suelo y lo alcalinizan (Domènech, 2006).

El Manantial presentó el pH más básico esto puede deberse a las reacciones que implican el intercambio de H^+ o la generación o consumo de OH^- son reacciones acido-base. Esta reacción genera iones OH^- por lo que hace más básica el agua (Domènech, 2006)

Los pozos Panteón y Zarco presentaron valores de pH por debajo de 6.5, esto puede deberse a la altitud en la que se encuentran (1643 msnm y 1564 msnm

respectivamente) ya que a mayor altitud son mas abundantes las precipitaciones (mayor deposición de humedad y menor la capacidad del terreno para neutralizar esa acidez (Rubio y Sánchez, 2002). El Manantial al encontrarse a 960 msnm existe menor abundancia de precipitación y mayor capacidad del terreno para neutralizar teniendo un pH básico.

Comparando las medias, valores máximos y mínimos de pH con la norma oficial tenemos que el pozo Panteón estuvo por debajo de los límites máximos permisibles para la media (6.3) y el valor mínimo (6.1). Todos los demás valores estuvieron dentro de la norma (tabla 27).

Tabla 27. Comparación del pH con la NOM-127-SSA1-1994

	Manantial	Pozo Panteón	Pozo Zarco	Lím max
Media	6.70	6.34	6.65	6.5 - 8.5
Valor máx	7	6.6	6.9	
Valor mín	6.6	6.1	6.5	

6.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Uno de los principales problemas del análisis de datos multivariado, es el manejo de datos por lo cual se realizó un análisis de componentes principales ya que este tipo de análisis reduce las variables en pequeños subconjuntos facilitando la interpretación de resultados (Internet ⁵).

De acuerdo a los resultados del análisis de componentes principales se obtuvieron 3 componentes (tabla 28), los cuales en conjunto explicaron el 76.2% de la variación total.

El primer componente explicó el 45.8% del total de la varianza, y está representado por la alcalinidad total, dureza total, nitratos, sulfatos, sólidos disueltos, cloruros y pH; estos parámetros tienen cierta relación ya que dentro de los sólidos disueltos se encuentran algunos parámetros como la alcalinidad, dureza, cloruros y sulfatos. El pH está relacionado con la alcalinidad y la acidez ya que mide la cantidad de iones hidrogeno presentes (Jiménez, 2001).

El segundo componente que representa al oxígeno disuelto, coliformes totales y

Componente	Valor característico	Varianza explicada (%)	Porcentaje de varianza acumulada	Variables que constituyen el componente
------------	----------------------	------------------------	----------------------------------	---

fecales explica el 19.4 % del total de la variabilidad. Los coliformes totales y fecales están íntimamente relacionados ya que son bacterias indicadoras de contaminación; por otro lado la oxidación biológica está relacionada con el oxígeno disuelto como agente oxidante el cual interviene también en la solubilización de iones que cambian con facilidad de valencia así como con la actividad de microorganismos.

El tercer componente explicó el 11% de la variación total, este componente quedó integrado por dureza de calcio, turbiedad y temperatura. La turbiedad y temperatura pueden estar relacionadas ya que la determinación exacta de la temperatura es importante para medir la actividad biológica y al existir actividad biológica se encuentran partículas orgánicas en el agua lo cual causa turbidez.

Tabla 28. Resultados del análisis de componentes principales.

1	6.41	45.8	45.8	Alcalinidad Total, dureza Total, nitratos, sulfatos, cloruros, sólidos disueltos, conductividad, y pH
2	2.71	19.4	65.2	Oxígeno disuelto, coliformes totales y coliformes fecales.
3	1.53	11.0	76.2	Dureza de calcio, turbiedad y temperatura.

Análisis discriminante

De los datos obtenidos mediante el análisis discriminante (tabla 29) se formó una función que describe el 88.9 % de la varianza y está comprendida por la alcalinidad total, dureza total, dureza de calcio, sulfatos, sólidos disueltos, conductividad, turbiedad, oxígeno disuelto, coliformes fecales y pH.

Tabla 29. Resultados del análisis discriminante.

Función	Valor característico	X^2	Nivel de significancia observada (P)	Porcentaje de varianza acumulada	variables
1	6.06	51.75	0.000	88.9	Alcalinidad Total, dureza Total, dureza de calcio, sulfatos, sólidos disueltos, conductividad, turbiedad, oxígeno disuelto, coliformes fecales y pH.

Con el análisis de datos discriminante se calcularon las distancias de Mahalanobis con su respectivo nivel de significancia las cuales se muestran en la tabla 30 y figura 20.

Tabla 30 Distancias de Mahalanobis (DM) y NS = Niveles de significancia

		Panteón	Zarco	Manantial	
El pozo Manantial distancia más ellos (258.18), que son los las diferencias en relación a	Panteón	DM	----	56.53	258.18
		NS	----	0	0
	Zarco	DM	56.53	----	136.78
		NS	0	----	0
	Manantial	DM	258.18	136.78	----
		NS	0	0	----

Panteón y el presentaron la lejana entre lo que significa que tuvieron más grandes los parámetros

que constituyeron la función 1, a lo largo del año.

Los pozos Panteón y Zarco fueron los que tuvieron la distancia más cercana (56.53), lo que significa que fueron los más parecidos.

El pozo Zarco y el Manantial presentaron una distancia intermedia (136.78).

Con los resultados de las funciones se hizo el diagrama de dispersión (Fig.20) en el cual se ve la cercanía del pozo Panteón y Zarco durante los doce muestreos y la gran distancia entre Panteón y el Manantial.

En general podemos decir que las similitudes entre los dos pozos se deben en gran parte a su localización; ya que se encuentran localizados básicamente en las zonas más altas con respecto al Manantial (Panteón con 1643 m, Zarco con 1261 m y el Manantial con 960 m de altitud). Entre más alto se encuentra el pozo la concentraciones de sales disueltas son bajas y conforme va avanzando el flujo del agua del acuífero este va disolviendo las sales minerales del suelo dando como resultado mayores concentraciones en las partes más bajas como es el caso del manantial marcando con esto una notable diferencia entre éste y el pozo.

Estos resultados confirman lo observado en el análisis descriptivo.

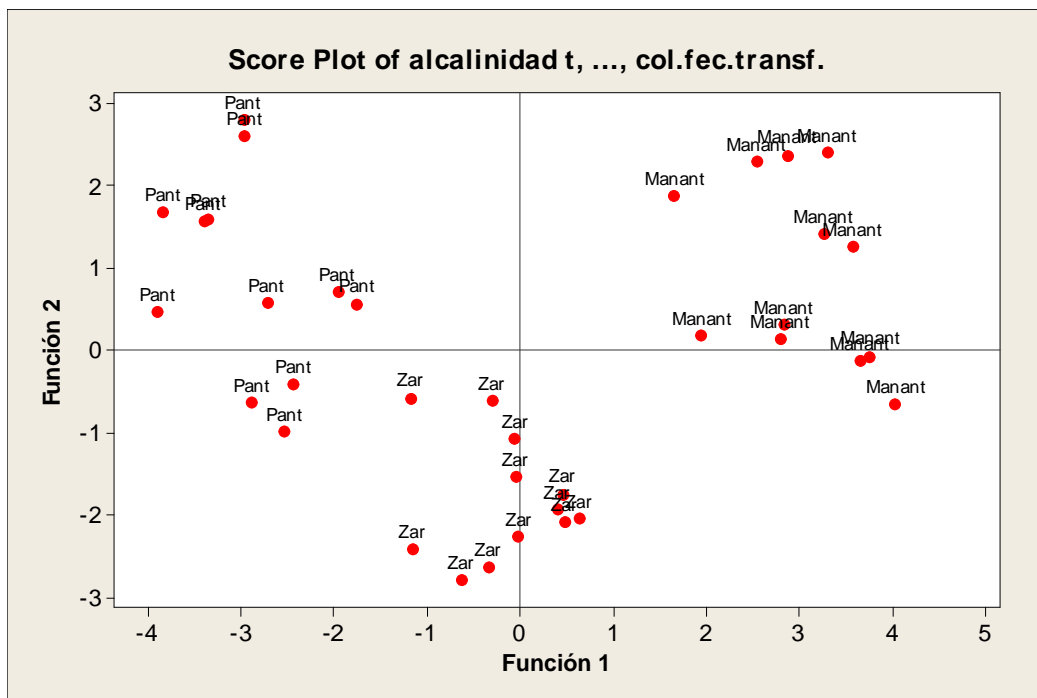


Fig. 20 Diagrama de dispersión de la función uno contra la función dos

7. CONCLUSIONES

La composición del agua subterránea depende ampliamente del tipo de suelo, estructura geológica y los factores geoquímicos ya que las recargas del agua de lluvia así como la respuesta al clima y a los cambios ambientales son factores importantes a considerar para saber la calidad del agua. Sin embargo las actividades antropogénicas pueden ser también el resultado de un impacto a la calidad del agua subterránea.

El contenido de iones disueltos depende principalmente de la composición química de las rocas, suelo y área de drenaje; ya que en su lento tránsito subterráneo el agua disuelve y acarrea en solución las sales solubles de las rocas, intercambia iones con esta o precipita minerales.

El manantial Santa Isabel fue el que presentó mayor concentración de sólidos disueltos ya que se encuentra sobre rocas calizas y está ubicado en la cuenca baja; lo que trae consigo mayor concentración de iones por la disolución; por lo tanto existe una mayor entrada de sales lo que hizo que presentara la conductividad, alcalinidad y dureza más alta.

Las actividades agrícolas también pueden repercutir en la calidad del agua subterránea con las descargas que producen, en especial en lugares en donde el medio hidrogeológico permita una rápida infiltración hacia el agua subterráneas ocasionando la contaminación durante la época de lluvia; como es en el caso del manantial Santa Isabel que presentó la mayor concentración de sulfatos ya que es una zona agrícola en donde se colocan fertilizantes sulfatados.

En los dos pozos y el manantial predominó el anión bicarbonato, esto confirma que se trata de agua de reciente infiltración, ya que este elemento procede de la disolución del CO_2 contenido en la atmósfera o en el suelo.

El pozo panteón fue el que presento las concentraciones más altas de nitratos, cloruros, turbiedad, coliformes totales y fecales y el pH más ácido, lo que muestra claramente que es el pozo más contaminado.

La contaminación de un pozo no refleja necesariamente la contaminación de un acuífero ya que los pozos pueden contaminarse fácilmente por el aporte local, si tienen algún defecto de construcción ya que la ubicación e instalación pueden ser inadecuadas y no cumplan con las NOM-003-CNA-1996 y NOM-004-CNA-1996 como es en el caso de el pozo panteón, no cumple las normas y por lo tanto se refleja una clara contaminación por encontrarse localizado cerca del panteón y fosas sépticas.

El pozo que mostro menos variabilidad durante todo el año fue pozo zarco porque fue más constante en sus valores.

El manantial santa Isabel fue el que presento menor concentración de nitratos y de oxígeno disuelto y puede deberse en parte a la temperatura que registró, ya que a mayor temperatura menor cantidad de oxígeno disuelto.

Es importante mantener la cloración que se realiza en los pozos pues la presencia de contaminación bacteriológica hace inadecuado su consumo directo pues estaría fuera de los límites máximos permisibles por la norma NOM-127-SSA1-1994.

En general la contaminación bacteriológica encontrada todavía está dentro de los límites de los Criterios Ecológicos en el caso de los pozos, considerándola adecuada para consumo humano, previa potabilización, y en el manantial para uso recreativo y por lo tanto podemos decir que la calidad del agua subterránea en la zona estudiada se encuentra en buen estado, sin embargo el haber encontrado contaminación por coliformes totales y fecales nos indica claramente las deficiencias sanitarias, demostrando que existe contaminación fecal directa por el resultado del uso de fosas sépticas.

Comparado con trabajos similares realizados en el acuífero de Zacatepec Morelos y con el Acuífero de Cuautla- Yautepec zona oriente, tenemos que el acuífero tiene una buena calidad de agua.

8. RECOMENDACIONES

Considero que se debe realizar un trabajo más completo para tener mayor conocimiento sobre el acuífero Cuautla- Yautepec; ya que este lugar plantea problemas hidrológicos derivados de sus complejas condiciones geológicas, cuyas características, funcionamiento e interconexión son pocos conocidos.

Es importante realizar un recorrido piezométrico, sondeos eléctricos verticales, realizar planos geológicos, localización de aprovechamientos subterráneos, perfiles de profundidad al nivel estático y elevación del nivel estático, dirección de flujo, velocidad de flujo; así como saber la permeabilidad del suelo. También tomar muestras de metales pesados, ya que tal vez el acuífero no presente contaminación bacteriológica pero si por algunos metales y estos pueden ser dañinos para el hombre.

Todos estos factores son muy importantes porque están estrechamente relacionados con la calidad del agua y con estos datos se pueden realizar mapas de vulnerabilidad a la contaminación del agua. Estos mapas se pueden realizar por una programa llamado Arc View 9.1 en donde se sintetiza la información en una manera más fácil y rápida, ayudando a visualizar cuales son los puntos más vulnerables y quizá más adelante se puedan realizar modelos de flujo; para identificar áreas susceptibles.

Así como construir pozos de monitoreo en sitios previamente recomendados, para conocer con mayor claridad la calidad del agua, y no confundir la mala calidad por el mal mantenimiento o mala construcción de los pozos.

Cuando sea necesaria la construcción de pozos nuevos para consumo humano será conveniente ubicarlos lejos de estos focos de contaminación cumpliendo con las normas.

Es importante que exista una educación ecológica para cuidar el agua, ya que es una problemática actual en todo el país.

9. REFERENCIAS

- APHA (1998), Standard methods for the examination of water and wastewater. 20^a ed. American Public Health Association, EUA. Pp 1325.
- B. Leopold y Kenneth S. Davis. 1997. El Agua, Colección Científica de Time Life. Offset Larios S. A. México D.F.
- Cabrera, S. A., Pacheco, A. J., Cuevas, S. E., Ramírez, J., Comas, M., Cámara, A. 2002. Hidrogeoquímica del agua que Subyace a la JAPAY I en Mérida, Yucatán, México. Ingeniería 6(3): 29-40.
- Candela, L. 2002. Contaminación de las aguas subterráneas: Tipo doméstico e industrial. Departamento de ingeniería del Terreno y Geociencias-UPC. pp. 149-155
- Casanelles, E.1983. La contaminación hoy. Ed. Teide. Barcelona, España. 46 p
- Cifuentes, E., Suárez L., Solano M., Santos R. 2002. Diarrheal Diseases in Children from a Water Reclamation Site in México City. Environ. Health Perspect. **110** (10): A619-A624.
- Cherry, J.A. 1984."Groundwater Contamination." En Short Course in Environmental Geochemistry; Ed. Fleet, M.E.; Mineralogical Association of Canada, Londres, Inglaterra; Handbook, Vol. 10; pp. 306.
- Comisión Nacional del agua. Subdirección General Técnica. Gerencia de aguas Subterráneas.1996. Estudio Geohidrológico de la zona de Cuautla-Yautepec, Estado de Morelos. México.
- Comisión Nacional del agua 2002.Subdirección técnica. Gerencia de aguas subterráneas. Subgerencia de evaluación y modelación hidrogeológica. Informe técnico: Determinación de la Disponibilidad de agua en el Acuífero Cuautla-Yautepec, Estado de Morelos México.

- Custodio *et al.* 1975. Hidrología Subterránea. Primera edición. Ed Omega. Barcelona., pp 1165-2308
- Domènech, Xavier. 2006. Química Ambiental de sistemas terrestres., Ed Reverte. Barcelona., pp 229.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2000. Estándares del reglamento Nacional Primario de Aguas.
- Escolero, O.1993. "Panorámica del Agua Subterránea en México." En El agua, recurso vital; Universidad Tecnológica de la Mixteca: Oaxaca, México.
- Fernandez, R. 2002. Contaminación de origen Agrario el problema de los nitrates. Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de JAEN. Madrid. Pp 157-165.
- Foster, S., Lawrence, A. and Morris, B. 1997. Groundwater in Urban Development: Assessing Management Needs and Formulating Policy Strategies. World Bank Technical Paper 390: Washington-D.C., USA
- Frank R. Spellman, Ph.D Joanne Drinan. 2000: Manual del agua potable. Ed Acribia, S.A., Apartado 466 ZARAGOZA (España). 247pag
- Garcia, O. N. L. 2007. Estudio Fisicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en las zonas centro-oriente del Valle de Cuernavaca, Morelos, México. Tesis de licenciatura en Biología. FES-Iztacala. UNAM. México. Pp. 2,21
- Granel, C.E., Pacheco, M.A., Coronado, P.V. 2009. Origen de sulfatos en el agua subterránea del Sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. Ingeniería.13 (1) 49-58.

- Gray, N.F.1996. Calidad del agua potable problemas y soluciones. Ed Acribia, S.A. España, 357p
- Guzmán, A.F.1996. El consumo de agua de manantial embotellada, un poquito de moda. UNAM. Hoy, año 5, 25:47 54.
- Hipólito, M., Armienta, A., Vera, A., Cenicerros, N. 2004. Nitratos en el agua subterránea del Valle de Huamantla Tlaxcala, México. Revista internacional de Contaminación Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México. 20(003) pp.91-97.
- Jairo A. 1999. Calidad del agua, segunda edición. Ed Alfaomega.Mexico D.F.271pp
- Jiménez, C. B. E. 2001. La Contaminación Ambiental en México causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa. Colegio de ingenieros Ambientales de México, A.C. Instituto de Ingeniera de la UNAM y FEMISCA. Mexico.926p
- Martinez J., Ruano, P.1998. Aguas subterráneas. Captación y Aprovechamiento. Progensa. España. 401p.
- Monroy, P. D. 2007. Estudio fisicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en la zona sur del Valle de Cuernavaca, Morelos, México. FES Iztacala. UNAM. Tesis de Licenciatura. pp 85.
- Muñoz, H., Armienta, M. A., Vera, A., Cenicerros, N. 2004. NITRATO EN EL AGUA SUBTERRÀNEA DEL VALLE DE HUAMATLA, TLAXCALA, MÈXICO. Revista internacional de contaminación Ambiental. 20(003): 91-97.

- Nola M, Njinet T, Djuikome, Foko V. 2002. Fecal coliforms and fecal streptococci comunita in the undergroud water in on ecuatorial area in Cameroon (central Africa), the importante of some environmental chemical factors. *ELSEVIER*. Faculty of Sciences Universty of Yaounde, Cameroon .36 (13):3289-97
- Pacheco, A. J., Cabrerias, S. A., C.R. 2004. Diagnostico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. *Ingeniería* 8(2): 165-179.
- Perdomo C.H., Casanova O.N., y Ciganda V.S. 2001. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. *Agrociencias*. 5(1): 10-22.
- Pérez, M. F., Prieto, G. F., Rojas, H. A., Galán, V. C. A., Marmolejo, S. Y., Romo, G. C., Castañeda, O. A., Rodríguez, A. J.A., Barrado, E. E., 2003. Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapan, estado de Hidalgo, México. *Hidrobiología*. 13 (002): 95-102.
- Pérez, C. R., Pacheco, A. J., 2004. Vulnerabilidad de agua subterránea a la contaminación de nitratos en el estado de Yucatán. *Ingeniería* 8-1: 33-42
- Pineda, R. D. 2008. Estudio bacteriológico y fisicoquímico del agua en 5 pozos del acuífero de Zacatepec, Morelos, México. FES – Iztacala. UNAM. Tesis de Licenciatura.
- Robles, V. E., Arreaga, G.M.E Y Castillo, N.P. 2004. Contaminantes físicos y químicos del agua y sus efectos en el hombre y el medio ambiente. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.120 p.

- Rodríguez, M. J. 2008. Estudio bacteriológico y fisicoquímico del acuífero de Zacatepec, Morelos, en las zonas de Xochitepec, Miacatlan, Coatlan del Rio y Cuachichinola. México. FES-Iztacala UNAM. México. Tesis de licenciatura.
- Romero, R. J. A. 1999. Calidad del agua. 2ª edición. Editorial Alfaomega. Escuela Colombiana de Ingeniería. 273 p.
- Rubio D.J.C y Sanchez N.J.A. 2002. *Vulnerability maps GIS- based of groundwater to add deposition; Application to Grio river basin* (Zaragoza. España). GEOCACETA, 32
- Rubio, R. M. A. 2007. Estudio fisicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en la zona Norte del Valle de Cuernavaca, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. FES – Iztacala. UNAM. 96 p.
- Solís, G. J., Murrieta, R. López, A., L. Medina, G., Nubes, A., Villalba, S., Herrera, J. del Castillo, A., González y P. Jenkins. 2004. “Educación comunitaria: flora y calidad del agua en el Río Santa Cruz, Sonora, México”. Informe Final. Universidad de Sonora (DICTUS), Sonoran Institute y Consorcio para la Colaboración de la Educación Superior en América del Norte, University of Arizona-Tucson (CONAHEC).
- SEMARNAT (1996a). Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario oficial de la Federación. 6 de Enero de 1997.

- SEMARNAT (1996b). Norma Oficial Mexicana NOM.004.CNA.1996. Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación. 24 de Julio de 1997.
- Spellman, F.R., The Science of Water: Concepts and Applications. Lancaster, PA: Technomic Publishing Company, Inc., 1998
- SSA. 2000. Modificación de la 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. 22 de Noviembre de 2000.

Referencia de internet:

- Internet¹

Informe de Agua subterránea. Fecha de revisión septiembre 2009

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/gaceta36/g9536531.html>

- Internet²

Artículo de investigación. Fecha de revisión septiembre 2009

<http://www.uacj.mx/icsa/Investiga/RNIU/pnencias%20pdf/Pon.%20Ivan%20Alvarado.pdf>

- Internet³

Imagen ciclo del agua. Fecha de revisión septiembre 2009

<http://www.selba.org/EspTaster/Ecologica/Images/WaterCycle.jpg>

- Internet⁴

Información del acuífero Cuautla-Yautepec. Fecha de revisión agosto 2009

<http://www.inegi.org.mx:80/inegi/default.aspx?s=geo&c=124&e=17>

www.yautepec.gob.mx/indexnuevo.htm

- Internet⁵

Componentes principales. Fecha de revisión diciembre 2009.

http://www.mhe.es/universidad/ciencias_matematicas/pena/home/CAPITULO.PDF