



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**Estudio bacteriológico y fisicoquímico del agua en 5 pozos del
acuífero de Zacatepec, Morelos, México.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I O L Ó G O
P R E S E N T A:
JOSÉ DAVID PINEDA ROJAS

DIRECTORA DE TESIS:
QFB. ESPERANZA ROBLES VALDERRAMA

LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MÉXICO.

2008



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 la Universidad Nacional Autónoma de México porque gracias a ella tengo la sangre azul y mi piel dorada.

A la FES-I por haberme brindado la oportunidad de estudiar dentro de sus instalaciones tan linda carrera como lo es Biología, por que en ella aprendí el valor de la vida.

A mi asesora de Tesis la QFB Esperanza del S. Robles Valderrama por haber confiado en mí y aceptarme para formar parte de su equipo de trabajo para la realización de este proyecto.

A la Biol. Guadalupe Sainz Morales por sus buenos consejos, por las experiencias compartidas, por sus enseñanzas, por las pláticas amenas pero por sobre todo por su gran amistad.

A mis sinodales por su paciencia, disposición y sabios consejos:

QFB. Esperaza Robles Valderrama

Biol. Guadalupe Sainz Morales

Dra. Patricia Bonilla Lemus

M. en C. Elizabeth Ramírez Flores

Dr. Víctor Manuel Rivera Aguilar

Un agradecimiento especial para:

Ing. Fernando Lara Guerrero

Ing. Pedro Soto Navarro

Ing. Vicente Parra

Ing. Alfonso García Sesento

Ing. Felipe Nieto Flores

Ing. Ramiro Pelayo Barajas

**Por todas las facilidades brindadas para la realización de este trabajo y su
participación en los muestreos:**

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

DEDICATORIAS

A mis abuelos Baltazar q.e.p.d. y Lugarda; porque con ustedes crecí, porque de ustedes aprendí, por su valioso y continuo apoyo, cariño, protección y amor que me han demostrado siempre; porque esto es una pequeñísima muestra del gran cariño que siempre he sentido por ustedes.

A mis padres Marcelo y Lidia: por su amor, ternura, apoyo, consejos, amistad, por el ánimo demostrado, por las fuerzas para seguir siempre adelante con las cosas que he querido, por comprender y respetar mi espacio, mis metas, y por no dejarme sólo nunca, ni dejarme caer cuando he titubeado. ¡Los amo porque son lo máximo; bravo bravo!

A mis hermanos Alejandro e Israel: por todo, por las risas, las peleas, porque de todo se vive y de todo se aprende, porque han sido para mi como un motor que motiva cuando las cosas se ven difíciles. ¡Son lo máximo!

A mis tías Guadalupe, Concha, y Rosa: en gran parte de no haber sido por ustedes yo no estaría escribiendo esto, simplemente no me queda más que agradecer todo lo que he recibido de su parte, desde sus buenos consejos, apoyo, su gran cariño y amistad siempre demostrado. Gracias.

DEDICATORIAS

A Angélica Edith: porque durante mi último año en la Universidad estuve contigo en las buenas y en las malas, por esperar siempre desde el principio hasta el final durante la realización de este proyecto, por ser mi compañera, mi cable a tierra, mi amiga y por tu invaluable apoyo siempre. ¡Yo también te quiero!

A Paco: porque nunca me dejaste sólo, me animaste siempre que lo necesité y sé que estarás ahí cuando lo requiera, gracias por tu apoyo, por tus buenos consejos, por ser lo que eres: mi mejor amigo.

A todos mis compañeros universitarios y con los que conviví en algún momento, ustedes saben son mis amigos, por todos los buenos ratos que pasamos juntos, a ustedes indudablemente también les debo mucho.

“No solo no hubiera sido nada sin ustedes, sino con toda la gente que estuvo a mi alrededor desde el comienzo; algunos siguen hasta hoy. ¡Gracias... Totales!

Cerati

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	7
3.1 ANTECEDENTES.....	7
3.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.....	10
3.3 INDICADORES BACTERIOLÓGICOS.....	20
3.4 CALIDAD DEL AGUA.....	23
3.5 AGUA SUBTERRÁNEA.....	24
3.6 NORMA OFICIAL MEXICANA.....	27
4. JUSTIFICACIÓN.....	28
5. OBJETIVOS.....	29
6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	30
6.1 COORDENADAS.....	30
6.2 ACTIVIDAD ECONÓMICA.....	30
6.3 PERFIL SOCIODEMOGRÁFICO.....	31
6.4 EVOLUCIÓN DEMOGRÁFICA.....	32
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
9. CONCLUSIONES.....	68

10. RECOMENDACIONES.....	70
11. REFERENCIAS.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del agua por su concentración de CaCO_3	11
Tabla 2. Indicadores bacteriológicos de calidad de aguas y efectos sobre la salud.....	22
Tabla 3. Usos del agua según su valoración de ICA.....	26
Tabla 4. Técnicas utilizadas en las determinaciones fisicoquímicas y bacteriológicas.....	34
Tabla 5. Índice individual (Ii) para cada parámetro.....	35
Tabla 6. Importancia relativa de los parámetros para definir el Índice de Calidad del Agua.....	36
Tabla 7. Tipo de agua considerada con respecto a la dureza total obtenida en cada pozo.....	57
Tabla 8. Valores promedio de dureza total y alcalinidad en los pozos estudiados.....	58
Tabla 9. Resultados de la dureza carbonatada.....	58
Tabla 10. Coeficiente de correlación entre los cinco pozos.....	59
Tabla 11. Valores de los promedios obtenidos en los cinco pozos comparados contra la NOM-127-SSA1-1994.....	67
Tabla 12. Promedios y valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos (ANEXO).....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Localización del acuífero de Zacatepec.....	30
Fig. 2. Panorámica del Ingenio Azucarero de Zacatepec, Mor.....	31
Fig. 3. Zona aledaña al pozo Tequesquitengo.....	32
Fig. 4. Vista del pozo Santa María.....	38
Fig. 5. Variación temporal de Coliformes totales y Coliformes fecales del pozo Santa María.....	39
Fig. 6. Variación temporal de sulfatos y cloruros del pozo Santa María.....	39
Fig. 7. Variación temporal de alcalinidad total y dureza total del pozo Santa María.....	40
Fig. 8. Vista del pozo Alianza	41
Fig. 9. Variación temporal de Coliformes totales y Coliformes fecales del pozo Alianza.....	42
Fig. 10. Variación temporal de sulfatos y cloruros del pozo Alianza.....	43
Fig. 11. Variación temporal de alcalinidad total y dureza total del pozo Alianza.....	43
Fig. 12. Vista del pozo Las Juntas	45
Fig. 13. Variación temporal de Coliformes totales y Coliformes fecales del pozo Las Juntas.....	46
Fig. 14. Variación temporal de sulfatos y cloruros del pozo Las Juntas.....	46
Fig. 15. Variación temporal de alcalinidad total y dureza total del pozo Las Juntas.....	47

Fig. 16. Vista del pozo Puente Ixtla.....	48
Fig. 17. Variación temporal de Coliformes totales y Coliformes fecales del pozo Puente Ixtla.....	49
Fig. 18. Variación temporal de sulfatos y cloruros del pozo Puente Ixtla.....	50
Fig. 19. Variación temporal de alcalinidad total y dureza total del pozo Puente Ixtla.....	50
Fig. 20. Vista del pozo Tequesquitengo.....	52
Fig. 21. Variación temporal de Coliformes totales y Coliformes fecales del pozo Tequesquitengo.....	53
Fig. 22. Variación temporal de sulfatos y cloruros del pozo Tequesquitengo.....	53
Fig. 23. Variación temporal de alcalinidad total y dureza total del pozo Tequesquitengo	54
Fig. 24. Variación espacial de las medias geométricas de los parámetros bacteriológicos.....	55
Fig. 25. Variación espacial del contenido de cloruros, alcalinidad total, dureza total y sulfatos.....	57
Fig. 26. Comportamiento de los sólido disueltos en los cinco pozos del acuífero de de Zacatepec durante el periodo de estudio.....	60
Fig. 27. Valores promedio de los sólidos disueltos de los cinco pozos del acuífero de Zacatepec.....	60
Fig. 28. Porcentaje del Índice de Calidad del Agua en los 5 pozos del acuífero de Zacatepec.....	61

1. RESUMEN

Las aguas subterráneas son una importante fuente de suministro para uso doméstico y riego en muchas partes de México. Un diagnóstico sobre su calidad fisicoquímica y bacteriológica es indispensable para su uso confiable ya que se han registrado antecedentes sobre la continua degradación del agua subterránea.

El acuífero de Zacatepec en el Estado de Morelos, México; se encuentra muy vulnerable a la contaminación ya que en dicho municipio las descargas al subsuelo de desechos residuales domésticos y agropecuarios sin ningún tipo de tratamiento previo pueden generar en un futuro mediano una grave contaminación en el mismo. Este proyecto hace un estudio sobre la calidad fisicoquímica y bacteriológica en el acuífero de Zacatepec.

Para ello se seleccionaron cinco pozos de muestreo en el que se determinaron 15 parámetros fisicoquímicos y 2 pruebas bacteriológicas (Coliformes totales y Coliformes fecales) durante un año (Octubre 2006 - Septiembre 2007). Las técnicas analíticas utilizadas fueron de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas. Con los resultados obtenidos se calculó el Índice de Calidad del Agua (ICA). Así tenemos que Puente Ixtla tuvo un ICA de 84%, Tequesquitengo 80%, Santa María 80% y Juntas 81%; lo cual significa que dichos pozos requieren una ligera purificación para consumo humano; mientras que Alianza tuvo un ICA de 78% es decir que requerirá de un mayor tratamiento para consumo humano aunque para uso de tipo agrícola sólo requeriría de una ligera purificación. Asimismo, Santa María, Alianza y Juntas sobrepasaron los límites de dureza total (500 mg/L).

En sólidos disueltos Santa María y Alianza exceden la norma (1000 mg/L); en general las medias de todos los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos evaluados caen dentro de los límites permisibles por la NOM-127-SSA1-1994, asimismo; todos los pozos a excepción de Alianza presentaron pequeñas cantidades de nitrógeno amoniacal.

En bacteriología para Coliformes totales todos excedieron los límites y en Coliformes fecales sólo Tequesquitengo y Santa María estuvieron dentro del límite; el pozo más contaminado bacteriológicamente fue Las Juntas mientras que Santa María obtuvo mejores condiciones de calidad microbiológica según los valores obtenidos.

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

Palabras clave: Agua subterránea, Índice de Calidad del Agua, Coliformes totales y fecales

2. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es un recurso natural vital para el suministro económico y seguro de agua potable en el medio urbano y rural, juega un papel fundamental (pero poco apreciado) en el bienestar del ser humano y de muchos ecosistemas acuáticos. En muchos lugares en los que las precipitaciones son escasas e irregulares pero el clima es muy apto para la agricultura las aguas subterráneas son un recurso vital y una gran fuente de riqueza, ya que permiten cultivar productos muy apreciados en los mercados internacionales.

Un buen uso de las aguas subterráneas exige tener en cuenta que, en lugares en que las precipitaciones son escasas, los acuíferos se van cargando de agua muy lentamente y si se consumen a un ritmo excesivamente rápido, se agotan. Cuando hay una explotación intensiva, sequía u otras causas que disminuyen el nivel del agua en el acuífero se derivan problemas ecológicos (Foster *et al.*, 2003).

Las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. Esto sucede porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento. Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su purificación (Foster *et al.*, 2003).

Los acuíferos tienen una cierta capacidad de autodepuración y su recarga es mayor o menor según el tipo de roca y otras características. Las sustancias contaminantes, al ir el agua avanzando entre las partículas del subsuelo, se filtran y dispersan y también son neutralizadas, oxidadas, reducidas o sufren otros procesos químicos o biológicos que las degradan, de esta manera el agua va limpiándose.

Generalmente, la calidad del agua subterránea es superior a la del agua superficial con respecto al contenido bacteriológico, turbiedad y concentraciones orgánicas totales. La del agua subterránea puede variar de un sitio a otro, debido a los cambios de las condiciones hidrológicas y geológicas de cada lugar; puede tener alto contenido de

metales (en general de hierro y manganeso) por disolución de componentes del suelo en el cual se encuentran contenidos. Sin embargo hay que tomar en cuenta que el acuífero no es renovable si se explota con una tasa mayor a la de recarga y puede agotarse o deteriorar su calidad (Jiménez, 2004).

La explotación incorrecta de las aguas subterráneas origina varios problemas. En muchas ocasiones la situación se agrava por el reconocimiento tardío de que se está deteriorando el acuífero, porque como el agua subterránea no se ve, el problema puede tardar en hacerse evidente (Pacheco *et al.*, 2004a).

Cuando la estructura geológica del terreno facilita una zona amplia de aireación, los procesos de depuración son más eficaces. También es muy favorable la abundancia de arcillas y de materia orgánica. En cambio en los depósitos aluviales la purificación del agua es mucho más difícil y este tipo de acuíferos son mucho más sensibles a la contaminación (Foster *et al.*, 2003).

El problema más preocupante es el de los altos niveles de concentración de nitratos en algunos depósitos de aguas subterráneas (Pacheco *et al.*, 2004a).

Cuando un acuífero está contaminado y hay que limpiarlo el proceso es muy difícil y muy caro. Se han usado procedimientos que extraen el agua, la depuran y la vuelven a inyectar en el terreno, pero no siempre son eficaces y consumen una gran cantidad de energía y dinero (Foster *et al.*, 2003).

México enfrenta diversos problemas de abastecimiento de este recurso tales como escasez y contaminación y aunque hay lugares donde la calidad es buena-aceptable como en Yucatán, según el estudio de la calidad del agua que realizó Flores *et al.* en 1995, hay muchas otras donde la calidad es mala e incluso carecen de este recurso. En las zonas rurales los principales problemas de disponibilidad del agua son el desabasto y su falta de potabilización. En numerosas ocasiones el agua que llega a las viviendas de muchas comunidades rurales proviene de manantiales, ríos, arroyos, ojos de agua u otro tipo de fuentes naturales superficiales expuestas a la contaminación (Sánchez-Pérez *et al.*, 2000).

Existen diversos factores que influyen en la calidad del agua que consume una población. Entre éstos se encuentran: la presencia o ausencia de fuentes de abastecimiento naturales de agua, la infraestructura de redes de almacenamiento y distribución de agua, los aspectos culturales y socioeconómicos que condicionan la aceptación o rechazo a ciertas formas de abastecimiento y la potabilización de agua (Sánchez-Pérez *et al.*, 2000).

Durante décadas se han utilizado parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos para la evaluación de calidad del agua. La legislación mexicana actual considera aspectos microbiológicos de manera parcial. También se han desarrollado en las últimas décadas métodos analíticos específicos para la detección y cuantificación de compuestos orgánicos. La detección de éstos es importante porque indican la presencia de contaminantes que fueron vertidos en la superficie y migraron en forma descendente hacia el acuífero.

El agudo deterioro de los ecosistemas impone a la sociedad a adoptar no sólo medidas de reordenamiento ecológico, sino también hacer estudios que permitan comprender en qué medida y cuáles actividades del hombre contribuyen a tal deterioro y que, al mismo tiempo, ayuden a evaluar si está en peligro la salud del hombre (López y Lechuga, 2001).

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CNA) hasta ahora se han identificado en el país 459 acuíferos con más del 20 % en sobreexplotación, la extracción promedio anual de éstos se calcula en 24 km³ a través de 140 mil aprovechamientos subterráneos. El mayor número se encuentra en el noroeste del país, sin embargo los que reciben una recarga significativa se localizan en el sureste, de hecho a excepción de esta zona, en México existen problemas de disponibilidad debido a que las recargas son menores a las extracciones (Campoy, 2001).

Debido a lo expuesto anteriormente y a la poca información acerca de estudios sobre la calidad del agua proveniente de mantos acuíferos para consumo humano y su

relación con las diversas patologías que pueden suceder a causa de concentraciones de parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos que se encuentren por arriba de los valores permisibles para el consumo humano y en el contexto de un proyecto diagnóstico de las condiciones del agua para dicho fin, es necesario la realización de estudios enfocados a evaluar la calidad del agua de los acuíferos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ANTECEDENTES

Rubio (2007), Monroy (2007) y García (2007) estudiaron el acuífero del Valle de Cuernavaca, la zona norte, zona sur y zona centro poniente respectivamente, encontrando que en general, fisicoquímicamente los parámetros que determinaron estaban dentro de la norma mexicana para agua potable pero las concentraciones bacteriológicas estaban fuera de la norma en varios de los pozos analizados.

Hurtado y Gardea-Torresdey en el 2004 realizaron una evaluación del contenido de fluoruro en el agua potable proveniente de los mantos acuíferos en la región de los Altos de Jalisco y encontraron que el 42 % del agua de los municipios de la zona tiene una concentración de fluoruros por encima de las normas mexicanas.

Pacheco *et al.* (2004a) elaboraron un diagnóstico de la calidad en los pozos de extracción de agua potable, evaluando la calidad química y bacteriológica del agua subterránea. Ellos concluyeron de manera general que la calidad química del agua subterránea con fines de abastecimiento es aceptable; sin embargo su calidad bacteriológica no lo es.

Asimismo; Pacheco *et al.* (2004b) estudiaron una zona de reserva hidrogeológica en los pozos de extracción que abastecen el agua potable en Mérida, Yucatán, para ello utilizaron los nitratos y los organismos Coliformes fecales como indicadores de contaminación. En este estudio se concluye que la calidad química y bacteriológica de los pozos, es de menor calidad en los pozos someros y durante la época de estiaje, en comparación con lo establecido con la modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Foster *et al.* en 2003 publicaron el libro "Protección de la calidad del agua subterránea" el cual provee una guía sobre el manejo de los recursos hídricos subterráneos en los

países integrantes del Banco Mundial, principalmente en América Latina y el Caribe bajo un marco legal.

Pérez *et al.* en 2003 llevaron a cabo la caracterización de las aguas subterráneas que abastecen al distribuidor general de Zimapán, Hidalgo y del propio distribuidor para lo que seleccionaron 11 puntos de muestreo en el que determinaron 28 parámetros fisicoquímicos durante 10 muestreos. En términos generales concluyeron que estas aguas se clasifican como bicarbonatadas-cálcicas y bicarbonatadas-mixtas, con bajos niveles de sulfatos, cloruros, sodio y potasio, pero presentando concentraciones de Arsénico muy elevadas superando hasta 10 veces la NOM-127-SSA1-1994; asimismo en el estudio de variación temporal se observaron cambios significativos de carácter estacional con incremento en las concentraciones de los elementos totales en la época de secas y disminución durante la época de lluvias atribuyendo este comportamiento al efecto de dilución.

Pérez *et al.* (2002) realizaron un estudio sobre la influencia que ejerce el basurero municipal en la calidad del agua del acuífero de la ciudad de Durango, México, en el que determinaron la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en 20 pozos alrededor del basurero en periodos trimestrales durante un año. Se confirmó que en el 35% de los pozos se exceden los límites de la NOM-127-SSA1-1994 para Coliformes fecales y la de 15% de ellos supera los límites de nitratos; el resto de los parámetros se encuentran dentro de la Norma; concluyendo según el estudio que la calidad del acuífero se ha modificado y la causa probable es la infiltración de lixiviados desde el basurero hasta el acuífero.

La CNA en el 2002a realizó un estudio para determinar la disponibilidad del agua en el acuífero de Xpujil, Campeche en el que se determinó la disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que de acuerdo con dicha norma, resultó ser de 314,594,000 m³/año.

La CNA igualmente en el 2002b indica que existe un total de 32,749,689 m³/año de volumen disponible en el acuífero de Cuernavaca, cifra revelada según la Norma Oficial

Mexicana NOM-011-CNA-2000, en el que también se describe una amplia caracterización topográfica, geológica e hidrogeológica del mismo acuífero.

Gómez-Márquez *et al.* (2001) realizaron un análisis de la calidad del agua de algunos escurrimientos presentes en el Parque Nacional del Izta-Popo los cuales forman parte de las subcuencas y cuencas hidrológicas. En este se concluyó que la mayoría de los parámetros de los escurrimientos en las cuatro subcuencas manifestaron un comportamiento en función de la altitud. A mayor altitud los valores o concentraciones de temperatura ambiente y del agua, pH, alcalinidad total, dureza total, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), coliformes totales y fecales fueron menores en comparación cuando los registros se realizaron a menores altitudes.

La CNA en el 2000 llevó a cabo un estudio para determinar la disponibilidad del agua en el acuífero de Zacatepec, Morelos en el que se determinó el volumen disponible de aguas subterráneas indicando 27,040,898 m³/año conforme a la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, en este mismo estudio se mencionan diversos aspectos relacionados con la estructura topográfica, geológica e hidrogeológica del acuífero.

Gallegos *et al.* (1999), analizaron los acuíferos de León y el Valle del Mezquital para evaluar los efectos de los desechos de agua de irrigación sobre la calidad del agua subterránea; en estos se encontró que los CT y CF en ambos sitios fueron elevados; en relación a los parámetros fisicoquímicos en el Mezquital la concentración de nitratos fue elevado en el agua subterránea.

3.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Hay una serie de parámetros en el agua que intervienen en la caracterización de la calidad del agua:

pH

Este parámetro nos indica la concentración de protones presentes en una disolución acuosa, es decir, es una medida del contenido ácido del agua que influye sobre gran parte de los procesos químicos de un cuerpo acuático (Seoanez, 1995; Bales y Conklin, 1997).

En aguas naturales el pH está cercano a la neutralidad por la capacidad buffer de la aguas, normalmente el rango de pH se encuentra entre 6.1 y 8.1 en este tipo de agua. El pH es muy importante en los procesos biológicos al igual que en los químicos, dado que llega a solubilizar o a precipitar determinados compuestos presentes en el agua variando así su toxicidad sobre la biota acuática (Internet¹). El proceso de acidificación de lagos, ríos y aguas subterráneas puede resultar del transporte por largo tiempo de contaminantes atmosféricos. El agua de drenaje con frecuencia provoca la acidificación de los cuerpos de agua.

El pH puede alterarse por distintos factores, entre los cuales los principales son la contribución alcalina de las rocas y tierra, la cantidad de agua que exista en la zona y también las actividades humanas (Aguilar, 2002). Por este motivo, es importante llegar a comprender todas estas relaciones debido a la estrecha interdependencia que existe entre la naturaleza y las actividades humanas (Bales y Conklin, 1997).

Dureza

La dureza representa una medida de la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, se pueden determinar distintos tipos de dureza fundamentalmente: Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) provenientes de la disolución de rocas y minerales. La dureza es el estado de mineralización del agua (Internet¹). Aunque en la mayoría de los casos, la

dureza se debe principalmente a los iones de Ca y Mg, en ocasiones también se ve afectada en menor cantidad por los iones de hierro, manganeso, estroncio y otros metales (Seoanez, 1995 y Andrade, 1997). Se suele expresar como mg/L de CaCO₃.

En función de este estado de mineralización, podemos distinguir distintos tipos de aguas:

Tabla 1. Clasificación del agua por su concentración de CaCO₃.

Clasificación	Dureza Mg/L CaCO₃
Blandas	0 – 100
Moderadamente duras	101 – 200
Duras	201 – 300
Muy Duras	> 300

La dureza del agua se debe principalmente a la naturaleza de las formaciones geológicas con las que el agua ha tenido contacto (Andrade, 1997).

Alcalinidad

La alcalinidad del agua es la suma de las concentraciones de los iones carbonato (CO₂⁻), bicarbonato (HCO₃⁻) e hidróxidos (OH⁻), además de los aniones provenientes de la disociación de ácidos débiles (Seoanez, 1995).

Estas especies producen en el agua un efecto tampón ya que absorben protones manteniendo el pH en un valor muy estable. Esta propiedad es muy importante para los seres vivos en determinados medios como el flujo sanguíneo ya que mantienen el valor de pH a un valor muy constante y estable frente a posibles variaciones en el medio (Internet²).

Debido a que la alcalinidad es una medida de la resistencia del agua a las reducciones de pH cuando se le añaden ácidos, la alcalinidad está estrechamente relacionada con los cambios de pH de un cuerpo acuático. Dichos ácidos provienen generalmente de la lluvia, aunque las fuentes del suelo que se generan a medida que el agua disuelve las rocas que contienen carbonato de calcio, como calcita o piedras calizas son más importantes en algunas zonas (Bales y Conklin, 1997).

Conductividad

La conductividad es una medida de la capacidad que tiene el agua para conducir la corriente eléctrica. La conductividad está relacionada por un parámetro llamado fuerza iónica que viene determinado por la concentración y la carga de cada ión presente en el agua (Internet²).

Los valores de conductividad vienen expresados normalmente en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La conductividad establece el grado de mineralización de un cuerpo de agua lo que permite determinar el efecto de la concentración total de iones sobre los equilibrios químicos, efectos fisiológicos en plantas y animales (Aguilar, 2002). Esto es debido a que el agua en estado puro no presenta prácticamente carácter conductor, debido al bajo grado de disolución iónica que presenta. Por tanto, para que su conductividad aumente será preciso que haya compuestos en su mayoría sales minerales disueltas en el agua y disociados en sus iones (Seoanez, 1995).

Por lo tanto, la medida de la conductividad en el agua hace una valoración acerca de la concentración aproximada de las sales minerales presentes (Aguilar, 2002). Sin embargo, no aporta información acerca de la contaminación orgánica de un agua en el caso de que exista, pues la materia orgánica del agua no modifica significativamente la conductividad de ésta (Seoanez, 1995).

Cloruros

El cloruro en forma de ion (Cl^-) es uno de los aniones inorgánicos principales; en el agua natural se encuentra en diversas concentraciones y normalmente se incrementa con el contenido mineral. En los cuerpos de agua el aumento de cloruros se lleva a cabo de diferentes modos. El agua tiene un gran poder solvente, disolviendo los cloruros de los suelos y de las formaciones subterráneas (Aguilar, 2002).

La cantidad de cloruros por encima de su contenido normal en las aguas naturales no contaminadas de un lugar se utiliza como medida de la concentración de las aguas

negras de esa zona (Ibarra, 2000). Como los cloruros son sustancias inorgánicas en solución, no son afectados por los procesos biológicos ni por la sedimentación (Babbit y Baumnn, 1977).

Nitrógeno

En las aguas naturales las principales formas de nitrógeno son nitrato, nitrito, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico. Estas formas de nitrógeno así como el nitrógeno gaseoso son interconvertibles bioquímicamente y forman el ciclo del nitrógeno. Los nitratos generalmente se encuentran en niveles trazas en aguas superficiales pudiendo estar presentes en mayores concentraciones en aguas subterráneas (Internet³). Son fuente de energía para organismos autótrofos y su exceso puede ser indicador de un proceso de eutrofización. En concentraciones mayores a 10 mg/L como nitrógeno son el nivel guía en agua potable para prevenir la enfermedad que los nitratos en exceso ocasionan, principalmente en niños, denominada metahemoglobinemia. Su origen puede deberse a una aplicación en exceso de fertilizantes, o a descargas de efluentes domésticos (Internet³).

El nitrito por su parte es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, tanto en la oxidación del amoniaco a nitrato como en la reducción del nitrato (Aguilar, 2002). Estas reacciones de oxidación y reducción se llevan a cabo en las aguas naturales.

El nitrógeno amoniacal se encuentra en forma natural en las aguas superficiales. Se produce en gran parte por desaminación de los compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea (Aguilar, 2002). Este compuesto en forma molecular eleva el pH, produciendo toxicidad en muchos organismos acuáticos (Ibarra, 2000).

Por otro lado el nitrógeno orgánico es producto de la transformación en amoniaco de los compuestos de origen biológico (proteínas, polipéptidos y aminoácidos), pero no la de compuestos nitrogenados de origen industrial, ni el nitrógeno procedente de nitritos o nitratos (Seoanez, 1995)

Debido a que el nitrógeno también es importante como elemento fertilizante esencial para el crecimiento de algas; los análisis de nitrógeno pueden servir para controlar el crecimiento de algas y evitar una sobrepoblación de estos organismos en cuerpos receptores de desechos domésticos (Ibarra, 2000)

Sólidos

Podemos distinguirlos en sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos disueltos, siendo los sólidos totales la suma de la concentración de los dos últimos. Estos sólidos, además de poder suponer la presencia de cuerpos o sustancias extrañas que pudieran en algún caso no ser recomendables, aumentan la turbidez del agua y disminuyen la calidad de la misma (Internet¹).

Los sólidos sedimentables son sólidos de mayor densidad que el agua, se encuentran dispersos debido a fuerzas de arrastre o turbulencias. Cuando estas fuerzas y velocidades cesan y el agua alcanza un estado de reposo, precipitan en el fondo. Suelen eliminarse fácilmente por cualquier método de filtración (Internet³).

Los sólidos en suspensión se mantienen en el agua debido a su naturaleza coloidal que viene dada por las pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua. Este tipo de sólidos como tales son difíciles de eliminar siendo necesaria la adición al agua de agentes coagulantes y floculantes que modifican la carga eléctrica de estas partículas consiguiendo que se agrupen en flóculos de mayor tamaño para así poder separarlos mediante filtración. Ciertos sistemas de tratamiento de agua como la ozonización ya suponen de por sí un buen método floculante ya que se produce la oxidación del hierro, manganeso y aluminio, óxidos que son los que verdaderamente ejercen un fuerte poder floculante en el agua aumentando la eficacia del filtro y mejorando la transparencia del agua (internet¹).

Los sólidos disueltos están relacionados con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso. Están relacionados con la conductividad del agua ya que un aumento de estos iones aumenta

la capacidad conductiva. Un tratamiento prolongado con compuestos del cloro en una piscina por ejemplo aumenta la cantidad de sólidos disueltos y la conductividad en el tiempo.

Turbiedad

La turbiedad es un parámetro relacionado con el grado de transparencia y limpieza del agua que a su vez depende de la cantidad de sólidos en suspensión del agua que pueden ser resultado de una posible actividad biológica o simplemente una presencia de componentes no deseables. Se mide mediante la absorción que sufre un haz de luz al atravesar un determinado volumen de agua. Para eliminar esta turbidez y así mejorar la calidad del agua se usan los distintos tipos de filtros que hay en el mercado, mejorando el rendimiento con el uso de floculantes (Internet⁵).

Oxígeno disuelto

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los cuerpos de agua. El nivel de OD puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de OD indica agua de mejor calidad. Si los niveles de OD son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir (Internet²).

Gran parte del OD en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua. Parte del OD en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores también afectan los niveles de OD; por ejemplo, en un día soleado se producen altos niveles de OD en áreas donde hay muchas algas o plantas debido a la fotosíntesis. La turbulencia de la corriente también puede aumentar los niveles de OD debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente y el oxígeno del aire se disolverá en el agua.

Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura también. El agua más fría puede almacenar más oxígeno en ella que

aguas más cálidas (Internet²). En lagos oligotróficos y eutróficos, a medida que aumenta la temperatura ambiente, la concentración de saturación de oxígeno y su solubilidad en la capa superficial de agua, decrece. Mientras que en la capa de mezcla de agua templada y fría así como en la capa más profunda de agua fría, la temperatura disminuye y la concentración de saturación de oxígeno es cercana a 100% (Internet³).

Temperatura

Es importante conocer la temperatura del agua porque puede ayudar a predecir y/o confirmar otras condiciones del agua. Por ejemplo, la temperatura del agua tiene influencia directa en otros factores de su calidad tales como el OD, la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y la supervivencia de algunas especies acuáticas (Internet³).

La temperatura a la que se encuentra el agua es un factor clave para poder determinar cual va a ser su comportamiento ante distintos tipos de alteraciones. Otro caso también dependiente de la temperatura es el grado de solubilidad que presenten las distintas sustancias solubles ya que la solubilidad de la mayoría de las sales en el agua aumenta a causa del aumento de temperatura (Aguilar, 2002). Por esta razón los cambios en la temperatura hacen variar la conductividad eléctrica modificándose por tanto la concentración de las especies iónicas presentes.

Los aumentos repentinos en la temperatura pueden ser ocasionados por contaminación térmica, que es la descarga de grandes cantidades de agua caliente proveniente de plantas industriales. Los cambios repentinos en la temperatura del agua pueden causar un choque térmico en algunas especies acuáticas y ocasionar la muerte de dichas especies. La contaminación térmica, aunque sea gradual, puede perturbar el balance del ecosistema de tal modo que podría exterminar las especies que no toleran el calor (Internet³).

Sulfatos

El sulfato (SO_4) se encuentra en casi todas las aguas naturales; estos iones se distribuyen dentro del ciclo natural del azufre, dado que la mayoría de las transformaciones que en él ocurren son oxidaciones o reducciones que originan este anión. El sulfato es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia (Aguilar, 2002).

Una alta concentración de sulfato en agua potable tiene un efecto laxativo cuando se combina con Ca y Mg, los dos componentes más comunes de la dureza del agua (Internet¹).

En ausencia de OD y nitratos, los sulfatos sirven como fuente de oxígeno para las oxidaciones bioquímicas producidas por bacterias anaerobias, en estas condiciones el ion sulfato puede reducirse a ion sulfuro, el cual establece un equilibrio con el hidrógeno y el ácido sulfhídrico (Ibarra, 2000)

El nivel máximo de sulfato sugerido por la organización Mundial de la Salud (OMS) en las Directrices para la Calidad del Agua Potable, establecidas en Génova, 1993, es de 500 mg/l. Las directrices de la Unión Europea en 1998 son más recientes, completas y estrictas que las de la OMS, sugiriendo un máximo de 250 mg/l de sulfato en el agua destinada al consumo humano (Internet¹).

Las personas que no están acostumbradas a beber agua con niveles elevados de sulfato pueden experimentar diarrea y deshidratación.

Fosfatos

El fósforo generalmente está presente en las aguas naturales en forma de fosfatos. Los fosfatos se encuentran en los fertilizantes y los detergentes y pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras. Los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas. Cuando entra demasiado fosfato al agua, favorece el crecimiento de las plantas.

Estas grandes poblaciones de plantas producen oxígeno en las capas superiores del agua pero cuando las plantas mueren y caen al fondo, son descompuestas por las bacterias que usan gran parte del OD en las capas inferiores. Las masas de agua con altos niveles de fosfatos generalmente tienen niveles altos de DBO (Internet³).

Las diversas formas de fosfatos provienen de una gran variedad de fuentes como las aguas de retorno agrícola, las cuales pueden contener ortofosfatos aplicados como fertilizantes a la tierra cultivada agrícola o residencial y que son arrastrados a las aguas subterráneas con las lluvias y por lixiviación (Aguilar 2002).

Algunos fosfatos condensados y los fosfatos orgánicos se añaden a los cuerpos de agua por medio de las aguas de desecho de origen doméstico que contengan residuos humanos, animales y vegetales, así como, detergentes, microorganismos y otras masas celulares como son los residuos de alimentos.

El principal problema de los fosfatos como contaminante es que influye en los procesos de productividad acuática, causando un crecimiento excesivo de algas lo que deriva en cuestión de tiempo en problemas de eutrofización del cuerpo de agua (Ibarra, 2000).

Demanda Biológica de Oxígeno

La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) es una medida de la cantidad de oxígeno que usan los microorganismos para oxidar la materia orgánica. (Intertet³).

La materia orgánica biodegradable consiste de compuestos orgánicos que pueden ser utilizados como alimento por los microorganismos dentro de un intervalo de tiempo razonable (Ibarra, 2000)

Los microorganismos tales como las bacterias son responsables de descomponer los desechos orgánicos. Cuando materia orgánica tal como plantas muertas, hojas, recortes de pasto, aguas negras o incluso desechos de comida están presentes en el suministro de agua, las bacterias iniciarán el proceso de descomposición de estos desechos. Cuando esto sucede, mucho del OD disponible lo consumen las bacterias

aeróbicas, limitando el oxígeno a otros organismos acuáticos que lo necesitan para vivir (Internet¹).

Los nitratos y fosfatos en una masa de agua pueden contribuir a los niveles altos de DBO. Los nitratos y fosfatos son nutrientes para las plantas y pueden hacer que la vida vegetal y las algas crezcan rápidamente. Cuando las plantas crecen rápidamente, también mueren rápidamente; esto contribuye al aumento de desechos orgánicos en el agua, el que luego es descompuesto por las bacterias. Esto ocasiona altos niveles de DBO. La temperatura del agua también puede contribuir a los altos niveles de DBO; por ejemplo, el agua más tibia generalmente tendrá un nivel DBO más alto que el agua más fría, conforme la temperatura del agua aumenta, la velocidad de la fotosíntesis que realizan las algas y otras plantas en el agua también aumenta. (Internet³).

Este parámetro figura entre las pruebas más importantes de los análisis para fines sanitarios destinados a conocer la capacidad de degradación de la materia orgánica en las aguas residuales (Babbit y Baumann, 1977).

Detergentes

Los detergentes son importantes porque son compuestos tóxicos y la mayoría de ellos no son biodegradables. Estos pueden ocasionar daños a la vegetación acuática ya que inhiben la fotosíntesis y originan la muerte del fitoplancton; también actúa sobre ciertos peces a los que producen lesiones en las branquias, dificultando la respiración en estos organismos (Ibarra, 2000).

El contenido tan alto de fosfatos en la formulación de los detergentes comerciales crea el problema de la eutrofización. Este problema consiste en la fertilización excesiva de las plantas acuáticas, lo que ocasiona la reducción de la profundidad de cuerpos receptores y provoca un aumento en la producción de residuos orgánicos disminuyendo el oxígeno para la vida animal (Jiménez, 2004).

3.3 INDICADORES BACTERIOLÓGICOS

Las bacterias indicadoras de contaminación son aquellas que tienen un comportamiento similar a las bacterias patógenas, en concentración y reacción frente a factores ambientales, pero son más fáciles, rápidos y económicos de identificar. Una vez que se ha demostrado la presencia de grupos indicadores, se puede inferir que las bacterias patógenas se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección es similar a la del indicador (Arcos *et al.*, 2005)

Las bacterias indicadoras de contaminación fecal deben reunir las siguientes características (Fernández *et al.*, 2001):

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas, su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal.
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno.

Las bacterias que se encuentran más frecuentemente en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por lo tanto su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas.

Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son lentos y laboriosos, se ha usado el grupo de las bacterias Coliformes como indicadores, ya que su detección es más rápida y sencilla. El grupo de microorganismos Coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana debido a que estos son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

Los microorganismos que conforman el grupo de los Coliformes totales; *Escherichia* spp., *Enterobacter* spp., *Klebsiella* spp., *Serratia* spp., *Edwardsiella* spp. y *Citrobacter* spp., viven como saprófitos independientes o como bacterias intestinales; los Coliformes fecales (*Escherichia* spp.) son exclusivamente de origen intestinal (Canosa, 1995). Todos pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes, fermentadores de lactosa con producción de gas; constituyen aproximadamente el 10% de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales (Prescott, 1996), las bacterias del tracto intestinal no suelen sobrevivir en el medio acuático, están sometidas a un estrés fisiológico y pierden gradualmente la capacidad de producir colonias en medios diferenciales y selectivos. Su velocidad de mortalidad depende de la temperatura del agua, los efectos de la luz solar, las poblaciones de otras bacterias presentes, y la composición química del agua. La presencia de Coliformes en el agua indica la contaminación bacteriana reciente y constituye un indicador de degradación de los cuerpos de agua. (Fernández, 2001)

Los CF se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta denominación está ganando más adeptos actualmente, pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los CT por la característica de crecer a una temperatura superior. La capacidad de reproducción de los CF fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. (Prescott, 1996).

Estas bacterias son de interés clínico, ya que pueden ser capaces de generar infecciones oportunistas en el tracto respiratorio superior e inferior, además de bacteriemia, infecciones de piel y tejidos blandos, enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades severas en el ser humano (Moore, 2002).

Tabla 2. Parámetros microbiológicos de calidad de aguas y efectos sobre la salud

Parámetro	Efectos sobre la salud
<p align="center">Coliformes termotolerantes</p>	<p>Se trata de un indicador de contaminación principalmente de origen fecal, la que pone de manifiesto el riesgo potencial de la presencia en el agua de organismos patógenos. Las principales enfermedades vinculadas a la presencia de los mismos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Infecciones gastrointestinales. <input type="checkbox"/> Cólera. <input type="checkbox"/> Hepatitis A. <input type="checkbox"/> Diarreas. <input type="checkbox"/> Fiebre entérica. <input type="checkbox"/> Disentería. <input type="checkbox"/> Leptospirosis. <input type="checkbox"/> Fiebre tifoidea.
<p align="center">Enterococos</p>	<p>Constituyen un grupo de bacterias cuyo hábitat normal es el tracto intestinal humano y de otros animales de sangre caliente. Su presencia es indicadora de contaminación fecal reciente. Los enterococos constituyen un subgrupo dentro de los estreptococos fecales y presentan la característica de crecer a pH = 9,6, en presencia de NaCl al 6,5% y a temperatura de 10 a 45°C.</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Infecciones gastrointestinales. <input type="checkbox"/> Diarreas. <input type="checkbox"/> Fiebre entérica.
<p align="center"><i>E. coli</i></p>	<p>Este indicador, a diferencia del anterior, no es un grupo de microorganismos, sino que es una especie bacteriana cuya presencia es indicativa de contaminación de aguas exclusivamente de origen fecal.</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Infecciones gastrointestinales. <input type="checkbox"/> Diarreas. <input type="checkbox"/> Fiebre entérica.

(Internet ⁷ e Internet ⁸)

3.4 CALIDAD DEL AGUA

Índices de calidad del agua

Los índices son expresiones simplificadas de un conjunto complejo de variables y han resultado ser eficaces para transmitir información sobre calidad del agua a quienes toman decisiones y al público. Existen diferentes índices de calidad del agua que se usan en otros países, entre los más conocidos se encuentran los índices biológicos, como el índice Saprobic y los físicoquímicos, siendo de los más conocidos el Índice de Calidad del Agua ICA (internet⁴)

Debido a que las diferencias de interpretación de los datos varía de un investigador a otro se desarrolló un método indicador que agrupa los parámetros contaminantes del agua más representativos (SARH, 1979).

Esta estimación se basa en características físicoquímicas y bacteriológicas del cuerpo acuático. El Índice de Calidad del Agua (ICA) permite asignar el uso adecuado al que se debe destinar un cuerpo acuático, considerando el grado de contaminación que presenta al momento del estudio (Aguilar, 2002).

La calidad del agua depende tanto de la fuente de la que proviene, así como del uso al que se destine (Castro, 1992).

La ciencia y la tecnología del agua son; sin embargo, un tema interdisciplinario que incluye la aplicación de principios biológicos, químicos y físicos en asociación con técnicas ingenieriles. Dichos científicos e ingenieros quienes practican el control de calidad del agua deben tener una buena apreciación de la interfase entre sus disciplinas individuales y el complejo natural de muchas reacciones ambientales (Tebbutt, 2002).

El ICA está definido como el grado de calidad existente en el agua en el momento de su muestreo, expresado como un porcentaje del agua pura. Así el agua con una calidad

altamente contaminada tendrá un índice cercano o igual a 0% y de 100% para agua de excelente calidad (Ibarra, 2000) (Tabla 3):

3.5 AGUA SUBTERRÁNEA

Un acuífero es un estrato subterráneo de roca porosa que contiene agua a través de la cual el agua puede circular después de que ha pasado hacia abajo (infiltración) desde las capas superiores del suelo.

Desde luego, el agua subterránea no se extrae únicamente para el abastecimiento; frecuentemente tienen una importante contribución en los ríos que también se usan para suministro donde descargan como caudal base o manantiales.

La descarga de aguas subterráneas en los ríos puede ser permanente o estacional dependiendo de la altura de la capa freática dentro del acuífero. La capa freática separa la zona no saturada de la roca porosa que comprende el acuífero de la zona saturada; la cual es en esencia la altura del agua en el acuífero

Contaminación del agua subterránea

La contaminación de los acuíferos con sustancias químicas y microorganismos puede causar el severo deterioro de la calidad del agua subterránea. La precipitación en forma de lluvia, granizo, o agua nieve contienen muy pocas impurezas. Pueden contener cantidades de rastro de material mineral, gases y otras sustancias cuando se forman y cae de la atmósfera a la tierra. La precipitación, sin embargo, no tiene virtualmente ningún volumen bacteriano (Rubio, 2007).

Una vez que la precipitación alcanza la superficie de la tierra, se presentan muchas oportunidades para la introducción de minerales y sustancias orgánicas, microorganismos, y otras formas de contaminación. Cuando el agua corre encima de o a través de la superficie de la tierra, puede recoger partículas del suelo. Esto se conoce

en el agua como nebulosidad o turbiedad. También recoge partículas de materia orgánica y bacterias. Cuando el agua de la superficie se introduce por abajo del nivel freático, se disuelven algunos de los minerales contenidos en el suelo y en las rocas. El agua subterránea, por consiguiente, a menudo contiene más minerales disueltos que el agua de la superficie (Rubio, 2007).

Causas que pueden influir en la contaminación del agua subterránea

- ✓ Descarga de sistemas sépticos mal operados o localizados.
- ✓ Escapes de tanques subterráneos de almacenamiento.
- ✓ Disposición inadecuada de desechos peligrosos y químicos.
- ✓ Derrames de oleoductos o accidentes de transporte.
- ✓ Recarga de agua subterránea con agua superficial contaminada.
- ✓ Fugas en tiraderos y rellenos sanitarios.
- ✓ Fugas en estanques o lagunas de retención.

La migración de los contaminantes en los suelos y acuíferos depende mucho de las propiedades de las sustancias y de los materiales geológicos. Mientras más soluble en agua sea una sustancia, mayor probabilidad tendrá de bajar verticalmente por el suelo hasta el acuífero y migrar con el agua (Bedient, 1999; Davis, 2005).

En general se estima que la mayoría de los contaminantes se encuentran en forma líquida y que migran en fase acuosa interactuando a su paso con las partículas del suelo (Mazarí, 2004). Muchas sustancias son poco solubles en agua, y cuando migran a agua subterránea lo hacen con frecuencia en forma de fase no acuosa separada. (Mazarí, 2004; Davis, 2005).

Tabla 3. Usos del agua según su valoración de ICA

ICA	Uso Público	Recreo	Pesca y vida acuática	Industria Agrícola	Navegación	Transporte desechos tratados
100	Aceptable No requiere de purificación	Aceptable	Aceptable	Aceptable No requiere de purificación		
90	Requiere una ligera purificación	para todo tipo de deporte acuático	para todo tipo de organismos	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 muy resistentes	Con tratamiento para la mayor parte de la industria		
40	Inaceptable	Sin contacto con el agua				
30		Muestras obvias de contaminación	Inaceptable	Uso muy restringido	Contaminado	
20		Inaceptable		Inaceptable	Inaceptable	
10						Inaceptable
0						

SARH, 1979

3.6 NORMATIVIDAD

Las Normas Oficiales Mexicanas son un conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la federación que establece los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes; su aplicación y vigilancia corresponderá a las autoridades federales, estatales o municipales, en el ámbito de sus respectivas jurisdicciones territoriales, así como en los términos que establezcan en su propia legislación (Rubio, 2007).

La Modificación a la Norma Oficial Mexicana **NOM-127-SSA1-1994**, establece los límites permisibles de calidad del agua que sea destinada para uso y consumo humano. Es aplicable a todos los sistemas de abastecimientos públicos y privados y a cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

4. JUSTIFICACIÓN

Ya que la necesidad de agua potable en nuestro país aumenta día tras día, se ha optado por diversas opciones para obtener este recurso.

Una de las principales fuentes son los mantos acuíferos; y en general el consumidor piensa que el agua de estos mantos reúne todas las características necesarias de potabilidad y que el consumo directo no representa ningún riesgo para la salud. Sin embargo; existen antecedentes muy serios de que el agua de estos mantos también se puede encontrar contaminada.

Debido a la alta incidencia de enfermedades gastrointestinales en nuestro país y por lo expuesto anteriormente se hace necesario realizar un estudio que determine la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de estos mantos acuíferos.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica en cinco pozos de agua del acuífero de Zacatepec, Morelos.

5.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar los parámetros bacteriológicos: Coliformes totales (CT) y Coliformes fecales (CF).
- Determinar los Parámetros fisicoquímicos: alcalinidad total y a la fenolftaleína, dureza total, de calcio y magnesio, sulfatos, cloruros, turbiedad, conductividad, sólidos suspendidos y sólidos disueltos, nitratos y nitritos, nitrógeno amoniacal, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), detergentes, pH, temperatura y oxígeno disuelto (OD).
- Calcular el índice de calidad del agua (ICA).
- Comparar resultados con la modificación a la norma NOM-127-SSAI-1994. Salud ambiental, agua para su uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su uso y potabilización.
- Conocer si hay diferencias significativas de la calidad del agua entre los pozos comparando sus respectivos índices de calidad.

6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

6.1 COORDENADAS

El acuífero Zacatepec se localiza en la porción Suroeste del estado de Morelos; donde las coordenadas para enmarcar el área del polígono del acuífero son: longitud Oeste de $99^{\circ}14'20''$ y latitud Norte de $18^{\circ}35'22''$. El acuífero de Zacatepec colinda al norte con el acuífero de Cuernavaca, al Este con el acuífero de Cuautla-Yautepec, y al poniente colinda con los ríos Chontalcutlan y San Jerónimo ambos en el Estado de México (CNA, 2000).

Los municipios que se incluyen en la zona acuífera son: Miacatlán, Mazatepec, Tetecala, Coatlán del Río, Amacuzac, Puente de Ixtla, Jojutla, Zacatepec, Tlaltizapán y Tlaquiltenango y la porción Sur del municipio de Xochitepec, todos en el estado de Morelos, (Fig. 1).

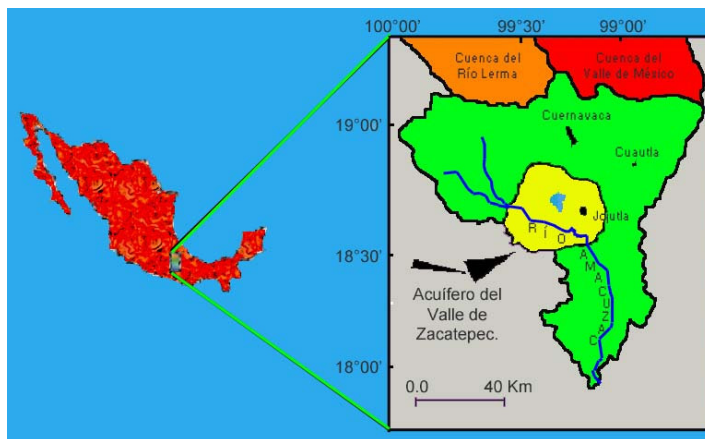


Fig. 1. Localización del acuífero de Zacatepec.

6.2 ACTIVIDAD ECONÓMICA

Principales Sectores, Productos y Servicios

Agricultura: Los principales cultivos son: Caña de azúcar, arroz, maíz y frijol.

Ganadería: Se cría ganado bovino, porcino, caprino y caballar.

Industria: El ingenio “Emiliano Zapata” es uno de los más importantes de la República, por su producción de azúcar y mieles incristalizables.



Fig. 2. Panorámica del Ingenio Azucarero de Zacatepec Mor.

Turismo: Los atractivos turísticos son los balnearios de Iguazú y Real de San Nicolás, mismos que junto con la Iglesia de San Nicolás y la hacienda Vieja, son obras de interés.

Comercio: Tianguis semanal, mercado, rastro y tiendas de abasto popular.

Fruticultura: Se produce mango, aguacate y guayaba

6.3 PERFIL SOCIODEMOGRÁFICO

Grupos Étnicos

En el año 2000 la presencia indígena en el municipio corresponde a 201 habitantes hablantes de lengua indígena, lo que representa el 0.69% de la población municipal.

De acuerdo a los resultados que presentó el II Censo de Población y Vivienda en el 2005, en el municipio habitan un total de 157 personas que hablan alguna lengua indígena.



Fig. 3. Zona aledaña al pozo Tequesquitengo.

6.4 EVOLUCIÓN DEMOGRÁFICA

De acuerdo al XII Censo General de Población y Vivienda 2000 efectuado por el INEGI, la población total del municipio es de 33,331 habitantes, de los cuales 15,898 son hombres y 17,433 son mujeres. La población total del municipio representa el 2.14 por ciento, con relación a la población total del estado (Internet⁶).

De acuerdo a los resultados que presentó el II Censo de Población y Vivienda en el 2005, el municipio cuenta con un total de 33,527 habitantes.

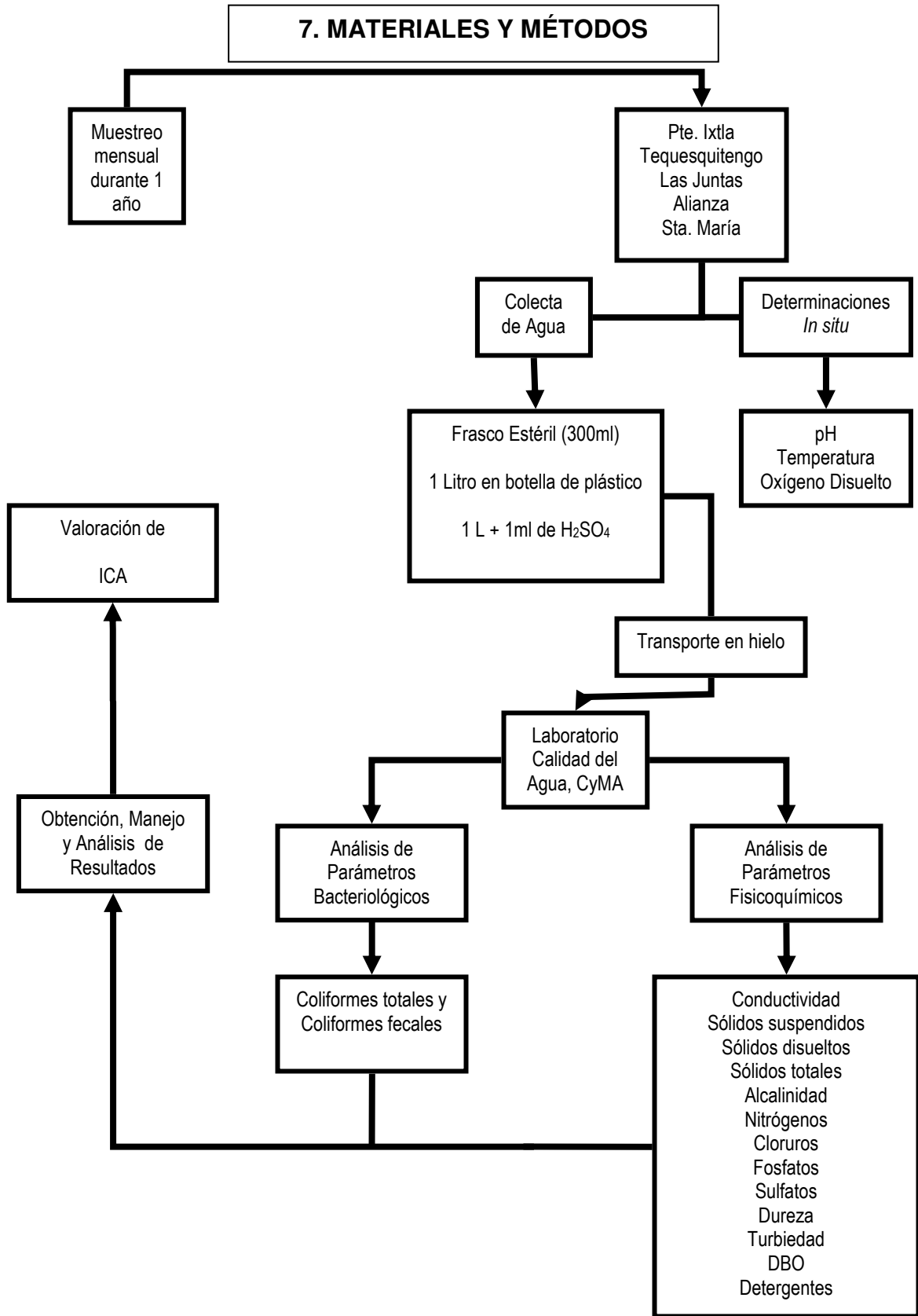


Tabla 4. Técnicas utilizadas en las determinaciones fisicoquímicas y bacteriológicas

PARÁMETRO	TÉCNICA
pH	Potenciométrica
Temperatura	Medidor de oxígeno YSI
Oxígeno disuelto	Medidor de oxígeno YSI
Conductividad	Conductímetro
Sólidos disueltos	Gravimétrica
Sólidos suspendidos	Gravimétrica
Alcalinidad total y a la fenoftaleina	Titulación con indicador
Nitrógeno amoniacal	Nesslerización
Nitratos	Brucina
Nitritos	Diazotización
Cloruros	Argentométrica
Fosfatos	Digestión
Sulfatos	Turbidimétrica
Dureza total y de calcio	Titulación EDTA
Turbiedad	Turbidimétrica
Demanda bioquímica de oxígeno	Dilución
Detergentes	Azul de metileno
Coliformes totales y fecales	Filtro de membrana

APHA-AWWA-WEF, 1998

El Índice de calidad del agua (ICA) se obtendrá 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 5)

W_i = Valor de la importancia relativa del parámetro considerado (Tabla 6)

Tabla 5. Índice individual (Ii) para cada parámetro

Parámetro	Índice de calidad individual para cada parámetro	Unidades	Observaciones
pH	$I_{Ph} = 10^{4.22 - 0.923Ph}$		Si 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	$I_{CE} = 540(CE)^{-0.379}$	ms	
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 OD sat mg/l de saturación a misma T° de campo	La concentración de saturación del 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 en mg/l	
Coliformes totales	$I_{CT} = 97.5(CT)^{-0.27}$	CT = UFC/ml	
Coliformes fecales	$I_{EC} = 97.5(5 <EC>)^{-0.27}$	EC = <i>Escherichia coli</i> /ml	

Fuente: SARH, 1979

Tabla 6. 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
		DBO	5.0
Conductividad eléctrica	2.0	Coliformes totales	3.0
Alcalinidad	1.0	Coliformes fecales	4.0

Fuente: SARH, 1979

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS

Con los resultados obtenidos en los cinco pozos para el periodo de Octubre de 2006 a Septiembre de 2007, se calculó la media, valor mínimo y valor máximo (anexo 1)

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) en todos los pozos estudiados. 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) (ANEXO). Todo esto nos confirma la ausencia de materia orgánica en estos pozos.

8.2 VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS COLIFORMES TOTALES Y COLIFORMES FECALES, ALCALINIDAD TOTAL, CLORUROS, SULFATOS Y DUREZA TOTAL.

POZO SANTA MARÍA (Fig. 4).

En la figura 5 se aprecia cierta correlación entre los CT y los CF, sin embargo a lo largo del año hubo mucha variabilidad en los resultados, siendo en el mes de marzo en el que se observa el mayor crecimiento de estos grupos bacterianos con 28 UFC/100ml.

Los sulfatos en general se mantuvieron mas o menos dentro del ámbito entre 175 a 200 mg/L de enero a junio, Disminuyendo en los demás meses a excepción de agosto, quizás en parte por efecto de la dilución al incrementarse el agua en el acuífero por las lluvias. (Fig. 6)



Fig. 4. Vista del pozo Santa María

Los cloruros presentaron variabilidad a lo largo de todos los muestreos, oscilando entre 2.6 y 22.6 mg/L.

La concentración promedio de Dureza total el pozo Santa María fue de 600.6 mg/L como CaCO_3 , colocándola en la clasificación de aguas muy duras; sus valoraciones mensuales registraron una concentración mínima de 420 mg/L CaCO_3 en el mes de marzo de 2007, mientras que la concentración máxima se registró en el mes de octubre 2006 (784 mg/L). En base a la figura 7 podemos decir que la dureza presentó una gran variación a lo largo del año.

La alcalinidad fue muy constante en todos los muestreos. El tipo de alcalinidad que presentó este pozo fue debida a bicarbonatos de acuerdo a la relación de alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleína (APHA-AWWA-WEF, 1998) (Fig. 7).

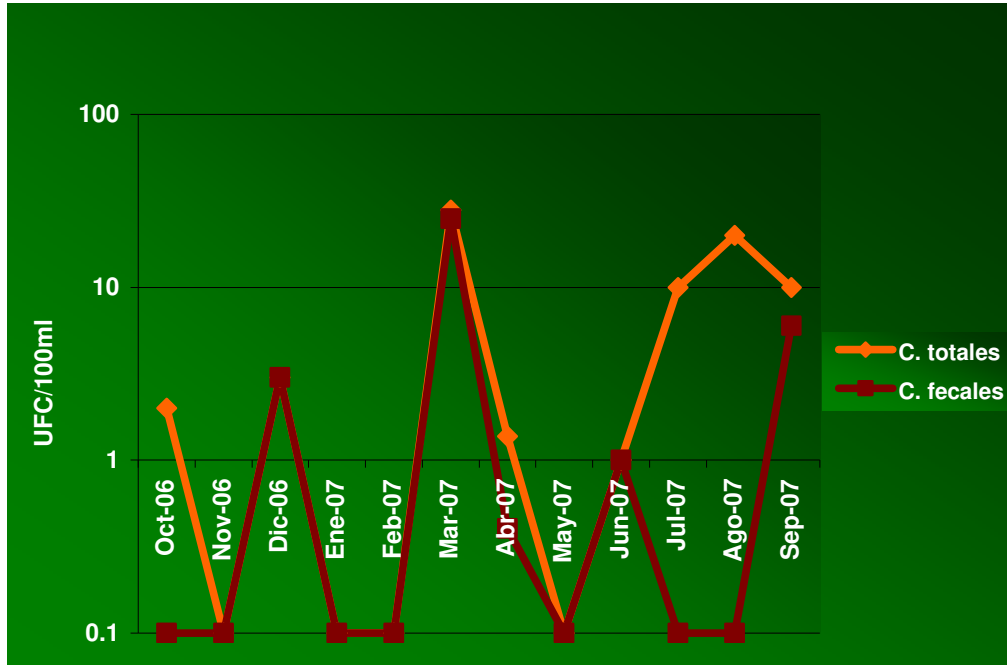


Fig. 5. Variación temporal de CT y CF en el pozo Santa María

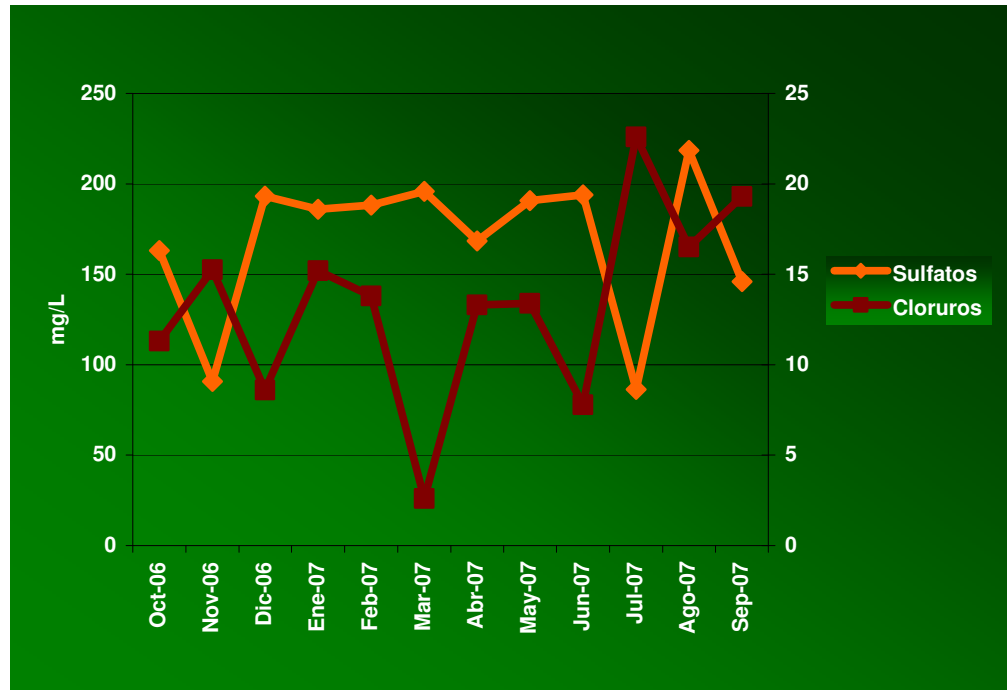


Fig. 6. Variación temporal de sulfatos y cloruros en el pozo Santa María

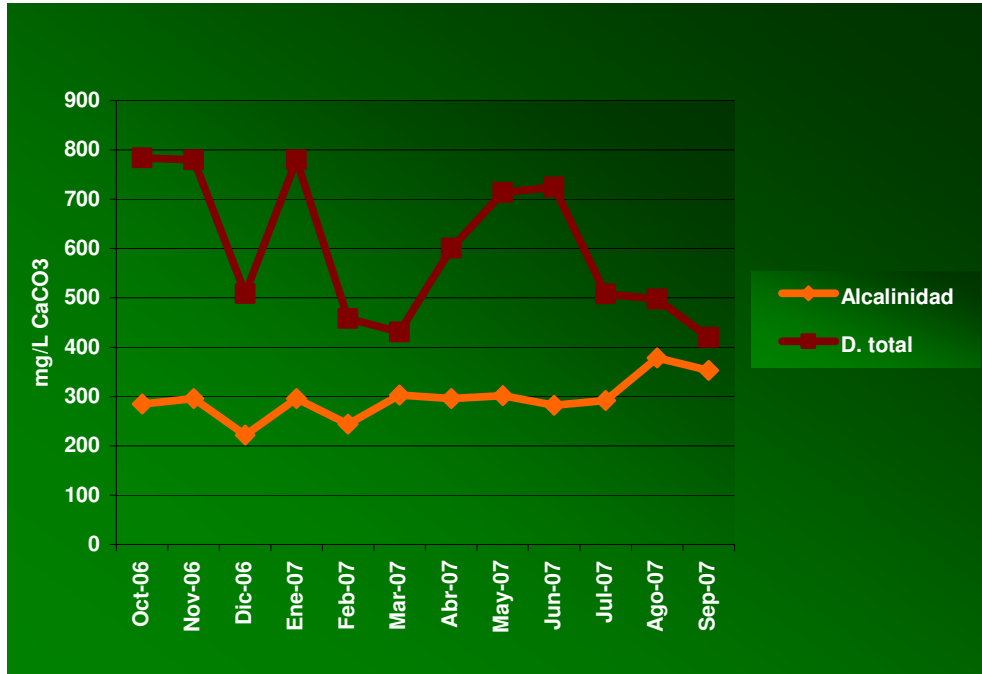


Fig. 7. Variación temporal de alcalinidad total y dureza total en el pozo Santa María

POZO ALIANZA (Fig. 8).

En el caso del aporte bacteriológico al pozo Alianza se puede observar que sólo en 3 muestreos no se registraron problemas de índole bacteriológico; sin embargo, en el mes de octubre se observó el crecimiento bacteriano de CT y CF de 300 UFC/100 ml (Fig. 9), problema grave ya que esto indicaría que la contaminación bacteriana proveniente de las descargas de desechos domésticos están llegando hasta al acuífero. En relación a la variación temporal se puede apreciar que en los meses de secas se tuvieron los valores mas altos disminuyendo en lluvias, teniendo en este caso el factor lluvia como un factor de dilución.

Tanto para los sulfatos como los cloruros la variación temporal fue muy baja ya que en general se mantuvieron más o menos constantes los valores dentro de un ámbito de 56.4 mg/L en noviembre hasta 207.7 mg/L en agosto para sulfatos; en el caso de

cloruros las concentraciones van de 11.2 mg/L como su mínima y su máxima concentración fue de 27.3 mg/L (Fig. 10).



Fig. 8. Vista del pozo Alianza

La concentración de sulfatos más baja calculada (56.4 mg/L) se registra en el primer mes de la temporada de sequías (mayo) para la zona del acuífero de Zacatepec como se observa en la figura 10, por otro lado tenemos que la evaporación potencial durante estos meses es de las más bajas comparadas con otras épocas del año (CNA, 2000); estos factores explicarían la baja concentración ya que el nivel del agua se ve incrementado en estas épocas diluyendo en este caso la concentración de sulfatos.

Con respecto a la alcalinidad, ésta también fue muy constante a lo largo de los muestreos y presentó un valor promedio de 313.3 mg/L, con valores mínimos y máximos de 296 mg/L y 382 mg/L en los meses de diciembre 2006 y agosto 2007 respectivamente (Fig. 11) Dichas concentraciones pueden deberse a la disolución de sales del suelo que se van incrementando probablemente por la acción de lixiviación en la época de lluvias, ya que es en esta temporada en la que se encuentran las concentraciones más altas de alcalinidad, al acarrear partículas hacia el interior del acuífero aunque este efecto de lixiviación no produce tampoco un cambio significativo

en la tendencia de los valores de pH, para este pozo el promedio registrado fue de 6.98.

En el caso de la Dureza total las concentraciones más altas se determinaron en el mes de noviembre 2006 y enero 2007 (ambas con 728 mg/L) y después en forma general fueron disminuyendo (Fig. 11). Las altas concentraciones vuelven a coincidir con el final de las lluvias y en consecuencia a los niveles altos de agua en el acuífero en los primeros meses de secas, las lluvias arrastraron y disolvieron carbonatos del suelo, incrementando las concentraciones en este caso de la dureza y manteniendo así estas concentraciones en los primeros meses de secas.

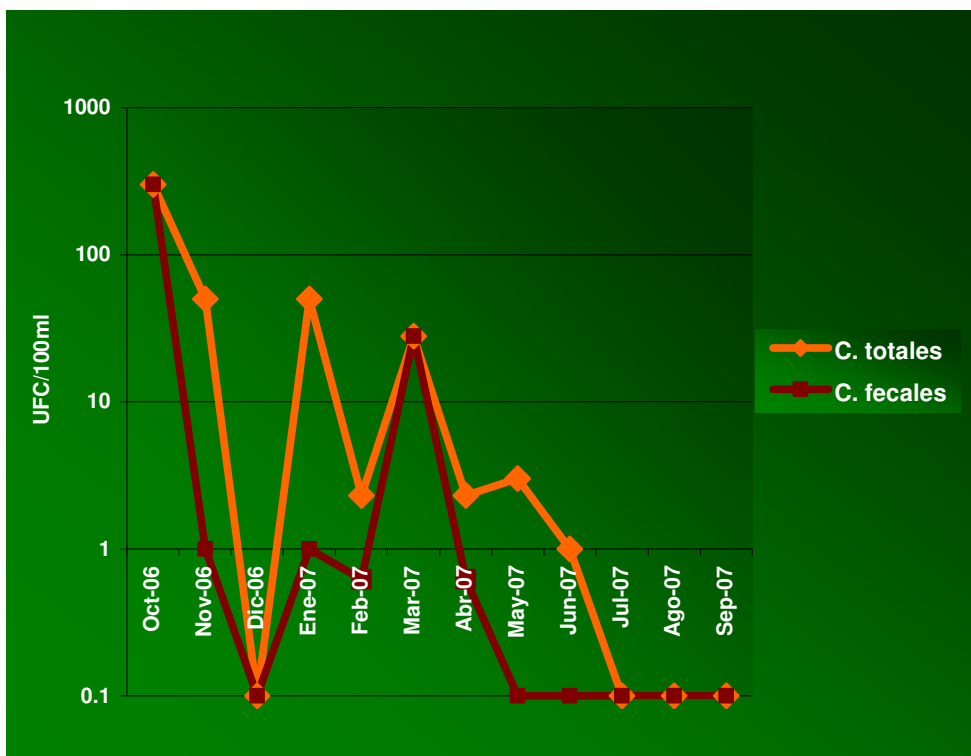


Fig. 9. Variación temporal de CT y CF en el pozo Alianza

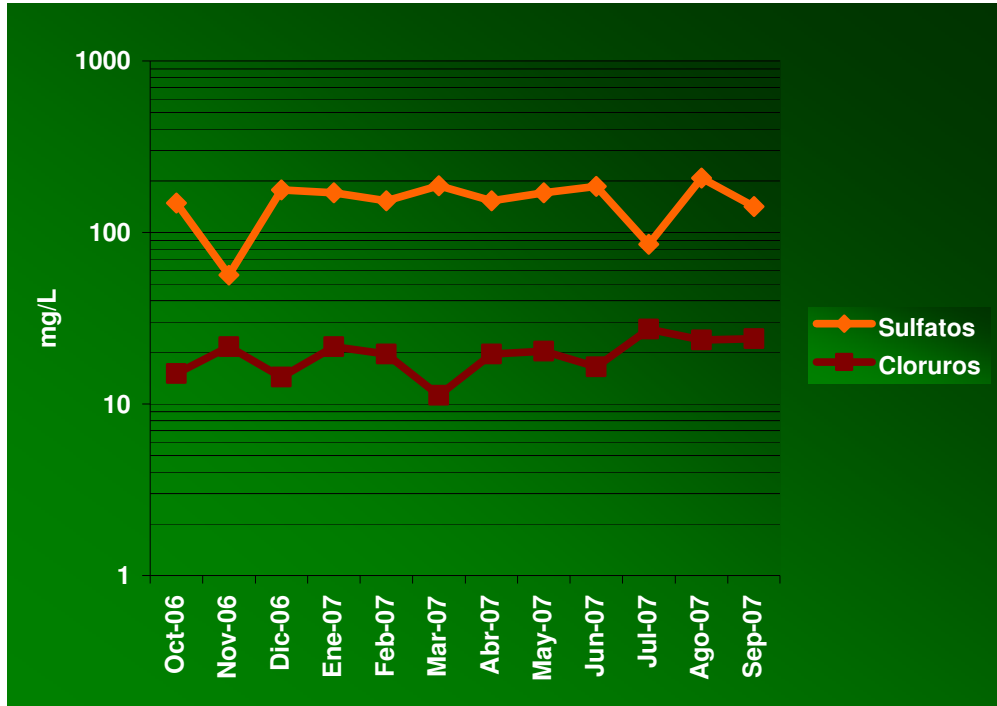


Fig. 10. Variación temporal de sulfatos y cloruros en el pozo Alianza

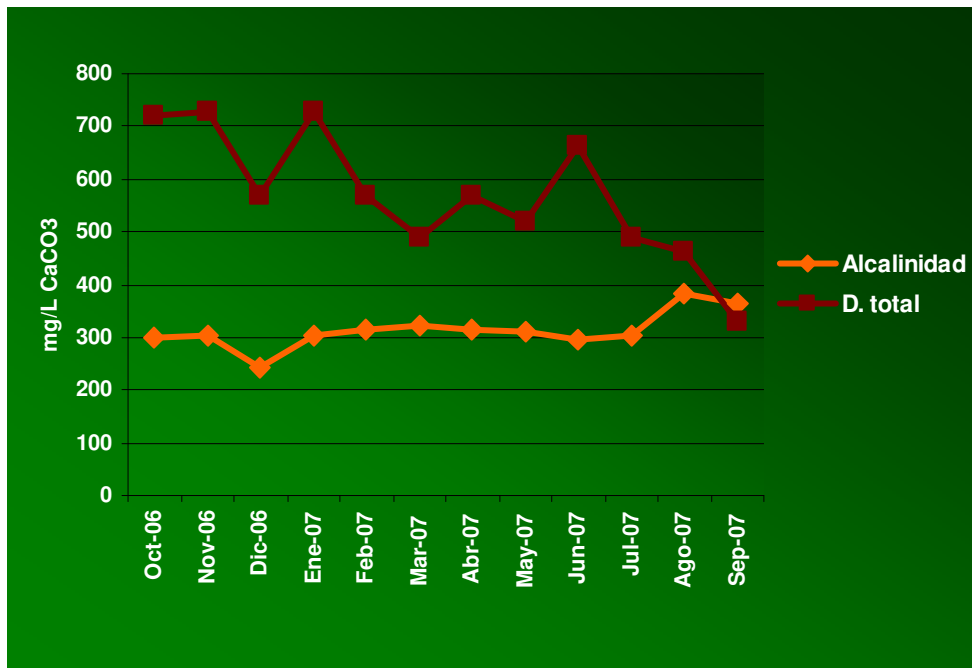


Fig. 11. Variación temporal de alcalinidad total y dureza total en el pozo Alianza

POZO LAS JUNTAS (Fig. 12).

El recuento de bacterias CT y CF sólo se registro en 4 de los 12 muestreos (Octubre, Marzo, Abril y Agosto); en el mes de agosto se registro el valor más alto con 400 UFC/100ml tanto para CT como CF. En el resto de los meses se mantuvo un nivel de excelente calidad al registrarse un crecimiento nulo de estos grupos bacterianos (0 UFC/100ml) (Fig. 13).

La presencia aislada de CT y CF, detectada en cuatro muestreos, puede sugerir algún tipo de contaminación ocasional, sin embargo se debe estar alerta ante la posibilidad de que pueda incrementarse dicha contaminación.

Sin embargo los niveles tan altos de CT y CF durante los meses de marzo y agosto podrían indicar una descarga o contaminación esporádica que pudiera ser como consecuencia a la presencia de vertederos residuales ganaderos o a la presencia de animales relacionados con el pastoreo aledaños a la zonas de flujo de conducción de recarga al acuífero (Fig. 13).

La concentración media de sulfatos para el pozo Las Juntas se encontró en 140.5 mg/L, aunque los niveles por lo general no superaron los 191.4 mg/L en agosto. El mes de abril presentó la concentración más baja con 81 mg/L. En general los valores se muestran constantes a lo largo del estudio por lo que no se muestra una apreciable variabilidad debido a su temporada de lluvia o de secas. Las ligeras variaciones entre muestreos puede deberse a la composición del suelo por donde discurren las aguas en este pozo (Fig. 14).

En el caso de cloruros en general se observa que sus concentraciones en si son muy bajas, su valor mínimo fue registrado durante el mes de junio siendo este de 0.81 mg/L, cabe destacar que posterior a este mes se encuentran las concentraciones ligeramente más altas durante julio, agosto y septiembre registrando concentraciones de 17 a 17.4 mg/L, salvo por el mes de junio es en la época de lluvias en las que se presentan los

valores de cloruros más altos mientras que en la época de secas se observan valores ligeramente más bajos que van de 2.6 a 15.01 mg/L (Fig. 14).



Fig. 12. Vista del pozo Las Juntas

Para dureza total, los meses con las concentraciones más altas fueron los correspondientes a la época de secas, cuyos valores tuvieron un rango de 353 mg/L a 1424 mg/L mientras que los meses propios a la época de lluvias registraron valores que fueron de 268 mg/L a 568 mg/L. En la figura 15 se puede observar claramente la variación temporal de la dureza total debido a un efecto de dilución bien marcado.

Con respecto a la alcalinidad del pozo Las Juntas se observa que este no presenta mucha variación con el transcurso del tiempo y las ligeras variaciones de la alcalinidad total mes con mes no se pueden atribuir a las distintas estaciones de descarga pluvial registradas a lo largo del año. Por otro lado su valor mínimo fue de 204 mg/L durante el mes de diciembre y su máximo registrado fue de 356 mg/L durante el mes de agosto y su concentración media fue de 276.5 mg/L lo que muestra una gran regularidad a lo largo del año de estudio (Fig. 15).

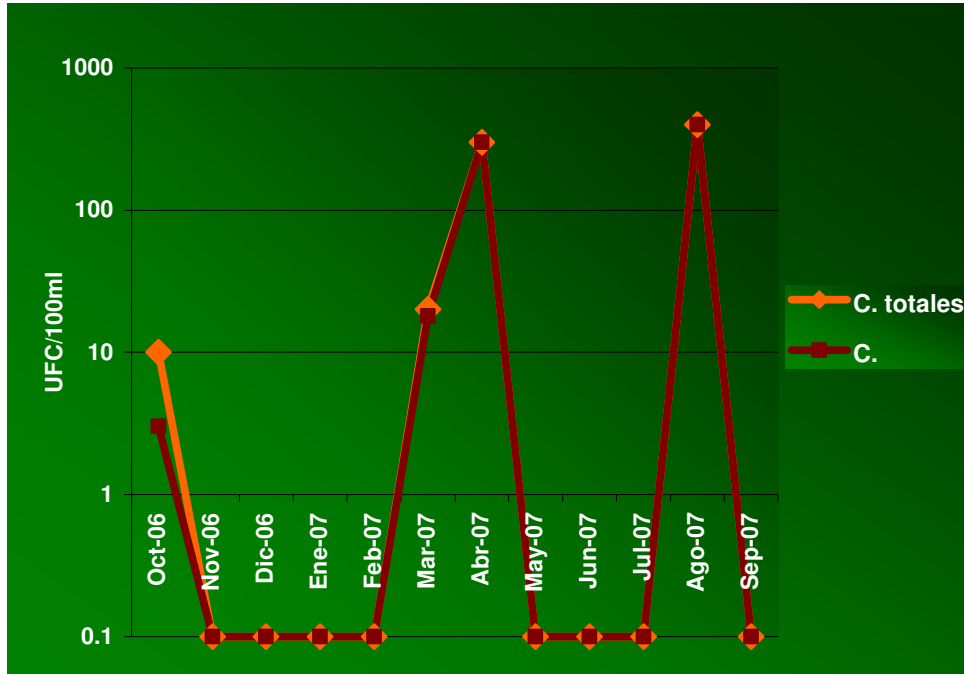


Fig. 13. Variación temporal de CT y CF en el pozo Las Juntas

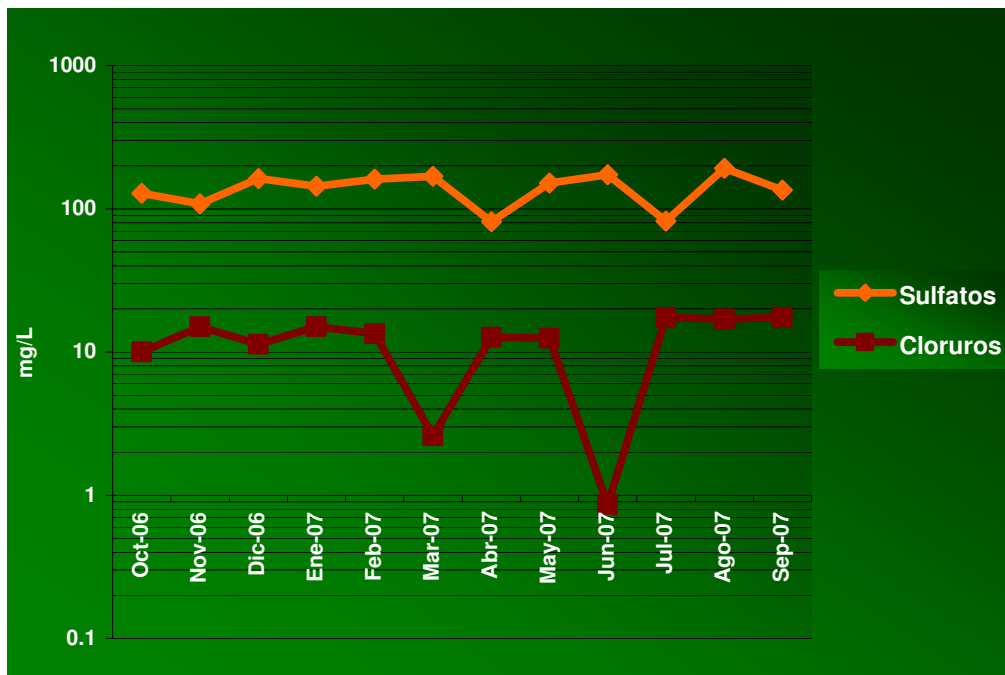


Fig. 14. Variación temporal de sulfatos y cloruros del pozo Las Juntas

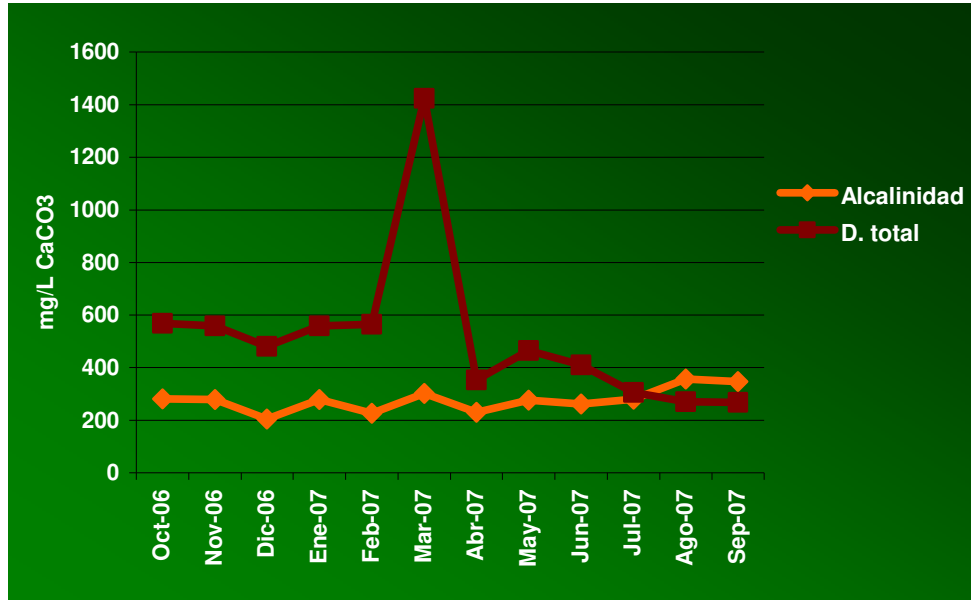


Fig. 15. Variación temporal de alcalinidad total y dureza total en el pozo Las Juntas

POZO PUENTE IXTLA (Fig. 16).

La variación temporal para los CT como CF fue alta (Fig. 17). Algunos de estos muestreos en los que se detectó contaminación bacteriana se presentaron como casos aislados como se refleja en el mes de abril cuyo valor fue de 40 UFC/100 ml tanto para CT como para CF. En general su valor promedio se registró en 1 UFC/100ml para todo el estudio lo que significa baja contaminación de residuos domésticos vertidos a la superficie con cierta frecuencia debido a asentamientos que carecen de drenaje. A este respecto es muy probable que la recarga pluvial del acuífero se mezcle con las aguas residuales correspondientes a estos sectores. Para CT el crecimiento de este tipo de bacterias sólo sucedió en 4 muestreos con una media de 1 UFC/100 ml durante el estudio.

Para el pozo Puente Ixtla las concentraciones de sulfatos y cloruros fueron muy variables a lo largo del año de estudio en el que se encontraron para los sulfatos rangos que fluctuaron desde 28.7 mg/L para el mes de diciembre hasta su valor máximo registrado en el mes de agosto de 102.5 mg/L. Su valor medio se encontró en 63.79

mg/L (Fig.18). En los meses correspondientes a la época de lluvias se registran las concentraciones más altas de sulfatos esto debido tal vez al gran arrastre de sulfatos que se sucede durante la recarga pluvial del acuífero. Por otro lado en la época de secas las concentraciones de sulfatos se perciben un poco más ligeras con respecto a la de lluvias.

En el caso de cloruros durante el mes de marzo se mostró una concentración nula de este parámetro (0 mg/L), su valor máximo fue de 12.7 mg/L en el mes de septiembre y su media se calculó en 6.46 mg/L. Las concentraciones en general para este pozo presentaron en general poca variación durante todos los meses muestreados y los valores fueron muy bajos, aunque si se observa que las concentraciones más altas se dan durante la temporada de lluvias por el arrastre de sales hasta el cuerpo de agua, mientras que en la época de secas se registran las concentraciones más bajas tal vez por la ausencia de dicho arrastre (Fig. 18).



Fig. 16 Vista del pozo Puente Ixtla

En el caso de la alcalinidad en Pte. Ixtla sus concentraciones nos revelan valores que varían en un rango de 240 mg/L en el mes de enero y registrando su máximo valor durante el mes de agosto siendo este de 389 mg/L; su concentración media se calculó

en 309.4 mg/L lo cual indica una homogeneidad regular a lo largo del estudio (Fig. 19); la alcalinidad es del tipo de bicarbonatos ya que los valores de alcalinidad a la fenolftaleina fueron de cero; cabe señalar que es también en el mes de agosto cuando se registra la segunda concentración más baja de dureza total (209 mg/L de CaCO_3) siendo en este mes en el que también se registró unos de las 2 valoraciones de pH más bajos para este pozo cuyo valor fue de 6.52, es decir ligeramente ácido, probablemente esto se deba al efecto de dilución ya que durante la época de lluvias se observa una clara disminución en las concentraciones de dureza total mientras que en la época de sequías estos valores aumentan claramente haciendo que la evaporación del agua se incremente y por consiguiente la concentración de los bicarbonatos aumente.

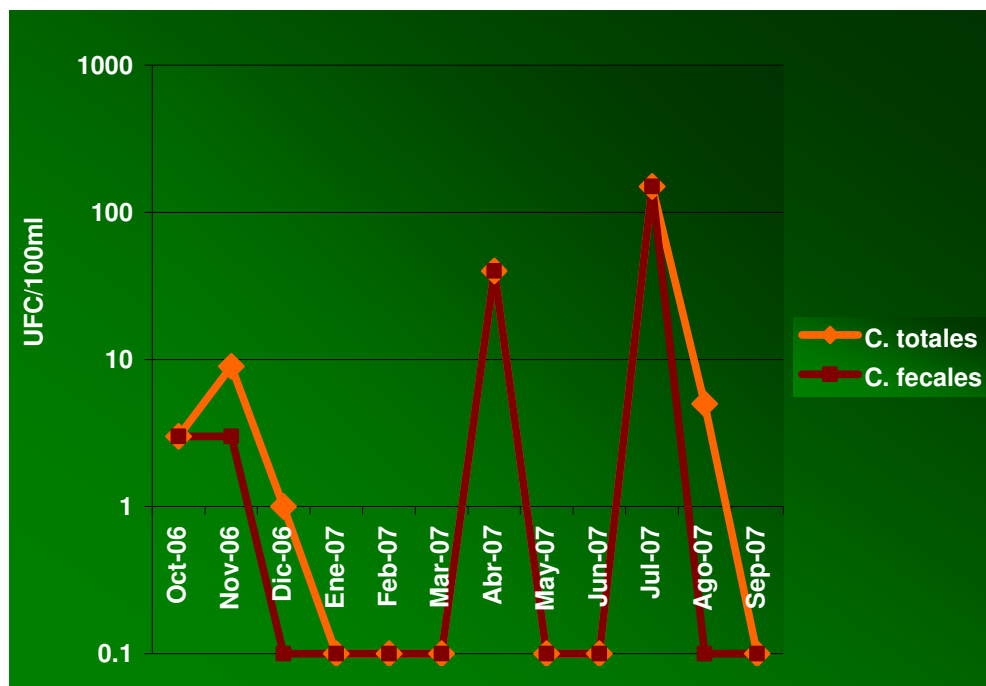


Fig. 17. Variación temporal de CT y CF en el pozo Puente Ixtla

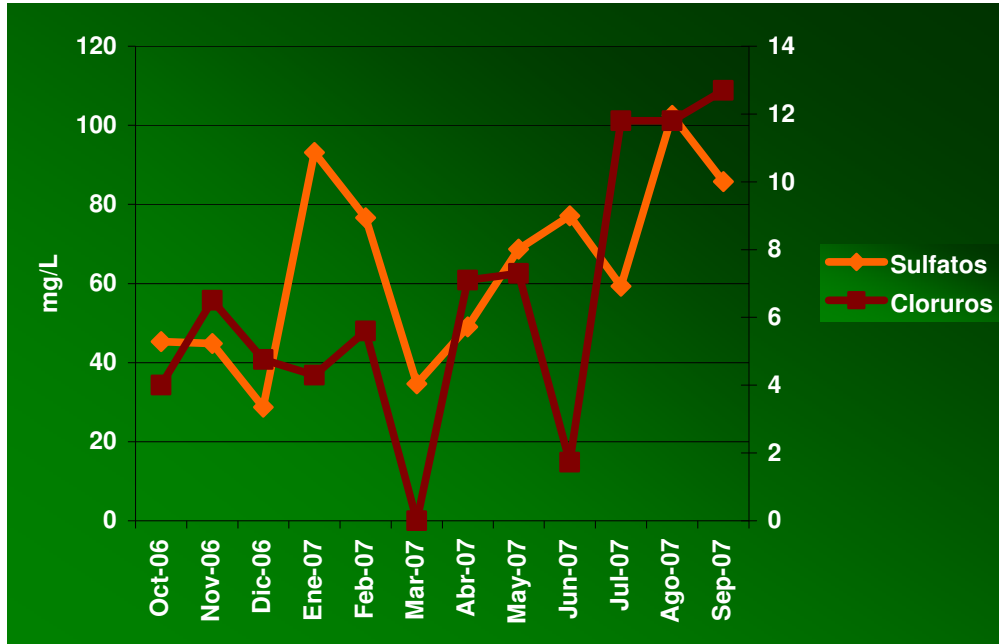


Fig. 18. Variación temporal de sulfatos y cloruros en el pozo Santa María

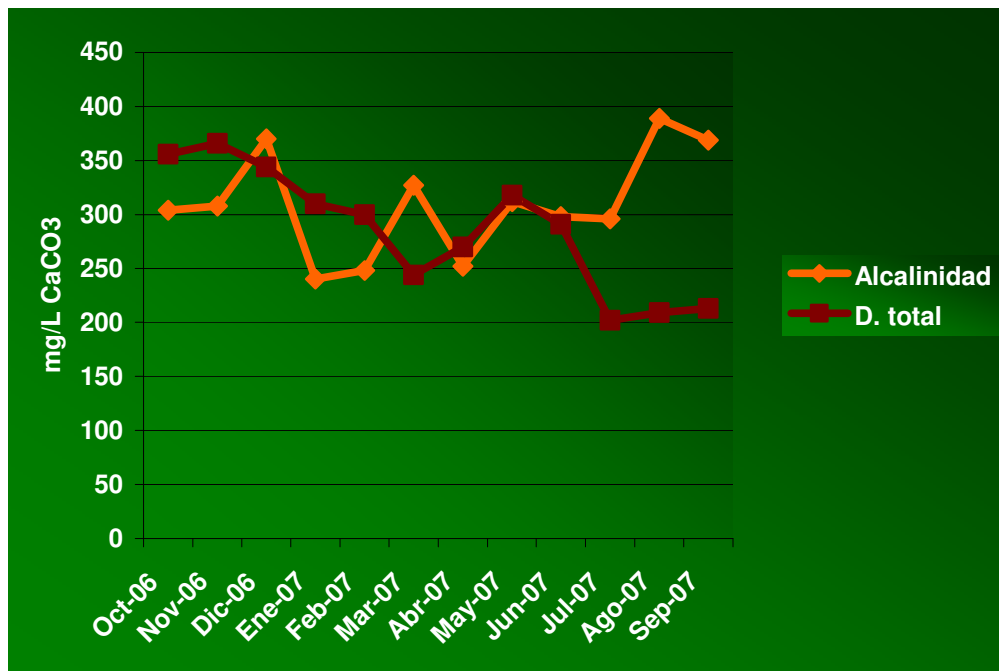


Fig. 19. Variación temporal de alcalinidad total y dureza total en el pozo Pte. Ixtla

POZO TEQUESQUITENGO (Fig. 20).

Con respecto a los análisis bacteriológicos los CT y CF en el pozo Tequesquitengo se registran variaciones apreciables de ambos grupos presentando para el último mes de la temporada de lluvias 19 UFC/100 mL y 46 UFC/100 mL respectivamente para el último mes de la estación seca (Fig. 21). En siete de los doce muestreos no se observó crecimiento de ninguna unidad formadora de colonia de ambos grupos bacteriológicos, mientras que el crecimiento de CF sólo se registró en 3 muestreos, mientras que el crecimiento de CT se observó en cinco de los doce muestreos realizados. Su origen puede deberse a ligeras descargas ocasionales o poco frecuentes hacia el suelo donde en ciertas comunidades se acostumbra el uso de letrinas o el drenaje puede contener fugas, tampoco se puede descartar su origen animal siendo la causa los vertederos de residuos ganaderos o de algunos animales de pastoreo, cuya presencia se da cerca de las vías de recarga más cercanas al acuífero y que al mezclarse con ligeras recargas pluviales se infiltran al acuífero.

Como se aprecia en la figura 22 hay una variación en términos de las concentraciones de sulfatos a lo largo del año y no se diferencian tendencias claras entre las estaciones lluviosa y seca. Sin embargo, es durante la estación lluviosa que se reporta durante el mes de agosto la concentración máxima con 174.3 mg/L, mientras que en el último mes correspondiente a la época de sequías de abril de 2007 se registró la concentración más baja de sulfatos (61.4 mg/L), los datos son fluctuantes entre ambas estaciones dando como resultado una concentración media de 124.1 mg/L. Con respecto a los cloruros sus concentraciones registradas variaron entre un mínimo de 0 mg/L en marzo y un valor máximo de 14.6 mg/L, teniendo como concentración media 8.22 mg/L (Fig. 22).



Fig. 20. Vista del pozo Tequesquitengo

La alcalinidad en el pozo Tequesquitengo registra valores que van de 244 mg/L en diciembre y hasta un máximo de 413 mg/L en agosto cuyo valor alto puede atribuirse al arrastre de lixiviados desde la superficie al acuífero, su concentración media fue de 316.4 mg/L (Fig.23). El tipo de alcalinidad fue de bicarbonatos ya que la alcalinidad a la fenolftaleína fue de cero. Los valores de dureza total reflejan un claro comportamiento estacional para todos los muestreos a lo largo del estudio, presenciándose en los meses correspondientes a la época de lluvias las concentraciones más bajas de CaCO_3 siendo en el mes de agosto en el que se presenta la mínima concentración registrada con 242 mg/L; por otro lado durante los meses propios a la época de sequías se registraron las concentraciones más altas en noviembre y posteriormente en enero, ambas con 700 mg/L; la concentración media de dureza total fue de 421.6 mg/L, estos se deben a la dilución de los bicarbonatos que aumenta con la recarga pluvial y que disminuye durante la época de secas (Fig. 23).

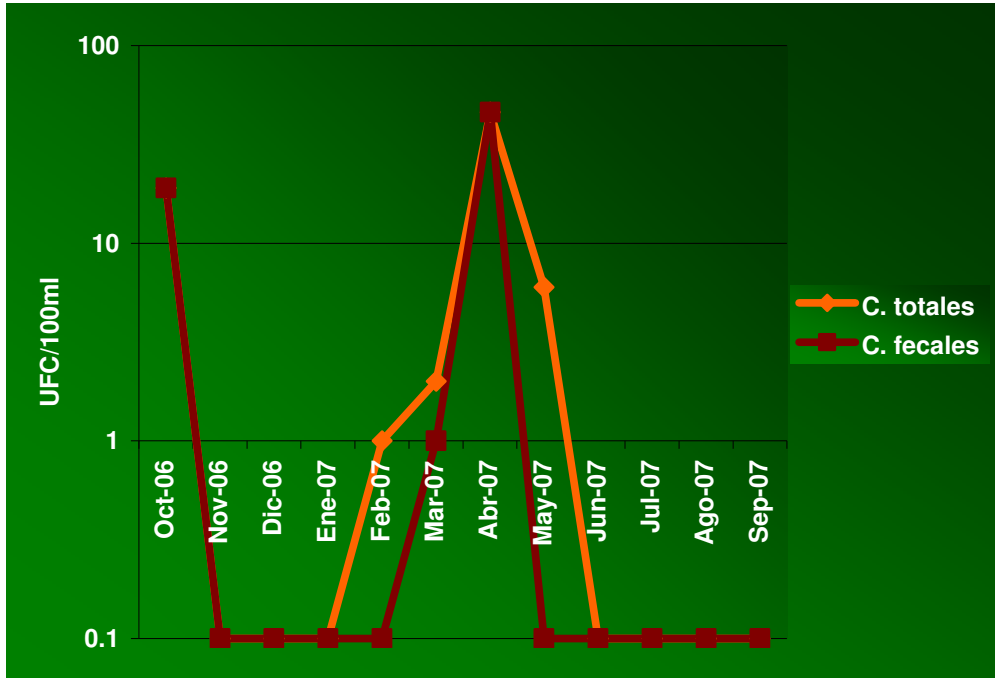


Fig. 21. Variación temporal de CT y CF en el pozo Tequesquitengo

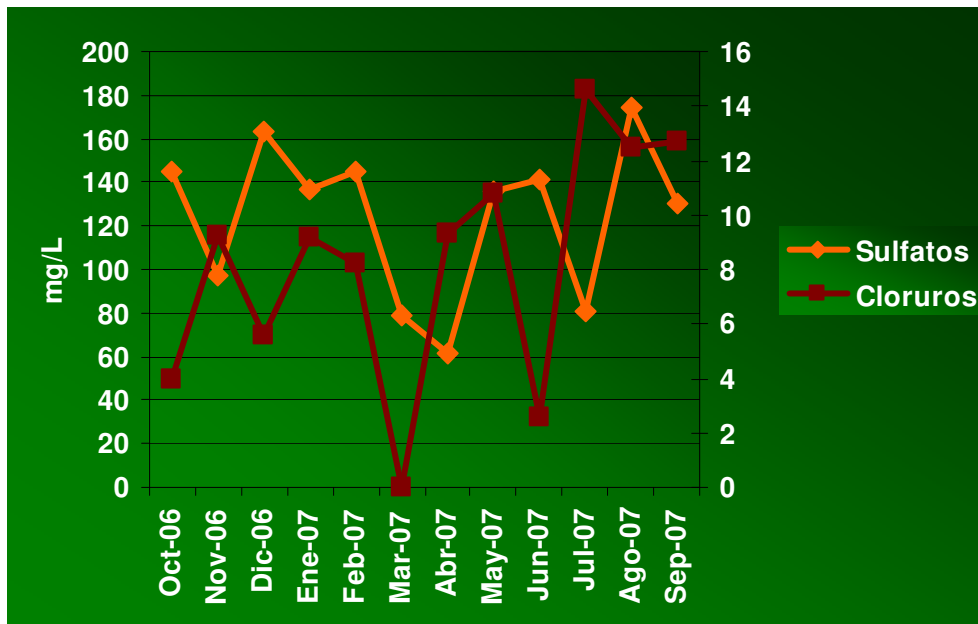


Fig. 22. Variación temporal de sulfatos y cloruros en el pozo Tequesquitengo

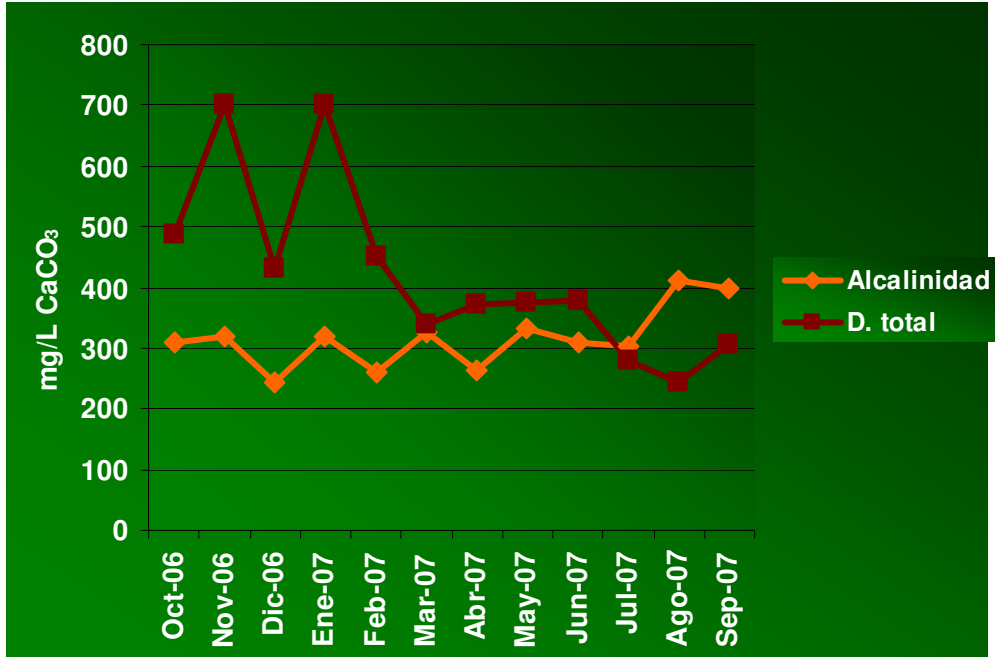


Fig. 23. Variación temporal de alcalinidad total y dureza total en el pozo Tequesquitengo

8.3 VARIACIÓN ESPACIAL ENTRE LOS POZOS

Indicadores bacteriológicos de contaminación

Las medias geométricas de los análisis bacteriológicos los observamos en la figura 24 en la que se observó que el pozo más contaminado por CT fue Alianza con 2 UFC/100 ml de CT y 1 UFC/100 ml de CF, por otro lado Las Juntas y Puente Ixtla ambas presentaron 1 UFC/100 ml de CT y 1 UFC/100 ml de CF; los pozos menos contaminados fueron Tequesquitengo y Sta. María con sólo 1 UFC/100 ml de CT y 0 UFC/100 ml. La presencia tan evidente de contaminación bacteriana en los pozos pudo deberse principalmente a las descargas de desechos domésticos que se vierten continuamente sobre la superficie y que debido a la porosidad del sustrato que conforma al acuífero se filtran con cierta facilidad hasta el subsuelo.

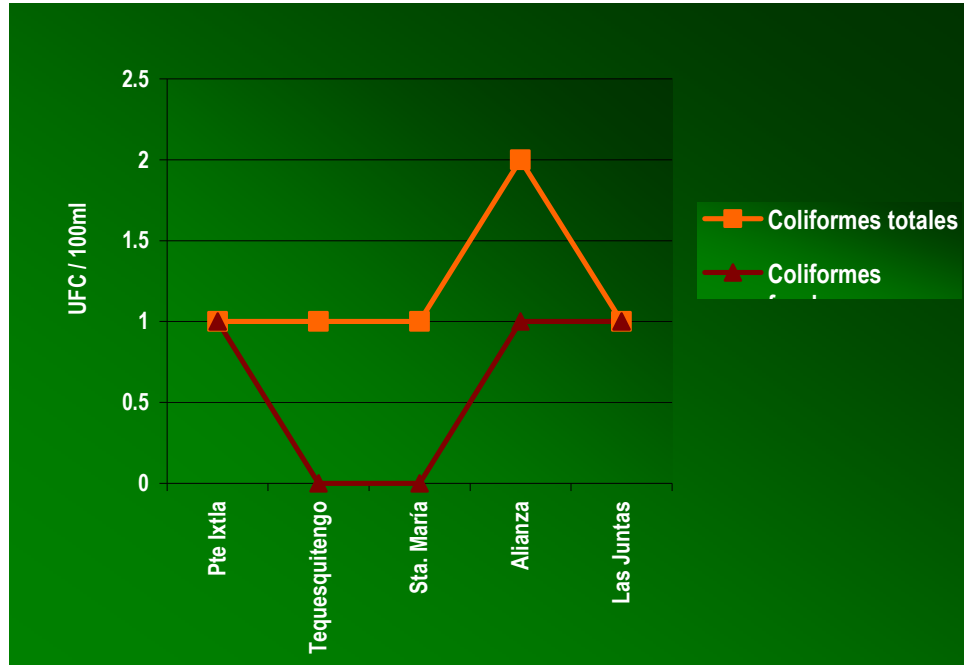


Fig. 24. Variación espacial de las medias geométricas de los parámetros bacteriológicos

Cloruros

Como se muestra en la figura 25 los cloruros no presentaron diferencias entre los pozos. El rango de valores fue de 6.46 mg/L en Pte Ixtla registrando el valor más bajo y la mayor concentración se determinó en Alianza con un promedio de 19.51 mg/L.

Sulfatos

En el caso de sulfatos tampoco se encontraron grandes fluctuaciones con respecto a los valores medios entre los 5 pozos, su valor mínimo lo encontramos en el pozo Pte. Ixtla (63.79 mg/L) mientras que el valor máximo fue de 168.41 mg/L en el pozo Santa María.

Alcalinidad y dureza

En el caso de la alcalinidad podemos ver que las concentraciones permanecen casi constantes dentro de los 5 pozos.

De acuerdo a la dureza obtenida tenemos que el agua en todos los pozos es del tipo “muy dura” (Tabla 7). Siendo el pozo con las concentraciones más altas, Santa María con 600.6 mg/L, y el que presentó las concentraciones mas bajas fue el pozo Pte. Ixtla con 285.2 mg/L

En el pozo Puente de Ixtla, como la media de la alcalinidad total (309.4 mg/L) es mayor que la de dureza total (285.2 mg/L), la dureza temporal o carbonatada de este pozo es de 285.2 mg/L. (Tablas 8 y 9). 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 fuente de iones carbonato para precipitar Ca^{++} como CaCO_3 a temperaturas elevadas. La dureza carbonatada está dada principalmente por carbonatos y bicarbonatos.

La dureza no carbonatada fue de -24.2 mg/L (diferencia entre la alcalinidad total y la dureza total), como fue negativa entonces no hay dureza no carbonatada (Tabla 9).

En los demás pozos como la media de la alcalinidad total fue menor que la dureza total, la dureza carbonatada corresponde a los valores de alcalinidad respectivamente y la no carbonatada a la diferencia de la dureza menos la alcalinidad (Tablas 8 y 9) y para el caso de estos pozos esa dureza no carbonatada 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).

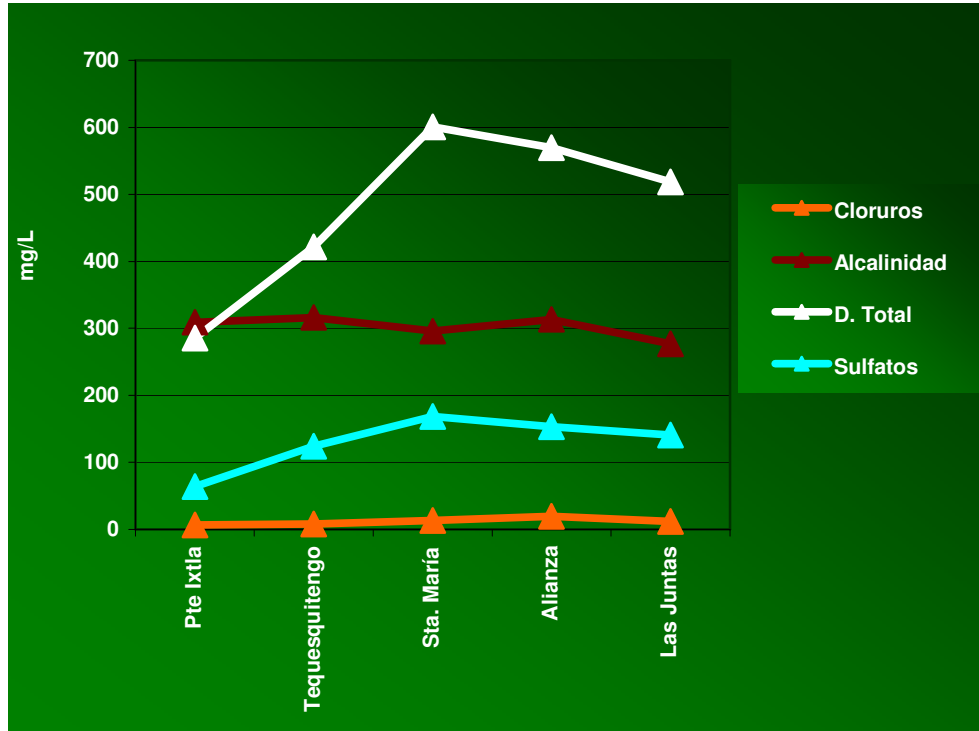


Fig. 25. Variación espacial del contenido de cloruros, alcalinidad total, dureza total y sulfatos

Tabla 7. Tipo de agua considerada con respecto a la dureza total obtenida en cada pozo.

Pozos	Dureza	Tipo de agua
Pte. Ixtla	285.25	Muy dura
Tequesquitengo	421.66	Muy dura
Sta. María	600.63	Muy dura
Alianza	569.64	Muy dura
Las Juntas	518.5	Muy dura

Tabla 8. Valores promedio de dureza total y alcalinidad
los pozos estudiados

en

Pozos	Alcalinidad total	Dureza total
Sta. María	295.7	600.6
Alianza	313.3	569.6
Las Juntas	276.5	518.5
Pte. Ixtla	309.4	285.2
Tequesquitengo	316.4	421.6

Tabla 9. Resultados de la dureza carbonatada

Pozos	Agua Carbonatada	Agua No Carbonatada
Sta. María	295.7	304.9
Alianza	313.3	256.3
Las Juntas	276.5	242
Pte. Ixtla	285.2	-24.2
Tequesquitengo	316.4	105.2

Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos representan la concentración de sales disueltas y comparando las medias de los pozos tenemos que el pozo Santa María tuvo las medias mas altas seguidas de Alianza y los valores más bajos los presentó Puente Ixtla (Fig. 27). Esto es muy justificable ya que el acuífero de Zacatepec inicia con los pozos que presentaron las concentraciones mas bajas y conforme va avanzando va sumando las concentraciones de las sales del suelo por donde va pasando y por eso los últimos pozos presentaron las concentraciones mas altas.

Los resultados del análisis temporal entre los cinco pozos mostró ciertas similitudes a lo largo de los muestreos, así tenemos que durante los meses de marzo, abril y mayo

presentaron las concentraciones ligeramente mas bajas mientras que en los demás muestreos se fueron elevando (Fig. 26).

De acuerdo a los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos (Tabla 10), tenemos que las relaciones Tequesquitengo con Santa María, Puente de Ixtla con Santa María y Puente de Ixtla con Tequesquitengo mostraron una correlación moderada de Sólidos Disueltos (Durán *et al.*, 2003) ya que sus coeficientes de correlación fueron de 0.7, 0.6 y 0.5 respectivamente; mientras que los demás pozos no mostraron relación alguna de manera significativa y esto se puede observar también en la figura 26.

Tabla 10. Coeficientes de correlación entre los cinco pozos

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	
Pte Ixtla vs Tequesquitengo	0.50262846
Pte. Ixtla vs Sta María	0.62164998
Pte. Ixtla vs Alianza	-0.16159935
Pte. Ixtla vs Las Juntas	0.24108269
Tequesquitengo vs Sta María	0.70797266
Tequesquitengo vs Alianza	-0.06619788
Tequesquitengo vs Las Juntas	-0.02565804
Sta María vs Alianza	-0.07354137
Sta María vs Las Juntas	0.05692472
Alianza vs Las Juntas	-0.12100372

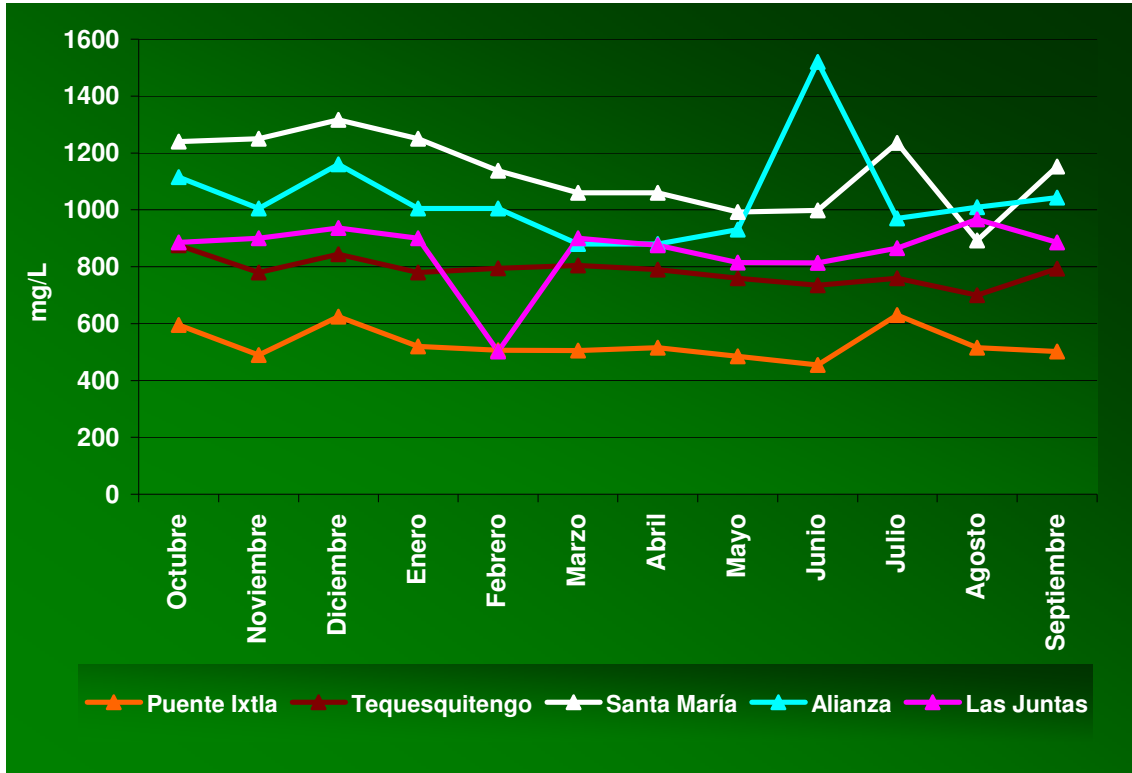


Fig. 26. Comportamiento de los sólidos disueltos en los cinco pozos del acuífero de Zacatepec durante el estudio.

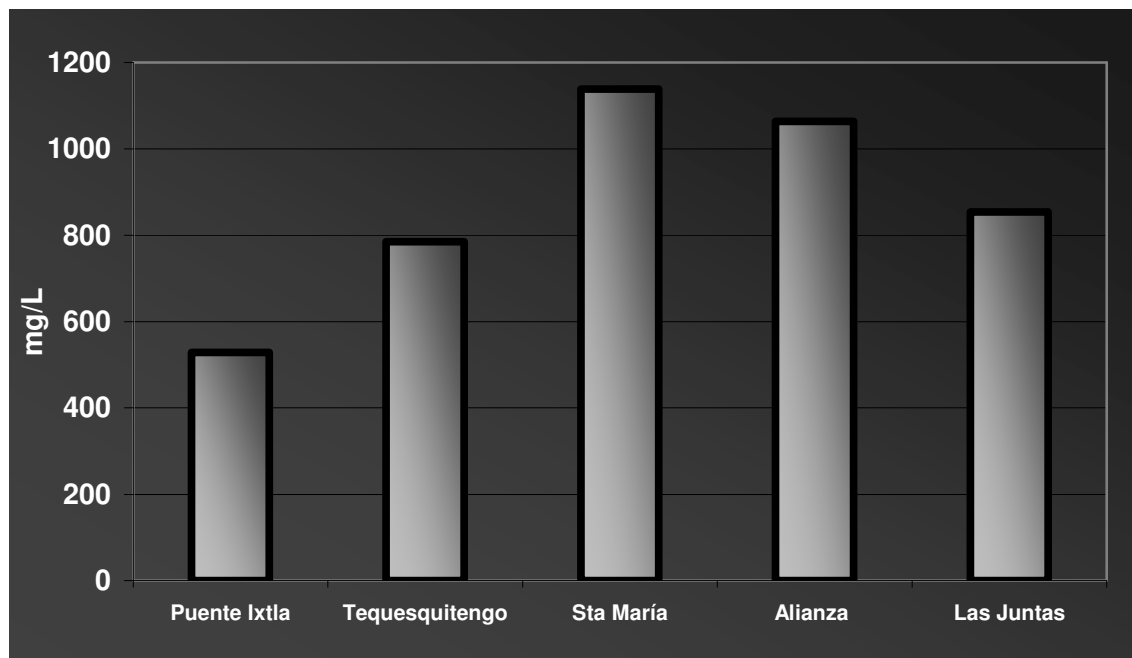


Fig. 27. Valores promedio de los Sólidos Disueltos de los cinco pozos del acuífero de Zacatepec.

8.4 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Con las medias de los parámetros determinados se calculó el índice de Calidad del Agua (ICA) para cada pozo; sus Índices de Calidad del Agua presentaron una aparente variabilidad uno del otro, pero no muy significativa tal como se puede observar en la figura 28:

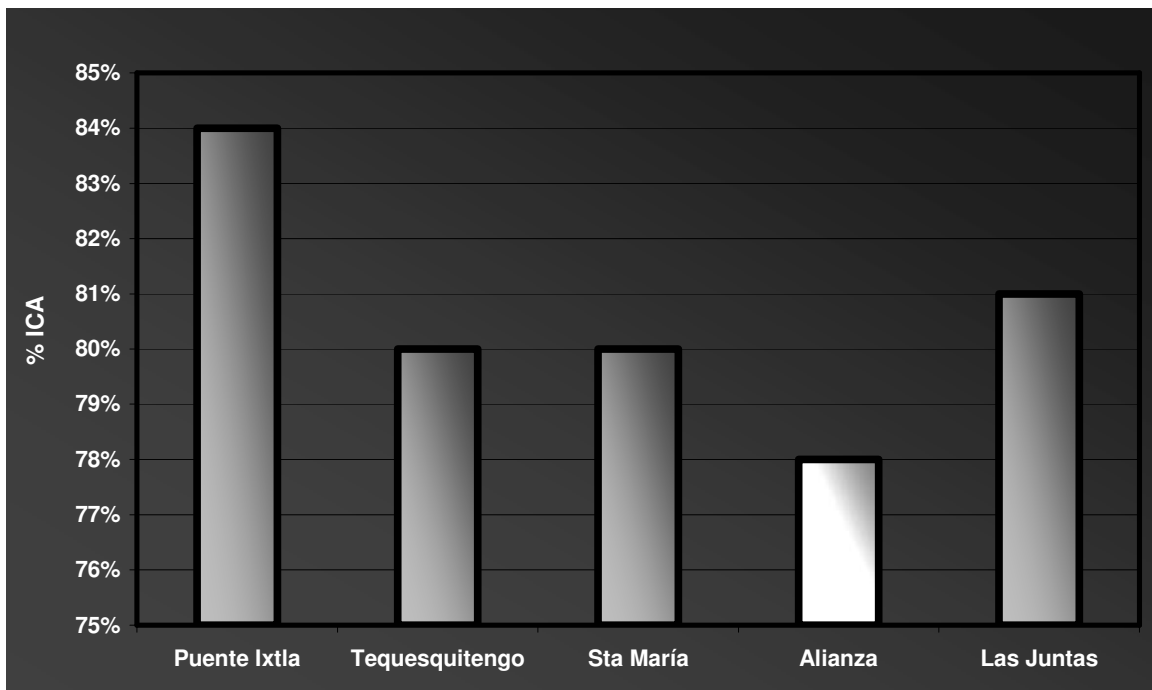


Fig. 28. Índice de Calidad del Agua en los 5 pozos del acuífero de Zacatepec.

El pozo que presentó el valor más alto de ICA según se muestra en la figura 28 fue Puente Ixtla con 84%, seguido de Las Juntas con 81%, Tequesquitengo y Santa María con 80%, dichos pozos deberán someterse a una ligera purificación mientras que para el caso de Alianza se obtuvo un ICA de 78% el cual requerirá de un mayor tratamiento para su consumo humano.

8.5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, AGUA PARA SU USO Y CONSUMO HUMANO.

Las medias geométricas de los parámetros bacteriológicos y las medias de los parámetros fisicoquímicos se compararon con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 (Tabla 11).

En el aspecto bacteriológico de la calidad de agua, todas las muestras presentaron un crecimiento mayor al límite establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-127 de 0 UFC/100mL para CT; sólo en el 40% de los pozos (Tequesquitengo y Santa María) se observa un crecimiento nulo de bacterias CF; mientras que para CT el 100% de los pozos se encontró contaminado, en este caso el criterio de aptitud también está dado por la ausencia de crecimiento en el medio de cultivo.

Los presentes resultados ponen de manifiesto las constantes descargas de aguas residuales en la zona del acuífero de Zacatepec, ya que el 100% de los pozos muestran presencia de CT y un 60% de las muestras de CF ensayadas en el estudio demuestran no ser aptas para el consumo humano, conforme a lo determinado por la Normatividad Mexicana pero que al pasar por el dosificador de cloro este problema bacteriológico sería eliminado con efectividad.

Todos los parámetros fisicoquímicos promedio analizados se ubicaron dentro de lo admitido por la NOM-127-SSA1-1994 para la calidad de agua potable, en donde solo las pruebas de dureza total en Sta María, Alianza y Las Juntas sobrepasan el límite (500 mg/L) también Santa María y Alianza exceden el límite en sólidos disueltos (1000 mg/L).

Las concentraciones de sulfatos y cloruros se consideran bajas ya que ninguna de las dos determinaciones sobrepasa ni por poco el límite permisible por la Normatividad Mexicana (SO_4 – 400 mg/L y Cl^- - 250 mg/L); para el caso de sulfatos la mayor concentración se encontró en Sta. María con 168.4 mg/L; mientras que Puente Ixtla registró 63.7mg/L siendo este el pozo con menor cantidad de sulfatos.

Para el caso de dureza total sólo dos pozos se encuentran dentro del límite permisible por la NOM-127-SSA1-1994; estos pozos fueron Puente Ixtla y Tequesquitengo cuyos valores fueron de 285.2 y 421.6 mg/L respectivamente; sin embargo, los pozos Sta. María, Alianza y Las Juntas sobrepasan dicho límite (500 mg/L CaCO_3), siendo Sta. María el pozo que con 600.6 mg/L, el que mayores problemas enfrenta ante dicha situación; de cualquier manera el agua de los cinco pozos se considera como muy dura lo que podría representar graves problemas a las tuberías por donde circula esta agua acelerando su deterioro y corrosión.

Dados los valores de contaminación bacteriológica en el punto de muestreo Alianza se indica que su uso para consumo doméstico no es viable debido a que en 8 de los 12 meses se presentó contaminación de origen bacteriano ya que la Modificación a la NOM-127-SSA1-1994 indica un límite de 0 UFC/100ml para uso humano.

Las concentraciones de sulfatos se encuentran más o menos constantes a lo largo del año en el pozo Alianza; dichos valores van de 56.4 mg/L en el mes de noviembre de 2006 a 207.7 mg/L en agosto de 2007 (Fig. 10) la concentración media fue de 153.2 mg/L dichos valores no sobrepasan lo establecido por las Normas Mexicanas que es de 400 mg/L.

En el pozo Alianza los contenidos de cloruros en ningún caso rebasaron los límites en la norma señalados para el agua potable (250 mg/L) la media del pozo durante el estudio fue de 19.5 mg/L, su valor mínimo fue de 11.2 mg/L y su máximo fue de 27.3 mg/L durante el mes de julio 2007. Cabe resaltar que el valor promedio de dureza total (569.6 mg/L) en Alianza sobrepasa ligeramente el límite máximo permisible por la NOM-127-SSA1-1994 (500 mg/L) esto representa una problemática grave a considerar para las instalaciones de las bombas que extraen el recurso hídrico ya que la corrosión de las tuberías que conforman este sistema se aceleraría notablemente.

Los valores medios de CT para el pozo Las Juntas fue de 1 UFC/100ml y de 1 UFC/100ml de CF cuyos valores sobrepasan ligeramente la NOM-127-SSA1-1994 que exige un valor de 0 UFC/100ml para consumo humano. Como se ha mencionado estos problemas de contaminación bacteriana son en teoría rápidamente resueltos una vez

que pasa por el dosificador de cloro lo que eliminaría las complicaciones de tipo bacteriano.

De las concentraciones de sulfatos para Las Juntas se observa que sus valores se mantienen en un rango constante y que su media a lo largo del estudio (140.5 mg/L) no sobrepasó los límites establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 de 400 mg/L.

Comparando la concentración media de cloruros del pozo Las Juntas, que fue de 12.09 mg/L contra el máximo permisible de 250 mg/L establecido por la NOM-127-SSA1-1994 se aprecia claramente que los niveles de esta sal en este pozo son muy reducidos y no representan ningún riesgo para el consumo humano.

El valor medio de dureza total en el pozo Las Juntas fue de 518.5 mg/L y este rebasa la norma NOM-127-SSA1-1994 (500 mg/L), con respecto al agua para consumo humano y alcanzan concentraciones hasta de 1424 mg/L durante el mes de marzo de 2007, cuyo valor representa un riesgo por las incrustaciones de calcio que produce en las tuberías por donde circula esta agua lo que a futuro significaría problemas económicos severos para la población.

Con respecto a CT en el pozo Puente Ixtla, los resultados mostraron que el 50% de los meses muestreados se encuentran fuera de norma (0 UFC/100mL de agua para uso doméstico, de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994), registrándose niveles hasta de 150 UFC/100mL de CT y CF en el mes de julio de 2007.

El valor promedio de sulfatos en el pozo Pte. Ixtla fue de 63.79 mg/L se encuentra muy por debajo del límite permisible por la NOM-127-SSA1-1994 para su uso y consumo humano lo que indica una aceptable concentración con respecto a sulfatos se refiere. Por otro lado como se ha venido manifestando en la mayoría de los pozos estudiados, las concentraciones de cloruros son demasiado bajas ya que cuyo valor promedio para este pozo fue de 6.46 mg/L; comparado con la concentración permitida por las Normas Mexicanas que es de 250 mg/L, la concentración promedio anual es despreciable y tampoco significa problemas con respecto a la cantidad disuelta de esta sal en el acuífero.

Comparando los valores promedio de Dureza total para el pozo de Pte. Ixtla este fue de 285.2 mg/L entra dentro de la clasificación de agua muy dura y no carbonatada pues su concentración por cálculo fue de -24.2 según se muestra en la Tabla 9, Su concentración media también representa la concentración más baja de dureza total con respecto a los otros pozos y se encuentra perfectamente dentro de los límites permisibles por la NOM-127-SSA-1994 cuyo límite máximo es de 500 mg/L.

En general Tequesquitengo es un pozo con buena calidad bacteriológica en contraste con los otros pozos cuya media geométrica fue de 1 UFC/100ml para CT y de 0 UFC/100ml aunque la Normatividad Mexicana exige un crecimiento nulo de cualquiera de estos dos grupos (0 UFC/100ml) ya que la presencia de estos organismos puede ser dañina para la salud del hombre aunque estos no afectan gravemente el equilibrio natural del acuífero.

Los valores de sulfatos en Tequesquitengo se localizaron en un rango aceptable, ya que los registros no mostraron cantidades mayores a 174.3 mg/L valor que se encuentra muy por debajo de lo establecido por la NOM-127-SSA1-1994 que indica un máximo permisible de 400 mg/L; esto significa un buen estado en cuanto a las concentraciones de sulfatos y cloruros ya que las concentraciones de esta última se encuentran también muy por debajo de la normatividad mexicana ya que la concentración máxima sugerida es de 250 mg/L y la concentración media para cloruros fue de 8.22 mg/L.

La alcalinidad en Tequesquitengo registra valores en el 100% de los casos inferiores al máximo aceptable para la NOM-127-SSA1-1994, encontrándose los mismos entre 244 mg/L en diciembre 2006 y 413 mg/l en agosto 2007 valores mínimo y máximo respectivamente. En el caso de la dureza total su concentración media indica agua muy dura como en el resto de los pozos ya que esta fue de 421.6 mg/L; aunque no sobre pasa la Norma Mexicana existen dos muestreos correspondientes a los meses de noviembre de 2006 y enero de 2007 en los que se registraron concentraciones de 700 mg/L para ambos monitoreos, dados estos resultados se atribuye a que el efecto de dilución disminuye considerablemente debido a la época de sequías, problema grave a

considerar ya que estos valores sobrepasan los límites máximos permisibles por la NOM-127-SSA1-1994 de 500 mg/L.

Tabla 11. Valores de los promedios obtenidos en los 5 pozos comparados contra la modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

PARÁMETRO	STA MARÍA	ALIANZA	LAS JUNTAS	PTE IXTLA	TEQUESQUITENGO	NORMA
PH	7.0281	6.988	7.1716	6.8275	6.9541	6.5-8.5
Valor mínimo	6.5	6.66	6.8	6.52	6.4	
Valor máximo	7.3	7.4	7.4	7.63	7.3	
TURBIEDAD	0.1458	0.1925	0.255	0.2408	0.2183	5
Valor mínimo	0.085	0.12	0.08	0.07	0.1	
Valor máximo	0.26	0.3	0.73	0.6	0.42	
SULFATOS	168.418	153.21	140.583	63.7616	124.191667	400.00
Valor mínimo	86.3	56.4	81	28.7	61.4	
Valor máximo	218.5	207.7	191.4	102.5	174.3	
CLORUROS	13.303	19.513	12.0975	6.4658	8.22916667	250.00
Valor mínimo	2.6	11.2	0.86	0-4	0	
Valor máximo	22.6	27.3	17.4	12.7	14.6	
DUREZA TOTAL	600.636	569.64	518.5	285.25	421.666667	500.00
Valor mínimo	420	330	268	202	242	
Valor máximo	784	728	1424	366	700	
SOL. DISUELTOS	1138.454	1063.7	853.666	528.5	784.658333	1000.00
Valor mínimo	892	880	502	455	700	
Valor máximo	1316	1520	967	630	875	
NITRATOS	1.75945	1.563	1.43958	1.31958	1.809083333	10
Valor mínimo	0.113	0.25	0.164	0.019	0.449	
Valor máximo	3.46	3.5	3.2	4.2	3.52	
N. AMONICAL	0.06563	0	0.00566	0.04583	0.00283333	0.50
Valor mínimo	0	0	0	0	0	
Valor máximo	0.722	0	0.034	0.55	0.34	
C. TOTALES	1	2	1	1	1	0
Valor mínimo	0	0	0	0	0	
Valor máximo	28	300	400	150	46	
C. FECALES	0	1	1	1	0	0
Valor mínimo	0	0	0	0	0	
Valor máximo	25	300	400	150	46	

9. CONCLUSIONES

El ICA en los pozos de Puente Ixtla, Santa María, Tequesquitengo y Las Juntas nos indica que requieren de una ligera purificación mientras que para el pozo Alianza se requerirá de un mayor tratamiento.

Según el ICA, el estado general del agua en el acuífero es bueno, y puede emplearse para fines agropecuarios o de potabilización, pudiéndose elegir al mismo tiempo los pozos más adecuados para cada caso particular teniendo en cuenta el presente trabajo.

Sin embargo, deberá considerarse la realización de un monitoreo adecuado, que permita tener datos de calidad de los pozos durante las distintas condiciones hidrológicas y climatológicas de la zona, para elegir el grado de tratamiento a los que debe someterse el agua con el fin de cumplir con las restricciones de calidad impuestas por la normatividad ambiental vigente para cada uso específico del agua.

Todos los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos evaluados caen dentro de los límites admitidos por la modificación a la NOM-127-SSA1-1994; agua para su uso y consumo humanos.

Todos los pozos a excepción de Alianza presentaron pequeñas cantidades de nitrógeno amoniacal, que podrían indicar una posible contaminación reciente por desechos de origen animal asociados a la existencia cercana de comunidades sin servicio de sistemas de drenaje y al uso de aguas residuales empleadas en actividades agropecuarias para el riego de los suelos.

Dado que la mayor contaminación de estas fuentes no se debe al aumento de la materia orgánica presente en ellas, la cual se encuentra en niveles bajos, sino a la presencia más bien de bacterias, puede concluirse que la práctica de regar los suelos con aguas residuales no incrementa el contenido de materia orgánica de los pozos además de que la DBO es casi igual a 0 para la mayoría de los puntos muestreados.

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal, nitratos o nitritos fueron muy bajas, por lo que no significan por el momento una grave amenaza de eutrofización para los pozos

aunque la evidencia de ligeras concentraciones de estos parámetros exige ya la toma de actividades precautorias para evitar que en un futuro cercano el acuífero se encuentre con problemas más severos de contaminación.

Solo las pruebas de Dureza total en Sta María, Alianza y Las Juntas sobrepasan el límite (500mg/L); también Santa María y Alianza exceden el límite en Sólidos Disueltos (1000 mg/L).

El principal factor de deterioro del agua de los pozos ubicados en el acuífero de Zacatepec es la contaminación microbiológica, ya que en el 100% de los pozos estudiados pertenecientes a este acuífero se detectó la presencia de CT y un 60% también detectó CF en cantidades que superan los límites establecidos por la NOM-127-SSA1-1994, lo que demuestra que dichas aguas no son aptas para el consumo humano.

El pozo de Alianzas presenta los niveles más altos de contaminación bacteriológica según su media geométrica, mientras que Tequesquitengo y Santa María poseen mejores condiciones de calidad microbiológica según los valores obtenidos. Sin embargo, esta última presenta niveles altos de dureza total y sólidos disueltos.

Los pozos estudiados presentan niveles incipientes de contaminación debida, principalmente, a descargas recientes de desechos orgánicos, probablemente provenientes de las actividades domésticas y agropecuarias, que se refleja en la presencia de grandes cantidades de microorganismos de origen fecal y nitrógeno amoniacal, entre otros.

10. RECOMENDACIONES

Sería conveniente en un futuro mediano, realizar ensayos de toxicidad por plaguicidas o herbicidas ya que en esta zona del acuífero de Zacatepec se presenta una alta actividad agrícola debido al ingenio azucarero Emiliano Zapata; esto para corroborar la inocuidad de dicho acuífero.

También sería importante realizar estudios con determinaciones de metales pesados.

ANEXO

Promedios y valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

Parámetro		Sta. María	Alianza	Las Juntas	Pte. Ixtla	Tequesquitengo
pH	V. mín	6.5	6.73	6.8	6.52	6.4
	Promedio	7.02	6.98	7.17	6.82	6.95
	V. máx.	7.3	7.4	7.4	7.63	7.3
Temperatura	V mín.	26	25	25.5	24	27
	Promedio	26.9	26.95	26.6	26.72	29.09
	V máx.	29	28	28.5	29	31
Turbiedad	V mín.	0.085	0.12	0.08	0.07	0.1
	Promedio	0.145	0.192	0.255	0.24	0.218
	V máx.	0.23	0.3	0.73	0.39	0.42
Oxígeno Disuelto	V mín.	3.2	3	3.6	1.7	2.9
	Promedio	4.87	4.497	4.72	2.537	4.758
	V máx.	5.8	5.4	5.9	3.2	4.8
Sulfatos	V mín.	86.3	56.4	81	28.7	61.4
	Promedio	168.41	153.21	140.58	63.791	124.19
	V máx.	218.5	207.7	191.4	102.5	174.3
Cloruros	V mín.	2.6	11.2	12.09	0	0
	Promedio	13.3	19.5	0.86	6.465	8.229
	V máx.	22.6	27.3	15.01	12.7	14.6
Alcalinidad	V mín.	222	296	204	240	244
	Promedio	295.7	313.3	276.5	309.4	316.4
	V máx.	378	382	356	389	413
Dureza Total	V mín.	420	330	268	202	242
	Promedio	600.6	569.6	518.5	285.2	421.6
	V máx.	784	728	1424	366	700
Dureza Ca	V mín.	41	81	44	28	32.2
	Promedio	257.8	236.3	185.5	96.67	104.77
	V máx.	520	508	426	228	284
Dureza Mg	V mín.	221	220	132	132	209.8
	Promedio	342.8	333.3	332.9	188.5	316.8
	V máx.	569	570	1380	272.1	416
Sol. Disueltos	V mín.	893	880	502	455	700
	Promedio	1138.4	1063.7	853.6	528.5	784.65
	V máx.	1316	1520	967	630	875
Conductividad	V mín.	1389	1056	1071	747	1087
	Promedio	1484.4	1354.6	1088.9	784	1148.6
	V máx.	1564	1468	1360	880	1270
Nitratos	V mín.	0.113	0.189	0.164	0.019	0.222
	Promedio	1.759	1.563	1.439	1.319	1.809
	V máx.	3.46	3.5	3.2	4.2	3.52
DBO ₅	V mín.	0	0	0	0	0
	Promedio	0	0.213	0	0	0
	V máx.	0	2.13	0	0	0
DQO	V mín.	2	2	2	2	2
	Promedio	2.009	2.45	2.458	2.4	2.008
	V máx.	2.1	6.4	7.4	4.6	2.1

ANEXO
(Continuación)

Promedios y valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

N amoniacal	V mín.	0	0	0	0	0
	Promedio	0.065	0	0.005	0.045	0.002
	V máx.	0.722	0	0.034	0.55	0.034
PO ₄ Total	V mín.	0	0	0	0	0
	Promedio	0	0	0.0031	0.0394	0.0033
	V máx.	0	0	0.02	0.456	0.02
SAAM	V mín.	0	0	0	0	0
	Promedio	0	0	0	0	0
	V máx.	0	0	0	0	0
Coliformes totales media geométrica	V mín.	0	0	0	0	0
	Promedio	1	2	1	1	1
	V máx.	28	300	400	150	46
Coliformes fecales media geométrica	V mín.	0	0	0	0	0
	Promedio	0	1	1	1	0
	V máx.	25	28	400	150	46

11. REFERENCIAS

Aguilar, I. 2002. Estudio bacteriológico y fisicoquímico de la calidad del agua de la Laguna de Mecoacán, Tabasco, México. Licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM. pp 87

Andrade, E. 1997. Contribución al estudio de la calidad del agua del río Papaloapan. Licenciatura. FES Iztacala. UNAM. pp 73

APHA-AWWA-WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20^a. USA.

Arcos, M., Ávila, S., Estupiñán, S., Gómez, A. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. División de Investigaciones, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Facultad de Ciencias de la Salud. pp 69 - 79

Babbitt, H., Baumann, R. 1971. Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras. Continental. México. pp 881

Bales, R., Conklin, M. 1997. Investigación de Hidrología: Una investigación de aprendizaje de GLOBE, s.l., s.n. pp 60

Bedient, B. P., Rifai, S. H., Newell, J. Ch. 1999. Ground water Contamination Transport and Remediation. 2^a Edition. Prentice-Hall. PTR. México. S.A. pp 597

Campoy O. E. 2001. Análisis microbiológico y fisicoquímico del acuífero del Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo, México. Maestría. FES Cuautitlán. UNAM. México. pp 3

Canosa A. 1995. Indicadores bacteriológicos de eutrofización en los embalses de Chuza, Neusa y Tominé, y en la Laguna de Chingaza. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Centro de Investigaciones Científicas. Colombia. pp 196

Castro, M.T., Gaytan, M.L. 1992. Medidas de calidad de agua potable en la Ciudad de México. Licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM. pp 72

Comisión Nacional del Agua (CNA). 2002a. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero de Xpujil, Estado de Campeche. Informe Técnico. pp 21

Comisión Nacional del Agua (CNA). 2000. Determinación de la disponibilidad del agua en el acuífero de Zacatepec, Estado de Morelos, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia Regional Técnica. pp 30

Comisión Nacional del Agua (CNA) 1999. Informe final: Impact of wastewater reuse on groundwater in the Mezquital Valley, Hidalgo State, México. CNA, British Geological Survey, London School of Hygiene and Tropical Medicine y la University of Birmingham.

Comisión Nacional del Agua (CNA). 2002b. Informe técnico "Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero de Cuernavaca, Morelos. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación Geohidrológica. pp 52

Davis, L. M., Masten, J. S. 2005. Ingeniería y Ciencias Ambientales. Mc Graw Hill. México. pp. 200-231

Durán D.A., Vargas V A y Cisneros C.A., 2003. Bioestadística. UNAM FESI. pp 222

Fernández A, Molina M, Alvarez A, Alcántara M, Espigares A. 2001. Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. Higiene y Sanidad Ambiental. **1**: 8-18

Flores-Abuxapqui, J., Suárez-Hoil, G., Puc-Franco, M., Heredia-Navarrete, M., Vivas-Rosel, M., Franco-Monsreal, J. 1995. Calidad bacteriológica del agua potable de la ciudad de Mérida, México. Salud. Pub. Méx. **37**: 236-239

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., Paris, M. 2003. Protección de la calidad del agua subterránea. Banco Mundial. Washington, D.C. pp 111

Gallegos, E., Warren, A., Robles, E., Campoy, E., Calderón, A., Sainz, G. Ma., Bonilla, P., y Escolero, O. 1999. The effects of wastewater irrigation on groundwater quality in Mexico. *Wat. Sci. Tech.* **40**: 45-52

García, N. 2007. Estudio fisicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en la zona centro del valle de Cuernavaca, Morelos, México. Licenciatura FES Iztacala. UNAM. México. pp 96

Gómez-Márquez, J.L., Peña-Mendoza, B., Arteaga-Mejía, M., Guerra-Hernández, E.A., Mendoza-Vallejo, E., Arcos-Ramos, R. 2001. Calidad de agua de las subcuencas del Parque Nacional Izta-Popo y áreas de influencia. FES Zaragoza. UNAM. México. pp 10

Hurtado, R., Gardea-Torresdey, J. 2004. Environmental evaluation of fluoride in drinking water at "Los Altos de Jalisco" in the Central México Region. *Jour. Toxic. Environ. Health. Part A.* **67**: 1741-1753

Ibarra, M.R. 2000. Evaluación de la calidad bacteriológica y fisicoquímica de Laguna Negra, Puerto Marques, Gro., México. Licenciatura. FES Iztacala. UNAM. pp 109

Jiménez C.B. E. 2004. La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa, México. pp 35 y 39

López-Ríos, O., Lechuga-Anaya, M. 2001. Contaminantes en los cuerpos de agua del sur de Sonora. *Salud Pub. México.* **43**: 298-305

Mazarí, M. 2004. Estudio de la Calidad del Agua en la Ciudad de México usando como indicadores microorganismos y compuestos orgánicos. Centro de Ecología. UNAM. pp

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. Publicada en el Diario Oficial de la federación el 22 de noviembre de 2000.

Monroy P.D. 2007. Estudio fisicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en la zona sur del valle de Cuernavaca, Morelos, México. Licenciatura. FES Iztacala. UNAM. México. pp 85

Moore J, Heaney N, Millar B, Crowe M, Elborn J. 2002. Incidence of *Pseudomonas aeruginosa* in recreational and hydrotherapy pools. *Commun Disease Public Health*. **5**: 23-26

Pacheco, J., Cabrera, A., Pérez, R. 2004a. Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. *Ing. Rev. Academ.* **8**: 165-179

Pacheco, J., Calderón, L., Cabrera, A. 2004b. Delineación de la zona de protección hidrogeológica para el campo de pozos de la Planta Mérida I, en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. *Ing. Rev. Academ.* **8**: 7-16

Pérez, F., Prieto, F., Rojas, A., Galán, C., Marmolejo, Y., Romo, C., Castañeda, A., Rodríguez, J., Barrado, E. 2003. Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. *Hidrobiológica*. UAM Iztapalapa. **13**: 95-102

Pérez, M., Vicencio, M., Alarcón, M., Vaca, M. 2002. Influencia del basurero municipal en la calidad del agua del acuífero de la ciudad de Durango, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* **18**: 111-116

Prescott L, Harley J y Klein; D. 1996. Microbiología. McGraw-Hill. Madrid, España. pp 109

Robles, E., González, A., Ma. E., y Castillo, N., P. 2004. Contaminantes Físicos y Químicos del agua: sus efectos en el hombre y el medio ambiente. FES Iztacala. UNAM. pp 120

Romero, R. J. A. 1999. Calidad del agua. 2ª edición. Editorial Alfaomega. Escuela Colombiana de Ingeniería. pp 273

Rubio R. AM. 2007. Estudio fisicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en la zona norte del valle de Cuernavaca, Morelos, México. Licenciatura. FES Iztacala. UNAM. México pp 96

Tebbutt, T.H.Y. 2002. Principles of Water Quality Control. 5ª Ed. Butterworth-Heinemann. Eastbourne. Great Britain. pp 201

Sánchez-Pérez, H., Vargas-Morales, M-, Méndez-Sánchez, J. 2000. Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas. Salud Pub. México. **42**: 397-406

SARH. 1979. Índice de Calidad del Agua. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. México. D.F.

Seoanez, C.M. 1995. Ecología industrial: Ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa, Manual para responsables medioambientales. Mundiprensa/análisis y trabajos prospectivos. España. pp 522

Vizcaino, F. 1980. La contaminación en México. Fondo de Cultura Económica. pp 514

Webliografía

Internet¹, <http://www.hidritec.com/doc-parametros1.htm>

Internet², <http://www.ciese.org/curriculum/diproj2/es/fieldbook/oxigeno.shtml>

Internet³, http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf

Internet⁴, <http://secgen.comunidadandina.org/sima/files/1%20Informe%20final%202022.11.2004.doc>

Internet⁵, www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual

Internet⁶, <http://www.idefomm.org/municipios/31.htm#04>

Internet⁷, http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/spinal/en/

World health Organization. Water Sanitation and Health (WSH). Water-related Diseases.

Internet⁸, <http://www.epa.gov/safewater/hfacts.html>