



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**“Estudio Físicoquímico y Bacteriológico del Agua Subterránea
en las Zonas Centro – Oriente del Valle de Cuernavaca,
Morelos, México”**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO

P R E S E N T A

NORMA LIDIA GARCÍA ORTEGA

Directora de Tesis

Q. F. B. Esperanza del Socorro Robles Valderrama

MÉXICO, D. F.

2007



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.

AGRADECIMIENTOS

A MI PADRE CELESTIAL

Por darme la familia que hoy tengo, por las fuerzas que necesite en los momentos de flaqueza y desesperación, por estar siempre conmigo iluminando mi camino.

A MIS PADRES.

Gracias por ayudarme a lograr una meta en la vida, por haber echo de mi lo que ahora soy, por su confianza, por su cariño y apoyo incondicional, por sus desvelos y preocupaciones, por sus grandes esfuerzos y sacrificios, por ser una motivación para superarme día a día, por estar ahí cuando mas los necesite.

Este triunfo es mas suyo que mío, lográndolo a través de mi.

A MIS HERMANOS

Raul, Gerardo y Alma por su apoyo, cariño y por su ejemplo de superación, entusiasmo y de siempre salir adelante a pesar de las adversidades.

A MIS SOBRINOS

Uriel, Víctor y Diego que al interrumpirme me hacían recordar con sus juegos e inocencia que hay cosas mas importantes que hacer una tesis.

A la profesora que fue mi guía para la culminación de este trabajo; agradezco su disposición de tiempo, su apoyo, su amistad y sus consejos, por contribuir en mi formación profesional y laboral.

Q.F.B. Esperanza del Socorro Robles Valderrama.

Por su amistad, sus consejos, y por compartirme sus conocimientos.

Biol.. M. Guadalupe Sainz Morales.

A las profesoras que fungieron como sinodales, por sus sabias observaciones para la mejora de mi trabajo. A todos los profesores que dedicaron tiempo por medio de las clases para compartirme su sabiduría y experiencias.

A todos mis compañeros y amigos de la carrera, por haber formado parte de mi vida y por haber vivido tantas experiencias juntos.

A toda persona que contribuyo directa o indirectamente con su apoyo. A todas las personas que alguna o varias vez me presionaron para concluir esta tesis.

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

Subgerencia de Explotación y Monitoreo Geohidrológico.

Gerencia de Aguas Subterráneas.

Comisión Nacional del Agua (CNA).

y

Subdirección de Aguas Subterráneas.

Dirección Técnica.

Dirección General del Organismo de la Cuenca del Río Balsas

CNA Cuernavaca

Un especial agradecimiento a:

Ing. Fernando Lara Guerrero.

Ing. Pedro Soto Navarro.

Ing. Vicente Parra.

Ing. Alfonso García Sesento.

Ing. Felipe Nieto López.

Ing. Ramiro Pelayo Barajas.

CONTENIDO

Resumen	1
1. Introducción	3
2. Marco Teórico	6
2.1 Antecedentes	6
2.2 Parámetros físico-químicos	11
2.2.1 Turbiedad	11
2.2.2 Conductividad	11
2.2.3 Sólidos	11
2.2.4 Temperatura	12
2.2.5 Oxígeno Disuelto	12
2.2.6 pH	12
2.2.7 Alcalinidad	13
2.2.8 Dureza	13
2.2.9 Cloruros	13
2.2.10 Sulfatos	14
2.2.11 DBO ₅	14
2.2.12 DQO	14
2.2.13 SAAM	14
2.2.14 Nitrógeno amoniacal	15
2.2.15 Nitratos	15
2.2.16 Nitritos	16
2.3 Parámetros Bacteriológicos	16
2.4 Índice de Calidad del Agua (ICA)	17
2.5 Reglamentación	18
3. Justificación	19
4. Objetivos	20
4.1 Objetivo general	20
4.1.1 Objetivo particular	20

5. Localización del área de estudio	21
6. Métodos	23
7. Resultados y discusión	29
7.1 Resultados y evaluación de cada pozo	29
7.1.1 Pozo Cañada	29
7.1.1.1 Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos	29
7.1.1.2 Variación temporal de los parámetros bacteriológicos	35
7.1.1.3 Comparación de las medias, valor mínimo, valor máximo de los parámetros físico químicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA,1994	37
7.1.1.4 Índice de calidad del agua	39
7.1.2 Pozo Civac	43
7.1.2.1 Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos	41
7.1.2.2 Variación temporal de los parámetros bacteriológicos	46
7.1.2.3 Comparación de las medias, valor mínimo, valor máximo de los parámetros físico químicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA,1994	47
7.1.2.4 Índice de calidad del agua	49
7.1.3 Pozo Tabachines	50
7.1.3.1 Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos	50
7.1.3.2 Variación temporal de los parámetros bacteriológicos	55
7.1.3.3 Comparación de las medias, valor mínimo, valor máximo de los parámetros físico químicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA,1994	56
7.1.3.4 Índice de calidad del agua	58

7.1.4	Pozo Texcal	
7.1.4.1	Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos	59
7.1.4.2	Variación temporal de los parámetros bacteriológicos	63
7.1.4.3	Comparación de las medias, valor mínimo, valor máximo de los parámetros físico químicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA,1994	65
7.1.4.4	Índice de calidad del agua	66
7.2	Evaluación de la calidad del agua entre los cuatro pozos	67
7.2.1	Comparación de las sales disueltas	67
7.2.2	Contaminación bacteriana	70
7.2.3	Normatividad	72
7.2.4	Índice de calidad del agua	73
8.	Conclusiones	75
9.	Recomendaciones	78
10.	Referencias	79

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Técnica analítica para cada parámetro	25
Tabla 2. Índice individual para cada parámetro	26
Tabla 3. Importancia relativa de los parámetros para definir el ICA	27
Tabla 4. Uso del agua según el Índice de calidad del agua	28
POZO CAÑADA	
Tabla 5. Media, desviación estándar, valor mínimo, valor máximo de los parámetros fisicoquímicos pozo Cañada	30
Tabla 6. Clasificación del agua de acuerdo a la dureza	34
Tabla 7. Resultados mensuales obtenidos de Coliformes totales y fecales	35
Tabla 8. Frecuencia de coliformes totales y fecales	36
Tabla 9. NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano.	37
Tabla 10. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo	41
POZO CIVAC	
Tabla 11. Media, desviación estándar, valor mínimo, valor máximo de los parámetros fisicoquímicos pozo Civac	41
Tabla 12. Resultados mensuales obtenidos de Coliformes totales y fecales	46
Tabla 13. Frecuencia de coliformes totales y fecales	47
Tabla 14. NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano.	48
Tabla 15. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo	49
POZO TABACHINES	
Tabla 16. Media, desviación estándar, valor mínimo, valor máximo de los parámetros fisicoquímicos pozo Tabachines	50
Tabla 17. Resultados mensuales obtenidos de Coliformes totales y fecales	55
Tabla 18. Frecuencia de coliformes totales y fecales	56
Tabla 19. NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano	57

Tabla 20. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo	58
POZO TAXCAL	
Tabla 21. Media, desviación estándar, valor mínimo, valor máximo de los parámetros fisicoquímicos pozo Texcal	59
Tabla 22. Resultados mensuales obtenidos de Coliformes totales y fecales	64
Tabla 23. Frecuencia de coliformes totales y fecales	64
Tabla 24. NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano	65
Tabla 25. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo	66
COMPARACIÓN DE LOS CUATRO POZOS	
Tabla 26. Clasificación del agua de acuerdo a la dureza total	67
Tabla 27. Coeficiente de correlación entre los cuatro pozos	70
Tabla 28. Frecuencia para coliformes totales	71
Tabla 29. Frecuencia para coliformes fecales	72
Tabla 30. Parámetros que están fuera de la NOM-127 en los cuatro pozos	72
INDICE DE FIGURAS	
Figura 1. Localización del acuífero de Cuernavaca	23
POZO CAÑADA	
Figura 2. Comportamiento temporal de OD	31
Figura 3. Comportamiento temporal de temperatura	31
Figura 4. Comportamiento temporal de pH	32
Figura 5. Comportamiento temporal de dureza total y alcalinidad total	33
Figura 6. Comportamiento temporal de cloruros y sulfatos	34
POZO CIVAC	
Figura 7. Comportamiento temporal de OD	42
Figura 8. Comportamiento temporal de temperatura	43
Figura 9. Comportamiento temporal de pH	43
Figura 10. Comportamiento temporal de dureza total y alcalinidad total	44
Figura 11. Comportamiento temporal de cloruros y sulfatos	45

POZO TABACHINES

Figura 12. Comportamiento temporal de OD	51
Figura 13. Comportamiento temporal de temperatura	51
Figura 14. Comportamiento temporal de pH	52
Figura 15. Comportamiento temporal de dureza total y alcalinidad total	53
Figura 16. Comportamiento temporal de cloruros y sulfatos	54

POZO TEXCAL

Figura 17. Comportamiento temporal de OD	60
Figura 18. Comportamiento temporal de Temperatura	61
Figura 19. Comportamiento temporal de pH	61
Figura 20. Comportamiento temporal de dureza total y alcalinidad total	62
Figura 21. Comportamiento temporal de cloruros y sulfatos	63

COMPARACIÓN ENTRE LOS CUATRO POZOS

Figura 22. Comparación de alcalinidad y dureza entre los cuatro pozos	68
Figura 23. Comparación de cloruros y sulfatos entre los cuatro pozos	68
Figura 24. Comparación de sólidos disueltos entre los cuatro pozos	69
Figura 25. Variación temporal de sólidos disueltos de los cuatro pozos	70
Figura 26. Índice de coliformes totales y fecales de los cuatro pozos	71
Figura 27. ICA's anuales de los cuatro pozos	73

RESUMEN

Un acuífero es la formación geológica de roca permeable que puede almacenar agua si se encuentra situado sobre otro estrato impermeable, y se alimentan por el aporte de aguas pluviales, corrientes superficiales y lagos que se infiltran en el suelo, su explotación se realiza mediante el bombeo en pozos. (Jiménez, 2002). Un aspecto importante de los acuíferos es la continua degradación en la calidad de su agua, como es el caso del acuífero de Cuernavaca, en donde todavía existen casas que descargan aguas residuales domésticas en el suelo, y que debido a la alta vulnerabilidad de los materiales en que van circulando, se infiltran y alteran la calidad del agua subterránea. Por tal motivo el objetivo de este trabajo fue determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica de cuatro pozos de agua ubicados en las zonas centro – oriente del acuífero del Valle de Cuernavaca, Morelos. Para llevar a cabo dicho objetivo se tomaron muestras mensuales en los cuatro pozos (Texcal, Civac, Tabachines y Cañada) del acuífero de Cuernavaca, durante un año. Las muestras se tomaron antes de que pasaran por el dosificador de cloro. *In situ* se determinó en cada pozo el oxígeno disuelto (O.D.), pH y temperatura, se tomo una muestra, en bolsa estéril, para las determinaciones bacteriológicas y dos muestras en garrafones de un litro para las determinaciones fisicoquímicas, de los cuales uno se acidificó y se mantuvo en hielo y el otro solo se mantuvo en hielo. En el laboratorio se realizaron los parámetros bacteriológicos de Coliformes Totales y Fecales, y 20 parámetros fisicoquímicos usando las técnicas analíticas establecidas en las normas mexicanas. Con los resultados obtenidos se calculó la media de cada parámetro y con ésta el Índice de calidad del Agua (ICA). Texcal presentó un ICA de 99.5 %, Cañada 98.3%, Civac 97.8%, Tabachines 96.5%. Estos resultados indican que los cuatro pozos en general no requieren de purificación para el abastecimiento público. Comparando las medias de los parámetros con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, tenemos que Cañada en turbiedad queda fuera de la NOM-127 y Civac y Tabachines en pH, estos tres pozos además

rebasan los límites permisibles de coliformes totales y fecales; mientras que Texcal solo excede los coliformes totales. Se concluye que los cuatro pozos de agua estudiados, presentan un ICA aceptable, mientras que para la NOM sobre pasan límites de coliformes fecales y totales en algunos muestreos. Es importante señalar que aunque las muestras se tomaron antes del dosificador de cloro, los resultados indican la problemática que se está presentando en el agua subterránea de esta zona centro oriente de Cuernavaca en donde las descargas de aguas residuales de muchas casas van a dar directamente a las barrancas, contaminándose así los mantos acuíferos.

INTRODUCCIÓN

Todo ser vivo necesita del agua para poder vivir, la cantidad que existe en el mundo no varía, sino que permanece constante, pero no así su calidad.

El 98% del agua se encuentra en el mar y el 2% constituye el reservorio de agua dulce, de la cual sólo se encuentra a nuestro alcance en las aguas superficiales de los ríos y lagos, las aguas subterráneas y el agua que se encuentra en suspensión en la atmósfera.

La polución o contaminación es un proceso de alteración o de modificación importante de los equilibrios físicos, químicos y biológicos del agua que son responsables de su calidad, la cual es un factor fundamental para garantizar la salud pública. La contaminación del agua la hace inadecuada para sus numerosos usos y aplicaciones (Guinea, 1979).

Cuando hay incorporación de sustancias ajenas al sistema natural que lo impactan, hay contaminación; y cuando se sobrepasa la concentración de elementos tóxicos al ser humano y organismos vivos, se habla de polución. Esto ocurre cuando la concentración de iones sobrepasa las normas para uso potable. Hay contaminación cuando concentraciones de elementos químicos nocivos (detergentes, pesticidas, insecticidas, abonos, y sustancias radiactivas entre otras) se incorporan al agua subterránea como consecuencia de la filtración. Algunas por no ser degradables persisten hasta el punto que ciertos lagos han sufrido transformaciones bioquímicas destruyendo de forma irreversible equilibrios ecológicos (Villalpando 2001).

La mala calidad del agua por contaminación microbiana causa serios problemas de salud pública, afectando fundamentalmente a las aguas superficiales; asimismo el agua subterránea no siempre está libre de bacterias patógenas que pueden propagarse por este medio en cantidades suficientes para producir enfermedades

que puedan manifestarse en forma epidémica, constituyendo las llamadas infecciones hídricas que son la causa de tan alta incidencia de enfermedades gastrointestinales. El agua potable tiene una importancia mucho mayor para la salud, ya que evita numerosas enfermedades (Guinea, 1979).

Un acuífero es la formación geológica de roca permeable que puede almacenar agua si se encuentra situado sobre otro estrato impermeable, son de grandes extensiones y se alimentan por el aporte de aguas pluviales, corrientes superficiales y lagos que se infiltran en el suelo, su explotación se realiza mediante el bombeo en pozos (Jiménez, 2002).

Las aguas subterráneas son un componente fundamental del ciclo hidrológico, quizá el más importante en términos de reserva para la humanidad, y es la que encontramos a partir de los dos o tres metros del subsuelo y puede llegar a varios cientos de metros de profundidad, donde circula y se almacena (Villalpando 2001).

Debido a su disponibilidad, el agua subterránea es usada ampliamente para usos domésticos y otros propósitos. También es considerada una fuente inagotable, pero recientemente las circunstancias indican que el agua subterránea es muy vulnerable a la contaminación y a su desaparición. Se han encontrado contaminantes que amenazan a la salud de las personas en la mayoría de las reservas de agua subterránea. Podría ser muy costoso el remover algunos de estos contaminantes, por lo cual el agua resulta inservible para el consumo humano, es importante entender el proceso mediante el cual el agua subterránea se hace disponible para su uso y como las actividades humanas algunas veces ponen en peligro este recurso (Internet ¹).

Un aspecto importante de los acuíferos es la continua degradación en su calidad del agua, como es el caso del acuífero de Cuernavaca, en donde se descargan aguas residuales domésticas y municipales sin tratamiento en arroyos y ríos, y que

debido a la alta vulnerabilidad de los materiales en que van circulando, infiltran y alteran la calidad del agua subterránea. En algunos pozos de la porción Sur del Valle de Cuernavaca se han identificado concentraciones de nitratos que superan los límites permisibles de acuerdo con las normas oficiales mexicanas establecidas (CNA. 2002)

Una forma de cuantificar el grado de afectación del recurso hídrico, es por medio de índices de calidad y contaminación. Estos índices están en función de parámetros fisicoquímicos que son obtenidos de los resultados analíticos de las muestras recolectadas en campo (Barrón. 2004)

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Caballero (2006) muestra las condiciones de la calidad del agua subterránea de la subcuenca del Río Guanajuato y su impacto en la zona de estudio. Reporta en general buena calidad del agua evidenciando el impacto de la actividad humana en algunas zonas ya que encuentra contaminación local; debida al alto contenido de sulfatos los cuales coinciden con altas concentraciones de sólidos totales, metales pesados, magnesio (Mg), calcio (Ca) y los nitritos sobrepasando el límite permisible en la mayor parte del área de estudio.

Youn y Peter (2005) realizaron una medición de la densidad de coliformes totales y fecales para determinar la calidad microbiológica del agua natural de un manantial, en el sur de Corea, por los posibles riesgos de contaminación que puede tener esta agua y como consecuencia el riesgo potencial a la salud de los usuarios de esta agua de recreación en las áreas montañosas. Se detectaron coliformes totales en todas las muestras con una concentración máxima de 228 UFC/ ml; *E. coli* se encontró en el 78% de las muestras y la densidad de ésta varió desde 0 UFC/ml hasta un máximo de 15 UFC/ml en todas la muestras. El mal funcionamiento de los sistemas sépticos y la aparición de flora y fauna son la principal fuente de contaminación de *E. coli*. La contaminación fecal en el agua de manantial presenta un riesgo inaceptable para los humanos que usan agua sin tratamiento.

Borbolla *et al.* (2005), caracterizaron el agua para uso y consumo humano de Tabasco. Estudiaron 2,387 muestras de aguas provenientes de lagunas, ríos, pozos, agua potable y aguas negras; concluyendo que los indicadores de contaminación bacteriana se encontraron elevados y significan un riesgo para la población.

Barrón (2004) realizó una evaluación del deterioro en la calidad del agua subterránea del Valle de Pénjamo-Abasolo en el Edo. de Guanajuato, basándose en índices de contaminación y calidad del agua, evaluando así el grado de afectación de las zona con alto riesgo de contaminación del agua subterránea; obteniendo como resultado en los análisis químicos la presencia de arsénico en algunos pozos en cantidades superiores a las concentraciones permitidas en la modificación a la NOM-127-SSA-1994 del agua para consumo humano; también menciona anomalías hidrogeoquímicas de origen natural y antropogénicas asociadas a la infiltración de retorno de riego y aguas superficiales de mala calidad.

Pacheco *et al.* (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 contaminación bacteriológica en la parte oriental del estado. El análisis de la calidad química mostró algunos parámetros fisicoquímicos y de metales que excedieron el límite permisible y fueron: cloruros, dureza total, nitratos, sodio y cadmio.

Kunwarp *et al.* (2006) evaluaron la calidad del agua subterránea en diferentes sitios en la región de Aluvium al norte de Indo-Gangetic. Estudiaron la influencia del suelo en la hidroquímica del agua subterránea mediante el análisis de algunas características del agua. Los resultados mostraron niveles bajos de nitratos (NO_3) y fosfatos (PO_4); sin embargo la mayoría de las muestras de agua provenientes de los acuíferos de poca profundidad, sobrepasaron los límites permisibles. Otros sitios muestreados también estuvieron contaminados con flúor (F), plomo (Pb), cromo (Cr) indicando con ello influencias naturales y antropogénicas.

Debels *et al.* (2004) evaluaron la calidad del agua del río Chillan en Chile usando parámetros físico-químicos y un índice de calidad modificado. Este río sirve como fuente de irrigación, agua potable y en el vierten aguas residuales urbanas; los resultados indican una buena calidad de agua en la parte superior y media de la línea divisoria de las aguas; las condiciones de la calidad del agua eran críticas durante la estación de secas, principalmente debido a los efectos de las descargas urbanas de las aguas residuales.

Mailloux y Fuller (2003) determinaron el crecimiento bacteriano en acuíferos y sedimentos de los acuíferos de Nueva York, concluyendo que el agua subterránea presenta cambios químicos por los sedimentos y gran crecimiento de la concentración del plancton.

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 mas 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 mas alto de diarrea en comparación con aquellas en que no se percibía; el consumo de alimentos en la calle era también otro factor de riesgo.

Perdomo *et al.* (2001), determinaron la concentración de nitratos y coliformes en aguas superficiales y aguas subterráneas en zonas agrícolas del sudoeste de Uruguay. Encontraron que las aguas superficiales tuvieron concentraciones de nitrato, muy inferiores a los niveles críticos para consumo humano (10 mg/L N-NO₃). Mientras que las aguas subterráneas tuvieron siempre concentraciones entre

1y 9 mg/L N; asociando estas concentraciones a las fuentes localizadas en las cercanías de los pozos. Por otro lado también se encontró que el 87% de los pozos evaluados estaban contaminados con coliformes totales y el 60% con coliformes fecales.

Castro (2000) realizó un estudio en pozos de agua subterránea del Ramal Tláhuac en la Ciudad de México analizando parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, obteniendo como resultado una gran contaminación de origen antropogénico, por infiltrados de materia orgánica hacia el acuífero, evidenciándose por las altas concentraciones de compuestos nitrogenados y de bacterias detectadas.

Suárez en 1988 realizó un estudio de la calidad del agua subterránea en el Valle de Cuernavaca en el cual se tomaron muestras de diversas obras de captación para consumo humano, y concluye en base a las características físico-químicas normales del agua que es de buena calidad. Biológicamente reporta la presencia de bacterias coliformes en la mayoría de las muestras colectadas, cuyas fuentes son generalmente para uso potable. Reporta contaminación por metales en los acuíferos (Pb, Ni, As, Al, Cr, Cd) al obtener valores que en algunos casos rebasaron las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Mazarí (2004) reporta problemas de calidad del agua especialmente hacia el sur y oriente de la ciudad de México; en estas zonas ciertos pozos no cumplen con las normas de calidad del agua para consumo humano, evidenciándose por altas concentraciones de NH_3 , Mg, sulfatos y la presencia de bacterias, esto principalmente en el cerro del Peñón, cerro de la Estrella, Iztapalapa, Tulyehualco y Sta. Cruz Meyehualco. Estos resultados muestran la relación entre los problemas asociados a la calidad del agua e incidencia de enfermedades gastrointestinales en las áreas estudiadas. Se observó que los parámetros sobrepasan una o varias normas de calidad del agua y sirven como indicadores de la calidad del agua subterránea de la cual se abastecen estas áreas.

Pacheco (1992) en los resultados que obtuvo de un estudio de nitratos en un área rural del estado de Yucatán, mostró que las concentraciones varían de cero a 223 mg/L, menciona que las fuentes de contaminación mas comunes son las excretas de animales agrícolas, desechos humanos, la localización inadecuada de pozos respecto a tanques sépticos, fertilizantes y efluentes industriales; dentro del metabolismo el nitrato puede ser fácilmente convertido a nitrito como resultado de la reducción bacteriana, la reducción de nitrato a nitrito es escasa a no ser que el pH del estomago sea superior a 4, tal es el caso de los infantes ya que su acidez estomacal suele ser muy baja y al emplear agua con niveles excesivos de nitratos para los alimentos y la ingestión de legumbres, se obtiene un alto contenido de nitrito, esto se atribuye a la presencia de bacterias reductoras de nitrato en la parte superior del tracto intestinal trayendo como consecuencia la metahemoglobinemia (cianosis) que puede provocar carcinogenicidad, malformaciones congénitas, y pudiera reducir el yodo intratiroideo y ser mas susceptible al bosio.

En Finlandia durante 1998-1999 ocurrieron cuarenta epidemias con 7300 casos registrados de enfermedades; todas a excepción de una, fueron asociadas con la mala desinfección del agua subterránea. Se registraron mas casos para sistemas de agua pública que sistemas privados, se observó también que el tratamiento para purificación es insuficiente ya que no es capaz de remover virus. La principal razón para los brotes relacionados con el agua subterránea fueron las inundaciones en la superficie las cuales contaminaron el agua. (Miettine *et al.* 2000)

2.2 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

2.2.1 Turbiedad.

La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas: materia en suspensión como arcilla, o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos y diversos microorganismos. La turbiedad es la obstrucción de la luz, que pasa a través de una muestra de agua. Las aguas subterráneas rara vez son turbias; sin embargo, algunas son químicamente inestables y pueden volverse turbias al entrar en contacto con la atmósfera. La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, a la elaboración de productos destinados al mismo y a otros procesos de manufactura que requieren el empleo de agua con características específicas, razón por la cual, la determinación de la turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua (Internet ²).

2.2.2 Conductividad.

Representa la capacidad de una solución para transmitir una corriente eléctrica y depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación, con este parámetro se puede hacer un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos. La determinación de conductividad es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, residual tratada, de proceso o bien del agua para ser usada en el laboratorio en análisis de rutina o para trabajos de investigación. (Internet ³)

2.2.3 Sólidos.

Es la materia que permanece como residuo después de evaporar una muestra de agua y secarla a una temperatura definida. Los sólidos disueltos están en relación con el contenido de sales disueltas, en concentraciones muy elevadas afectarían el sabor del agua para consumo humano, reducen la solubilidad del oxígeno y

contribuyen a la contaminación. Los sólidos suspendidos se encuentran en las emisiones de las industrias de metales no ferrosos. Así como en los sectores de construcción, minería, textil y piel, pasta y papel; impiden que la luz llegue hasta los organismos fotosintéticos con lo que se reduce la producción de oxígeno (Robles *et al.*, 2004).

2.2.4 Temperatura

La temperatura se utiliza para conocer el grado relativo de calentamiento o enfriamiento de un cuerpo. Al aumentar la temperatura aumenta la conductividad, la velocidad de las reacciones y la solubilidad de oxígeno disuelto disminuye por lo cual la actividad metabólica de los microorganismos aumenta (Robles *et al.* 2004).

2.2.5 Oxígeno disuelto

Este parámetro sirve como indicador del efecto producido por los contaminantes oxidables, afecta las reacciones en las que participan el fierro, manganeso, cobre y los compuestos que contienen nitrógeno y azufre. El oxígeno disuelto disminuye al aumentar la salinidad, la temperatura y la altitud con respecto al nivel del mar. La baja solubilidad del oxígeno en el agua es el factor principal que limita la capacidad de auto purificación de las aguas naturales, de ahí la necesidad de tratar los desechos líquidos, tanto domésticos como industriales (Internet ⁵, Romero, 1999).

2.2.6 pH

El pH es usado para definir las condiciones de acidez o alcalinidad que se encuentran en una solución acuosa. El pH aceptable, para agua potable, varía entre 6.5 a 8.5, Valores mayores o menores de los establecidos por la norma ocasionan esfacelación del epitelio bucal. La alteración de pH en un ecosistema puede causar la muerte de peces y acabar con una corriente acuosa natural; y en extremo pueden ser letales o inhibitorios para organismos vivientes. (Robles *et al.*, 2004). El pH >8 interfiere en la desinfección con cloro (Jiménez 2001).

2.2.7 Alcalinidad

Es la capacidad que tiene un agua de mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina. Corresponde principalmente, a los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y NH_4^+ (Jiménez 2001). La ingestión excesiva de bicarbonatos o sus precursores produce alcalosis metabólica. Provoca formación de espuma (Contreras, 1994 y Robles *et al.*, 2004).

2.2.8 Dureza

La dureza del agua es producida principalmente por calcio y magnesio y es causada por dos tipos de carbonatos y no carbonatos. Cuando se encuentran en cantidades importantes se dice que el agua es "dura" y significa que contiene sales incrustantes, dificulta la cocción de legumbres e impide la formación de espuma del jabón, al reaccionar los iones calcio y magnesio con los iones de los ácidos grasos precipitan los jabones de calcio y magnesio haciéndolos casi insolubles, destruyendo al jabón lo cual ocasiona que haya mayor consumo de éstos y conduce a la formación de precipitados que se acumulan en los conductos donde circula el agua (Tebbutt, 1993; Fetter, 1999; Internet ³ y Robles *et al.*, 2004).

2.2.9 Cloruros

Los cloruros son aniones inorgánicos importantes en el agua; los mantos acuíferos tienen, por lo general, una concentración mayor. Aumentan el contenido de sólidos disueltos. El cloruro de sodio es un componente común en la dieta y pasa por el sistema digestivo sin presentar cambios. El ión cloruro se encuentra en altas concentraciones en los fluidos extracelulares, que junto con el ión sodio influye en la presión osmótica de los fluidos extracelulares por ejemplo, en la orina, de ahí que la concentración de cloruros es mayor en las aguas de desecho que en los cuerpos de agua natural. Da el sabor salado al agua y actúa como laxante. En grandes concentraciones incrementa el carácter corrosivo del agua acelerando la corrosión en reactores o calentadores (Robles *et al.*, 2004 y Jiménez, 2001).

2.2.10 Sulfatos

Los sulfatos pueden derivarse de la lixiviación de los depósitos de yeso, anhidrita y esquistos, o de la oxidación de los sulfuros. Los sulfatos ocupan un lugar predominante dentro del ciclo natural del azufre. En concentraciones altas actúa como laxante. En ausencia de oxígeno disuelto y nitratos los sulfatos sirven como fuente de oxígeno para las oxidaciones bioquímicas ocasionadas por bacterias anaeróbicas y cuando el sulfato se combina con el calcio forma escamas que originan problemas de incrustaciones en los intercambiadores de calor (Tebbutt, 1993; Internet⁴; Robles *et al.*, 2004 y Mata, 2004).

2.2.11 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable en el agua bajo condiciones aerobias, en un periodo de 5 días a 20°C. El ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la utilización de la materia orgánica presente (Rodier *et al.*, 1987 y Romero, 1999).

2.2.12 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es una medida de la cantidad de oxígeno consumido tanto por la porción de materia orgánica como la inorgánica oxidable por un agente químico fuertemente oxidante en condiciones de altas temperaturas. La DQO no siempre guarda relación con la DBO aunque generalmente es mayor (Romero, 1999).

2.2.13 SAAM.

Sustancias activas al azul de metileno es un método que mide en forma global los detergentes aniónicos y los catiónicos. Los detergentes tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del líquido en el cual se encuentran disueltos, y esto origina la pérdida de oxígeno disuelto. Al ser ingeridos pueden causar vómito. Causan daño a los vegetales acuáticos inhibiendo la fotosíntesis y originando la muerte del fitoplancton. Los detergentes presentan un alto contenido de fosfatos,

los cuales son nutrientes y en exceso ocasionan problemas de eutrofización (NOM-AA-039-SCFI- 2001, Robles *et al.*, 2004).

2.2.14 Nitrógeno amoniacal (N-NH₃)

El amoníaco como ión amonio, es el contaminante nitrogenado que se encuentra con mayor frecuencia en el agua. El nitrógeno amoniacal esta presente en forma natural en aguas superficiales, profundas y de desecho. Se producen por la desaminación de compuestos con nitrógeno orgánico, por la hidrólisis de la urea y por la reducción de nitratos en condiciones anaerobias, por bacterias autótrofas nitrificantes. El amoníaco en el agua es tóxico para la fauna acuática. La concentración exacta depende del pH y de la temperatura del agua (Martínez, y Ruano, 1998; Robles *et al.*, 2004 y Sardinias y Perez., 2004).

2.2.15 Nitratos (NO₃)

Las principales fuentes de nitratos en agua potable incluyen fertilizantes y aguas residuales y sólo se encuentran pequeñas cantidades en desechos domésticos. Los nitratos pueden causar hipertensión, cáncer gástrico y malformaciones fetales. Su toxicidad en el humano se debe a la reducción de nitratos a nitritos; esta reacción se da en la saliva de los humanos de todas las edades y en el tracto gastrointestinal de los infantes durante los primeros tres meses de vida. Los infantes por debajo de los seis meses de edad no han desarrollado ácido clorhídrico en sus jugos gástricos, por tanto, el pH en sus conductos alimentarios es suficientemente alcalino y permite que las bacterias reductoras de nitratos reduzcan a nitritos, haciendo que éstos conviertan la hemoglobina a metahemoglobina produciendo cianosis ya que la metahemoglobina es incapaz de conducir el oxígeno produciendo la sofocación y da un tono azul a la piel (Pacheco, 2002).

2.2.16 Nitritos (NO₂)

La concentración de nitritos es importante en la preparación de alimentos ya que hay riesgo de que se puedan formar sustancias carcinogénicas llamadas nitrosaminas, por combinación con los compuestos de nitrógeno orgánico, que se forman a su vez por la descomposición de la proteína presente en los alimentos. Interfieren en la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre de niños ocasionando dificultad para respirar (Robles *et al.*, 2004).

2.3 PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS

La evaluación de la calidad bacteriológica del agua, consiste en la determinación de indicadores bacteriológicos; como son, los coliformes totales y fecales. Se reconoce que los organismos del grupo coliforme son un buen indicador microbiano de la calidad de agua de consumo humano (Jiménez, 2001).

Las bacterias Coliformes totales incluyen a los bacilos aerobios y anaerobios facultativos gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de gas y acidez a 35 °C en 24 o 48 hrs., son oxidasa negativa. Comprenden a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, y están presentes en el tracto digestivo del hombre y algunos otros mamíferos, lo que indica contaminación con aguas de origen fecal (Bitton, 1984 y OMS, 1995).

Los coliformes fecales son descargados en altos números (10⁹ coliformes por día per capita) en heces humanas y de otros animales, pero no todas son de origen estrictamente fecal (Bitton, 1984).

Los coliformes de origen fecal son aquellos que pueden fermentar la lactosa a 44.5°C y comprenden a la bacteria *Escherichia coli*. Este grupo es más sensible a las condiciones ambientales, por lo que su presencia indicara una contaminación

reciente, ya que sobreviven en el agua solamente entre uno y dos días, este grupo esta relacionado con la probabilidad de encontrar patógenos excretados. Los coliformes fecales se encuentran en las heces fecales de animales de sangre caliente incluyendo el hombre, por lo tanto son evaluados para determinar si los organismos patógenos podrían estar presentes en los pozos de los sistemas de abastecimiento público y por consiguiente su presencia indica un riesgo latente para la incidencia de enfermedades entéricas (Cifuentes *et al.* 2002., Bitton, 1984 y Jiménez, 2001).

Se ha determinado que las enfermedades diarreicas agudas (EDA) representan la primera causa de muerte en niños de 1 a 5 años de edad, ésto es ocasionado principalmente cuando los sistemas de abastecimiento de aguas locales y municipales están mal desinfectados o carecen de sistemas de desinfección y el agua es tomada, sin tratamiento para eliminar posibles patógenos (Aguilar *et al.*, 2000).

2.4 INDICE DE CALIDAD DEL AGUA

El índice de calidad del agua (ICA) puede ser considerado un indicador general que proporciona un valor global de la calidad del agua, incorporando los valores individuales de una serie de parámetros, con el fin de conocer el estado que guarda el agua respecto a su calidad (León, 2006).

El ICA esta expresado en porcentaje y este se encuentra relacionado con la calidad del agua y de acuerdo al porcentaje obtenido del ICA se podrá obtener el uso mas adecuado. Se le asigna el 100 % al agua de buena calidad para abastecimiento público y conforme se encuentre mas contaminada el porcentaje se irá reduciendo hasta llegar a valores cercanos al cero en los cuales el uso del agua será solo para transporte de desechos (Caballero, 2006).

El comportamiento de los indicadores de contaminación del agua subterránea es un reflejo de las condiciones en que se encuentra el acuífero al momento del muestreo, lo que permite diagnosticar zonas potencialmente contaminadas (Barrón, 2004).

2.5 REGLAMENTACIÓN

El agua dependiendo del uso que se le vaya a dar, debe de cumplir con ciertas normas de calidad las cuales se presentan en las Normas que rigen en la Republica Mexicana, publicadas en el Diario Oficial de la Federación (D.O.F.) La Norma que rige en materia de agua potable en México, es la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Limites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. Publicado en el D.O.F.

Las normas de calidad del agua determinan los contenidos permisibles de sus componentes físicos, químicos, bacteriológicos y radiológicos, disueltos y en suspensión, según el uso que se le va destinar el agua (Mata, 2004).

3. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de la humanidad y la utilización de las aguas dulces en forma exponencial, han provocado que sus características físico-químicas y bacteriológicas se vean modificadas notablemente, como consecuencia de la contaminación originada por el hombre. Por lo tanto este problema contribuye de manera muy significativa a la disminución de la disponibilidad del vital líquido para una población mundial que crece aceleradamente.

En el Valle de Cuernavaca aunque en muchos lugares se cuenta con drenaje, existe un gran número de casas que siguen arrojando sus desechos domésticos a las barrancas, creando con ello la contaminación del suelo y a su vez la contaminación de los mantos acuíferos. Por otro lado como el suministro de agua de este Valle proviene principalmente de pozos, existe la posibilidad de que éstos estén contaminados, ocasionando con ello daños a la salud humana. De ahí la importancia de evaluar la calidad del agua de este acuífero.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica de cuatro pozos de agua ubicados en las zonas centro – oriente del acuífero del Valle de Cuernavaca, Morelos.

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

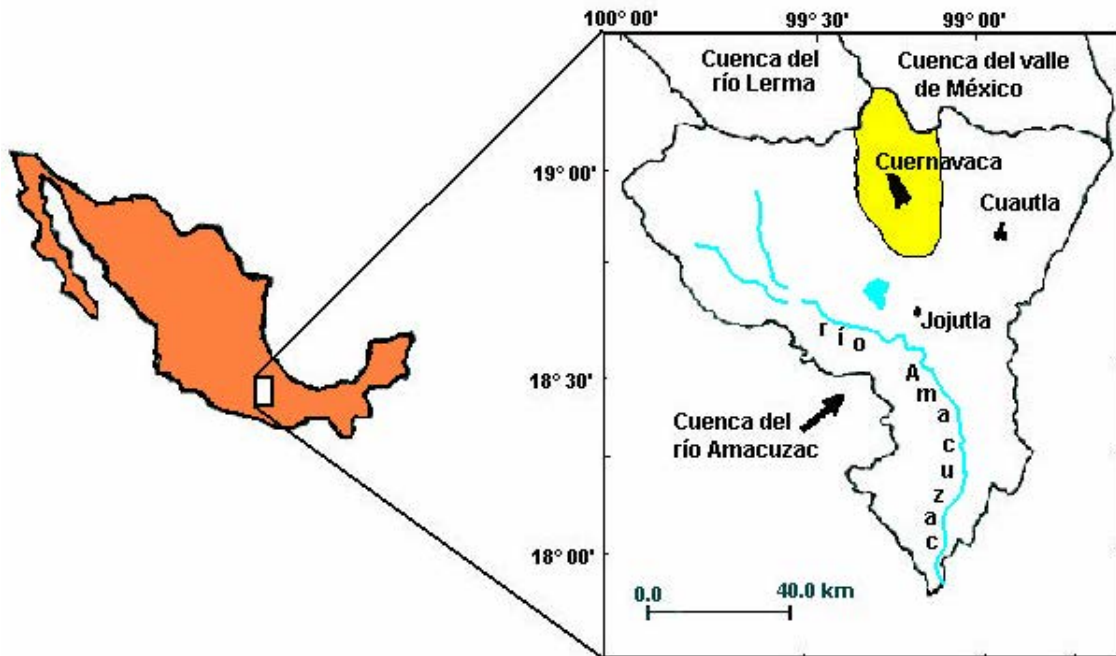
1. Determinar los parámetros bacteriológicos: Coliformes totales y Coliformes fecales.
2. Determinar los parámetros fisicoquímicos: alcalinidad: total y a la fenolftaleína, dureza: total, de calcio y de magnesio, sulfatos, cloruros, turbiedad, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, demanda bioquímica de oxígeno, detergentes, pH, temperatura y oxígeno disuelto.
3. Calcular el índice de calidad del agua.
4. Comparar los resultados con la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
5. Conocer si hay diferencias significativas de la calidad del agua entre los pozos estudiados.

5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Coordenadas

La poligonal que define al acuífero Cuernavaca se localiza entre las coordenadas geográficas de 18° 47' y 19° 07' de latitud Norte y los 99° 07' y 99° 25' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

El acuífero Cuernavaca colinda en la porción Norte con las Cuencas Hidrológicas del Valle de México y del río Lerma. Al Este y Sur colinda con los acuíferos de Cuautla-Yautepec y Zacatepec, respectivamente, ambos en el estado de Morelos. Al poniente colinda con la subcuenca del río Chalma del Estado de México (Fig. 1).



Fuente: Comisión Nacional del Agua. 2002. Determinación de la disponibilidad del agua en el acuífero Cuernavaca, Estado de Morelos.

Figura 1.- Localización del acuífero de Cuernavaca.

La zona centro tiene clima semicálido que fluctúa entre 18° y 22°C se distribuye en un cinturón climático que se encuentra a altitudes de 1400 y 2000 msnm. Se genera una precipitación pluvial de 950 a 1100 mm anuales; y una evaporación de 1500 a 1900mm anuales, en general las lluvias comienzan durante el mes de mayo y terminan a finales del mes de octubre (CNA, 2002).

6. METODOLOGÍA

Se tomaron muestras mensuales de cuatro pozos del acuífero del Valle de Cuernavaca, durante un año comprendido de Mayo del 2005 a Abril del 2006.

Los pozos seleccionados de la zona centro-oriental del Valle de Cuernavaca fueron: Cañada, Zona Industrial CIVAC, Tabachines y Texcal.



CAÑADA



ZONA INDUSTRIAL CIVAC



TABACHINES



TEXCAL

In situ se determinó en cada pozo el Oxígeno Disuelto (O.D), pH y temperatura y se tomaron muestras, en una bolsa estéril para las determinaciones bacteriológicas y dos muestras en garrafones de un litro para las determinaciones fisicoquímicas, de los cuales uno se acidificó y se mantuvo en hielo y el otro solo se mantuvo en hielo. 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 1. (APHA-AWWA-WEF. 1998).

Tabla 1. Técnica analítica para cada parámetro.

PARÁMETRO	TÉCNICA*
pH	Potenciométrica
Temperatura	Medidor de oxígeno YSI
Oxígeno disuelto	Medidor de oxígeno YSI
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
DQO	Reflujo abierto
Detergentes	Azul de metileno
Coliformes totales	Filtro de membrana
Coliformes fécales	Filtro de membrana

* Las técnicas son de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas y al APHA-AWWA-WEF. 1998.

En total se determinaron mensualmente por cada pozo 19 parámetros. Con los resultados se calcularon los índices individuales en cada pozo en cada muestreo y con ellos se obtuvo el ICA mensual de cada pozo.

El Índice de calidad del agua (ICA) se obtuvo con la siguiente ecuación (Cortés, 2004).

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde:

I = Índice de calidad general

I_i = Índice de calidad del parámetro considerado (tabla 2)

W_i = Valor de la importancia relativa del parámetro considerado (tabla 3)

Tabla 2. Índice individual (I_i) para cada parámetro

Parámetro	Índice de calidad individual para cada parámetro	Unidades	Observaciones
pH	$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.923pH}$		Si el pH mayor que 7.3
Sólidos suspendidos	$I_{ss} = 266.5 (ss)^{-0.37}$	mg/l	
Sólidos disueltos	$I_{sd} = 109.1 - 0.0175(sd)$	mg/l	
Conductividad eléctrica	$I_{CE} = 540(CE)^{-0.379}$		
Alcalinidad	$I_a = 105(a)^{-0.186}$	mg/l como CaCO ₃	
Dureza total	$I_D = 10^{1.974 - 0.00174(D)}$	mg/l como CaCO ₃	
N de nitratos	$I_{NO_3} = 162.2(NO_3)^{-0.343}$	mg/l	
N amoniacal	$I_{NH_3} = 45.8(NH_3)^{-0.343}$	mg/l	
Fosfatos totales	$I_{PO_4} = 34.215(PO_4)^{-0.46}$	mg/l	
Cloruros	$I_{Cl} = 121(Cl)^{-0.223}$	mg/l	
Oxígeno disuelto	$I_{OD} = \frac{(OD)}{OD_{sat}} 100$	OD mg/l a T° de campo	La concentración de saturación del

		OD sat mg/l de saturación a misma T° de campo	oxígeno disuelto se obtiene con la siguiente fórmula: $C_s = 14.6 - 0.3943T + 0.007714T^2 - 0.0000646T^3$ donde C_s = concentración de saturación de OD (mg/l) T = Temperatura puntual en °C
Detergentes	$I_{SAAM} = 100 - 16.670(SAAM) + 0.1587(SAAM)^2$	SAAM en mg/l	
Demanda bioquímica de oxígeno	$I_{DBO} = 120(DBO)^{0.673}$	DBO ₅ en mg/l	
Coliformes totales	$I_{CT} = 97.5(CT)^{-0.27}$	CT = NMP coli/ml	
Coliformes fecales	$I_{EC} = 97.5(5 <EC>)^{-0.27}$	EC = <i>Escherichia coli</i> /ml	

Fuente: SARH, 1979, citada por Cortés 2004.

Tabla 3. Importancia relativa de los parámetros para definir el índice de calidad del agua.

Parámetro	Importancia relativa	Parámetro	Importancia relativa
pH	1.0	N de nitratos	2.0
Dureza total	1.0	N amoniacal	2.0
Detergentes (SAAM)	3.0	Fosfatos totales	2.0
Sólidos suspendidos	1.0	Cloruros	0.5
Sólidos disueltos	0.5	Oxígeno disuelto	5.0
Turbiedad	0.5	DBO	5.0
Conductividad eléctrica	2.0	Coliformes totales	3.0
Alcalinidad	1.0	Coliformes fecales	4.0

Con el ICA calculado se observa en la tabla 4 el uso mas adecuado al que corresponde de acuerdo al valor obtenido.

Tabla 4. Usos del agua según el Índice de Calidad (ICA)

ICA	USO PÚBLICO	RECREO	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	INDUSTRIA AGRÍCOLA	NAVEGACIÓN	TRANSPORTE DESECHOS TRATADOS.
100	Aceptable No requiere purificación	Aceptable	Aceptable	Aceptable No requiere purificación		
90	Requiere una ligera purificación	Para todo tipo de deporte acuático	para todo tipo de organismo.	Requiere una ligera purificación		
80						
70	Mayor Necesidad de tratamiento	Aceptable pero no Recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la Industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación.	Aceptable
60			Dudoso para especies sensibles			Para todo tipo de transporte de desechos tratados
50	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo para organismos	Con tratamiento para la		
40	Inaceptable	Sin contacto con el agua	Muy resistentes	Mayor parte de la industria		
30		Muestras obvias de contaminación	Inaceptable	Uso muy restringido	Contaminado	
20		Inaceptable		Inaceptable	Inaceptable	
10						Inaceptable
0						

Fuente: SARH, 1979, y Govantes, 2007

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE CADA POZO

Para determinar la calidad del agua subterránea de la zona centro de Cuernavaca, es conveniente considerar el comportamiento de los parámetros físicos, químicos y biológicos de contaminación observando así las variaciones que presentan mes con mes. Tomando en cuenta que las muestras fueron tomadas antes de pasar por la cloración.

Con los valores de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos obtenidos mensualmente en cada pozo estudiado, se calculó la media, desviación estándar, valores mínimos y máximos para cada parámetro analizado. También se compararon las medias con los límites máximos permisibles de la Norma Mexicana (NOM-127) para agua potable y se calculó el índice de calidad del agua (ICA). Posteriormente se hace la comparación entre pozos.

7.1.1 POZO: CAÑADA

7.1.1.1 Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos.

Las medias, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos, para cada parámetro se presentan en la tabla 5.

Las medias, valores mínimos y máximos para DBO_5 , detergentes y nitrógeno amoniacal, se encontraron por debajo del límite de detección del método (2, 0.001 y 0.01 mg/L respectivamente). Los sólidos suspendidos también presentaron en algunas ocasiones valores en el límite de sensibilidad del método (0.0001 mg/L) y en otras los valores en general fueron muy bajos al igual que la DQO (2 mg/L).

Los bajos valores de la DQO así como la ausencia de N-NH₃ y de DBO₅ nos indican que no hay contaminación por materia orgánica.

Tabla 5. Medias, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos.

POZO CAÑADA				
	Media	Desv estan.	Valor mín.	Valor máx.
DBO ₅	2	0	2	2
DQO	6.95	0.183	6.80	7.30
OD	4.12	1.05	2.45	5.40
ph	6.96	0.250	6.50	7.50
Temp	19	0.835	18	20
Conduct	174	10.4	157	194
S totales	151	10.3	138	172
S suspend	0.853	1.34	0	4
S disueltos	150	11	136	172
Nitratos	0.217	0.117	0	0.360
Nitritos	0.002	0.002	0	0
Alc total	144	13.8	126	169
Alc fenolf	0	0	0	0
Dur total	73.9	13.9	52	99
Dur calcio	32.9	5.23	23.5	42.5
D magnesio	41.1	11.4	22	65.4
Cloruros	5.34	2.95	1.90	11.9
Sulfatos	4.72	3.22	2	13.5
SAAM	0	0	0	0
Turbiedad	1.08	3.44	0.050	12
NH ₃	0	0	0	0
Col totales	9	28.7	0	100
Col fecales	4	14.7	0	50

a) Comportamiento temporal del OD, temperatura y pH

De acuerdo a la figura 3 la temperatura presentó los valores más bajos en los meses de mayo, junio julio, agosto y diciembre con 18°C, lo cual en general corresponde con los valores mas altos de OD (Figura 2). Los meses de octubre, febrero, marzo y abril presentaron 19°C; mientras que en septiembre, noviembre y

enero se tuvieron las temperaturas mas altas (20°C), correspondiendo con los valores más bajos de OD. Esto coincide con lo que se reporta en la literatura que al aumentar la temperatura, el oxígeno disminuye ya que éste es menos soluble (Robles *et al.*, 2004).

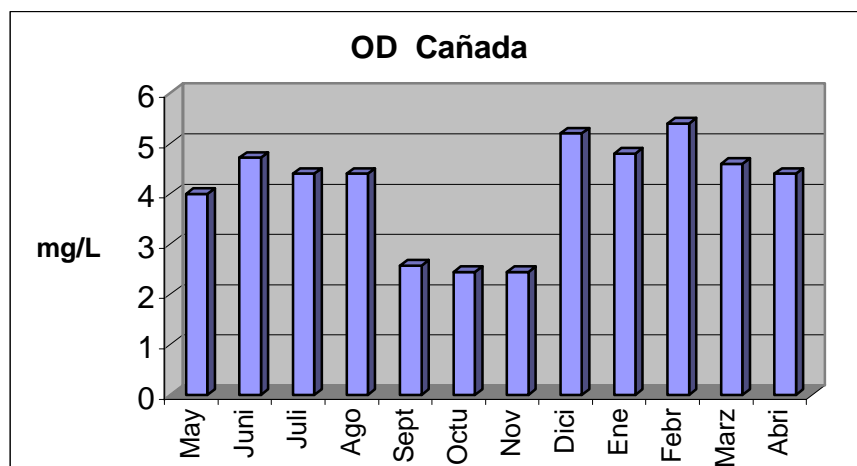


Figura 2. Comportamiento temporal del OD

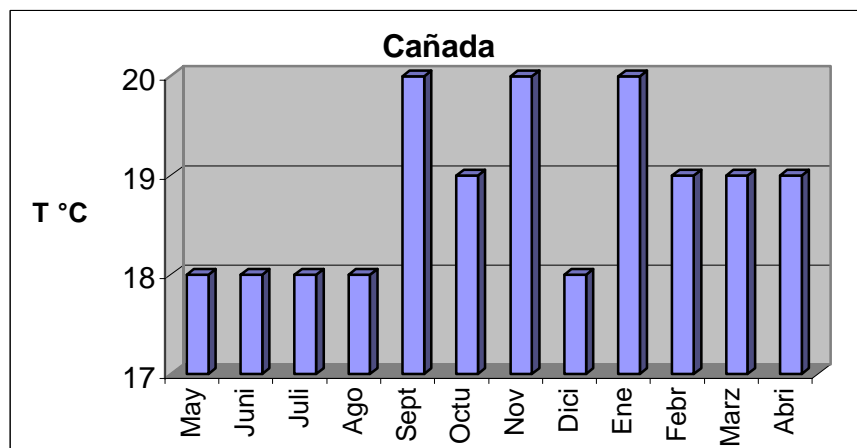


Figura 3. Comportamiento temporal de Temperatura

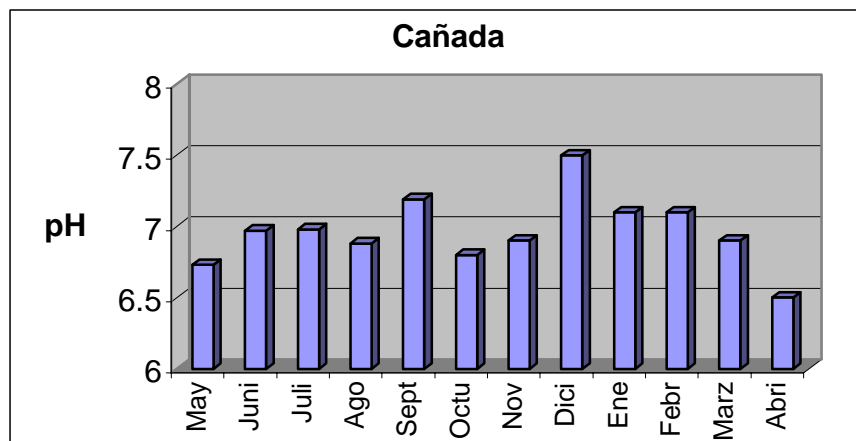


Figura 4. Comportamiento temporal del pH

El pH se mantuvo más o menos constante en el intervalo de 6.5 a 7.5, valores aceptables para agua potable. Septiembre y diciembre fueron los meses mas altos con 7.2 y 7.5 respectivamente esto pudiera deberse a un ligero aumento de los bicarbonatos.

b) Comportamiento temporal de alcalinidad total y dureza total.

La dureza del agua es la suma de las durezas de calcio y de magnesio presentes en el agua y se clasifica de acuerdo a la tabla 6.

Tabla 6. Clasificación del agua de acuerdo a su dureza.

Agua Suave	1-60mg/l
Moderadamente dura	61-120mg/l
Dura	121-180mg/l
Muy Dura	> 180mg/l

Fuente: Robles et al, 2004.

En este pozo se obtuvo una media de 73.9 mg/L para la dureza total, lo cual la clasifica de acuerdo a la tabla 6 en un agua moderadamente dura. En general los valores fueron más o menos constantes. En el mes de mayo se tuvo una dureza total de 52 mg/L lo cual lo ubica en una agua suave o blanda (Figura 5).

El rango en que oscilaron los valores de dureza total fue de 52 a 99 mg/L.

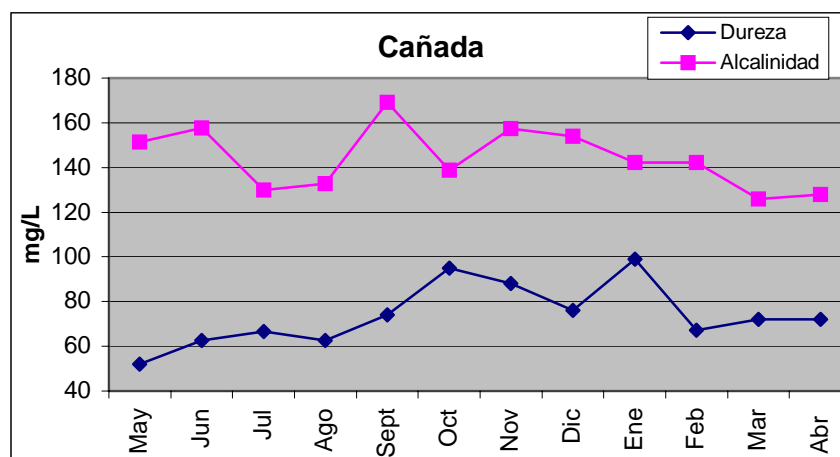


Figura 5. Comportamiento temporal de dureza total y alcalinidad total.

Como la media de la alcalinidad total (144 mg/L) es mayor que la de dureza total (73.9 mg/L), la dureza temporal o carbonatada de este pozo es de 73.9 mg/L. Este tipo de dureza 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 esta dada principalmente por carbonatos y bicarbonatos.

La dureza no carbonatada fue de 70.1 mg/L (diferencia entre la alcalinidad total y la dureza total) y corresponde principalmente a sulfatos, cloruros, nitratos de calcio y de magnesio. La evaporación de aguas que contienen estos iones produce

la cristalización de compuestos como el sulfato de calcio que forman incrustaciones en las paredes y tubos de calderas (Romero, 1999).

La alcalinidad tuvo un valor mínimo de 126 y un máximo de 169 mg/L, con una media de 144 mg/L. En septiembre se incrementó un poco más, probablemente como resultado de los meses de lluvias anteriores y que infiltraron mas sales del suelo incrementando un poco las concentraciones que había presentado en los meses anteriores.

La alcalinidad que presentó este pozo fue debida a bicarbonatos de acuerdo a la relación de alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleina (APHA-AWWA-WEF. 1998).

c) Comportamiento temporal de los aniones cloruros y sulfatos.

Para este pozo se tuvo una media de 4.72 mg/L de sulfatos, con un valor mínimo de 2 y un máximo de 13.5 mg/L; teniendo un incremento en los meses de octubre y noviembre, esto pudiera ser por arrastre de iones sulfato, debido a que es la temporada final de lluvias. Independiente a estos dos meses los valores en los demás meses se mantuvieron más o menos constantes.

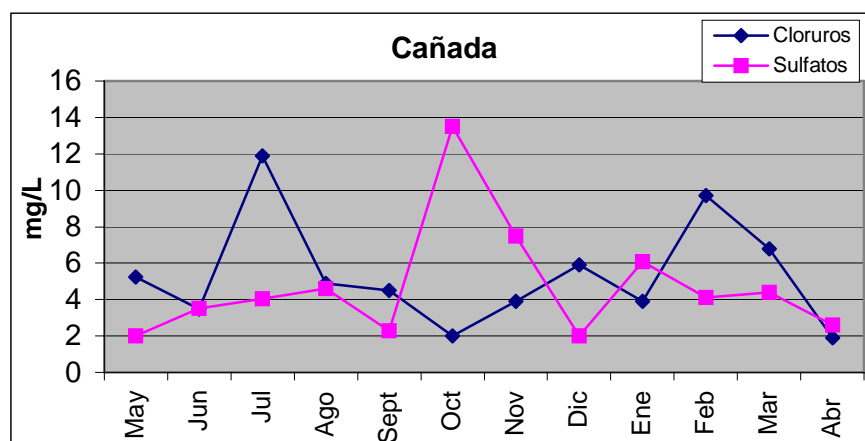


Figura 6. Comportamiento temporal de cloruros y sulfatos.

En la figura 6 se muestra que en el ámbito en que se encontraron los cloruros (1.9 a 11.9 mg/L) no se puede hablar de gran variabilidad ya que se encontraron en general en bajas concentraciones tomando en cuenta que en el agua potable podemos llegar a encontrarlos hasta en concentraciones de 250 mg/L. Los cloruros en altas concentraciones pueden ocasionar efectos laxantes.

7.1.1.2 Variación temporal de los parámetros bacteriológicos

Los coliformes son enterobacterias que se caracterizan por encontrarse en el intestino del hombre, fermentan la lactosa, son bacterias gram negativas, no esporuladas; los coliformes fecales indican contaminación por materia fecal, como se puede observar para el mes de enero.

Tabla 7. Resultados mensuales obtenidos de coliformes totales y fecales, pozo Cañada.

	C. TOT	C.FEC
Mayo	0	0
Junio	1	0
Julio	0	0
Agosto	5	0
Septiembre	0	0
Octubre	0	0
Noviembre	0	0
Diciembre	0	0
Enero	100	50
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	0	0

En la tabla 7 se puede apreciar que en el mes de enero se presentó la mayor contaminación bacteriana con 100 UFC/100ml para coliformes totales y 50 UFC/100ml para fecales, siendo el único mes con una contaminación tan alta, esto podría ser debido a la filtración de una fuerte descarga de agua de desecho, probablemente días u horas antes del muestreo; y en los meses de junio y agosto hubo una ligera contaminación con 1 UFC/100ml y 5 UFC/100ml de coliformes totales respectivamente.

En relación a la frecuencia (Tabla 8) se puede apreciar que en general el agua fue de buena calidad ya que de los doce muestreos en 9 para CT y en 11 para CF los coliformes estuvieron ausentes y solo en un muestreo se presentó alta contaminación siendo resultado de la contaminación antropogénica.

Tabla 8. Frecuencia de coliformes totales y fecales.
Pozo Cañada.

Coliformes totales		Coliformes fecales	
Ufc/100mL	Frecuencia	Ufc/100mL	Frecuencia
0	9	0	11
1	1	50	1
5	1		
100	1		

7.1.1.3 Comparación de las medias, valor mín. y valor máx. de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA1, 1994.

En la tabla 9 se presentan las comparaciones de las medias, valor mín. y valor máx. de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA, 1994.

Tabla 9. NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental.
Agua para uso y consumo humano.

Parámetro	Resultados del muestreo Cañada		Lim. Max. permisible NOM-127-SSA-1994
Turbiedad UNT	Media	1.08	5
	Valor mínimo	0.05	
	Valor máximo	12	
Cloruros mg/L	Media	5.34	250
	Valor mínimo	1.9	
	Valor máximo	11.9	
Dureza total mg/L	Media	73.9	500
	Valor mínimo	52	
	Valor máximo	99	
Nitratos mg/L	Media	0.217	10
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0.360	
Nitritos mg/L	Media	0.002	1
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0.004	
Nit. Amoniacal mg/L	Media	0	0.50
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0	
pH	Media	6.96	6.5 - 8.5
	Valor mínimo	6.5	
	Valor máximo	7.5	
Sol disueltos mg/L	Media	150	1000
	Valor mínimo	136	
	Valor máximo	172	
Sulfatos mg/L	Media	4.72	400
	Valor mínimo	2	
	Valor máximo	13.5	
SAAM mg/L	Media	0	0.50
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0	
Colif Totales Ufc/100 mL	Media	9	ausencia
	Valor mínimo	0	

	Valor máximo	100	
Colif Fecales Ufc/100 mL	Media	4	ausencia
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	50	

De la comparación de los resultados con la NOM-127-SSA1.1994 tenemos que solo el parámetro turbiedad sobre pasa el límite máximo permisible de 5 unidades (Tabla 9), esto pudiera ser por material suspendido como sólidos, arcilla o limo. En general todos los parámetros fisicoquímicos presentan promedios muy por debajo de los límites establecidos. Lo cual sugiere una calidad buena del agua en condiciones naturales.

Con respecto a los coliformes aunque en la mayoría de los muestreos tanto los CT como los CF estuvieron ausentes, sin perder de vista que las muestras se colectaron antes de la cloración, podemos decir que la calidad bacteriológica para este pozo es muy buena pero que es necesario seguir estudiándolo ya que hubo un muestreo en el que la contaminación bacteriana fue alta, indicando con ello que el acuífero puede presentar problemas de contaminación en determinados momentos, aunque su capacidad de dilución todavía funciona bien.

7.1.1.4 Índice de calidad del agua (ICA).

El ICA es una herramienta útil para conocer la calidad del agua con respecto al uso que se le esté dando (a ésta); basándose en índices de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos referidos en un límite que se considere admisible o aceptable para dicho uso. Esto nos dará un conocimiento del grado de contaminación industrial o antropogénica en la zona de estudio (Mata 2004; León, 2006).

Con los resultados obtenidos se calcularon las medias para cada parámetro, (Tabla 5) y con las medias los índices individuales por parámetro. Posteriormente se calculó el índice de calidad del agua (ICA) por cada muestreo determinándose el uso mas adecuado de acuerdo a la tabla 4.

Tabla 10. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo.

PERIODO	CAÑADA (%)
Mayo	100
Junio	99
Julio	100
Agosto	98
Septiemb	100
Octubre	100
Noviemb	100
Diciemb	100
Enero	83
Febrero	100
Marzo	100
Abril	100
MEDIA	98.3

De acuerdo a los ICA de cada mes tenemos que el valor mas bajo lo presentó el mes de enero con 83% lo cual indica de acuerdo a la tabla 10 que esta agua

requiere de ligera purificación para ser utilizada como abastecimiento público de agua potable.

En general como la media fue de 98.3 % podemos decir que el agua de este pozo es adecuada para consumo, coincidiendo también con la norma. Sin embargo, se registraron tres muestreos en los que hubo contaminación bacteriana, junio, agosto y enero, y específicamente en este último mes la contaminación fue alta lo cual indica que aunque en la mayoría de las veces el acuífero está teniendo una capacidad de dilución hay que tener cuidado debido a los tres muestreos en los que se pudo detectar la contaminación bacteriana.

7.1.2 POZO: CIVAC

7.1.2.1 Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos.

Las medias, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos, para cada parámetro se presentan en la tabla 11.

Las medias, valores mínimos y máximos para DBO_5 , detergentes y nitrógeno amoniacal, se encontraron por debajo del límite de detección del método. Los sólidos suspendidos también presentaron en algunas ocasiones valores en el límite de sensibilidad del método y en otras los valores en general fueron muy bajos al igual que la DQO.

Los bajos valores de la DBO_5 y la DQO así como la ausencia de $N-NH_3$ nos indican que en este pozo no hay contaminación por materia orgánica.

Tabla 11. Medias, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos.

CIVAC				
	Media	Desv estan.	Val. mínimo	Val. máximo
DBO	2.12	0.430	3.60	3.49
DQO	6.13	1	3.60	7.50
OD	4.75	1.32	2.67	6.20
pH	6.78	0.406	6	7.30
Temp.	19	1	17	20
Conduct.	135	11.9	110	150
S totales	113	12.9	84	128
S suspend	1.33	2.99	0	10
S disueltos	112	12.6	84	128
Nitratos	0.987	0.287	0	1.41
Nitritos	0.002	0	0	0.006
Alc total	77.5	12	60	98.8
Alc fenolf.	0	0	0	0
Dur total	43.6	8.22	27	57.3
Dur calcio	20.5	3.67	16	26
D magnesio	23.2	7.91	9	35.3

Cloruros	3.12	2.84	1	10.9
Sulfatos	4.75	3.08	2	12.1
SAAM	0	0	0	0
Turbiedad	0.153	0.114	0	0.470
NH3	0	0	0	0
Col totales	2	3	0	8
Col fecales	1	1	0	4

a) Comportamiento temporal del OD, temperatura y pH

En la figura 7 se puede observar que los meses de septiembre a noviembre presentaron las concentraciones más bajas de oxígeno disuelto, con 2.7 mg/L; el resto de los meses el OD se incrementó manteniéndose en un rango entre 4.6 y 6.2 mg/L. La media fue de 4.75 mg/L

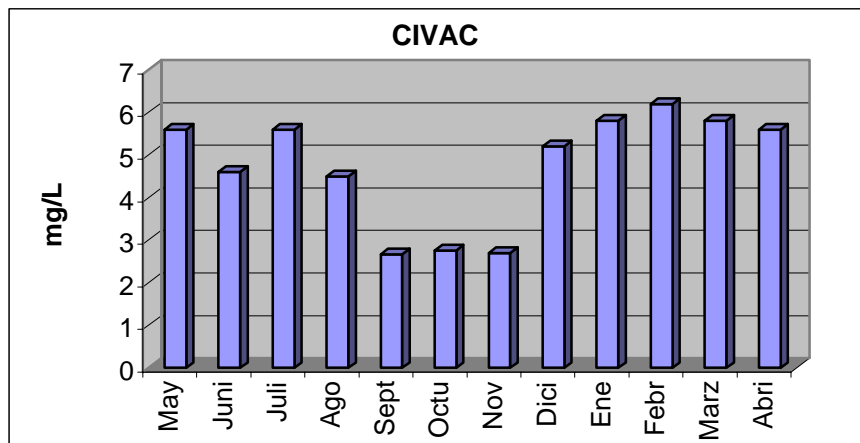


Figura 7. Comportamiento temporal del OD.

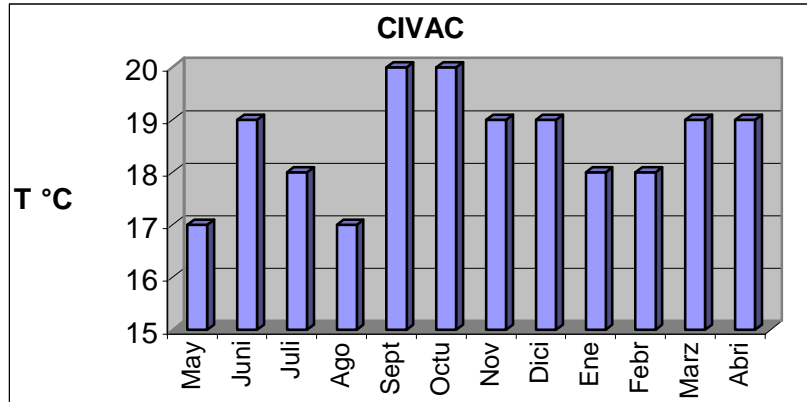


Figura 8. Comportamiento temporal de la Temperatura

En la figura 8 se observa que en los meses de septiembre y octubre se registraron los valores más altos en temperatura con 20°C, lo cual corresponde con un menor contenido de OD, coincidiendo con lo citado en la literatura de que cuando aumenta la temperatura disminuye el OD (Robles *et al.*, 2004).

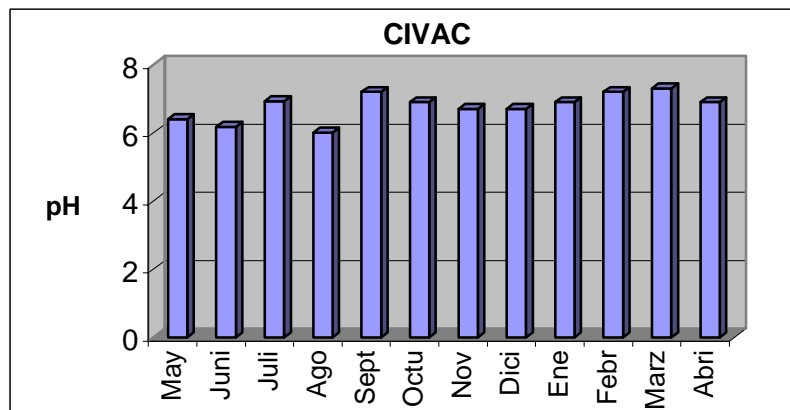


Figura 9. Comportamiento temporal del pH

En la figura 9 se puede apreciar el comportamiento del pH a lo largo de los meses, oscilando en un rango mínimo de 6.0 y un máximo de 7.3 con una media de 6.7

Los meses de mayo a agosto en general fueron los mas bajos de pH aunque a lo largo de todo el estudio no se apreciaron variaciones temporales fuertes en el pH.

b) Comportamiento temporal de la alcalinidad total y dureza total.

En este pozo se obtuvo una media de 43.6 mg/L para la dureza total, lo que la clasifica de acuerdo a la tabla 2 en un agua suave además de que todos los meses caen dentro de esta misma clasificación. El rango en que oscilaron los valores de dureza total fue de 27 a 57.3 mg/L.

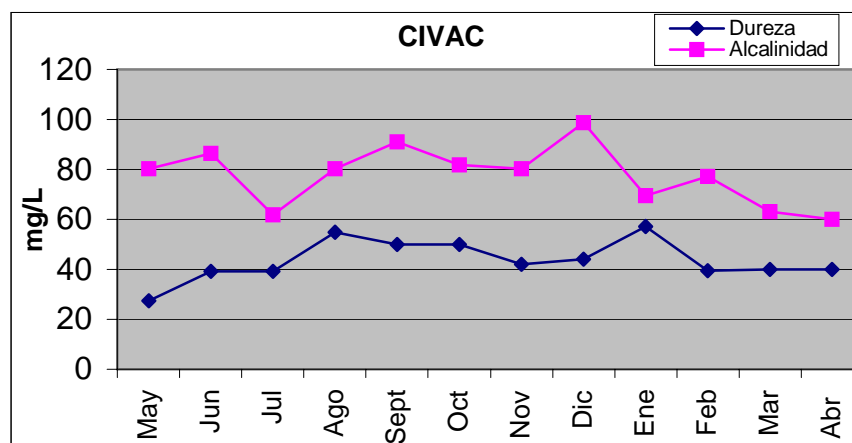


Figura 10. Comportamiento temporal de dureza total y alcalinidad total.

Como la media de la alcalinidad total (77.5 mg/L) es mayor que la de dureza total (43.6 mg/L), la dureza temporal o carbonatada de este pozo es de 43.6 mg/L.

La dureza no carbonatada fue de 33.9 mg/L que corresponde principalmente a sulfatos, cloruros, nitratos de calcio y de magnesio.

Los efectos de este tipo de durezas carbonatadas y no carbonatadas se describen en el apartado 7.1.1.1, inciso b del pozo la Cañada.

La alcalinidad a la fenolftaleina fue de cero correspondiendo estos datos con los pH menores de 8.3

La alcalinidad se mantuvo en el intervalo de 60 y 98.8 mg/L, con una media de 77.5 mg/L, la alcalinidad que presentó este pozo fue debida a bicarbonatos de acuerdo a la relación de alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleina.

c) Comportamiento temporal de los aniones cloruros y sulfatos

De acuerdo a la figura 11 se observa que para ambos parámetros hubo un incremento en el mes de agosto; tal vez estos contaminantes estén asociados a las descargas municipales, junto con descargas de industrias manufactureras, ya que cabe recordar que Civac es una zona urbana-industrial. Las concentraciones de cloruros tienen un valor mínimo 1mg/L, máximo de 10.9 mg/L y una media de 3.12mg/L. En los sulfatos se mostraron con un valor mínimo de 2 mg/L, un máximo 12.1 mg/L y una media de 4.75 mg/L.

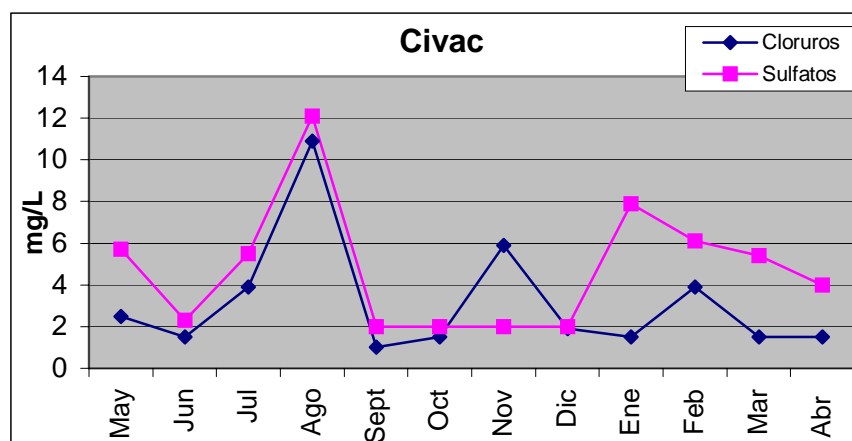


Figura 11. Comportamiento temporal de cloruros y sulfatos.

7.1.2.2 Variación temporal de los parámetros bacteriológicos

Tabla. 12 Resultados mensuales obtenidos de coliformes totales y fecales del pozo Civac.

	C. TOT	C. FEC
Mayo	5	1
Junio	2	1
Julio	2	2
Agosto	8	1
Septiembre	0	0
Octubre	0	0
Noviembre	1	1
Diciembre	0	0
Enero	0	0
Febrero	4	4
Marzo	4	4
Abril	1	0

En la tabla 12 se puede observar los resultados de los análisis bacteriológicos obtenidos durante los muestreos.

En la tabla 13 se puede apreciar que la incidencia de coliformes tanto totales como fecales fue muy baja pero constante ya que de los 12 muestreos ocho presentaron coliformes totales y siete coliformes fecales.

La presencia de coliformes totales y fecales aunque es baja indica el impacto de las descargas residuales sobre el acuífero el cual ya empieza a presentar contaminación bacteriana. También es importante destacar que esta zona es una zona industrial y pudiera estar la mayor parte del tiempo expuesta a descargas de contaminantes y condiciones que favorezcan a la proliferación de bacterias de este tipo.

Tabla 13. Frecuencia de coliformes totales y fecales del pozo Civac

COLIFORMES TOTALES		COLIFORMES FECALES	
UFC/mL	Frecuencia	UFC/mL	Frecuencia
0	4	0	5
1	2	1	4
2	2	2	1
4	2	4	2
5-8	2		

7.1.2.3 Comparación de las medias, valor mín. y valor máx. de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA, 1994.

Comparando los valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA. 1994 tenemos que el valor mínimo de pH queda por debajo de lo establecido con un valor de 6 esto posiblemente nos indica que en algún momento hubo una fuerte descarga industrial que afectó al acuífero bajando el pH debido al uso de reactivos químicos, aunque esto solo ocurrió una vez. También se sobrepasan los niveles de coliformes totales y fecales mientras que el resto de los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los límites permisibles.

Tabla 14. NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental.
Agua para uso y consumo humano.

Parámetro	Resultados del muestreo CIVAC		Lim. Max. NOM-127-SSA-1994
Turbiedad UNT	Media	0.153	5
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0.470	
Cloruros mg/L	Media	3.12	250
	Valor mínimo	1	
	Valor máximo	10.9	
Dureza total mg/L	Media	43.6	500
	Valor mínimo	27	
	Valor máximo	57.3	
Nitratos mg/L	Media	0.987	10
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	1.41	
Nitritos mg/L	Media	0.002	1
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0.006	
Nit. Amoniacal mg/L	Media	0	0.50
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0	
pH	Media	6.78	6.5 - 8.5
	Valor mínimo	6	
	Valor máximo	7.3	
Sol disueltos mg/L	Media	112	1000
	Valor mínimo	84	
	Valor máximo	128	
Sulfatos mg/L	Media	4.75	400
	Valor mínimo	2	
	Valor máximo	12.1	
SAAM mg/L	Media	0	0.50
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0	
Colif Totales	Media	2	ausencia
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	8	
Colif Fecales	Media	1	ausencia
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	4	

7.1.2.4 Índice de calidad del agua (ICA).

Con los resultados obtenidos se calcularon las medias para cada parámetro (Tabla 11) y con ellas se calcularon los índices individuales por parámetro. Posteriormente se calculó el índice de calidad del agua (ICA) por cada muestreo realizado, determinándose el uso mas adecuado (Tabla 4).

Tabla 15. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo.

PERIODO	CIVAC (%)
Mayo	95
Junio	98
Julio	98
Agosto	95
Septiemb	100
Octubre	100
Noviemb	99
Diciemb	100
Enero	100
Febrero	95
Marzo	95
Abril	99
MEDIA	97.8%

En este pozo todos los meses presentaron valores altos de ICA, indicando con ello una buena calidad de agua para suministro. La media de 97.8 % indica que no requiere de purificación. Sin embargo la presencia de bacterias coliformes totales y fecales en varios muestreos, aunque las concentraciones hayan sido bajas, indican que en este pozo la contaminación empieza a afectar al acuífero en esta zona ya que hubo varios muestreos en los que se detectaron estas bacterias.

7.1.3 POZO: TABACHINES

7.1.3.1 Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos.

Las medias, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos, para cada parámetro se presentan en la tabla 16.

Los bajos valores de la DBO₅ y la DQO así como la ausencia de N-NH₃ indican que no hay contaminación por materia orgánica.

Tabla 16. Medias, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos.

TABACHINES				
	Media	Desv estan.	Val mínimo	Val máximo
DBO ₅	2.06	0.208	2	2.72
DQO	9.75	2.95	4.90	12.5
OD	4.43	0.817	2.66	5.40
pH	6.94	0.431	5.80	7.58
Tempe	21	1.22	19	24
Conduct	244	36.7	200	345
S totales	184	12.4	162	201
S suspend	1.17	1.53	0	4
S disueltos	183	12.6	160	200
Nitratos	0.906	0.356	0.398	1.79
Nitritos	0.001	0.002	0	0.005
Alc total	182	18.3	159	217
Alc fenolf	0	0	0	0
Dur total	91.4	11.8	70	111
Dur calcio	35.9	5.77	23.5	44
D magnesio	53.8	12.6	35	72
Cloruros	14.9	2.49	11	19
Sulfatos	8.41	3.02	4.24	13.7
SAAM	0	0	0	0
Turbiedad	0.225	0.137	0.090	0.510
NH3	0	0	0	0
Col totales	18	57	0	200
Col fecales	0	1	0	4

a) Comportamiento temporal del OD, temperatura y pH

Como se puede apreciar en la figura 12 en el mes de octubre se registró la menor concentración de OD con una concentración de 2.6 mg/L. seguida del mes de septiembre. El valor máximo fue de 5.4 mg/L en diciembre. La media fue de 4.43 mg/L. Es probable que en los meses de septiembre y octubre la temperatura haya influenciado en la disminución del OD ya que en esos meses se presentaron altas concentraciones de temperatura.

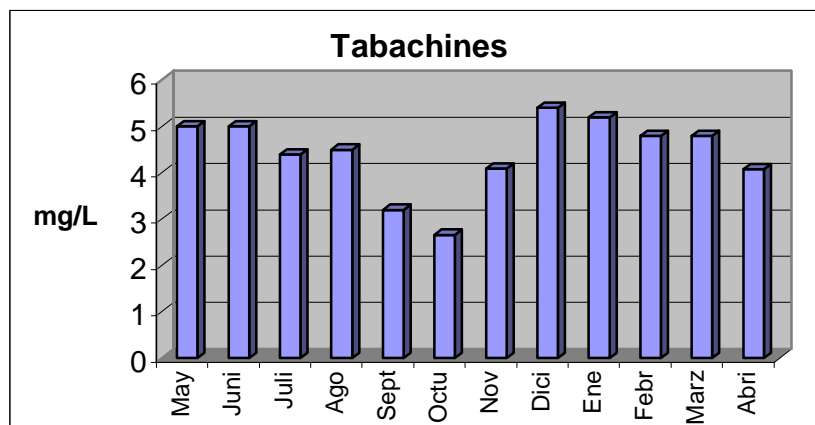


Figura 12. Comportamiento temporal de OD

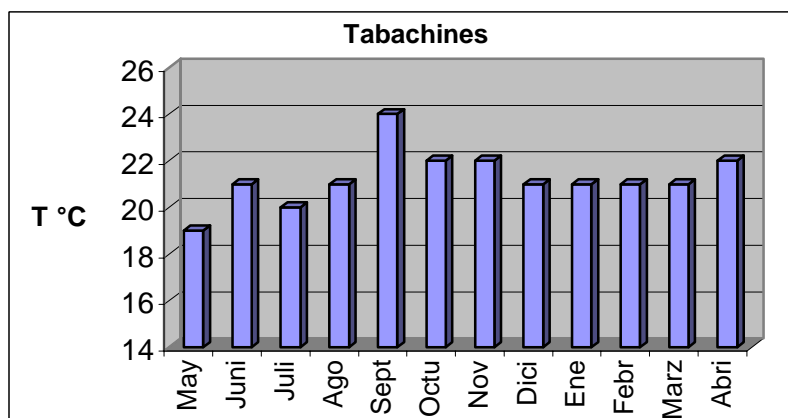


Figura 13. Comportamiento temporal de temperatura

La temperatura máxima fue la de septiembre con 24°C seguida de octubre, noviembre y abril que fueron de 22°C, mientras que el valor mínimo fue de 19°C en el mes de mayo. La media fue de 21°C.

En general podemos observar que los meses más altos de temperatura coinciden con los mas bajos de OD, y esto es debido a que a menor temperatura mayor concentración de oxígeno disuelto (Robles *et al.*, 2004).

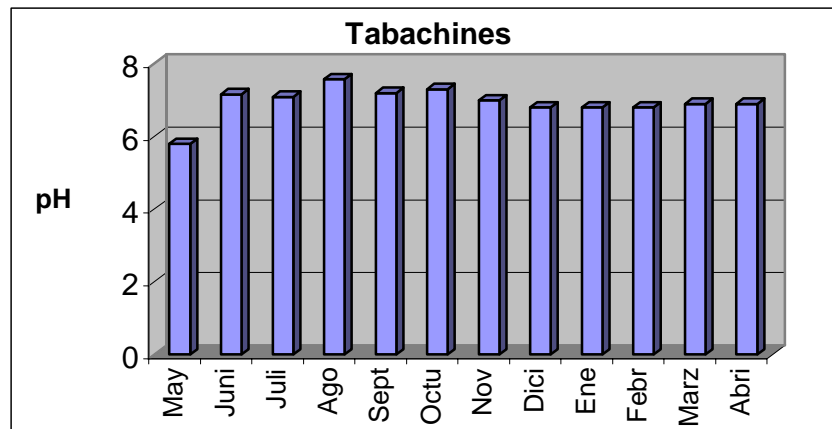


Figura 14. Comportamiento temporal de pH

Para este pozo el pH tuvo una media de 6.94 y el valor máximo fue de 7.58 con un mínimo de 5.80, el cual ya podría provocar corrosión en tuberías así como tener consecuencias en la velocidad de las reacciones que se llevan a cabo ya que uno de los factores importantes para que las reacciones se den es el tipo de medio en que se encuentran en este caso ácido o en otros alcalino (Jiménez 2001).

b) Comportamiento temporal de la alcalinidad total y dureza total

En este pozo los valores de dureza total oscilaron entre 70 y 111 mg/L. La media fue de 91.4 mg/L lo cual la clasifica en todos los meses, de acuerdo a la tabla 2, como un agua moderadamente dura.

La media de la alcalinidad total (182 mg/L) es mayor que la de dureza total (91.4 mg/L), por lo que la dureza temporal o carbonatada de este pozo es de 91.4 mg/L.

La dureza no carbonatada fue de 90.6 mg/L la cual corresponde principalmente a sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y de magnesio.

Los efectos tanto de la dureza carbonatada como la no carbonatada se mencionan el apartado 7.1.1.1, inciso b del pozo La Cañada.

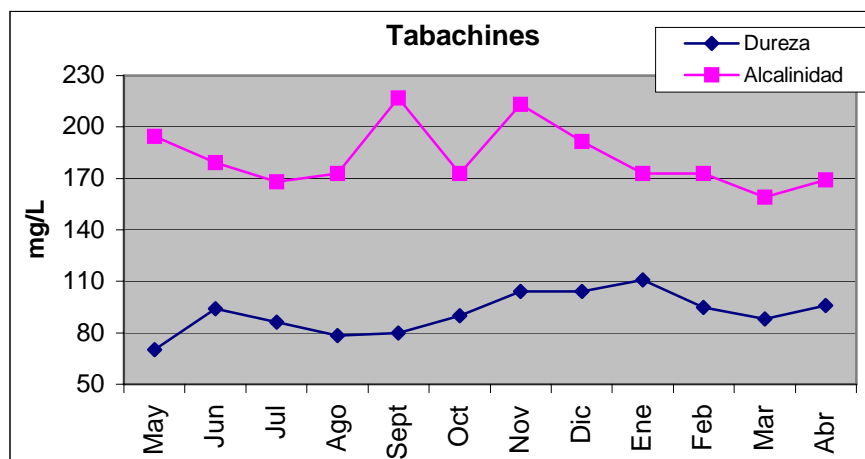


Figura 15. Comportamiento temporal de dureza total y alcalinidad total

La alcalinidad presentó un valor mínimo de 159 y un máximo de 217 mg/L, con una media de 182 mg/L. Tuvo un ligero incremento para el mes de septiembre y noviembre.

No se tiene alcalinidad a la fenolftaleína ya que no se tiene un pH mayor a 8.3.

La alcalinidad que presentó este pozo fue debida a bicarbonatos de acuerdo a la relación de alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleína.

c) Comportamiento temporal de los aniones cloruros y sulfatos.

En la figura 16 se observan las variaciones mensuales que se tuvieron para sulfatos y cloruros.

Tomando en cuenta que los cloruros y sulfatos pueden encontrarse en forma natural en intervalos de concentraciones muy grandes (de 1 hasta 250 o más) podemos decir que los intervalos encontrados fueron muy bajos y casi no presentaron grandes variaciones. Así tenemos que los cloruros presentaron como valor mínimo 11 mg/L y un máximo de 19 mg/L con una media de 14.9 mg/L, pequeñas variaciones se observaron en los meses de mayo a octubre, esto pudiera ser generado por la época de lluvias ya que en general estas comienzan durante el mes de mayo y terminan a finales del mes de octubre (CNA 2002). Esto nos da evidencia de contaminación por origen antropogénico.

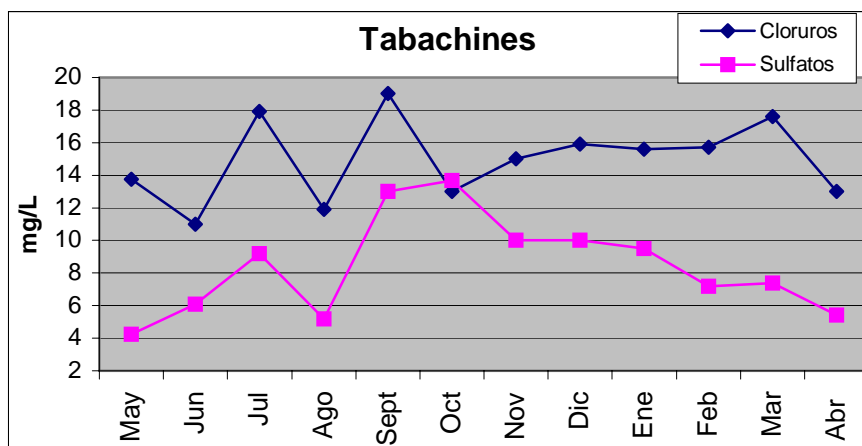


Figura 16. Comportamiento temporal de cloruros y sulfatos.

Para los sulfatos se obtuvo un valor mínimo de 4.24 mg/L, un valor máximo de 13.7 mg/L y una media de 8.41 mg/L.

Las concentraciones de sulfatos variaron también ligeramente durante todo el año al igual que los cloruros, sin embargo las mayores variaciones fueron para los meses de julio a noviembre, meses en los que las lluvias pudieron ser motivo de la variación.

7.1.3.2 Variación temporal de los parámetros bacteriológicos

Los resultados obtenidos en cada muestreo de los análisis bacteriológicos se pueden observar en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados mensuales obtenidos de Coliformes totales y fecales del pozo Tabachines.

	C. TOT	C. FEC
Mayo	8	0
Junio	1	0
Julio	0	0
Agosto	7	0
Septiembre	200	4
Octubre	0	0
Noviembre	0	0
Diciembre	4	0
Enero	0	0
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	1	0

En la tabla 17 se observa que para el mes de septiembre se tuvo el mayor incremento en coliformes totales con 200 UFC/100 ml y con 4 UFC/100 ml para los coliformes fecales; seguido de mayo y agosto que tuvieron 8 y 7 UFC/100 ml de coliformes totales respectivamente. Esto pudiera deberse principalmente a las descargas domesticas, que van al suelo directamente y como consecuencia se infiltran al acuífero llegando así a contaminarlo con coliformes y otros contaminantes.

Aunque solo en un mes se presentó la contaminación más alta tanto de coliformes totales como fecales, hubo 5 muestreos más con contaminación baja y solo de coliformes totales lo cual nos indica que el acuífero en esta zona ya también empieza a tener problemas de contaminación bacteriana.

Tabla. 18. Frecuencia de coliformes totales y fecales del pozo Tabachines.

COLIFORMES TOTALES		COLIFORMES FECALES	
UFC/mL	Frecuencia	UFC/mL	Frecuencia
0	6	0	11
1	2	4	1
4	1		
7	1		
8	1		
200	1		

7.1.3.3 Comparación de las medias, valor mín. y valor máx. de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA1,1994.

En la comparación de las medias, los valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA. 1994 solo el valor mínimo de pH se sale del rango (Tabla 19) ya que presenta un valor de 5.80, en el mes de mayo. Aunque este valor se presentó en una sola

ocasión es importante ya que los valores de pH abajo o arriba de los valores establecidos por la norma mexicana pueden ocasionar esfacelación del epitelio bucal (Robles *et al.*, 2004). Con respecto a los parámetros bacteriológicos, los coliformes totales y fecales estuvieron fuera de la norma en varios muestreos con valores bajos a excepción de un muestreo que presentó concentraciones altas de coliformes totales (200 UFC/100 ml) sin perder de vista que las muestras se colectaron antes de que el agua del pozo pasara por el sistema de cloración.

Tabla 19. NOM-127-SSA-1994, Salud ambiental.
Agua para uso y consumo humano.

Parámetro	Resultados del muestreo Tabachines		Lim. Max. NOM-127- SSA-1994
Turbiedad UNT	Media	0.225	5
	Valor mínimo	0.090	
	Valor máximo	0.510	
Cloruros mg/L	Media	14.9	250
	Valor mínimo	11	
	Valor máximo	19	
Dureza total mg/L	Media	91.4	500
	Valor mínimo	70	
	Valor máximo	111	
Nitratos mg/L	Media	0.906	10
	Valor mínimo	0.398	
	Valor máximo	1.79	
Nitritos mg/L	Media	0.001	1
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0.005	
Nit. Amoniaca mg/L	Media	0	0.50
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0	
pH	Media	6.94	6.5 - 8.5
	Valor mínimo	5.80	
	Valor máximo	7.58	
Sol disueltos mg/L	Media	183	1000
	Valor mínimo	160	
	Valor máximo	200	
Sulfatos mg/L	Media	8.41	400
	Valor mínimo	4.24	
	Valor máximo	13.7	
SAAM mg/L	Media	0	0.50
	Valor mínimo	0	

	Valor máximo	0	
Colif Totales Ufc/100mL	Media	18	ausencia
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	200	
Colif Fecales Ufc/100mL	Media	0	ausencia
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	4	

-
-
-
-

7.1.3.4 Índice de calidad del agua (ICA)

Con los resultados obtenidos se calcularon las medias para cada parámetro y con ellas, los índices individuales por parámetro. Posteriormente se calculó el índice de calidad del agua (ICA) por cada muestreo realizado. Determinando así el uso mas adecuado de acuerdo a las medias de la tabla 16.

El valor de ICA más bajo se presentó el mes de septiembre con 75% (Tabla 20) indicando que el uso de esta agua para consumo humano requiere de mayor tratamiento. Sin embargo la media de 96.5 y el resto de los demás meses el pozo presentó buena calidad, pudiendo utilizarse para consumo humano.

Tabla 20. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo.

PERIODO	TABACHINES (%)
Mayo	95
Junio	99
Julio	100
Agosto	95
Septiemb	75
Octubre	100
Noviemb	100
Diciemb	95
Enero	100
Febrero	100
Marzo	100
Abril	99

MEDIA	96.5
-------	------

7.1.4 POZO: TEXCAL

7.1.4.1 Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos

Las medias, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos, para cada parámetro se presentan en la tabla 21.

Los bajos valores de la DBO_5 y la DQO así como la ausencia de $N-NH_3$ nos indican que también en este pozo no hay contaminación por materia orgánica

Tabla 21. Medias, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos.

TEXCAL				
	Media	Desv estan.	Val mínimo	Val máximo
DBO_5	2.09	0.303	2	3.05
DQO	10.1	5.47	4.10	22.8
OD	4.13	1.44	0.820	6
pH	6.97	0.246	6.61	7.53
Temp	20	1.44	19	24
Conduct	216	7.43	208	230
S totales	179	11.4	160	192
S suspend	1.58	3.50	0	12.0
S disueltos	177	11.3	160	192
Nitratos	0.874	0.245	0.458	1.28
Nitritos	0.002	0.004	0	0.015
Alc total	177	14.7	155	198
Alc fenolf	0	0	0	0
Dur total	103	9.60	92	123
Dur calcio	67.6	8.23	52	85
D magnesio	35	13.5	15	60
Cloruros	3.02	2.63	1	9.70
Sulfatos	8.39	2.94	3.90	12.8
SAAM	0	0	0	0
Turbiedad	0.293	0.184	0.070	0.620
NH_3	0	0	0	0
Col totales	1	2.71	0	8
Col fecales	0	0	0	0

a) Comportamiento temporal de OD, pH y temperatura

En las siguientes figuras se muestra el comportamiento mensual de los parámetros *in situ*. Así tenemos que el valor mínimo de oxígeno disuelto fue de 0.820 mg/L, el valor máximo 6 mg/L y una media de 4.13 mg/L

En la figura 19 se puede observar que los meses de septiembre, octubre y noviembre fueron los meses más bajos en oxígeno disuelto mientras que en general los demás meses se registraron los valores un poco más altos.

En la figura 17 se aprecia que los valores mas altos de temperatura se presentaron en octubre, febrero y junio y los mas bajos en julio y agosto coincidiendo solo en algunos meses con lo de que a mayor temperatura menor concentración de OD. Esto es explicable pues hay que recordar que en la toma de la muestra para determinar el oxígeno disuelto es muy difícil controlar la salida del agua del pozo el cual viene con mucha presión y esto introduce oxígeno a la muestra.

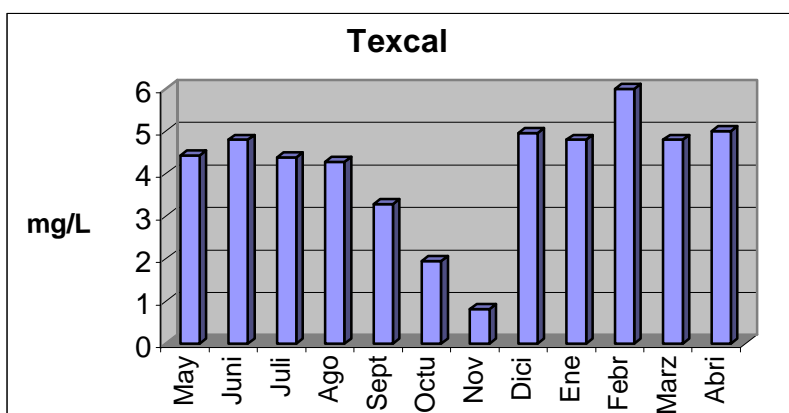


Figura 17. Comportamiento temporal de OD.

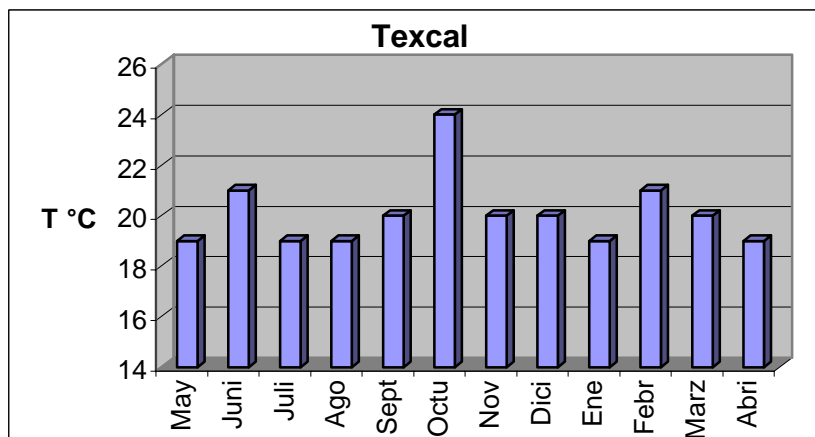


Figura 18. Comportamiento temporal de temperatura.

En el caso del pH, éste no varió mucho y sus valores oscilaron entre 7.53 y 6.61, con una media de 6.97. Con respecto a la variación temporal tenemos que en agosto se registró el valor más alto y el más bajo en junio, aunque como se dijo anteriormente la variación fue muy poca.

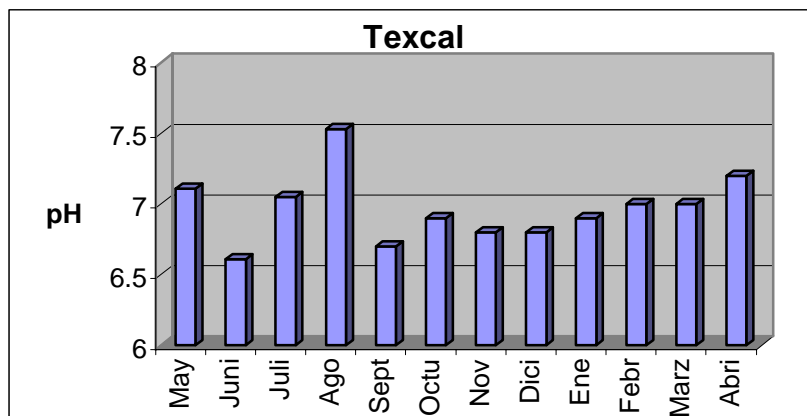


Figura 19. Comportamiento temporal de pH

b) Comportamiento temporal de la alcalinidad total y dureza total

En este pozo se obtuvo una media de 103 mg/L para la dureza total, lo cual en general la clasifica de acuerdo a la tabla 2 en un agua moderadamente dura. Los valores fueron más o menos constantes, el rango en que oscilaron los valores de dureza total fue de 92 a 123 mg/L. En el mes de enero presentó una dureza total de 123 mg/L lo cual lo ubica en un agua dura (Figura 20).

Como la media de la alcalinidad total (177 mg/L) es mayor que la de dureza total (103 mg/L), la dureza temporal o carbonatada de este pozo es de 103 mg/L.

La dureza no carbonatada fue de 74 mg/L.

Los efectos tanto de la dureza carbonatada como la no carbonatada se mencionan en el apartado 7.1.1.1, inciso b del pozo La Cañada.

No se tiene alcalinidad a la fenolftaleína ya que el un pH fue menor a 8.3.

La alcalinidad total tuvo un valor mínimo de 155 y un máximo de 198 mg/L, con una media de 177 mg/L. La alcalinidad que presentó este pozo fue debida a bicarbonatos de acuerdo a la relación de alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleína.

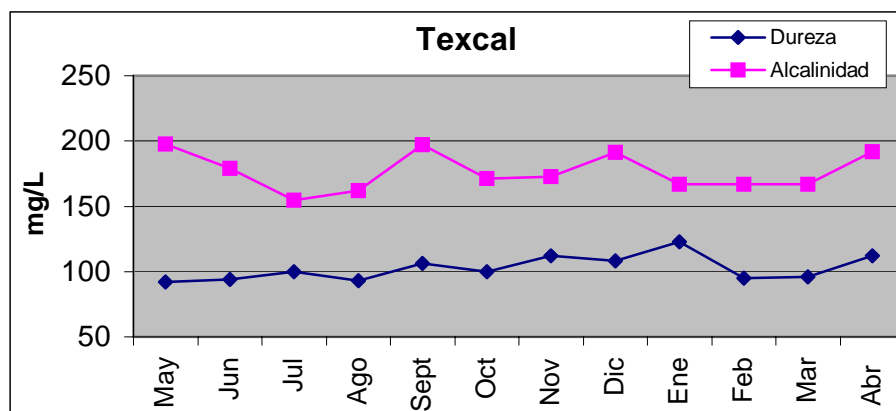


Figura 20. Comportamiento temporal de dureza total y alcalinidad total.

c) Comportamiento temporal de los aniones cloruros y sulfatos.

De acuerdo a la figura 21 se observa que las concentraciones de cloruros son relativamente bajas con un valor mínimo de 1 mg/L y un máximo de 9.7 mg/L. Los valores más bajos se presentaron en los meses de agosto, octubre, marzo y abril y el más alto en febrero.

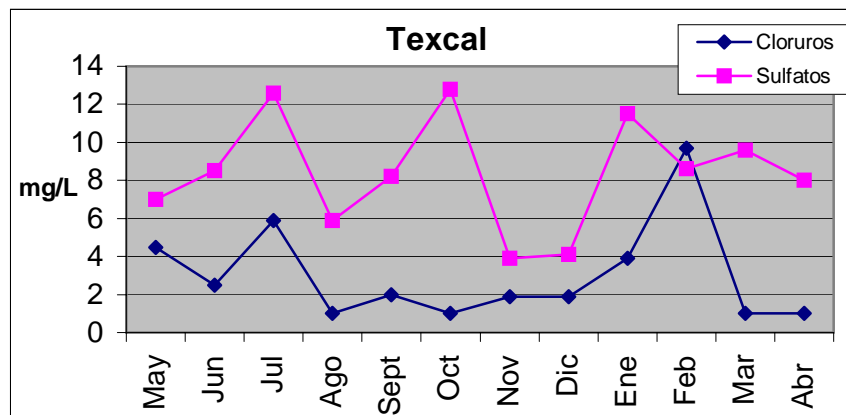


Figura 21 . Comportamiento temporal de cloruros y sulfatos.

Los sulfatos también mostraron poca variación, con un valor mínimo de 3.9 y un máximo de 12.8 mg/L esto podría ser por causa de lixiviados (de depresiones) naturales de sulfato de magnesio o sulfato de sodio, lo cual en concentraciones elevadas pudieran ocasionar efectos laxantes.

7.1.4.2 Variación temporal de los parámetros bacteriológicos

Los resultados de los análisis bacteriológicos se presentan en la tabla 22, donde se puede observar que solo se tuvo contaminación por coliformes totales en los

meses de junio, septiembre y abril con 8, 4 y 5 UFC/100ml, que relativamente no es un valor alto, tomando en cuenta que la muestra fue tomada antes de pasar por el dosificador de cloro.

Tabla 22. Resultados mensuales obtenidos de coliformes totales y fecales del pozo Texcal.

	C. TOT	C.FEC
Mayo	0	0
Junio	8	0
Julio	0	0
Agosto	0	0
Septiembre	4	0
Octubre	0	0
Noviembre	0	0
Diciembre	0	0
Enero	0	0
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	5	0

En la tabla 23 de frecuencias se observa que hubo 9 muestreos libres de contaminación bacteriana, y 3 en donde dicha contaminación fue muy baja. En todos los casos no hubo coliformes fecales. En general en este pozo podemos decir que el agua es de buena calidad aunque ya empieza a observarse una leve afectación en esta zona pues hubo 3 muestreos en los que se registró la contaminación de coliformes totales.

Tabla 23. Frecuencia de coliformes totales y fecales del pozo Texcal.

COLIFORMES TOTALES		COLIFORMES FECALES	
Ufc/ml	Frecuencia	Ufc/ml	Frecuencia
0	9	0	12
4	1		
5	1		

8	1		
---	---	--	--

7.1.4.3 Comparación de las medias, valor mín. y valor máx. de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA, 1994.

Comparando las medias y los valores mínimo y máximo de los parámetros fisicoquímicos con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA.1994 se tiene que en general todos los parámetros fisicoquímicos presentan promedios muy por debajo de los límites establecidos, lo cual sugieren una buena calidad del agua. Sin embargo para los parámetros bacteriológicos, los coliformes totales estuvieron presentes en algunos muestreos aunque en concentraciones muy bajas, las cuales al pasar por el sistema de cloración se eliminan haciendo que el agua del pozo sea potable.

Tabla 24. NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental.
Agua para uso y consumo humano.

Parámetro	Resultados del muestreo Texcal		Lim. Max. NOM-127-SSA-1994
Turbiedad UNT	Media	0.293	5
	Valor mínimo	0.070	
	Valor máximo	0.620	
Cloruros mg/L	Media	3.02	250
	Valor mínimo	1	
	Valor máximo	9.70	
Dureza total mg/L	Media	103	500
	Valor mínimo	92	
	Valor máximo	123	
Nitratos mg/L	Media	0.874	10
	Valor mínimo	0.458	
	Valor máximo	1.28	
Nitritos mg/L	Media	0.002	1
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0.015	
Nit. Amoniaca mg/L	Media	0	0.50
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0	
pH	Media	6.97	6.5 - 8.5
	Valor mínimo	6.60	
	Valor máximo	7.5	

Sol disueltos mg/L	Media	177	1000
	Valor mínimo	160	
	Valor máximo	192	
Sulfatos mg/L	Media	8.39	400
	Valor mínimo	3.9	
	Valor máximo	12.8	
SAAM mg/L	Media	0	0.50
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0	
Colif Totales Ufc/100mL	Media	1	ausencia
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	8	
Colif Fecales Ufc/100mL	Media	0	ausencia
	Valor mínimo	0	
	Valor máximo	0	

7.1.4.4 Índice de calidad del agua (ICA)

Con los resultados obtenidos se calcularon las medias para cada parámetro; y con ellas los índices individuales por cada parámetro. Posteriormente se calculó el índice de calidad del agua (ICA) por cada muestreo realizado. Determinándose el uso más adecuado de acuerdo a las medias de la tabla 21.

Tabla 25. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo.

PERIODO	TEXCAL (%)
Mayo	100
Junio	98
Julio	100
Agosto	100
Septiemb	98
Octubre	100
Noviemb	100
Diciemb	100
Enero	100
Febrero	100
Marzo	100
Abril	98

MEDIA	99.5
-------	------

En general en este pozo en todos los meses se obtuvo un agua de muy buena calidad (99.5 %). Sin embargo hubo tres muestreos que empezaron a presentar problemas de contaminación bacteriana aunque en muy bajas concentraciones, indicando que en esta zona el impacto de los contaminantes empieza a afectar al acuífero.

7.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA ENTRE LOS CUATRO POZOS

7.2.1 COMPARACION DE LAS SALES DISUELTAS

De acuerdo a la media de la dureza total de cada pozo, se determinó que el tipo de agua en la zona centro oriente del acuífero del Valle de México va de suave a moderadamente dura. Siendo CIVAC el único que cae dentro de la clasificación de una agua suave, los otros tres son de agua moderadamente dura, siendo el pozo de Texcal el que presenta una dureza mayor con 103 mg/L. Lo cual quiere decir que en el agua de esta zona puede haber un poco de problemas de incrustaciones de sales, dañando las tuberías. También puede dificultar un poco la cocción de legumbres e impedir ligeramente la formación de espuma del jabón (Jiménez 2001).

Tabla 26. Clasificación del Agua de acuerdo a la dureza total.

POZO	mg/ L	TIPO DE AGUA
Cañada	73.9	Moderadamente dura
Civac	43.6	Agua suave
Tabachines	91.4	Moderadamente dura
Texcal	103	Moderadamente dura

Respecto a la alcalinidad del agua de los 4 pozos (Figura 22) es del tipo de bicarbonatos. Los pozos Tabachines y Texcal son los que presentan los valores más elevados, con 182 mg/L, y 177 mg/L respectivamente.

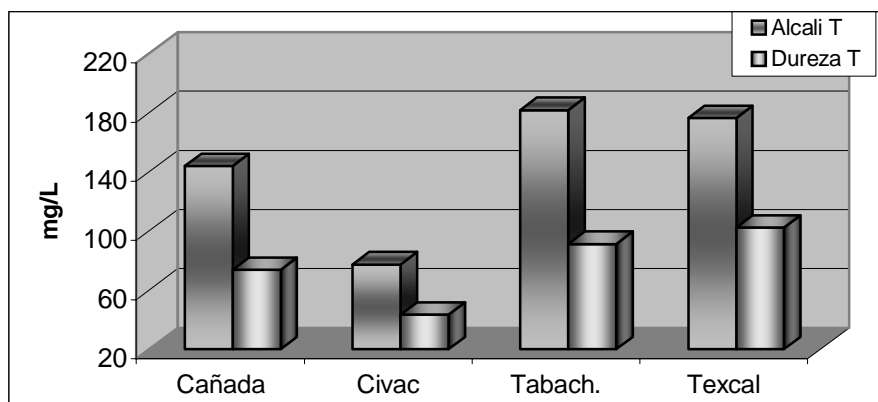


Figura 22. Comparación de Alcalinidad y Dureza entre los 4 pozos.

En general las concentraciones de cloruros y de sulfatos son bajas para esta zona de estudio del acuífero. Comparando estos parámetros entre los cuatro pozos (Figura 23), se tiene que Tabachines es el que presenta una mayor concentración con 14.9 mg/L para el primero y 8.41 mg/L para el segundo.

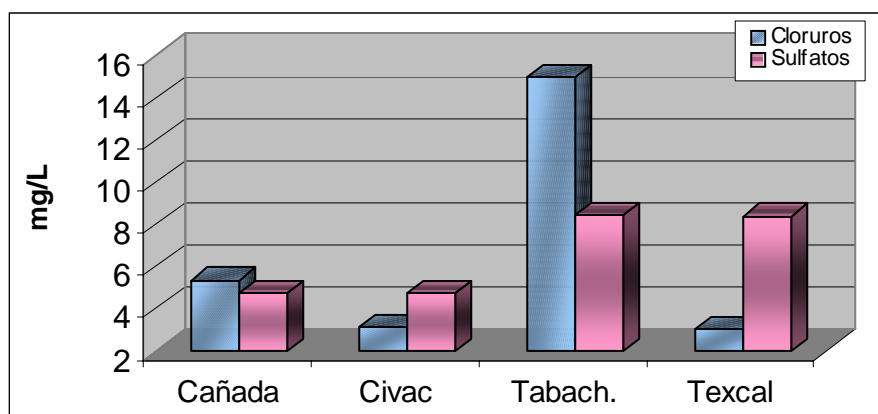


Figura 23. Comparación de cloruros y sulfatos entre los cuatro pozos.

En general para apreciar el comportamiento global de las sales disueltas podemos hacer una comparación de los sólidos disueltos entre los cuatro pozos y así tenemos que los pozos de Tabachines y Texcal tuvieron las concentraciones más altas con unas medias de 183 y 177 mg/L respectivamente, lo cual corresponde a las altas concentraciones en alcalinidad, dureza, cloruros y sulfatos principalmente en Tabachines (Figura 24).

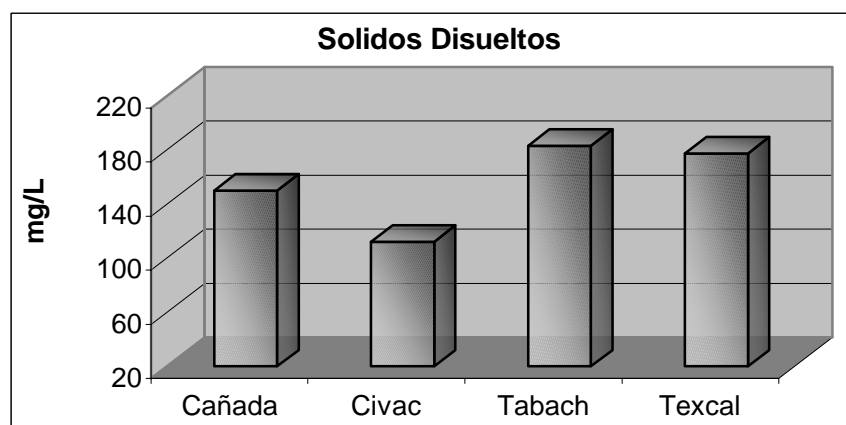


Figura 24. Comparación de sólidos disueltos entre los cuatro pozos.

Para conocer la variación temporal del contenido de sales disueltas entre los cuatro pozos se graficaron los sólidos disueltos obtenidos mensualmente en cada pozo (Figura 25). y se calculó el Coeficiente de Correlación de Pearson (Tabla 27). En base a esos resultados tenemos que en general hubo diferencias significativas entre los pozos estudiados o sea que no hubo correlación entre ellos a excepción de la relación entre Cañada y Texcal en donde se apreció una correlación inversa la cual se puede apreciar en la figura 25, así tenemos que en el verano mientras en texcal se observó un ligero incremento en la concentración de los sólidos disueltos en la cañada se observó una ligera disminución para el mismo periodo, después en Texcal baja las concentraciones y en cañada suben.

Dado que la dirección del flujo del acuífero pasa primero por las zonas de Civac y cañada y posteriormente por Tabachines y Texcal, esto hace que los primeros

pozos presenten una concentración de sales disueltas un poco menor con respecto a Tabachines y Texcal, ya que el agua a su paso va concentrando las sales que se van disolviendo del suelo por donde va pasando.

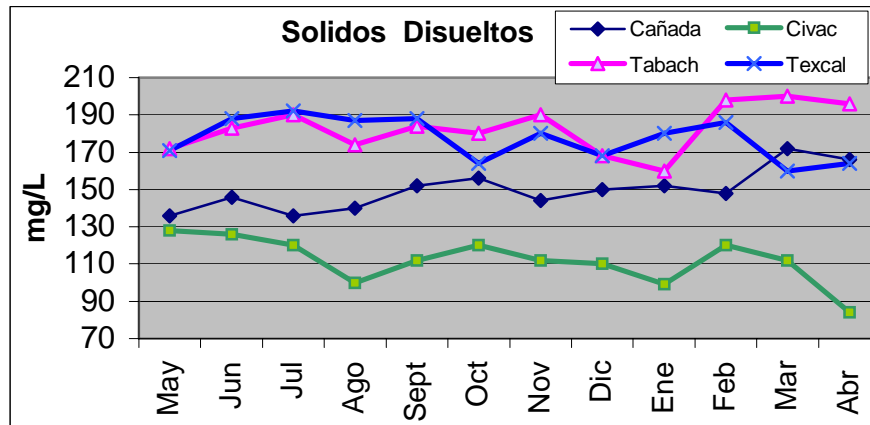


Figura 25. Variación temporal de Sólidos Disueltos de los cuatro pozos.

Tabla 27. Coeficientes de correlación entre los distintos pozos.

COEFICIENTE DE CORRELACION	
Cañada y Civac	-0.469
Cañada y Tabachines	0.389
Cañada y Texcal	-0.684
Civac y Tabachines	0.028
Civac y Texcal	0.236
Tabachines y Texcal	-0.067

7.2.2 CONTAMINACIÓN BACTERIANA

En la figura 26 y en las tablas 28 y 29 se puede observar que el pozo con mejor calidad fue Texcal ya que tuvo 9 muestreos libres de coliformes totales y 12 de fecales, seguido de Cañada con 9 libres de coliformes totales y 11 de fecales,

aunque este último tuvo un muestreo con altas concentraciones de coliformes totales.

El pozo con más muestreos contaminados fue Civac con 8 muestreos con coliformes totales y 7 con coliformes fecales aunque en general las concentraciones no fueron altas mientras que Tabachines tuvo 6 muestreos contaminados solo con coliformes totales y uno de ellos con alta concentración.

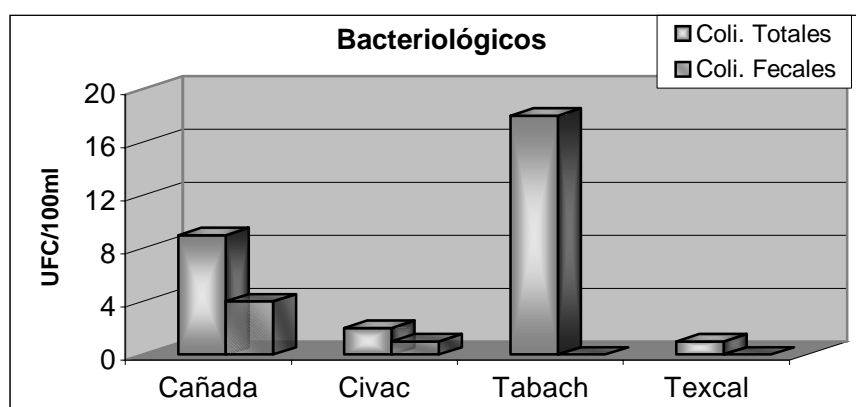


Figura 26. Incidencia de coliformes totales y fecales en los cuatro pozos.

Tabla 28. Frecuencias para coliformes totales.

Intervalo de ufc/100ml	FRECUENCIAS			
	CAÑADA	CIVAC	TABACHINES	TEXCAL
0	9	4	6	9
1 a 10	2	8	5	3
11 a 99	0	0	0	0
100 a 500	1	0	1	0

Tabla 29. Frecuencias para coliformes fecales.

Intervalo de ufc/100ml	FRECUENCIAS			
	CAÑADA	CIVAC	TABACHINES	TEXCAL
0	11	5	11	12
1 a 10	0	7	1	0
11 a 99	1	0	0	0

7.2.3 NORMATIVIDAD

En la tabla 30 se puede apreciar que Texcal es el pozo con mejor calidad de acuerdo a la norma pues solo tuvo en algunos casos fuera de ella a los coliformes totales, mientras que los otros tres tuvieron además de los coliformes totales a los coliformes fecales fuera de la norma y un parámetro físico cada uno de ellos en algún muestreo.

Tabla 30. Parámetros fuera de la NOM-127 para los cuatro pozos.

	Cañada	Civac	Tabachines	Texcal
Parámetros bacteriológicos fuera de la NOM en algunos muestreos	CT	CT	CT	CT
	CF	CF	CF	—
Parámetros fisicoquímicos fuera de la NOM en algunos muestreos	Turbiedad	pH	pH	—

7.2.4 INDICE DE CALIDAD DEL AGUA.

De acuerdo a las medias obtenidas de los doce meses muestreados de cada pozo se determinó el uso según el Índice de Calidad del Agua para cada uno de ellos.

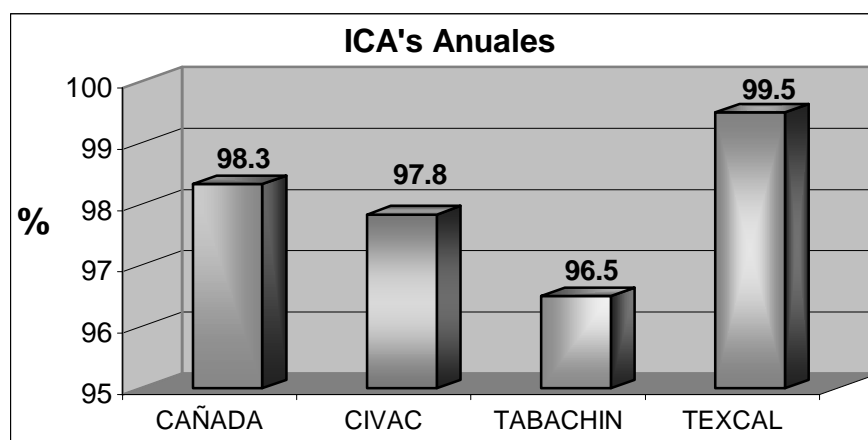


Figura 27. ICA's anuales de los cuatro pozos.

En la figura 27 se puede observar que Cañada y Texcal son los pozos que obtuvieron un ICA mayor por lo cual en general no requieren de purificación. Sin embargo Civac y Tabachines aunque tienen un ICA ligeramente menor, también caen dentro de la misma clasificación y por lo tanto tampoco requieren de purificación.

En el 2002, la CNA menciona que la degradación en la calidad del agua del acuífero de Cuernavaca es debido a la infiltración de aguas residuales domésticas y municipales que se vierten a barrancas y ríos. La distribución de los elementos

contenidos en el agua son de menores concentraciones en la porción Norte del valle y progresivamente se incrementan hacia el Sur ya que esta es la trayectoria de la corriente del agua que se lleva. Por lo tanto gran parte del contenido de las sales en la zona estudiada es consecuencia del arrastre y acumulación que lleva el cauce sin embargo, en esta zona todavía no son excesivos ya que de acuerdo al ICA el agua de los pozos estudiados es de buena calidad.

8. CONCLUSIONES

- Es probable que la concentración de los contaminantes existentes en los acuíferos sea por un lado debido a las actividades humanas e industriales, llevando a cabo la incorporación de compuestos adicionales a estos y por otro al cauce mismo del acuífero el cual empieza en la zona norte y a su paso va acumulando sales y contaminantes.
- Civac es un pozo que se encuentra situado en una zona urbana-industrial y de los cuatro, es el pozo que presentó niveles más bajos para alcalinidad y dureza, situándolo así en ser el único pozo con un tipo de agua suave; es probable que las industrias aledañas a esta zona le estén dando un buen tratamiento a sus aguas residuales y de desecho.
- En este estudio la calidad del agua disminuyó por la presencia de bacterias, no importa el número de meses en el que se encuentren las bacterias, sino la cantidad de ellas presentes en cada muestreo; tal es el caso de Tabachines que tiene 6 meses con contaminación por coliformes totales y Civac tiene 8 meses pero con un menor número de bacterias detectadas. Dicha contaminación es probablemente derivada de las descargas de aguas residuales directas al suelo y como consecuencia de su infiltración al acuífero.
- Los resultados en el pozo de Tabachines indican que existe una fuerte contaminación por coliformes totales al ser el pozo con mayor número de bacterias detectadas.
- De los cuatro pozos Civac presentó en 7 meses contaminación por coliformes fecales, pero se obtuvieron pocas colonias, la contaminación para este pozo se puede decir que es continua. A diferencia de Cañada que solo

en un mes presentó contaminación en el cual la presencia fue muy alta, y esto le resta calidad colocando a este pozo con el mayor número de fecales detectados.

- En general, los cuatro pozos se encuentran cumpliendo con la NOM-127, ya que están dentro de los límites permisibles para los parámetros físico-químicos; la calidad microbiológica del agua subterránea en los cuatro pozos se puede clasificar como aceptable sin descuidar la importancia del proceso de cloración para la purificación de las aguas antes de su distribución y así tener la certeza de que el agua de estos pozos es de buena calidad para el consumo humano.
- En general se puede decir que el agua de las zonas estudiadas del acuífero de Cuernavaca pueden utilizarse para cualquier actividad que incluya el consumo humano y solo en este caso requiere de un proceso de desinfección para asegurar su potabilidad y no causar daños a la salud.
- Es importante señalar que aunque las muestras se tomaron antes del dosificador de cloro, los resultados indican la problemática que se está presentando en el agua subterránea de la zona centro-oriente de Cuernavaca en donde las descargas de aguas residuales de muchas casas van a dar directamente a las barrancas, contaminándose así los mantos acuíferos.
- Los cuatro pozos presentan un ICA muy bueno (mayor del 90 %) en el que no se requiere de purificación para el abastecimiento público, siendo Texcal el pozo con mejor índice de calidad, así mismo los parámetros físicoquímicos analizados en este pozo, se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles cumpliendo con la NOM-127, excepto para los parámetros bacteriológicos en donde los coliformes totales se presentaron en 3

muestreos y aunque estuvieron en concentraciones muy bajas la norma dice que deben estar ausentes.

- El ICA para Civac fue aceptable a pesar de que es un pozo que se encuentra en una zona industrial, y se pudiera pensar que está demasiado contaminado, pero este estudio nos demuestra que su calidad para uso potable es confiable.
- La baja vulnerabilidad del acuífero de Cuernavaca y su poder de dilución permite que este conserve un agua relativamente de buena calidad, ya que el riesgo de contaminación fue muy bajo en este estudio. Sin embargo la capacidad de dilución puede terminarse si se siguen vertiendo contaminantes al suelo y en este estudio ya se vieron algunos casos en donde esta contaminación ya está empezando a afectar la calidad del acuífero.

9. RECOMENDACIONES

- No dejar de clorar el agua para su distribución, especialmente en los pozos donde hubo mayor número de contaminación bacteriana.
- Continuar con programas de monitoreo de la calidad del agua para vigilar que los contaminantes no afecten al acuífero.
- Seguir fomentando la divulgación y cultura en la población acerca del valioso recurso que es el agua subterránea basándose en estrategias adecuadas que involucren a la población en la conservación de los acuíferos.
- Hacer estudios más completos que incluyan análisis de metales pesados y otros parámetros que pudieran afectar la salud de la población.

10. REFERENCIAS

- Aguilar, P. P., Cepero M. J. A., Coutin G. M. 2000. La calidad del agua de consumo y las enfermedades diarreicas en Cuba 1996-1997. Pan. Am. Public Health **7**(5): 313-318.
- APHA-AWWA-WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20^a ed, USA.
- Barrón, R. L. E. 2004. Evaluación de la contaminación del agua subterránea basado en índices de calidad del agua, caso acuífero Pénjamo-Abasolo. Tesis de Licenciatura. Biólogo. Facultad de Ciencias. UNAM. 69p.
- Bitton, G., y Gerba, Ch. P. (1984) *Groundwater Pollution Microbiology*. John Wiley & Sons. New York.
- Borbolla, S., E., M., Vidal, P., Ma. Del R., Piña, G., O., E., Cruz, Q., I., B., y Vidal, V., J., J. 2005. Características Sanitarias del agua en Tabasco 2003, Salud en Tabasco. **11** (3):375-379.
- Caballero, A. D. 2006. La calidad del agua subterráneas en la subcuenca del río Guanajuato. México. Tesis de Ingeniería. Civil. Facultad de Ingeniería. División de Ingeniería Civil y Geomatica Departamento de Ingeniería sanitaria y Ambiental. Instituto de Geofísica. UNAM. 131p.
- Castro, J. M. 2000. Análisis Físico-químicos y Bacteriológicos de la calidad del agua del Ramal Tlahuac. 1991-1992. México. Tesis de Licenciatura. Biólogo. Facultad de Ciencias. UNAM. 88p

- Contreras, F. E. 1994. Manual de Técnicas hidrológicas. Editorial Trillas. México. D. F. 139p
- 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.
- Comisión Nacional del Agua. 2002. Determinación de la disponibilidad del agua en el acuífero Cuernavaca, Estado de Morelos. 52p
- Cortés, M. R. S. 2004. Evaluación de la calidad bacteriológica y fisicoquímica de la Presa Valle de Bravo. Tesis de Licenciatura. Biólogo. FES-Iztacala. UNAM.
- Debels, P., Fangueroa R., Urrutia R., Barra R., Niell X. 2005. Evaluation of water quality in the chillán river (central chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. Environmental Monitoring and Assessment **110**:301-322.
- Fetter, C. W. 1999. Contamination Hidrogeology. 2a. edition. Prentice Hall. USA. 497 p.
- Guinea, J., Sancho J., Pérez R., 1979. Análisis microbiológico de aguas. Aspectos aplicados. Ediciones Omega. Barcelona. 122p
- Govantes, G. M. 2007. Estudio fisicoquímico y bacteriológico de la laguna negra de Puerto Marqués. Tesis de licenciatura en Biología. FEZ-Iztacala. UNAM. México.

- Jiménez, E., Cisneros B., 2002. La contaminación ambiental en México: causas efectos y tecnología apropiada. Editorial Limusa. México D. F. 183p
- Kunwar, P., S., Amrita M., Dinesh M., Vinod K S., Sarita S. 2006. Evaluation of groundwater quality in northern Indo-Gangetic alluvium region. *Environmental Monitoring and Assessment*. **112**:211-230.
- León, V. L. F. 2006. Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la cuenca Lerma–Chapala. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. 6 p.
- Mailloux, BJ. y Fuller, ME. 2003. Determination In Situ of Bacterial Growth Rates en Aquifers Sediments, *Appl. Environ. Microbiol.* **69** (7): 3798-3808.
- Martínez, J.; Ruano, P. 1998. Aguas Subterráneas. Captación y Aprovechamiento. PROGENSA (Promotora General de Estudios, S.A.). España. 401p.
- Mata, O. F. 2004. Fundamentos de Contaminación de Agua Subterránea. Tesis de Licenciatura (Ingeniero Civil). FES- Acatlán. UNAM. Mexico. 321p.
- Mazarí, M. 2004. Estudio de Calidad del agua en la Ciudad de México usando como indicadores microorganismos y compuestos orgánicos. Centro de Ecología. UNAM. 3p.
- Miettinen, IT., Zacheus O., Von Bonsdorff C-H., Vartiainen T. Waterborne epidemics in Finland in 1998-1999. 2000. *Health-related water Microbiology. Water Science & Technology*. **43**(12):A67-A71.

- Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- OMS. 1995. Guías para la calidad del agua potable. Vol. I. 2° Ed. Organización Mundial de la Salud.
- Pacheco, A. J., Cabrerías, S. A., Pérez, C. R. Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. Ingeniería 8-2 (2004) 165-179
- Pacheco, A. J., Nitratos en agua subterránea. Un caso de estudio. Ciencia y Desarrollo. 17-18 (1992) 102-103.
- Perdomo, C. H., Casanova, O. N., Ciganda V. S. 2001. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. Agrociencia. Uruguay. 5(1): 10-22.
- Robles E., González M., Castillo P. 2004. Contaminantes químicos del agua y sus efectos en el hombre y el medio. FES-Iztacala. UNAM. Estado de México, México.
- Rodier. J., Georfray., Kovacsik., Laporte J., Plissier J., Sachedhaver J., Verneaux J., Vial. 1978. Análisis de las aguas. Ediciones Omega. Bordas, Paris. 1059 p.
- Romero. R. J. A., 1999. Calidad del agua. 2ª Ed. Editorial Alfaomega. México.

- Tebbutt, T. H. Y. 1993. Fundamentos de control de calidad del agua. Editorial Limusa, México.
- Sardinas, P. O., Pérez C. A., 2004. Determinación de Nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residual por el método del fenato. Revista Cubana Higiene, Epidemiología y Microbiología. **42** (2): ISSN p 1561-3003.
- Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Norma Mexicana. NMX-AA-039-SCFI-2001. Agua determinación de Sustancias Activas al Azul de Metileno (Detergentes), en aguas naturales, potables, residuales y residual tratada.
- Suárez, B. M. D. 1988. Calidad Físico-química y Bacteriológica del agua subterránea del Valle de Cuernavaca, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Ing. Geólogo. Facultad de Ingeniería. UNAM. 84p.
- Youn-Joo., Peter, G. 2005. Monitoring *E. coli* and total coliformes in natural spring water as related to recreational mountain areas. Environmental Monitoring and Assessment **102**: 131-137.

WEBLIOGRAFÍA

- Internet 1 <http://www.uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/cont2003.pdf>
- Internet 2 www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Mexicanas%20Vigentes/NMX-AA-038-SCFI-2001.pdf.
- Internet 3. www.excelwater.com/spa/b2c/about
- Internet 4. www.lenntech.com/espanol/sulfatos.htm
- Internet 5. www.lenntech.com/espanol/Por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm.