



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

**CARRERA DE BIOLOGÍA**



**“ESTUDIO FISICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DEL AGUA  
SUBTERRÁNEA EN LA ZONA NORTE DEL VALLE DE  
CUERNAVACA, MORELOS, MÉXICO”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**B I Ó L O G O**

**P R E S E N T A**

***Minerva Alejandra Rubio Rodríguez***

***Directora de tesis:***

***QFB. Esperanza del S. Robles Valderrama***

**TLALNEPANTLA, EDO. DE MÉXICO**

**2007**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



## DEDICATORIAS

*A mi mamá y papi Elvia y Rubén, por su apoyo y confianza incondicional, y sus sabios consejos.*

*A mis queridos hermanos Marlene, Raúl, Berenice, Jesús y Verónica, por su invaluable cariño y apoyo constante que me brindan siempre y por la satisfacción que me da verlos crecer.*

*A mis abuelitos, tíos, y primos paternos y maternos, por su apoyo y cariño que me han brindado siempre.*

*A mis amigas Diana, Ivonne, Norma, Viridiana, Argelia, Ari, Perla, Rosalía, Araceli, Gabi, Lili, Suhara, Lidia, Miriam, a las profas. Yolanda, Aidé; por todas las experiencias vividas que marcaron mi vida cada una de ustedes.*

*A todos mis compañeros y amigos de las generaciones del 2002-2006.*

*Ya esa esencia llamada vida, que solo los seres vivos tenemos el privilegio de experimentar en cualquiera de sus formas existentes.*

## AGRADECIMIENTOS

*A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, por haberme formado en sus aulas y brindarme una educación profesional de excelencia.*

*A mi directora de tesis Esperanza del Socorro Valderrama, gracias por su apoyo y orientación que me prestó para formar parte de su equipo de trabajo a lo largo de este proyecto.*

*A los profesores:*

*Dr. Víctor Manuel Rivera Aguilar  
M en C. Elizabeth Ramírez Flores  
Biol. María Guadalupe Sainz Morales  
M en C. Ángel Duran Díaz  
Biol. Blanquita*

*Gracias por su apoyo y disposición dada a lo largo del presente proyecto de investigación.*





*Un especial agradecimiento a los ingenieros:*

*Ing. Fernando Lara Guerrero*

*Ing. Pedro Soto Navarro*

*Ing. Vicente Parra*

*Ing. Alfonso García Sesento*

*Ing. Felipe Nieto López*

*Ing. Ramiro Pelayo Barajas*

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

*Subgerencia de Explotación y Monitoreo Geohidrológico*

*Gerencia de Aguas Subterráneas*

*Comisión Nacional del Agua (CNA)*

*y*

*Subdirección de Aguas Subterráneas*

*Dirección Técnica*

*Dirección General del Organismo de la Cuenca del Río Balsas*

*CNA Cuernavaca*





## ÍNDICE

<b>1. Resumen</b>	<b>10</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>11</b>
<b>3. Marco Teórico</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Antecedentes en México</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Antecedentes en otros Países</b>	<b>19</b>
<b>3.3 Agua Subterránea</b>	<b>20</b>
<b>3.3.1 Ciclo del Agua</b>	<b>20</b>
<b>3.3.2 El Agua Subterránea como fuente de abasto</b>	<b>22</b>
<b>3.3.3 Contaminación del agua subterránea</b>	<b>23</b>
<b>3.3.4 Causas que pueden influir en la contaminación del agua subterránea</b>	<b>23</b>
<b>3.3.5 Migración de contaminantes en las aguas subterráneas</b>	<b>24</b>
<b>3.3.6 Calidad del agua subterránea</b>	<b>25</b>
<b>3.4 Parámetros fisicoquímicos</b>	<b>26</b>
<b>3.5 Parámetros bacteriológicos</b>	<b>36</b>
<b>3.6 Índice de calidad del agua (ICA)</b>	<b>37</b>
<b>3.7 Normatividad</b>	<b>38</b>
<b>4. Justificación</b>	<b>39</b>





**5. Objetivos\* \* \* \* \*40**

**6. Descripción del área de estudio\* \* \* \* \*41**

**7. Material y métodos\* \* \* \* \*44**

**8. Resultados y Discusión\* \* \* \* \* 48**

**8.1 Primera parte: Resultados y evaluación de cada pozo y del manantial\* \* \* \* \* 48**

**8.1.1 Pozo: Hotel Prado\* \* \* \* \* 48**

**8.1.2 Pozo: Herradura\* \* \* \* \* 56**

**8.1.3 Pozo: Universidad\* \* \* \* \*63**

**8.1.4 Manantial: Túnel\* \* \* \* \*70**

**8.2 Segunda parte: Comparación de Resultados entre los pozos y el manantial\* \* \* \* \*79**

**8.2.1 Concentración de sales disueltas\* \* \* \* \*79**

**8.2.2 Contaminación bacteriana \* \* \* \* \* 81**

**8.2.3 Índice de calidad del agua (ICA) \* \* \* \* \* 83**

**8.2.4 NOM-127-SSA.1994\* \* \* \* \* 84**

**9. Conclusiones\* \* \* \* \* 85**

**10. Referencias\* \* \* \* \* 87**

**11. Anexo\* \* \* \* \*93**





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Características generales del agua subterránea y de la superficie* * * * *</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 2. Clasificación del agua de acuerdo a su dureza* * * * *</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 3. Técnica analítica para cada parámetro* * * * *</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 4. Índice individual (Ii) para cada parámetro* * * * *</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 5. Importancia relativa de los parámetros para definir el índice de calidad del agua* * * * *</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 6. Usos del agua según el Índice de Calidad (ICA)* * * * *</b>	<b>47</b>

### Pozo: Hotel del Prado

<b>Tabla 7. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos *</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 8. Coliformes totales y fecales a lo largo del tiempo* * * * *</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 9. Frecuencia de coliformes totales y fecales* * * * *</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 10. Comparación de las medias, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA.1994* * * * *</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 11. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo* * * * *</b>	<b>56</b>

### Pozo: Herradura

<b>Tabla 12. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos*</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 13. Coliformes totales y fecales a lo largo del tiempo* * * * *</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 14. Frecuencia de coliformes totales y fecales* * * * *</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 15. Comparación de las medias, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA.1994* * * * *</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 16. Resultados de los Índices de Calidad del Agua por cada muestreo* * * * *</b>	<b>63</b>





**Pozo: Universidad**

**Tabla 17. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos\* 64**

**Tabla 18. Coliformes totales y fecales a lo largo del tiempo\* \* \* \* \* 67**

**Tabla 19. Frecuencia de coliformes totales y fecales\* \* \* \* \* 68**

**Tabla 20. Comparación de las medias, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA.1994\* \* \* \* \* 68**

**Tabla 21. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo\* \* \* \* \* 70**

**Manantial: Túnel**

**Tabla 22. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos\* 71**

**Tabla 23. Coliformes totales y fecales a lo largo del tiempo\* \* \* \* \* 75**

**Tabla 24. Comparación de las medias, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA, 1994\* \* \* \* \* 76**

**Tabla 25. Resultados de los Índices de Calidad del Agua por cada muestreo\* \* \* \* \* 78**

**Comparaciones entre los pozos y el manantial**

**Tabla 26. Coeficientes de correlación entre los pozos y el manantial\* \* \* \* \* 80**

**Tabla 27. Muestra la dureza de cada pozo\* \* \* \* \* 81**

**Tabla 28. Muestra la frecuencia de contaminación bacteriana entre los pozos y el manantial\* \* \* \* \* 82**

**Tabla 29. Muestra los parametros analizados que se encuentran fuera de la NOM-127-SSA.1994 en los pozos y el manantial\* \* \* \* \* 84**

**Tabla 30. Pozo Hotel Prado\* \* \* \* \* 93**

**Tabla 31. Pozo Herradura\* \* \* \* \* 94**

**Tabla 32. Pozo Universidad\* \* \* \* \* 95**

**Tabla 33. Manantial “El Túnel”\* \* \* \* \* 96**







## ÍNDICE DE FÍGURAS

<b>Figura 1.</b> Ciclo Hidrológico * * * * *	<b>21</b>
<b>Figura 2.</b> Localización del acuífero de Cuernavaca * * * * *	<b>42</b>
<b>Figura 3.</b> Pozo Hotel Prado * * * * *	<b>44</b>
<b>Figura 4.</b> Pozo Universidad * * * * *	<b>44</b>
<b>Figura 5.</b> Pozo Herradura * * * * *	<b>44</b>
<b>Figura 6.</b> Manantial “El Túnel” * * * * *	<b>44</b>
<b>Figura 7.</b> Comportamiento espacial de la temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L), del pozo Hotel Prado * * * * *	<b>50</b>
<b>Figura 8.</b> Comportamiento espacial de dureza total (mg/L) y alcalinidad total (mg/L), del pozo Hotel Prado * * * * *	<b>51</b>
<b>Figura 9.</b> Comportamiento espacial de cloruros (mg/L) y sulfatos (mg/L) del pozo Hotel Prado* * * * *	<b>53</b>
<b>Figura 10.</b> Comportamiento espacial de la temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L), del pozo Herradura * * * * *	<b>58</b>
<b>Figura 11.</b> Comportamiento espacial de dureza total (mg/L) y alcalinidad total (mg/L), del pozo Herradura * * * * *	<b>59</b>
<b>Figura 12.</b> Comportamiento espacial de cloruros (mg/L) y sulfatos (mg/L), del pozo Herradura	<b>60</b>
<b>Figura 13.</b> Comportamiento espacial de la temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L), del pozo Universidad * * * * *	<b>65</b>
<b>Figura 14.</b> Comportamiento espacial de dureza total (mg/L) y alcalinidad total (mg/L), del pozo Universidad * * * * *	<b>66</b>
<b>Figura 15.</b> Comportamiento espacial de cloruros (mg/L) y sulfatos (mg/L), del pozo Universidad * * * * *	<b>67</b>





**Figura 16.** Comportamiento espacial de la temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L), del pozo Túnel \* \* \* \* \* 72

**Figura 17.** Comportamiento espacial de dureza total (mg/L) y alcalinidad total (mg/L), del pozo Túnel \* \* \* \* \* 73

**Figura 18.** Comportamiento espacial de cloruros (mg/L) y sulfatos (mg/L), del pozo Túnel \*\*74

**Figura 19.** Variación temporal de coliformes totales: Túnel \* \* \* \* \* 75

**Figura 20.** Variación temporal de coliformes fecales del pozo: Túnel \* \* \* \* \* 76

**Figura 21.** Comportamiento espacial de los sólidos disueltos (mg/L), en los pozos y el manantial \* \* \* \* \* 79

**Figura 22.** Índice de Calidad del Agua (ICA) por cada pozo a lo largo del muestreo \* \* \* \* \* 83



## 1. RESÚMEN

El agua subterránea es uno de los recursos naturales más valiosos; ya que es una de las principales fuentes de abastecimiento para diversos sectores de una población, como son: el urbano, el rural, industrial y comercial. Cuando la demanda de abastecimiento se excede; ocurren severas crisis observándose notables síntomas del incremento en la escasez del agua. El Valle de Cuernavaca es un lugar donde una gran parte del suministro de agua proviene de pozos. Por otro lado las descargas de aguas residuales son un problema pues éstas van a parar la mayoría de las veces al suelo directamente, en donde los contaminantes se filtran al subsuelo pudiendo llegar al acuífero. De ahí la importancia de evaluar la calidad del agua del acuífero en este Valle. Por lo que el objetivo del presente estudio fue determinar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua en tres pozos (Herradura, Universidad y Hotel Prado) y un manantial (Túnel) ubicados en la Zona Norte de Valle de Cuernavaca. Se tomaron las muestras antes de que pasaran por el dosificador de cloro. Estos muestreos se realizaron mensualmente durante un año. *In situ* se determinó el O.D., pH y temperatura. En el laboratorio se realizaron 2 determinaciones bacteriológicas y 20 fisicoquímicas de acuerdo a las técnicas analíticas establecidas en las normas mexicanas. Con los resultados obtenidos se calculó la media de cada parámetro y a su vez con esta el Índice de Calidad del Agua (ICA). El índice mas bajo lo obtuvo el manantial el Túnel con 79 % mientras que los tres pozos Hotel del Prado, Herradura y Universidad presentaron muy buena calidad con 99 %. Esto coincidió también con la comparación de la media con los valores máximos permisibles de la norma mexicana para agua potable NOM-127 en donde el Túnel en todo los muestreos estuvo fuera de los límites máximos permisibles de coliformes totales y fecales y en algunas ocasiones también el pH, mientras que los pozos solo ocasionalmente en algunos muestreos presentaron contaminación bacteriana y fisicoquímica. Se concluyó que el agua subterránea muestra en general buena calidad. Sin embargo se empieza a observar evidente el impacto de la actividad humana (antropogénica) en el manantial “El Tunel” debido principalmente por la descarga de aguas residuales a las barrancas que se encuentran en dicho lugar.

## 2. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es uno de los recursos naturales mas importantes; ya que es una fuente de abastecimiento para diversos sectores de una población, como son: el urbano, el rural, industrial y comercial. A nivel mundial el agua subterránea constituye un alto porcentaje como fuente de suministro y así tenemos que en México constituye el 20 %, el 30% en Canadá, cerca del 50 % en Estados Unidos y el 70 % en Europa (Caballero, 2006; Mazari, 1993).

En México se utilizan cerca de 75.4 mil millones de m<sup>3</sup> anuales de agua del subsuelo para todos los usos. Sin embargo, el problema es que no esta distribuida razonablemente con respecto a las zonas de concentración de la población y desarrollo agrícola e industrial, esto es, debido a que en las zonas donde hay mayor población se localiza el menor volumen de agua disponible, considerando que en dos terceras partes del territorio nacional, en la región centro y norte del país, donde se presentan climas áridos y semiáridos, se tiene apenas una tercera parte de los recursos hidráulicos disponibles (Leal, 2006; Mata, 2004; Oscar, 2006).

Un acuífero es la formación geológica que almacena agua y actúa como depósito y reserva. La mayoría conforman grandes extensiones y generalmente su alimentación es por el aporte de aguas pluviales, corrientes superficiales y lagos que se infiltran en el suelo. Dentro de un acuífero el agua escurre debido a la gravedad desde las zonas de recarga hacia las de descarga, las cuales pueden ser ríos, lagos o manantiales. La explotación se efectúa mediante el bombeo en pozos (Jiménez, 2001).

La Comisión Nacional de Agua ha identificado y estudiado 653 acuíferos distribuidos en todo el territorio de la Republica Mexicana, con una recarga media anual de 75 Km<sup>3</sup> y una extracción anual para usos público-urbano, agrícola, industrial y otros de 28 Km<sup>3</sup>, que representa el 40 % de la extracción anual bruta (Mata, 2004).

En apariencia se observa que no hay problemas en la explotación de los acuíferos, sin embargo haciendo un balance entre la recarga y extracción por cada región acuífera; la Comisión Nacional del Agua, hasta ahora ha identificado en el país, 459 acuíferos con mas del 20% en sobreexplotación, la extracción promedio anual de estos se calcula en 24 Km<sup>3</sup> 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; CNA, 1999). Por lo tanto el uso excesivo del agua subterránea ha modificado la geometría de los acuíferos, los patrones originales de flujo y la calidad del agua (Oscar, 2006).

En lo referente a los sistemas de agua subterránea ha prevalecido la idea errónea de que los acuíferos se encuentran protegidos de manera natural de las diversas fuentes de contaminación. Sin embargo, las aguas subterráneas pueden sufrir de contaminación tanto por condiciones naturales como antropogénicas. Se ha observado que a partir de la década de los años setenta se ha registrado una tasa alarmante de contaminantes de origen industrial, municipal y agrícola en el agua subterránea. Por ello es de gran importancia dotar a estos sectores de este importante recurso en cantidad y calidad adecuadas (Mazari, 1993; Leal, 2006; Castillo, 2005).

Por lo tanto la contaminación de las aguas subterráneas es un grave problema ambiental que difícilmente es remediable. Su ubicación en el subsuelo las mantiene protegidas de la contaminación inmediata, pero una vez que esto ha ocurrido es muy costoso y laborioso lograr su limpieza debido a la inaccesibilidad de muchos de los acuíferos (Alcocer, 1999).

Por lo mencionado anteriormente, las aguas subterráneas son un recurso muy valioso para su conservación en cantidad y calidad que asegure el abasto para las futuras generaciones. Siendo que en México y tal vez en muchas partes del mundo no se le ha dado la debida importancia a la contaminación del agua subterránea probablemente eso se debe a la complejidad en su análisis y entendimiento para su solución (Caballero, 2006).

Dada la problemática actual de la contaminación del agua, un primer paso para proponer soluciones, es evaluar su calidad en función al uso al que este destinada. Por lo tanto para hablar en términos de calidad en aguas tanto superficiales y en subterráneas, es necesario realizar evaluaciones que nos indiquen el estado en que se encuentran los cuerpos de agua. Tales

evaluaciones consisten en determinaciones de tipo bacteriológico y fisicoquímico (Castillo, 2005).



evaluaciones consisten en determinaciones de tipo bacteriológico y fisicoquímico (Castillo, 2005).

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 ANTECEDENTES EN MÉXICO

No existen muchos estudios tendentes a investigar procesos de contaminación del agua subterránea en el país, en parte por la falta de infraestructura técnica y humana, y también por el escaso apoyo económico a este tipo de proyectos. Los análisis no solo son costosos, sino que no siempre se pueden realizar en los laboratorios de las regiones afectadas. Sin embargo, se tienen reportados y documentados algunos procesos de contaminación acuífera en el territorio nacional.

Entre dichos estudios se encuentran los realizados por Suárez en 1988 quien realizó un estudio acerca de la calidad de agua subterránea en el Valle de Cuernavaca, en el que concluye que de acuerdo con las características físico-químicas normales del agua, ésta, es de buena calidad, correspondiente al tipo Bicarbonatada-Cálcica-Magnésica. Pero biológicamente reportó la presencia de bacterias coliformes en la mayoría de las muestras colectadas. También encontró contaminación por metales en los acuíferos, ya que se detectaron valores de Pb, Ni, As, Al, Cr y Cd; que en algunos casos rebasaron las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Pacheco y Cabrera (1997), reportan que el 50% de los pozos estudiados en Mérida, Yucatán presentan contenidos de nitrógeno (N) superiores a los 45 mg/L  $\text{NO}_3$ , valor que sobrepasa la NOM (que es de 5 mg/L). Resaltando que la ingesta continua y prolongada de compuestos nitrogenados puede producir metahemoglobinemia en infantes “síndrome del niño azul”. En adultos puede producir cáncer. A pesar de ambas situaciones en Mérida no han sido reportadas.

Alcocer *et al.* (1999), describen cuales son los problemas de contaminación detectados en el agua subterránea de la Península de Yucatán, como lo es la contaminación por sólidos disueltos, por patógenos, nitratos; etc. En este caso la calidad del agua se ve disminuida tanto para el consumo





humano, agrícola e industrial como por la presencia de una salinidad elevada (200 hasta 4000 mg/L) reportando que las concentraciones mas altas, se presentan en áreas donde hay una sobreexplotación de los pozos o en los pozos cercanos a las costas, donde la intrusión salina es importante por sólidos disueltos en el agua subterránea (100-170 mg/L) en la ciudad de Mérida. En cuanto a las principales fuentes de contaminación por agentes patógenos se deben a los desechos sólidos y líquidos que provienen de animales domésticos, así como el fecalismo al aire libre, esto dado por las características de la región yucateca, que permite la infiltración del agua y de desechos hasta alcanzar los mantos de agua subterránea, la ausencia de suelos y el desarrollo de diversos microorganismos patógenos, siendo común encontrar cuentas de coliformes fecales de varios miles por 100 ml; registrándose e incluso en algunos pozos profundos. También se han observado niveles de nitratos que han sobrepasado el limite permisible para las normas (24 a 162 mg/L N-NO<sub>3</sub>), y en mas de un 95% a las internacionales.

Gallegos *et al.* (1999) en el Valle de León Guanajuato y en el Valle del Mezquital, evaluó los efectos de riego de aguas residuales en la calidad de las aguas subterráneas de esos Valles. Registrando elevadas concentraciones de coliformes totales y fecales en ambos sitios. Indicando que las bacterias fecales fueron transportadas a través de la superficie debido al riego con aguas residuales. Concluyendo que los niveles de contaminación superficial fueron afectando espacial y temporalmente; con altas concentraciones de coliformes que pasaron a través de pocas profundidades (menor de 10 m bajo la superficie) durante la temporada de humedad.

Torres 1999, llevó a cabo un trabajo enfocado al uso de indicadores biológicos de calidad del agua subterránea en una zona de la Ciudad de México con el uso de colifagos como indicadores alternos de la calidad del agua. Para ello se monitorio a lo largo de 10 meses en 5 pozos de extracción analizando las muestras de agua subterránea mediante parametros tradicionales como coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales; así como colifagos. Observando que la presencia de colifagos en agua presentan una buena correlación con la calidad de la misma, ya que estos cumplen con los criterios de un buen indicador de contaminación dado que están presentes cuando otro microorganismo esta presente, son mas resistentes a condiciones ambientales adversas y a tratamientos de desinfección del agua. Además por los tiempos de supervivencia mas larga en el acuífero dan un margen de seguridad con respecto a la posible







existencia de enterovirus, siendo de utilidad para la evaluación tanto de contaminación reciente como antigua. Con el fin de conocer cual o cuales de los indicadores microbiológicos daban un mejor rendimiento (entendiendo por rendimiento al porcentaje de pruebas positivas del total de muestras analizadas), se encontró que el indicador con un mayor numero de muestras positivas (72%) fue el de colifagos, seguido de coliformes totales (48%), estreptococos fecales (28%) y coliformes fecales (14%).

Castro (2000) analizó parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en pozos de agua subterránea del Ramal Tláhuac, concluyendo que las altas concentraciones de compuestos nitrogenados presentes en el agua de los pozos, indican que éstos se han contaminado con materia orgánica infiltrada a través del terreno, como consecuencia de la presencia de una fuente importante de descargas de aguas negras de los asentamientos humanos que se encuentran en la zona.

Soto (2000) realizó en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) un análisis espacial de fuentes de contaminación de agua subterránea con el objeto de identificar zonas propensas a la contaminación. Tomando como fuentes de contaminación la industria, los confinamientos de residuos sólidos, los depósitos de combustible, el sistema de drenaje, las gasolineras, los pozos de extracción y la zona urbanizada. Determinando que el centro de la ZMCM presentaba la mayor concentración de fuentes contaminantes, mientras que la mayor propensión a la contaminación para el sistema de acuíferos se encontró hacia el sur- poniente y norte de la ZMCM. Las entidades más propensas a la contaminación de las aguas subterráneas son: con propensión muy alta Álvaro Obregón, Gustavo A. Madero y Naucalpan. Y con alta propensión son Coyoacán, Iztapalapa, Miguel Hidalgo, Ecatepec y Tlalnepantla.

Batllori (2001) en su artículo publicado en la gaceta ecológica del Instituto Nacional de Ecología (INE), sobre los problemas ambientales del estado de Morelos; menciona que entre los principales problemas de abastecimiento del agua en la entidad; esta el crecimiento poblacional desordenado tanto urbano, industrial y turístico. Lo cual ha provocado la devastación de los bosques, originándose un desequilibrio hidrológico que repercute en los acuíferos. Por lo que Batllori resalta que la educación se presenta como un instrumento para enfrentar los problemas





ambientales de la entidad; destacando que el progreso de Morelos, esta muy ligado en función a sus recursos hídricos.

Pacheco (2002) en el Estado de Yucatán quien determinó la incidencia de bacterias y la presencia de nitratos en el agua subterránea; encontrando que las fuentes existentes de nitratos en las aguas, son el resultado de la inadecuada disposición del agua residual de uso doméstico y animal. En relación a la contaminación bacteriana encontró una alta densidad de coliformes fecales alcanzando valores por arriba de las normas nacionales e internacionales, aislando bacterias patógenas como *Shigella spp* y *Salmonella spp*.

Barrón (2004) realizó una evaluación del deterioro en la calidad del agua subterránea del Valle de Abasco-Pénjamo, basándose en índices de contaminación y calidad del agua; detectando la presencia de arsénico en algunos pozos en cantidades superiores a las concentraciones máximas permitidas en la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 del agua para consumo humano; además de detectar anomalías de tipo hidrogeoquímicas de tipo natural, que asocia con la infiltración de retorno de riego y aguas superficiales de mala calidad hacia los pozos.

Mata (2004) realizó un trabajo sobre los fundamentos de contaminación de agua subterránea en México, presentando en este trabajo de manera sencilla y practica los elementos básicos que son necesarios para poder entender y resolver problemas de contaminación del agua subterránea, dado que el tema de la contaminación de este tipo de agua es poco conocido en México, y por lo mismo no se le da la importancia necesaria, puesto que es un tema muy complejo para su análisis debido a todos los factores que involucran a la contaminación del agua subterránea, en comparación con la contaminación de las aguas superficiales; ya que todo lo que se refiere al agua tiene que ser importante, porque la vida del ser humano depende del agua. Concluyendo que ante cualquier problema siempre es mejor actuar antes de que este ocurra (prevención) y no cuando este presente (restauración o remediación), por lo que es mejor prevenir la contaminación del agua subterránea y de todas las posibles fuentes de contaminación.

Batllore (2006) describe la situación de los cauces de aguas morelenses, y la situación actual de las barrancas de la capital de esa entidad, presentando sus posibilidades de mejora y qué se puede hacer para prevenir los riesgos que hoy afectan a este sistema. También presenta una descripción





de aspectos sobresalientes del estado de Morelos bajo un punto de vista ecológico en particular de sus cauces de agua que corren de norte a sur y que desembocan en la cuenca del río Amacuzac. Con una breve caracterización explica las condiciones de las barrancas que atraviesan los municipios de Cuernavaca, Temixco, Jiutepec, Xochitepec y Emiliano Zapata, la situación en que se encuentran sus cauces, flora y fauna. Por otra parte menciona la severa contaminación en que se encuentran hoy en día las barrancas, tema que es noticia frecuente en los medios informativos, por lo que aborda el tema haciendo un análisis de la situación, qué posibilidades hay de tratamiento para estas aguas y qué se puede hacer para prevenir riesgos. También hace reflexiones acerca del aspecto social y educativo, que se considera de una importancia vital si queremos prevenir y evitar mayor contaminación. Aborda la normatividad que debe regir las acciones de los ciudadanos en la protección de las barrancas y sus moradores. Finalmente, hace comentarios acerca de la importancia de implementar acciones que ayuden a mejorar el ambiente de las barrancas.

Caballero (2006), en su estudio realizado en la subcuenca del Río Guanajuato, analizó las condiciones de calidad del agua subterránea, para ello se llevaron a cabo diversos parámetros fisicoquímicos en campo y laboratorio, los cuales fueron a su vez comparados con los límites establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas. Además de clasificar los diferentes tipos de agua subterránea con el fin de establecer el posible origen de los contaminantes. Concluyendo que el agua subterránea muestra en general buena calidad, sin embargo es evidente el impacto de la actividad humana en algunas zonas. Reconociendo algunos aprovechamientos que registraron parámetros con anomalías importantes en algunos elementos que pueden resultar perjudiciales para la salud. Por un lado niveles de nitratos y metales pesados (As, B, Hg, Cr.) que sobrepasan el límite permisible en la mayor parte del área de estudio. Predominando agua de tipo bicarbonatada sódica (Na-HCO<sub>3</sub>), seguida de la bicarbonatada cálcica-magnésica (Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>), que tienen relación directa con las condiciones geológicas del área. El estudio además revela una gran influencia del impacto antropogénica a la cantidad y calidad del agua subterránea.

Leal y Gelover (2006) efectuaron una evaluación en acuíferos de la meseta del norte en 90 pozos entre los cuales se sospechaba presencia de metales pesados. Analizando parámetros como sulfatos, dureza, cloruros, fosfatos, SDT, arsénico, temperatura, ph y conductividad, entre otros. Concluyendo que la calidad del agua en la zona es pobre, encontrándose altos contenidos de sales





o sólidos disueltos totales lo que imparte dureza y alta conductividad al agua. En su conjunto es mayor el problema de salud pública en Zacatecas que en San Luis Potosí y la Comarca Lagunera, debido al caudal y a la concentración de arsénico detectada en esa zona.

Mazari (1993) en su artículo establece el impacto potencial de contaminación del acuífero de la ciudad de México, así como los procesos de interacción de los contaminantes con el medio. Enfocándose a compuestos orgánicos derivados de procesos industriales, mencionando los principales efectos sobre la salud y el ambiente, así como la normatividad existente. Concluyendo que los compuestos orgánicos utilizados como disolventes industriales son los contaminantes que tienen mayor impacto en sistemas de agua subterránea en zonas urbanas e industriales. Donde su baja solubilidad y alta densidad les permite penetrar en la zona subsuperficial y migrar hacia los sistemas de agua subterránea. Siendo importante la realización de estudios enfocados a conocer diversos aspectos relacionados con la contaminación por compuestos orgánicos en diferentes zonas geológicas a lo largo del país y en lo posible evitarse riesgos inherentes a la contaminación de acuíferos, que son difíciles de resolver con la tecnología disponible y que requerirían de elevados recursos financieros.

Perevochtchikova *et al.* (2006), realizaron un estudio sistémico del recurso agua, basándose en la teoría de Coth (agua subterránea y sus manifestaciones superficiales), aplicado a la zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) con el fin de poder incorporar posteriormente estos datos con otros factores físicos y socioeconómicos del territorio y así proponer un manejo sustentable de los recursos naturales. Observando que los límites de las cuencas hidrográficas (delimitación por acuíferos de la Comisión Nacional de Agua con la división por estados), coincidían entre estos, reflejándose en la función estrictamente administrativa del manejo del recurso hídrico. Siendo evidente que los perfiles obtenidos sirven solo como una simple y primera aproximación desarrollada con elementos que no son suficientes para generar un modelo concreto y detallado, sin embargo, es deseable que se realicen estudios complementarios sobre ellos. En aspectos tales como geología e hidrológica, además de actualizar los estudios sobre componentes del suelo, de la cobertura vegetal, de la hidrogeología, etc.





### 3.2 ANTECEDENTES EN OTROS PAÍSES

Galindo y Del Pozo (1998), describen la calidad de las aguas subterráneas de la Isla de Ibiza España; haciendo a su vez referencia sobre los problemas de contaminación o alteración de la calidad detectada. Siendo que los problemas más importantes detectados en la calidad de las aguas subterráneas son: en primer lugar, la intrusión de agua de mar a causa de la sobreexplotación en determinadas zonas costeras relacionadas con aquellos sectores de mayor concentración de población y demanda turística; en un segundo lugar, existe una contaminación natural producida por la circulación de las aguas subterráneas a través de facies de yeso de Keuper y finalmente una incipiente contaminación por nitratos producida por las prácticas agrícolas.

Ordóñez *et al.* (1998), llevaron a cabo la caracterización química e hidrogeológica de las aguas subterráneas para abastecimientos urbanos en la Sierra de Aracena, Huelva en España en 14 puntos de aguas de abastecimientos urbanos., obteniendo facies químicas de tipo bicarbonatadas Ca y Ca-Mg, muy duras y mineralización débil. Reportando que todas las aguas se encuentran dentro de los límites de potabilidad y son de buena calidad. Sugiriendo un control periódico de las aguas subterráneas para anticipar posibles desviaciones de su calidad, así como mapas de vulnerabilidad para su protección y gestión.

Perdomo *et al.* (2001), evaluaron el nivel de nitratos y coliformes en aguas superficiales y aguas subterráneas en zonas agrícolas del sudoeste de Uruguay; e identificaron las fuentes de contaminación. En los pozos se registraron algunas características como: profundidad, antigüedad, tipo de construcción y distancia a posibles fuentes localizadas de contaminación. Obteniendo que en las aguas superficiales tuvieron siempre concentraciones de nitrato, muy inferiores a los niveles críticos para consumo humano (10 mg/L N-NO<sub>3</sub>). Mientras que las aguas subterráneas tuvieron siempre concentraciones de nitrato entre 1y 9 mg/L N; asociando estas concentraciones a fuentes localizadas en las cercanías de los pozos. Por otro lado en los análisis obtenidos por la presencia de coliformes revelan que el 87% de los pozos evaluados estaban contaminados con C.T. y el 60% con C.F.





Attherholt *et al.* (2003), examinaron muestras provenientes de 26 fuentes subterráneas en New Jersey, EUA y comprobaron la capacidad de 9 indicadores potenciales para detectar contaminación fecal en el agua, mencionando que la contaminación del agua subterránea por desechos fecales es determinada generalmente, por indicadores bacterianos de origen fecal.

Claret *et al.* (2003), investigaron la calidad del agua de pozos de norias, utilizadas para consumo en el Sedano Mediterráneo de Chile. Establecieron porcentajes altos de contaminación del agua potable con coliformes fecales (78.3%) y coliformes totales (88%), que sobrepasaron la norma chilena. Detectando en el 100% de las muestras, contaminación por nitratos; en un rango de 0.1–47.28 mg/L; estableciendo que un 20.6% de las muestras, es decir 19 pozos, registraron valores de concentración de N-NO<sub>2</sub> sobre el nivel crítico que estipula la Norma Chilena, constituyendo un riesgo potencial para la salud de las familias que se abastecen de agua de esas fuentes. Mientras que los metales pesados no registraron valores sobre la norma chilena.

Taylor *et al.* (2006), investigaron en Reino Unido la penetración antropogénica de contaminantes en los acuíferos Permo-Triásicos en Reino Unido, investigando a una profundidad específica. Obteniendo que los perfiles de profundidad de la hidroquímica del acuífero revelan la penetración antropogénica de contaminantes entre 30 y 47 m del confinamiento subterráneo, debido a los efluentes fecales e industriales de la recarga urbana del acuífero como fuentes potenciales de contaminación del agua subterránea urbana.

### **3.3 AGUA SUBTERRÁNEA**

#### **3.3.1 Ciclo del agua**

El agua subterránea constituye una parte importante del ciclo del agua el cual se puede definir como un proceso mediante el cual se describe la circulación (movimiento y conservación) del agua en el planeta (Figura 1). Abarca toda el agua presente sobre la superficie del planeta o debajo de ella, es decir, el agua de mar y dulce, agua subterránea y superficial, agua presente en las nubes y la atrapada en rocas por debajo de la superficie terrestre (Davis, 2005; Schwartz, 2002). El ciclo empieza con la evaporación de los océanos, lagos, ríos, corrientes y otros cuerpos







de agua. El vapor que resulta es transportado por las masas de aire en movimiento y que bajo determinadas condiciones meteorológicas de presión y temperatura, el vapor se condensa formando nubes, las cuales pueden ocasionar precipitaciones pluviales (lluvias). Parte del agua que se precipita sobre el suelo es interceptada por las plantas y devuelta a la atmósfera por transpiración. Otra parte escurre por la superficie del suelo a través de los cauces de arroyos y ríos, y el resto se infiltra en el suelo incrementando la humedad del mismo, así como las reservas de aguas subterráneas existentes en las formaciones geológicas permeables (Martínez, 1998; Caballero, 2006; Ward, 2004).

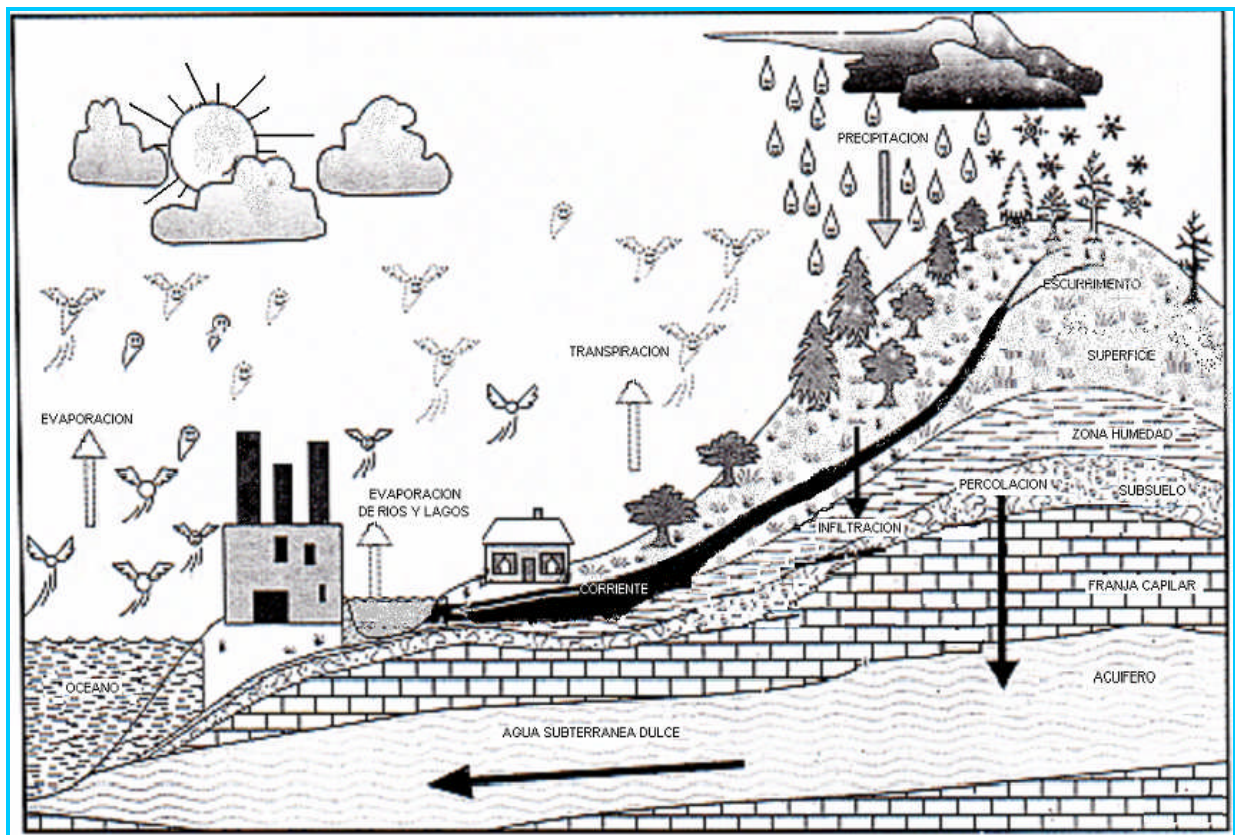


Figura 1. Ciclo Hidrológico (Ward 2004).

El agua que existe en los poros o intersticios de las rocas recibe el nombre de agua subsuperficial. La parte del agua subsuperficial que satura por completo a los poros del subsuelo recibe el nombre de agua subterránea. Característica fundamental de los acuíferos es que sus poros o intersticios se encuentran totalmente saturados (Bedient, 1999).



### 3.3.2 El agua subterránea como fuente de abasto

Tanto el agua superficial como la subterránea constituyen un recurso natural importante (Mazari, 1993; Davis, 2005). El agua subterránea tiene varias características que la hacen aconsejable como fuente de abasto de agua potable, en comparación con la superficial (Tabla 1). En primer termino, los sistemas subterráneos constituyen un almacenamiento natural, lo cual elimina los costos de tanques de almacenamiento, depósitos y otras estructuras. En segundo lugar, el abasto frecuentemente esta disponible en el sitio de demanda, de modo que se reduce en forma significativa los costos de transporte del líquido. En tercero, los materiales geológicos naturales filtran el agua del subsuelo, más clara y menos turbia que la superficial. Por añadidura el agua subterránea esta menos sujeta a fluctuaciones estacionales y mas protegida de la contaminación, esto a menos de que se impongan mayores restricciones a fuentes contaminantes del tipo de las instalaciones de desechos riesgosos, por lo que las fuentes de agua subterránea estarán sometidas a una contaminación similar a la que afecta a las fuentes de agua superficial (Davis, 2005; Legarreta, 1995).

Tabla 1. Características generales del agua subterránea y de la superficie (Davis 2005).

<b>SUBTERRÁNEA</b>	<b>SUPERFICIAL</b>
Composición constante	Composición variable
Alto contenido de minerales	Bajo contenido de minerales
Baja turbiedad	Alta turbiedad
Poco o ningún color	Con color
Puede ser bacteriológicamente segura	Microorganismos presentes
Sin oxígeno disuelto	Con oxígeno disuelto
Alta dureza	Baja dureza
H <sub>2</sub> S, Fe, Mn	Sabores y Olores
Posible toxicidad química	Posible toxicidad química





### **3.3.3 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 (Davis, 2005; Legarreta, 1995).

Una vez que la precipitación alcanza la superficie de la tierra, se presentan muchas oportunidades para la introducción de mineral 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 disuelve 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 (Legarreta, 1995; Mata, 2004).

### **3.3.4 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.





### 3.3.5. Migración de contaminantes en las aguas subterráneas

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 bajara verticalmente por el suelo hasta el acuífero y migrara 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 (Mazari, 2003).

Muchas sustancias son solo poco solubles en agua, y cuando migran a agua subterránea lo hacen con frecuencia en forma de fase no acuosa separada. En ese caso a las sustancias se les llaman líquidos de fase no acuosa (LFNA) subdividiéndose en dos categorías con base en su densidad con respecto al agua. Los líquidos ligeros de fase no acuosa (LLFNA) son menos densos que el agua y tenderán “flotar” sobre el nivel freático de agua. Algo de la sustancia se disolverá en el agua subterránea, mientras que si el compuesto es volátil algo se volatizara por los huecos de los poros en la zona no saturada y pasara a la fase no gaseosa (Mazari, 2003; Davis, 2005).

Aunque pocos contaminantes se pueden mover a velocidades mayores que la del agua la mayor parte se moverá ya sea a la misma velocidad o con más lentitud. Las velocidades relativas del agua y el contaminante son función de sus propias características. Por ejemplo: Las sustancias orgánicas mas solubles en agua serán menos retardadas por el material geológico que las sustancias orgánicas relativamente insolubles en el agua; pero muchos de estos contaminantes orgánicos encuentran su camino al agua subterránea como filtración de depósitos de desechos, fugas de alcantarillas y tanques de combustible o como fugas de tierras agrícolas o superficies pavimentadas en áreas urbanas y suburbanas proliferantes (Maurits, 1989; Appelo, 1994; Bedient, 1999).

También el pH afectara el retardo. Por ejemplo: a bajos pH (y en ausencia de oxígeno) el hierro estará presente principalmente como Fe (II). Esta forma de hierro es bastante soluble y se moverá con el agua en corto tiempo. Por el contrario si el pH es alto (> 6) y hay oxígeno el hierro estará





presente como Fe (III), mucho menos solubles en el agua. El Fe III precipitara y en consecuencia no se moverá con el agua subterránea (Tebbutt, 1999; Davis, 2005).

A pesar de la baja vulnerabilidad del agua subterránea a corto plazo, en general; (con algunas excepciones, como los acuíferos cársticos), los contaminantes tardan mas tiempo en infiltrarse en las reservas subterráneas (Ávila, 2003). En algunos casos, las napas de agua pueden estar protegidas por niveles impermeables. Sin embargo, muchos acuíferos pueden ser fácilmente contaminados a partir de sus áreas de recarga o debido a perforaciones inapropiadas. Por ello es importante entender la manera de como ciertos contaminantes penetran, migran y se dispersan en los sistemas de agua subterránea. Cuando esto ocurre, el daño puede ser difícil y costoso de corregir. En muchos casos la situación es irreversible (Ávila, 2003; Mazari, 2003; Bedient, 1999).

### **3.3.6. Calidad del agua subterránea**

La disponibilidad del agua depende no solo de la cantidad, sino también de su calidad. Aunque haya agua, si esta contaminada y se encuentra en una condición tal que sea no acorde con el uso que se le quiere dar, su empleo se limita. Dado que en lo referente a sistemas de agua subterránea ha prevalecido la idea errónea de que los acuíferos se encuentran protegidos de manera natural de las diversas fuentes de contaminación (Mazari, 2003). En la antigüedad, la calidad del agua se calificaba solo por su aspecto, sabor, color y olor. Actualmente, los avances científicos y tecnológicos han repercutido en el desarrollo de técnicas analíticas y procesos capaces de identificar y de remover una amplia lista de compuestos (Jiménez, 2001).

La calidad del agua queda definida por su composición, y el conocimiento de los efectos que pueda causar cada uno de los elementos que contiene o el conjunto de ellos, permite establecer las posibilidades de su manejo, clasificando así su destino, para consumo humano, agrícola, industrial, etc. (Mata, 2006).





### 3.4 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Para la determinación de la calidad del agua, es preciso cuantificar varios parámetros que pueden ser agrupados de la siguiente manera:

#### 3.4.1 Parámetros Físicos

##### a) Temperatura

El valor de la temperatura se requiere para la determinación de gran número de parámetros o propiedades del agua, tales como alcalinidad, índice de saturación, conductividad, etc. Dado que influye sobre las tasas de crecimiento biológico, las reacciones químicas, la solubilidad de contaminantes y en el desarrollo de la vida. Siendo el principal parámetro para el seguimiento de la contaminación térmica (Jiménez, 2001). Para agua potable es deseable que esta sea fresca y no tener variaciones en la temperatura de más de unos grados. El agua subterránea y superficial de las áreas montañosas generalmente, se encuentra en este criterio. La mayoría de los individuos encuentran apetecibles las aguas que tienen una temperatura entre 10- 15 °C. (Jiménez, 2001; Mata, 2006; Caballero, 2006).

La distribución espacial de temperaturas en un acuífero depende de la conductividad térmica e hidráulica del medio, de la relación longitud/profundidad de la cuenca, configuración del nivel freático, distribución de la temperatura ambiente respecto a las zonas de recarga y descarga, etc (Martínez, 1998).

##### b) Turbiedad

La constituyen partículas en suspensión como arcillas, limo, el material orgánico finamente dividido, plancton, descargas de agua residual, desechos industriales, o la presencia de numerosos organismos. También puede ser ocasionada por materia coloidal como resultado de la presencia de detergentes, jabones o emulsificantes (Suárez, 1989; Jiménez, 2001; Mata, 2006).





La turbiedad proporciona al agua un aspecto desagradable, altas turbiedades pueden producir azolves, sobrecalentamiento y espumación. Reduce el rendimiento de calderas e interfiere en procesos que utilizan agua. Interfiere en la acción de los inhibidores de corrosión. La turbiedad excesiva reduce la penetración de la luz en los cuerpos de agua, y por lo tanto interferir en el proceso fotosintético (Jiménez, 2001).

La unidad de medida es una Unidad de Turbiedad (UT) o unidad nefelométrica de turbiedad (UTN). El agua potable tiene turbiedad del orden de 5 UTN y una residual domestica de 100 y 150 UTN. Turbiedades de más de 5 UTN son fácilmente perceptibles en un vidrio de agua y son inaceptables por razones estéticas. Las variaciones de turbiedad en aguas subterráneas puede ser considerada una indicación de introducción de contaminación proveniente de la superficie o de otra fuente introducida (Jiménez, 2001; Mata, 2006).

### **c) Conductividad**

La conductividad eléctrica se relaciona con la concentración de sólidos disueltos y es proporcional a otros parametros como pH, turbiedad y color (Caballero, 2006). La conductividad representa la capacidad de una solución para transmitir una corriente eléctrica. Su valor depende del tipo de iones involucrados, concentraciones, estado de oxidación de los mismos, así como la concentración relativa de cada uno y la temperatura (Jiménez, 200; Seoanez, 1999 en Cortés, 2004).

### **d) Sólidos Totales**

En general los sólidos se denominan como la materia que permanece como residuo seco (RS) después de la evaporación de un volumen determinado de agua, después de la evaporación (a 103-110 °C) (Jiménez, 2001, Caballero, 2006).

El total de sólidos disueltos (TSD) mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua, sean o no volátiles. No es exactamente igual al RS debido a procesos de deshidratación, pérdidas de CO<sub>2</sub>, etc. que tienen lugar al calentar el agua a 110 °C para obtener el residuo



seco. De los sólidos totales obtenidos, una parte corresponde a los sólidos disueltos tales como calcio, sodio y compuestos orgánicos solubles y la otra parte son compuestos insolubles (Martínez, 1998; Caballero 2006).

Cuando se miden sólidos se miden a los responsables de la dureza, a los tóxicos, a los compuestos necesarios para el desarrollo de la vida. La determinación de sólidos se emplea para el seguimiento de procesos biológicos y fisicoquímicos (Jiménez, 2001).

#### **e) Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Son sólidos retenidos al pasar al agua a través de un filtro con apertura de poro de 0.45  $\mu\text{m}$ . Representa la fracción contaminante susceptible de ser eliminada por sedimentación, floculación o filtración. Lo constituyen partículas inorgánicas (arcillas, arenas, suelos) y orgánicas (fibras de plantas, células algales, bacterias, microorganismos, etc) (Jiménez, 2001).

#### **f) Sólidos Disueltos (filtrables)**

Son sólidos que atraviesan un filtro con poro de 0.45  $\mu\text{m}$ . Se componen de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste de partículas con diámetro de  $10^{-3}$  a 1  $\mu\text{m}$ . Los disueltos son moléculas e iones; que se encuentran diluidos en el agua. Su concentración se debe a la presencia de minerales, gases, productos de la descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos que dan color, olor, sabor y la toxicidad al agua que los contiene (Jiménez, 2001).

#### **g) pH**

Es la intensidad de acidez o de alcalinidad de una muestra y se mide en la escala de pH, que en realidad mide la cantidad de iones hidrogeno presentes. La escala va 0 a 14 con 7 como neutralidad, siendo ácido por debajo de 7 y alcalino por arriba de 7. El pH juega un papel importante en muchos procesos químicos y biológicos de las aguas subterráneas naturales







(equilibrio carbonático, procesos redox, etc.). Es fácilmente alterable por lo que su determinación debe hacerse en el momento de la toma de la muestra. Por regla general, el pH de las aguas naturales se mantiene entre 6,5 y 8, aunque excepcionalmente puede variar entre 3 y 11. El pH de los cuerpos de agua y el agua residual doméstica, en general, es ligeramente alcalino por la presencia de bicarbonatos, carbonatos y metales alcalinos. En las descargas industriales es posible encontrar pH ácido o básico, debido al uso de reactivos químicos. En sistemas de abastecimiento, uno de los principales propósitos de la regulación del pH es reducir al máximo la corrosión, que es consecuencia de las complejas relaciones entre el pH, el  $\text{CO}_2$ , la dureza, la alcalinidad y temperatura. En general, se evita tener  $\text{pH} < 7$  para este efecto. Otro factor es el que el  $\text{pH} > 8$  interfiere en la desinfección con cloro (Jiménez, 2001; Mata, 2006).

### 3.4.2 Parámetros Químicos

#### a) Alcalinidad

Expresa la capacidad que tiene un agua de mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina. Las especies que confieren esta propiedad son fundamentalmente los aniones hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ). Además de los aniones provenientes de la disociación de ácidos débiles (Jiménez, 2001; Seoanez, 1999 en Cortes, 2004). En la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad esta producida por los iones carbonato y bicarbonato (Martínez, 1998).

#### b) Dureza total (Calcio y Magnesio)

La dureza representa la concentración de cationes metálicos multivalentes presentes en el agua. Se clasifica en: dureza carbonatada, no carbonatada. La dureza carbonatada es sensible al calor, precipita en altas temperaturas y se denomina temporal. Es equivalente a la alcalinidad. La dureza permanente requiere métodos mas especializados de remoción que la simple elevación de la temperatura (Romero, 1999; Jiménez, 2001).





La dureza más común es la de calcio y magnesio. Cuando se encuentran en cantidades importantes se dice que el agua es “dura” y significa que contiene sales incrustantes, dificultando la cocción de legumbres e impide la formación de espuma del jabón. Las aguas se clasifican según el grado de dureza en muy duras, duras, moderadamente suave y suaves (tabla 2) (Cortés, 1998; Romero, 1999; Jiménez, 2001).

Tabla 2. Clasificación del agua de acuerdo a su dureza (Romero, 1999).

Agua Suave	1-60 mg/L
Moderadamente suave	61-120 mg/L
Dura	121-180 mg/L
Muy Dura	> 180mg/L

### **Ión calcio:**

Suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonatos (calcita, aragonito y dolomita) o sulfatos (yeso y anhidrita).

Los controles de la concentración de calcio en el agua subterránea pueden resumirse en tres: equilibrio carbonático, aporte de  $H^+$  (función del aporte de  $CO_2$ ) e intercambio iónico. Los dos primeros, íntimamente relacionados entre sí, limitan la concentración de calcio a la correspondiente a las condiciones de equilibrio en función de  $CO_2$ , pH,  $HCO_3$  y  $CO_3$ . El intercambio iónico ente calcio y otros cationes (sodio fundamentalmente), retenidos en la superficie de minerales con los que entra en contacto el agua, se potencia notablemente en terrenos arcillosos de baja permeabilidad. La concentración de Ca varía ampliamente en las aguas subterráneas. Concentraciones entre 10 y 250 mg/L son frecuentes en aguas dulces mientras que en aguas de terrenos yesíferos pueden llegar a 600 mg/L, y en salmueras hasta 50,000 mg/L (Martínez, 1998; Price, 2003).





### **Ión magnesio:**

Menos abundante que el calcio en aguas naturales, procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, así como de agua marina. La solubilidad de la magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ) en las aguas subterráneas naturales es mayor que la de la calcita por lo que, en condiciones normales, el  $\text{MgCO}_3$  no precipita directamente de la disolución de modo que, para un periodo largo de tiempo, puede producirse cierto grado de sobresaturación respecto a los diferentes carbonatos magnésicos.

Los procesos de intercambio iónico influyen también en las concentraciones de magnesio en aguas subterráneas. En ellas, el magnesio es retenido con preferencia al calcio en suelos y rocas (Fetter, 1999).

En aguas naturales los contenidos de ión magnesio no suele sobrepasar los 40 mg/L. En terrenos calcáreos pueden rebasarse los 100 mg/L y en terrenos evaporíticos pueden alcanzarse valores de 1000 mg/L (Martínez, 1998; Price, 2003).

### **c) Ión cloruro**

Si se exceptúan las evaporitas y rocas de origen marino, las rocas por lo común presentan escasa proporción de cloruros. Sin embargo, dada la elevada solubilidad de sus sales, éstos pasan rápidamente a la fase acuosa pudiendo alcanzar concentraciones muy altas. El agua de lluvia puede ser una fuente importante de ión cloruro, especialmente en zonas próximas a la costa, disminuyendo rápidamente tierra adentro.

Sales en general muy solubles, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, no es adsorbido significativamente ni entra a formar parte de procesos bioquímicos, lo que le da un carácter de trazador casi ideal (Martínez, 1998; Mata, 2006).





La concentración de cloruros en aguas subterráneas es muy variable, desde menos de 10 mg/l a más de 3000 (Martínez, 1998). En el agua potable, el sabor salado producido por el cloruro es variable y depende de la composición química del agua. Es esencial para la vida. Siendo un artículo común en la dieta diaria pasando en el sistema digestivo sin sufrir cambio alguno. Las concentraciones de cloruros mayores a 250 mg/L, normalmente producen un sabor notable en el agua potable. Contenidos elevados son perjudiciales para muchas plantas y comunican corrosividad al agua (APHA, 1998; Robles, 2002; Caballero, 2006; Mata, 2006).

#### **d) Ión sulfato**

Los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) son muy abundantes en la naturaleza y su presencia en el agua varía de algunos a varios miles de miligramos por litro. Una de las principales fuentes son los drenados de minas debido a la oxidación de la pirita (Schwartz, 2002). El ión sulfato también procede del lavado de terrenos formados en ambiente marino, de la oxidación de sulfuros que se encuentran ampliamente distribuidos en rocas ígneas y sedimentarias, de la descomposición de sustancias orgánicas, etc. Sin embargo, la disolución de sales sulfatadas (yeso y anhidrita fundamentalmente) representa el aporte cuantitativamente más importante de este ión a las aguas subterráneas. En aguas dulces, la concentración normal de sulfatos puede variar entre 2 y 150 mg/L (Jiménez 2001; Mata, 2006).

El comportamiento del ión sulfato puede desviarse significativamente del teórico predecible en base a los principios de su disolución, por su tendencia a formar iones complejos con Na y Ca y a incorporarse a procesos biológicos. El ión sulfato está sujeto a procesos de reducción, especialmente en presencia de bacterias y materia orgánica. En ambientes reductores, a pH menor que 7, la forma reducida estable es el  $\text{H}_2\text{S}$ , mientras que en soluciones alcalinas predomina el  $\text{HS}^-$ .

En combinación con la materia orgánica y las bacterias sulforreductoras, causan problemas de corrosión, principalmente en la corona de las tuberías y concretos de los desagües. En la concentración de alrededor de más de 500 mg/L, los sulfatos ejercen una acción laxante en humanos. Pueden contribuir a crear problemas de malos olores al ser reducidos por las



bacterias reductoras, debido a que se produce ácido sulfhídrico (Jiménez, 2001; Caballero, 2006; Mata, 2006).

#### **e) Iones nitrato, nitrito y amonio**

Los compuestos nitrogenados presentes en las aguas naturales están íntimamente relacionados con el ciclo del nitrógeno. El nitrógeno en las rocas, sólo se presenta como elemento minoritario.

El nitrógeno puede aparecer en forma de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$  y, por oxidación, estas formas reducidas pueden transformarse en  $\text{NO}_2$  y, finalmente en  $\text{NO}_3$  que es la forma más usual y estable. Los procesos de oxidación-reducción de las especies nitrogenadas en el agua están influenciados por fenómenos biológicos y, en consecuencia, los productos finales dependerán del número y tipo de organismos que intervengan en ellos (Jiménez, 2001; Mata, 2006).

Generalmente el  $\text{NH}_4$ , o el amoníaco libre, aparecen sólo como trazas en aguas subterráneas, debido a que es absorbido en las partículas y arcillas del suelo y se extraen fácilmente por lixiviación, aumentando su concentración cuando el medio es fuertemente reductor. Este compuesto es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas nitrogenadas que naturalmente se incorporan al agua subterránea.

Dado que la presencia de amonio favorece la multiplicación microbiana su detección en cantidad significativa en el agua se considera como indicación de contaminación reciente probable. Los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan, lo que ocurre raramente, bien por la oxidación bacteriana de materia orgánica. Su concentración en aguas subterráneas no contaminadas raramente excede de 10 mg/L (Martínez, 1998; Jiménez, 2001; Nolan, 1999 en Perdomo, 2001; Cortés, 2004).

El origen de los nitratos en las aguas subterráneas no siempre es claro. Son relativamente estables pero pueden ser fijados por el terreno o ser reducidos a nitrógeno o amonio en





ambientes reductores. A menudo son indicadores de contaminación alcanzando entonces elevadas concentraciones y presentando, por regla general, una estratificación clara con predominio de las concentraciones más elevadas en la parte superior de los acuíferos libres.

El tipo de contaminación a que es debida su presencia en el agua subterránea está relacionado con las actividades urbanas, industriales y ganaderas, y muy frecuentemente, con carácter no puntual, con las prácticas de abonados intensivos inadecuados con compuestos nitrogenados (Martínez, 1998; Jiménez, 2001; Perdomo, 200).

Puesto que las plantas sólo pueden aprovechar el nitrógeno en forma de nitratos, el tipo de fertilizante aplicado condiciona la proporción de nitrógeno utilizable por las mismas y, en consecuencia, la cantidad no aprovechada por ellas que se infiltra hacia el acuífero. La concentración de nitrato en el agua de infiltración depende, pues, del tipo de fertilizante y, además, de la frecuencia, cantidad y modo de aplicación así como del nitrógeno orgánico o inorgánico ya existente en el suelo, así como de su permeabilidad, grado de humedad, etc. (Jiménez, 2001; Mata, 2006).

El ión nitrito puede estar presente en las aguas bien como consecuencia de la oxidación del  $\text{NH}_3$  o como resultado de la reducción, microbiana o no, de los nitratos. Su presencia en el agua debe considerarse como un indicio fundado de una posible contaminación reciente (dada su inestabilidad) y, tal vez, de la impotabilidad del agua debida a la toxicidad de este ión. Cuando se utiliza agua que contenga nitritos para la preparación de alimentos, se corre el riesgo de formar sustancias carcinogénicas llamadas nitrosaminas (Jiménez, 2001).

No obstante, la sola presencia de nitrito y amonio en el agua subterránea no debe ser considerada como resultado de una contaminación, sin analizar las posibles causas de su presencia, dado que en un acuífero las condiciones de oxidación no son siempre favorables y estos iones, incorporados de manera natural al acuífero, pueden mantenerse durante cierto tiempo en el equilibrio con su forma oxidada, el nitrato. La concentración de los nitritos en aguas superficiales y subterráneas es normalmente mas baja de 0.1 mg/L.





La contaminación de aguas con  $\text{NO}_3$  puede provocar toxicidad aguda en seres humanos, sobre todo en infantes, y esta enfermedad es conocida como metahemoglobinemia o “enfermedad del niño azul”. (Martínez, 1998, Jiménez, 2001; Perdomo, 2001).

#### **f) Oxígeno disuelto**

Su importancia deriva del hecho de su capacidad de oxidación de diferentes tipos de constituyentes que se encuentran en forma reducida y de modificar, en consecuencia, la solubilidad de los mismos. En último término, la fuente de oxígeno disuelto en aguas en contacto con el aire es la atmósfera. Una fuente indirecta es también el proceso de fotosíntesis (Jiménez, 2001).

El oxígeno disuelto depende de muchos factores como la temperatura, altitud, movimientos del cuerpo receptor, actividad biológica, actividad química, etc. El oxígeno disuelto disminuye al aumentar la salinidad, la temperatura (50% entre  $0^\circ$  y  $35^\circ\text{C}$ ) y a la altitud con respecto al nivel del mar (7% cada 60m). En la ciudad de México (2230msnm) se tiene como concentración de saturación 7.2 mg/L  $\text{O}_2$  a  $20^\circ\text{C}$ ; a nivel del mar es de 9 mg/L (Jiménez, 2001; Seoanez, 1999 en Cortes, 2004).

Aunque el oxígeno disuelto se puede consumir en procesos de oxidación de materia orgánica en la superior de la zona no saturada, su contenido en aguas subterráneas profundas puede ser notable. El contenido en oxígeno disuelto puede llegar incluso a valores de saturación: 13,3 mg/L a  $10^\circ\text{C}$  y 7,6 mg/L a  $30^\circ\text{C}$ . Sin embargo, las aguas anóxicas son frecuentes (Martínez, 1998).

#### **g) DQO y DBO**

La demanda química de oxígeno (DQO) mide la capacidad de un agua para consumir oxidantes en procesos químicos (materia orgánica oxidable, Fe II, Mn II,  $\text{NH}_4$ , etc.). En aguas naturales el valor usual de DQO varía desde 1- 15mg/ L.





La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno precisa para eliminar, por procesos biológicos aerobios, la materia orgánica contenida en un agua. Suele referirse a un periodo de cinco días. En aguas subterráneas la  $DBO_5$  suele ser inferior a 1 mg/L de  $O_2$ . En la actualidad existen varios métodos para detectar la  $DBO_5$ , desde el de diluciones hasta técnicas respirométricas (Jiménez, 200, Cortés, 2004).

#### **h) Detergentes**

Las sustancias activas al azul de metileno o detergentes son sustancias que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial de un líquido en el cual se encuentran disueltos. Los principales problemas que provocan estos compuestos, en concentraciones muy bajas, son la producción de espuma y la impartición de sabor. Estos productos domésticos, son difíciles de degradar, si se ingieren, pueden causar vomito (Jiménez, 2001; Cortés, 2004).

El incremento de estos compuestos en los cuerpos de agua a dado como resultado la formación de espumas en el agua, lo cual es indeseable desde el punto de vista estético. Sin embargo, los efectos de estos compuestos son principalmente en la vida acuática debido a que causan daños a los vegetales acuáticos, inhibiendo la fotosíntesis y originando la muerte del fitoplancton. Además de alterar la tensión superficial de las aguas, se origina la pérdida de oxígeno disuelto. Por otra parte la acumulación de estos compuestos puede ocasionar la eutrofización de los cuerpos de agua debido a que los detergentes presentan un alto contenido de  $PO_4$ , los cuales son nutrientes, por lo que su presencia provoca la sobrepoblación de la flora acuática (Robles, 2002).

### **3.5 PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS**

El análisis microbiológico del agua es de gran importancia para determinar su calidad sanitaria. Para ello se realizan pruebas de detección y recuento de microorganismos indicadores (Castro, 2000). El grupo de bacterias Coliformes es el principal indicador de la adecuación del agua para usos domésticos, industriales o de otro tipo. Si bien estas no son generalmente patógenas de por sí, son indicadoras de presencia de microbios potencialmente patógenos, y por lo tanto son un







índice de deficiencias sanitarias en la fuente de agua (Jiménez, 2001; Hunter *et al*, 2000 en Perdomo, 2001).

#### **a) Coliformes Totales**

Comprende un grupo de bacterias constituido por bacilos gram negativos, aerobios y anaerobios facultativos, no formadores de esporas, oxidasa negativa, capaz de crecer en presencia de sales biliares y otros compuestos activos de superficie, con propiedades similares de inhibición de crecimiento y que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 35.5 °C de 24 a 48 horas (APHA, 1998; Jiménez, 2001; Hunter *et al*, 2000 en Perdomo, 2001).

#### **b) Coliformes Fecales**

Comprende un grupo de bacterias constituido por bacilos gram negativos, aerobios y anaerobios facultativos, no formadores de esporas, oxidasa negativas, capaces de crecer en presencia de sales biliares y otros compuestos activos de superficie, con propiedades similares de inhibición de crecimiento y que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 35.5 °C y 44.5 °C de 24 a 48 horas (APHA, 1998; Jiménez, 2001; Hunter *et al*, 2000 en Perdomo, 2001).

### **3.6 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)**

El aumento en los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Por otra parte debido a las diferencias de interpretación entre los encargados de tomar decisiones, los expertos en el tema y del público en general, existe un esfuerzo creciente para desarrollar un sistema indicador que agrupe los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco de referencia unificado (León, 2006).

Un instrumento global para el análisis de la calidad del agua a fin de poder identificar los sitios que han sido impactadas por la contaminación de origen natural o antropogénico son los índices





de contaminación y de calidad. El comportamiento de los indicadores de contaminación del agua subterránea es un reflejo de las condiciones en que se encuentra el acuífero al momento del muestreo lo que permite elaborar un diagnóstico de las zonas potencialmente contaminadas y dar recomendaciones sobre las zonas en las que se deben llevar a cabo estudios más específicos, debido a que se consideran un buen diagnóstico del estado del recurso (Caballero, 2006).

El Índice de Calidad del Agua Subterránea es un método que permite relacionar los parámetros reportados, con el fin de determinar el grado de contaminación que presenta el agua. Mediante el cual se logra un patrón de comparación entre distintos cuerpos de agua, comprendido con mayor claridad para el público en general (SARH, 1979).

El grado de contaminación queda representado por el Índice de Calidad del Agua, el cual está expresado como un porcentaje del agua pura; el agua altamente contaminada tendrá un ICA global cercano o igual a 0%, en cambio, el agua en excelente condición tendrá un valor cercano al 100% (Caballero, 2006).

### **3.7 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 (Mata, 2004).

**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.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 en su capítulo 4 establece los límites permisibles de calidad.







#### 4. JUSTIFICACIÓN

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

Actualmente el agua subterránea se ha convertido en una de las fuentes principales de abastecimiento para diversos sectores de la población, como son: el urbano, el rural, industrial y comercial. Sin embargo las diversas fuentes de contaminación también han alcanzado a este tipo de agua por lo que es necesario llevar un control más estricto de las descargas de aguas residuales y monitorear periódicamente el agua subterránea para evitar su contaminación.

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





## 5. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica de tres pozos y un manantial de agua subterránea ubicados en la zona norte del acuífero del Valle de Cuernavaca, Morelos.

### OBJETIVOS PARTICULARES

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





## 6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Valle de Cuernavaca se ha reconocido desde hace años como una de las zonas más importantes del estado de Morelos, debido a que en sus alrededores se asientan poblaciones tales como: Cuernavaca, Tepoztlán, Temixco, Emiliano Zapata, Juitepec y Tejalpa. De ellas Cuernavaca por ser la capital, representa el centro cultural, político y económico del Estado. Además cabe mencionar que por su clima y bellezas naturales, estas localidades son centros de atracción turística que por su cercanía al Distrito Federal, hacen de ellas los lugares predilectos para el asentamiento de viviendas, además del establecimiento de industrias, que para su funcionamiento han requerido grandes cantidades de agua. Dado que los recursos obtenidos de los manantiales y de los pozos en operación no cubrían la demanda de la población y en base a estas observaciones, en 1980 se requirió la elaboración de estudios de tipo geohidrológicos encaminados a determinar sitios favorables para la perforación de pozos y determinar su funcionamiento hidráulico. Los cuales ayudaron en su momento a solucionar la demanda de agua requerida por los principales centros urbanos e industriales. Pero posteriormente se suscitaron problemas de contaminación del agua. Actualmente la continua degradación en la calidad del agua del acuífero es debido principalmente a la descarga de aguas residuales domésticas y municipales sin tratamiento a las barrancas, arroyos y ríos, provocando menos aprovechamiento del agua (Suárez, 1989; Batllori, 2001; CNA, 2002).

### 6.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El acuífero de Cuernavaca se localiza entre las coordenadas geográficas de 18° 47' y 19° 07' de latitud Norte y los 99° 07' y 99° 25' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich. El acuífero Cuernavaca colinda en la porción Norte con las Cuencas Hidrológicas del Valle de México y del río Lerma. Al Este y Sur colinda con los acuíferos de Cuautla-Yautepec y Zacatepec, respectivamente, ambos en el estado de Morelos. Al poniente colinda con la subcuenca del río Chalma del estado de México (Figura 2).





Los municipios que se incluyen en la zona acuífera son: Huitzilac, Cuernavaca, Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco y la porción Norte del municipio de Xochitepec y poniente de los municipios de Tepoztlan y Yautepec, todos en el estado de Morelos.

La zona Norte de la región hidrogeológica incluye parcialmente los municipios de San Pedro Atlapulco, Ocuilán de Arteaga y Chalma del estado de México y las delegaciones de Milpa Alta y Tlalpan del Distrito Federal.

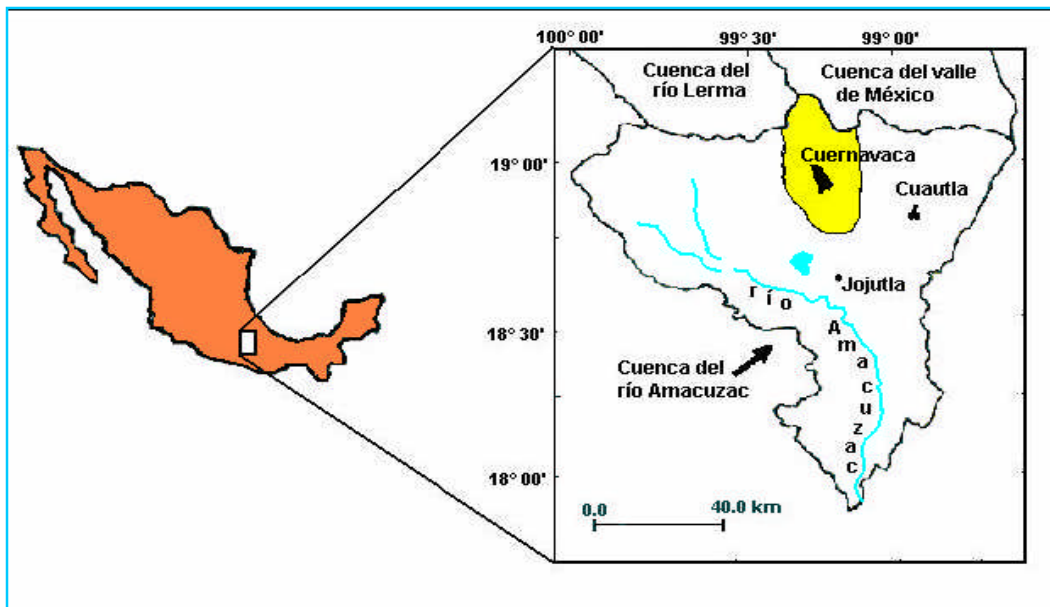


Figura 2. Localización del acuífero de Cuernavaca (CNA, 2002).

El clima se define por una gran variedad de factores, sin embargo, el principal factor que influye en los climas del estado de Morelos y del acuífero de Cuernavaca se debe a la geografía, destacando la altitud del Eje Neovolcánico (ENV) y la influencia de la Sierra Madre del Sur (SMS). El ENV constituye una barrera orográfica que bloquea el paso de los vientos húmedos provenientes del Océano Pacífico y la SMS da lugar a la presencia de pequeños valles intermontanos.

Los tipos de climas que se definen en el acuífero de Cuernavaca forman cinturones climáticos con orientación de Este a Oeste, los cuales son poco oscilantes a lo largo del año. De acuerdo con las temperaturas medias anuales se tiene que en esta zona acuífera se definen cinturones con



climas: semifrío y templado localizado en la porción Norte del acuífero y el clima semicálido y cálido al centro y Sur del acuífero, respectivamente.

Al igual que los climas, la precipitación pluvial que incide en el acuífero de Cuernavaca se ve influenciada por la topografía y relieve. Por lo anterior se tiene que en la porción alta de la región hidrogeológica se genera una precipitación del orden de 1,100 a 1,500 mm anuales (estación climatológica Huitzilac 1,558.3 mm y San Juan Tlacotenco 1,410.3 mm).

En la porción central del valle se genera una precipitación pluvial del orden de los 950 a 1,100mm anuales (estaciones climatológicas de Cuentepec 959.4 mm y Observatorio 1,192.4 mm).

En la porción Sur del valle la precipitación pluvial que se genera es del orden de los 850 a 950 mm anuales (estación climatológica de Temixco 881.7 mm). En general, las lluvias que inciden sobre el acuífero Cuernavaca inician durante el mes de mayo y terminan a finales del mes de octubre.

## **6.2 HIDROGRAFÍA**

El acuífero Cuernavaca se ubica en la región hidrológica del río Balsas (No. 18), que incluye parcialmente a los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero, México, Oaxaca, Puebla Tlaxcala, Veracruz, Distrito Federal y la totalidad del estado de Morelos, a su vez esta región se divide en las subregiones del Alto, Medio y Bajo Balsas (CNA, 2002).

Las principales áreas de recarga de los acuíferos se ubican en el volcán Popocatepetl, Sierra Chichinauzin, Ajusco y Zempoala, con una dirección de norte a sur. Los principales aprovechamientos provienen de manantiales y un poco menos de pozos y norias. El agua se utiliza para fines agrícolas, domésticos, industriales, recreativos y piscícolas. La devastación de los bosques de las áreas mencionadas es la causa principal del desequilibrio hidrológico que sufren los acuíferos de la entidad (Batllori, 2001).







## 7. MATERIAL Y METÓDOS

Se tomaron muestras mensuales de tres pozos y un manantial del acuífero del Valle de Cuernavaca, durante un año.

Los pozos analizados en el Valle de Cuernavaca de la Zona Norte son: Hotel del Prado, Universidad, Herradura y el manantial el Tunel (Figuras 3, 4, 5 y 6).



**Figura 3. Pozo Hotel Prado**



**Figura 4. Pozo Universidad**



**Figura 5. Pozo Herradura**



**Figura 6. Manantial "El Túnel"**

*In situ* se determinó en cada pozo el oxígeno disuelto (O.D.), pH y temperatura y se tomaron muestras, en una bolsa estéril para las determinaciones bacteriológicas y dos muestras en garrafones de un litro para las determinaciones fisicoquímicas, de los cuales uno se acidificó y el otro solo se mantuvo en hielo. Todas las muestras se trasladaron en hielo al laboratorio en donde se realizarán los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos de acuerdo a las técnicas indicadas en la tabla 3.





Tabla 3. Técnica analítica para cada parámetro.

PARÁMETRO	TÉCNICA*
pH	Potenciométrica
Temperatura	Medidor de oxígeno YSI
Oxígeno disuelto	Medidor de oxígeno YSI
Conductividad	Conductímetro
Sólidos disueltos	Gravimétrico
Sólidos suspendidos	Gravimétrico
Alcalinidad total	Titulación con indicador
Nitrógeno amoniacal	Nesslerización
Nitratos	Brucina
Nitritos	Diazotización
Cloruros	Argentométrico
Sulfatos	Turbidimétrico
Dureza total	Titulación con EDTA
Dureza de calcio	Titulación con EDTA
Turbiedad	Turbidímetro
DBO <sub>5</sub>	Dilución
Detergentes	Azul de metileno
Coliformes Totales (C.T)	Filtro de membrana
Coliformes Fécenes (C.F)	Filtro de membrana

Las técnicas son de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas.

En total se determinaron por cada pozo mensualmente 3 determinaciones “*in situ*” y 16 determinaciones en el laboratorio.

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

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







Donde:

$i=1$

$I$  = Índice de calidad general.

$I_i$  = Índice de calidad del parámetro considerado (Tabla 3).

$W_i$  = Valor de la importancia relativa del parámetro considerado (Tabla 4).

El índice de calidad de agua se obtiene primero conociendo los índices de calidad de cada parámetro (Tabla 4). Cada parámetro tiene un peso preponderante (Tabla 5), posteriormente se calcula el índice general de calidad del agua y se compara con la tabla para obtener su uso (Tabla 6). Donde el ICA varía de 0 a 100. El valor nulo corresponde al peor caso y el máximo a la calidad optima (SARH, 1979).

Tabla 4. Índice individual ( $I_i$ ) para cada parámetro (Tomado de SARH, 1979).

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	$I_{CE} = 540(CE)^{-0.379}$		
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 $T^\circ$ de campo OD sat mg/l de saturación a misma $T^\circ$ 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 $^\circ C$
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 = NMP coli/ml	
Coliformes fecales	$I_{EC} = 97.5(5 <EC>)^{-0.27}$	EC <i>Escherichia coli</i> /ml	





Tabla 5. Importancia relativa de los parámetros para definir el índice de calidad del agua (Tomado de SARH, 1979).

Parámetro	Importancia relativa	Parámetro	Importancia relativa
pH	1.0	N de nitratos	2.0
Color	1.0	N amoniacal	2.0
Turbiedad	0.5	Fosfatos totales	2.0
Grasas y aceites	2.0	Cloruros	0.5
Sólidos suspendidos	1.0	Oxígeno disuelto	5.0
Sólidos disueltos	0.5	DBO <sub>5</sub>	5.0
Conductividad eléctrica	2.0	Coliformes totales	3.0
Alcalinidad	1.0	Coliformes fecales	4.0
Dureza total	1.0	Detergentes (SAAM)	3.0

Tabla 6. Usos del agua según el Índice de Calidad (ICA) (Fuente: SARH, 1979, y Govantes, 2007).

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





## **8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **8.1 PRIMERA PARTE: RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE CADA POZO Y DEL MANANTIAL**

En la determinación de la calidad del agua subterránea, es conveniente considerar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos entre cada estación de muestreo y el transcurso del tiempo, observando así las variaciones que presentan y relacionarlos con los análisis bacteriológicos en las diferentes épocas del año.

Con los valores de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos obtenidos en cada pozo estudiado, se calcularon las medias, desviación estándar y valores mínimos y máximos para cada parámetro analizado y por cada pozo. También se comparan las medias con los límites máximos permisibles de la norma mexicana para agua potable y se calculó el índice de calidad del agua (ICA). Posteriormente se hace la comparación entre pozos.

Es importante recordar que el objetivo del estudio es evaluar la calidad del agua subterránea, por lo que las muestras fueron tomadas antes de que pasaran por el proceso de la cloración.

#### **8.1.1 POZO: HOTEL DEL PRADO**

##### **a) Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos.**

Los valores mínimos y máximos, las medias y desviaciones estándar por cada parámetro se presentan en la tabla 7. Las medias, valores mínimos y máximos para  $DBO_5$ , detergentes y nitrógeno amoniacal, se encontraron por debajo del límite de detección del método (siendo el límite de detección para  $DBO_5$  de 2, SAAM de 0.001 y  $NH_3$  de 0.01). Los sólidos suspendidos y la DQO también presentaron en diversas ocasiones valores en el límite de sensibilidad del método y en otras los valores en general fueron muy bajos (siendo el límite de detección para DQO de 2 y para sólidos suspendidos de 0.0001).

En este pozo los parámetros fisicoquímicos realizados que se pueden relacionar con la materia orgánica fueron la  $DBO_5$  y el nitrógeno amoniacal cuyos valores encontrados por debajo de la





sensibilidad del método nos indican la ausencia de materia orgánica. Lo cual coincide con los valores bajos de nitratos ( $\text{NO}_3$ )

Tabla 7. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos del Pozo: Hotel del Prado

Hotel Prado	DBO <sub>5</sub>	DQO	OD	pH	T°	Cond.	S. tot.	S. susp.	S. dis.	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>
<b>Medias</b>	mld	4.89	4.5	6.83	18.6	133.3	113.8	0.5	113.3	0.441	0.001
<b>D. Std.</b>	mld	0.96	1.3	0.21	0.77	4.33	5.85	1.24	6.15	0.23	0.002
<b>Valor mín.</b>	mld	3.5	2.2	6.5	18	125	99	0	99	0.058	0
<b>Valor máx.</b>	mld	6.1	6.6	7.2	20	139	123	4	123	0.878	0.005

Tabla 7. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos del Pozo: Hotel del Prado (Continuación).

Hotel Prado	Alcal. T	Alcal. F.	D. Tot.	D. Ca.	D. Mag.	Cl <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	SAAM	Turbiedad	NH <sub>3</sub>
<b>Medias</b>	94.59	0	47.89	24.66	23.30	2.11	5.36	mld	0.166	mld
<b>D. Std.</b>	12.42	0	8.81	7.06	7.21	1.16	4.54	mld	0.11	mld
<b>Valor mín.</b>	74.2	0	28.43	15	13.43	1	2	mld	0.07	mld
<b>Valor máx.</b>	117	0	57	37.5	36	3.9	18.7	mld	0.46	mld

Los valores bajos de DQO son debidos básicamente a la oxidación de las sales minerales. El contenido de sales representadas por la alcalinidad, durezas, sulfatos y cloruros en general se pueden considerar bajas obteniéndose un valor mínimo de sólidos disueltos de 99 y un máximo de 123 mg/L (Tabla 7). Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras: las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor o ocasional. Por estas razones, para las aguas potables es deseable un límite de 1000 mg/L.

#### b) Comportamiento temporal del OD y temperatura.

La concentración de oxígeno disuelto es un parámetro para evaluar la calidad del agua; ya que su importancia deriva de su capacidad de oxidación de diferentes tipos de constituyentes que se encuentran en forma reducida y de modificar, en consecuencia la solubilidad de los mismos y la capacidad autodepuradora de un cuerpo receptor (Price, 2003; Jiménez 2001). En la Figura 7, se puede observar que la concentración de oxígeno disuelto (OD) es baja durante los meses de septiembre y octubre, incrementándose ligeramente durante los meses de noviembre a marzo. El



oxígeno disuelto disminuye al aumentar la salinidad, la temperatura y la altitud con respecto al nivel del mar (7% cada 60 m). En la ciudad de México (2230 msnm) se tiene como concentración de saturación 7.2mg/L de O<sub>2</sub> a 20 °C; a nivel del mar es de 9 mg/L (Jiménez, 2001).

La temperatura se observó con poca variación a lo largo del estudio (entre 18°C y 20°C). Dado que para efectos prácticos, puede considerarse que en los acuíferos existe una "zona neutra", de temperatura constante, por encima de la cual la influencia térmica más significativa es la de las variaciones diarias o estacionales de la temperatura ambiente. En cualquier caso, la temperatura de las aguas subterráneas es muy poco variable. Sin embargo, es un parámetro importante pues cuando existen notables diferencias de temperatura éstas pueden influir en la solubilidad de determinadas sustancias, (Price, 200; Jiménez, 2001).

En la figura 7 se puede apreciar que en la mayoría de los muestreos cuando la temperatura se elevaba había una ligera disminución en la concentración del OD.

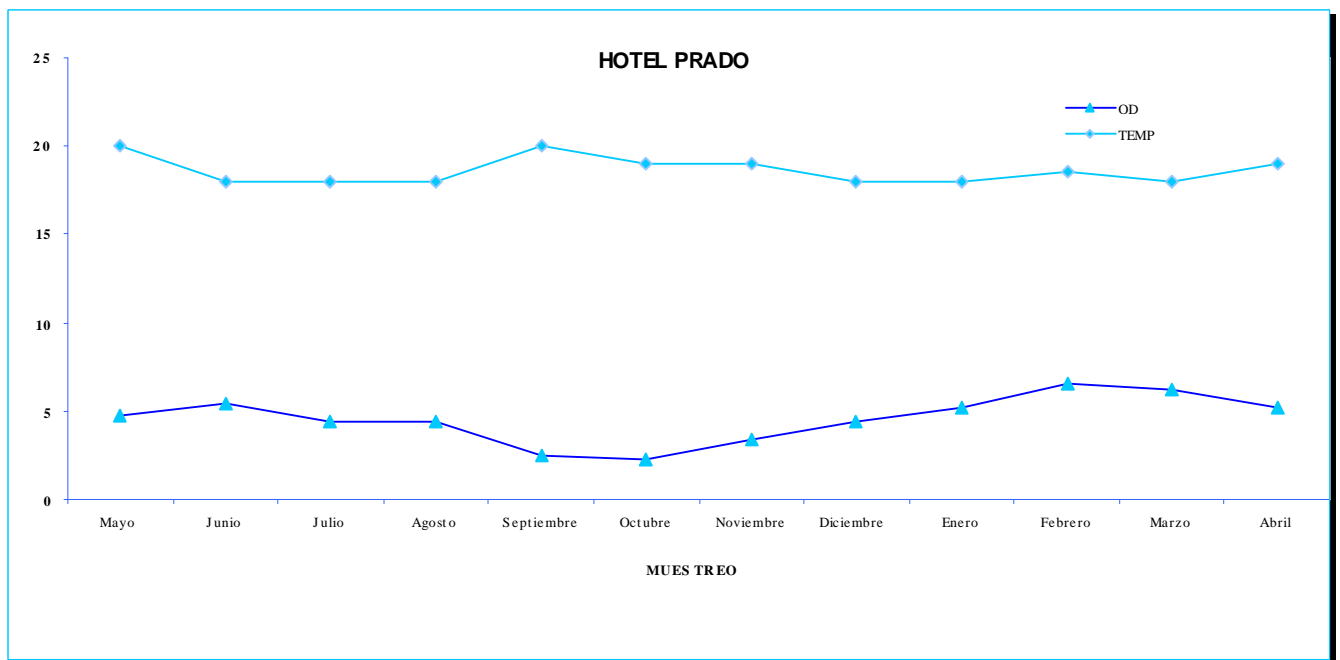


Figura 7. Comportamiento espacial de la temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L), del pozo Hotel Prado.



### c) Comportamiento temporal de la alcalinidad total y dureza total.

La dureza total de las aguas es un componente con bastante significancia en la calidad fisicoquímica del agua. Siendo un parámetro para agua potable y agua de uso industrial principalmente (Jiménez 2001). Como se aprecia en la figura 8 en los primeros dos muestreos se presentaron los valores de dureza más bajos y después fueron incrementándose, manteniéndose en general más o menos constantes en los demás muestreos.

La dureza del agua de este pozo presentó una media de 47.89 mg/L lo cual, de acuerdo a la tabla 2 nos indica que el agua del pozo es de tipo suave.

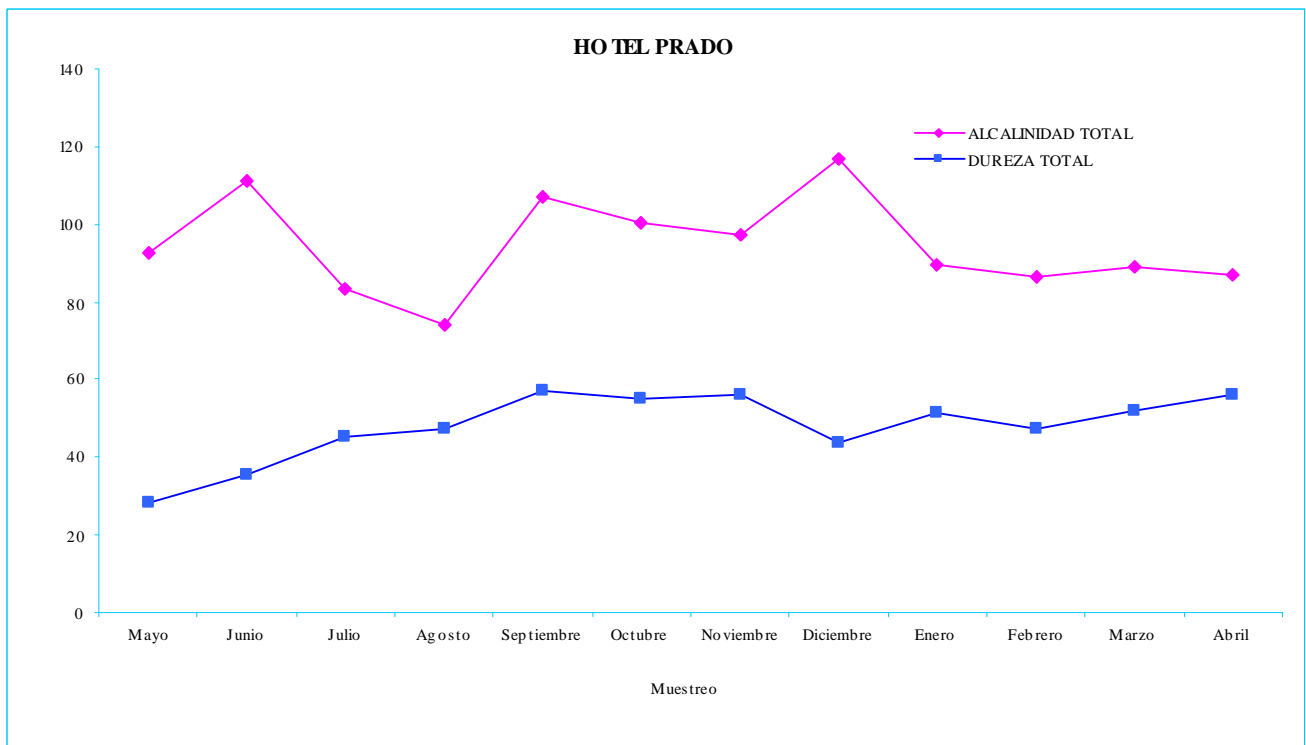


Figura 8. Comportamiento espacial de dureza total (mg/L) y alcalinidad total (mg/L), del pozo Hotel Prado.

Con los datos de alcalinidad y dureza se pudo observar que la media de la dureza total (47.89 mg/L) es menor a la media de la alcalinidad total (94.50 mg/L), por lo tanto la dureza carbonatada de este pozo es igual a la dureza total, (47.89 mg/L). La dureza carbonatada es una



dureza temporal que desaparece cuando se hierve el agua (precipitándose mediante una ebullición prolongada). La dureza no carbonatada para este pozo es de 46.61 (la diferencia entre la dureza total y la alcalinidad total). La dureza no carbonatada incluye principalmente sulfatos, cloruros y 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 una incrustación en las paredes y tubos de calderas (Romero, 1999; Jiménez, 2001).

La alcalinidad se mantuvo más o menos constante de enero a mayo y variable en el resto de los muestreos. La media fue de 94.59 mg/L y la alcalinidad que presentó este pozo fue debida a bicarbonatos de acuerdo a la relación de alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleína. En aguas con pH inferior a 8.3 (la mayoría de las aguas subterráneas naturales), la especie carbonatada dominante es el ión bicarbonato. En estas aguas la concentración suele variar entre 50 y 400 mg/L, aunque puede alcanzar valores de hasta 800 mg/L. Concentraciones de hasta 1000 mg/L pueden encontrarse en aguas pobres en Ca y Mg o en las que se producen fenómenos de liberación de CO<sub>2</sub> (p.e. reducción de sulfatos) en el acuífero (Price, 2003). Concentraciones elevadas de alcalinidad pueden tener efecto negativo en cultivos, según sea su composición química. El agua residual domestica tiene, por lo general, alcalinidad menor o, cuando mucho, ligeramente superior a la del abastecimiento; es del orden de 50 a 200 mg CaCO<sub>3</sub>/L. El principal efecto de la alcalinidad es la reacción de esta con ciertos cationes en el agua, lo que conduce a la formación de precipitados (Jiménez, 2001).

#### **d) Comportamiento temporal de los aniones cloruros y sulfatos.**

En general los sulfatos y cloruros mostraron variaciones ligeras a través del tiempo, solo los sulfatos presentaron el valor más alto en octubre (Figura 9). El ión cloruro no forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, no es adsorbido significativamente ni entra a formar parte de procesos bioquímicos, lo que le da un carácter de trazador casi ideal.

La concentración de cloruros en aguas subterráneas es muy variable, desde menos de 10 mg/L a más de 3000 mg/L. En el agua potable, el sabor salado producido por el cloruro es variable y depende de la composición química del agua (Bedient, 1999; Price, 2003).





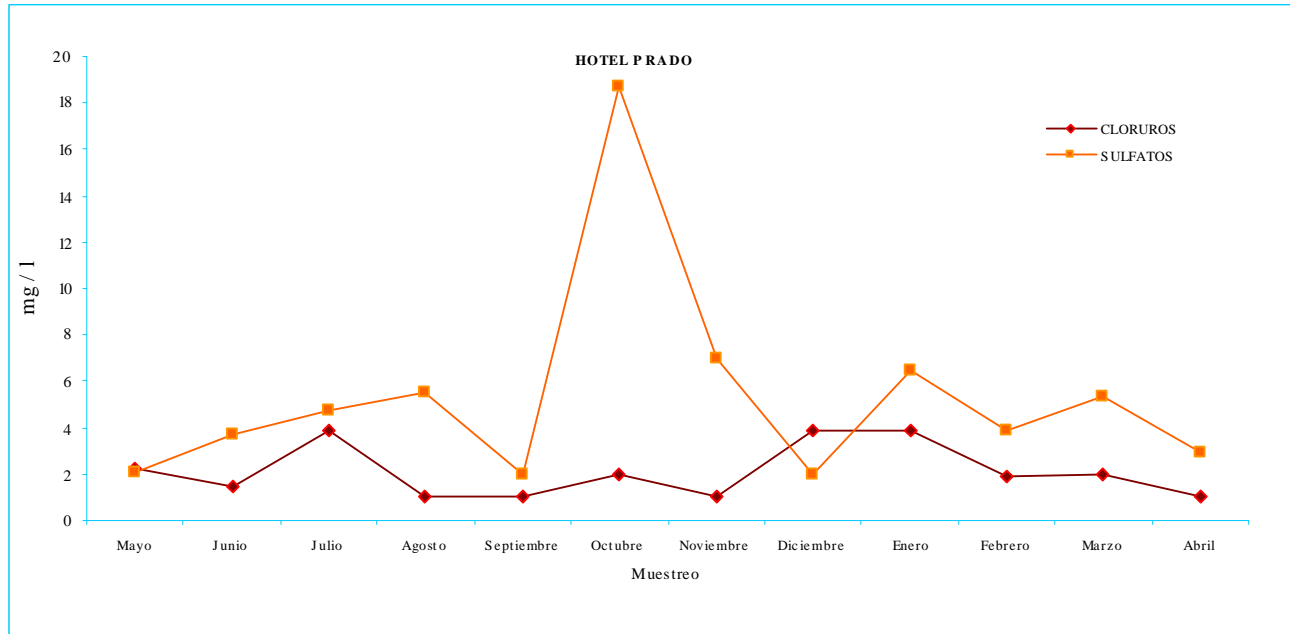


Figura 9. Comportamiento espacial de cloruros (mg/L) y sulfatos (mg/L), del pozo Hotel Prado.

Los sulfatos son muy abundantes en la naturaleza y su presencia en el agua varía de algunos a varios miles de miligramos por litro. En aguas dulces la concentración normal puede variar de entre 2 y 150mg/L (Price, 2003).

### e) Variación temporal de los parámetros bacteriológicos

Para los coliformes totales se observaron 1, 1 y 3 colonias en los meses de julio, agosto y octubre, y para coliformes fecales se registraron ausencia de colonias en todos los muestreos (Tabla 8).

Tabla 8. Coliformes totales y fecales a lo largo del tiempo del pozo: Hotel Prado.

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL
<b>C.T</b> (ufc/100ml)	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>C.F</b> (ufc/100ml)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En este pozo predominó la ausencia de coliformes con una frecuencia de cero en nueve muestreos y ausencia total de coliformes fecales en los 12 muestreos, indicando con ello que en esta área la contaminación bacteriana todavía no es alta (Tabla 9).



Tabla 9. Frecuencia de coliformes totales y fecales del pozo: Hotel Prado.

Coliformes totales		Coliformes fecales	
Valor	Frecuencia	Valor	Frecuencia
0	9	0	12
1	2		
3	1		

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

Comparando las medias y los valores mínimo y máximo de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA.1994 tenemos que todos los parámetros fisicoquímicos se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles (Tabla 10).

Tabla 10. Comparación de las medias, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA, 1994.

PARÁMETRO	RESULTADOS DE LAS MUESTRAS mg/L		LÍMITE MÁX PERM. DE ACUERDO A LA NOM-127-SSA-1994 mg/L
Dureza total	Media	47.89	500
	Valor mín.	28.43	
	Valor máx.	57	
Sólidos disueltos	Media	113.3	1000
	Valor mín.	99	
	Valor máx.	123	
pH	Media	6.83	6.5 – 8.5
	Valor mín.	6.5	
	Valor máx.	7.2	
Nitratos	Media	0.441	10
	Valor mín.	0.058	
	Valor máx.	0.878	
Nitrógeno amoniacal	Media	0	0.50
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0	
	Media	0.001	1.0



Nitritos	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0.005	
SAAM	Media	0	0.50
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0	
Turbiedad	Media	0.166	5 UNT
	Valor mín.	0.07	
	Valor máx.	0.46	
Sulfatos	Media	5.36	400
	Valor mín.	2	
	Valor máx.	18.7	
Coliformes totales	Mediana	0	Ausencia o no detectables
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	3	
Coliformes fecales	Mediana	0	Ausencia o no detectables
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0	

En relación con los parámetros bacteriológicos, aunque la media y la mayoría de los muestreos estuvieron dentro de los límites de la norma es importante señalar que hubo tres muestreos en los que si se rebasó la norma aunque en un mínimo. Los meses en que sucedió esta leve contaminación coincidieron con meses de lluvia lo cual nos podría hacer pensar en la posible infiltración de los contaminantes al acuífero.

En general todos los valores obtenidos de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos nos sugieren una calidad buena del agua en condiciones naturales, dado que las muestras se colectaron antes de la cloración correspondiente del agua en cada sistema.

#### **g) Índice de calidad del agua (ICA).**

Con los resultados obtenidos se calculó por cada muestreo el ICA. Para ello se procedió a calcular por cada parámetro los índices individuales y posteriormente con ellos el ICA. Como no hubo gran variación de los ICA entre muestreo se hizo una media (tabla 11) y con ella se determinó el uso mas adecuado de acuerdo a la tabla 6 (la de metodología donde están los usos).



Así tenemos que para este pozo con un ICA de 99 %, el agua es adecuada para uso y consumo humano. Coincidiendo esto con la comparación con la norma mexicana.

Tabla 11. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo.

<b>PERIODO</b>	<b>HOTEL PRADO (%)</b>
Mayo	100
Junio	100
Julio	98
Agosto	99
Septiembre	100
Octubre	99
Noviembre	100
Diciembre	100
Enero	100
Febrero	100
Marzo	100
Abril	100
<b>MEDIA</b>	<b>99.0</b>

### 8.1.2 POZO: HERRADURA

#### a) Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos.

En la tabla 12 se presentan las medias, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos analizados. La DBO<sub>5</sub>, detergentes y nitrógeno amoniacal, se encontraron por debajo del límite de detección del método. Los sólidos suspendidos y la DQO también presentaron en diversas ocasiones valores en el límite de sensibilidad del método en varias ocasiones y en otras los valores en general fueron muy bajos.

Los parámetros fisicoquímicos realizados que se pueden relacionar con la materia orgánica fueron la DBO<sub>5</sub> y el nitrógeno amoniacal cuyos valores encontrados por debajo de la sensibilidad del método nos indican la ausencia de materia orgánica en este pozo.



Tabla 12. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos del Pozo: Herradura

HERRADURA	DBO <sub>5</sub>	DQO	O.D	pH	Temp.	Cond.	S. tot.	S. susp.	S. dis.	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>
<b>Medias</b>	2	4.25	4.68	6.91	18.58	100.98	81.58	1.16	80.42	0.714	0.001
<b>D. Std.</b>	0	1.93	1.38	0.62	0.900	8.13	9.92	3.01	10.49	0.259	0.001
<b>Valor mín.</b>	2	3	2.25	5.2	17	88	67	0	63	0.144	0
<b>Valor máx.</b>	2	10	6	7.72	20	112	96	10	96	1.09	0.004

Tabla 12. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos del Pozo: Herradura (Continuación).

HERRADURA	Alc. T	Alc. F.	D. Tot.	D. Cal.	D. Mn	Cl <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	SAAM	Turbiedad	NH <sub>3</sub>
<b>Medias</b>	65.39	0	37.93	17.62	20.31	1.53	4.06	mld	0.139	mld
<b>D. Std.</b>	5.62	0	9.50	3.21	8.31	1.76	2.93	mld	0.092	mld
<b>Valor mín.</b>	55.6	0	23.53	11.8	7.23	0	0	mld	0.07	mld
<b>Valor máx.</b>	76	0	55	24	35	5.8	8.8	mld	0.35	mld

El contenido de sales representadas por la alcalinidad, durezas, sulfatos y cloruros en general se pueden considerar bajas obteniéndose un valor mínimo de sólidos disueltos de 63 y un máximo de 96 mg/L (Tabla 12).

#### b) Comportamiento temporal del OD y temperatura.

En la Figura 10, se puede observar que la concentración de oxígeno disuelto (OD) es baja durante los meses de septiembre, octubre y noviembre (2.6, 2.86, 2.25 mg/L OD respectivamente), incrementándose ligeramente durante los meses de diciembre a agosto.

La temperatura osciló entre 17°C y 20°C a lo largo del estudio, presentando los valores mas bajos en mayo y junio mientras que en los otros meses los valores fueron más constantes entre 19 y 20 °C a excepción de enero y febrero que fueron de 18 °C

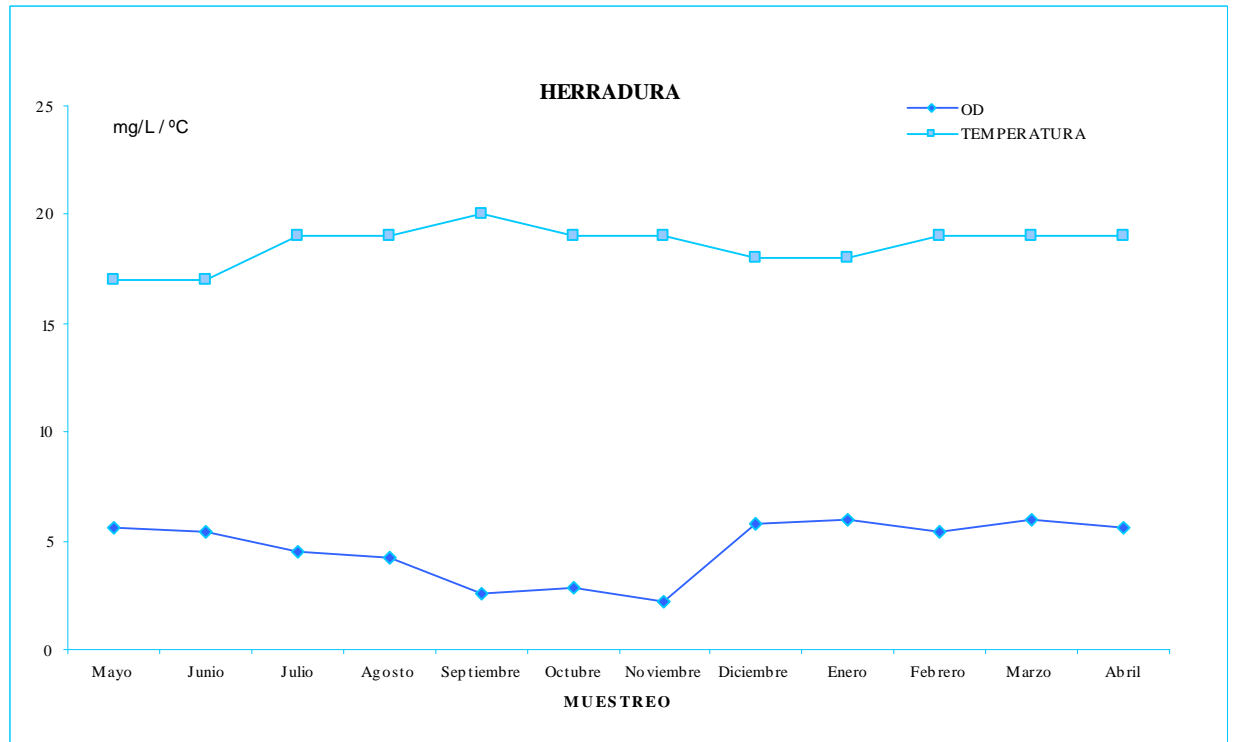


Figura 10. Comportamiento espacial de la temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L), del pozo Herradura.

### c) Comportamiento temporal de la alcalinidad total y dureza total.

En la figura 11 se observa que en los primeros muestreos se presentaron los valores de dureza más bajos (mayo a agosto) y después se fueron incrementando hasta el mes de septiembre en donde alcanzó el valor más alto para después volver a bajar un poco.

La dureza del agua de este pozo presentó una media de 37.93 mg/L lo cual, de acuerdo a la tabla 2 nos indica que el agua del pozo es de tipo suave.

Con las medias de la alcalinidad total (65.39 mg/L) y de la dureza total (37.93 mg/L) se pudo observar que la dureza temporal o carbonatada para este pozo fue de 37.93 mg/L y la dureza no carbonatada fue de 27.46 mg/L.



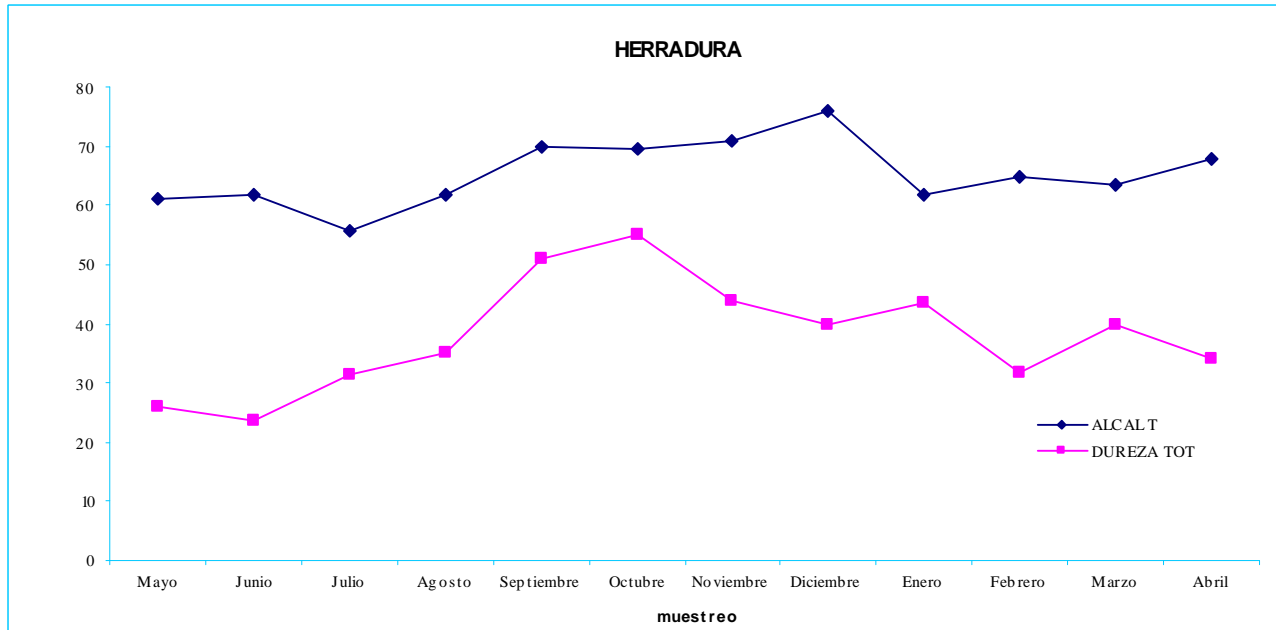


Figura 11. Comportamiento espacial de dureza total (mg/L) y alcalinidad total (mg/L), del pozo Herradura.

Los efectos de la dureza carbonatada y no carbonatada se explican en el rubro 8.1.1 del pozo Hotel del Prado.

La alcalinidad se mantuvo más o menos dentro del ámbito entre 55.6 y 76 mg/L, la media fue de 65.3917 mg/L; la alcalinidad que presentó este pozo fue debida a bicarbonatos de acuerdo a la relación de alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleína.

En la alcalinidad los valores mas altos se presentaron de septiembre a diciembre siendo este último mes el más alto, mientras que en los demás meses los valores fueron más bajos.

En estudios mas recientes realizados por la CNA en la zona acuífera de Cuernavaca, durante los meses de octubre a noviembre de 1995 al final de la temporada de lluvias, reportan concentraciones similares a este estudio, de dureza total y alcalinidad total (44 y 53 mg/L, respectivamente) para este pozo.







**d) Comportamiento temporal de los aniones cloruros y sulfatos.**

Los cloruros mostraron variaciones muy ligeras a través del tiempo oscilando entre 0 y 5.8 mg/L, presentando los valores más altos en julio, octubre y enero (Figura 12).

Los sulfatos también presentaron variaciones mínimas dentro del intervalo de 0 a 8.9 mg/L., presentando los valores más altos durante los meses de julio y enero, estabilizándose mas en el resto de los meses estudiados.

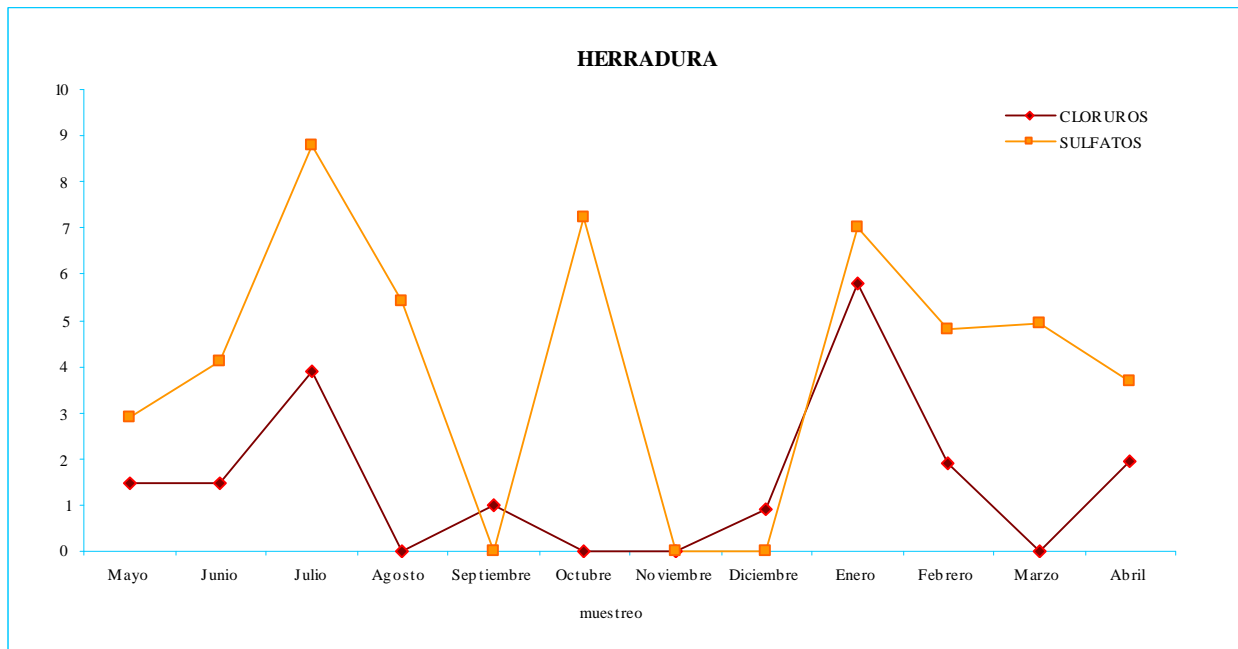


Figura 12. Comportamiento espacial de cloruros (mg/L) y sulfatos (mg/L), del pozo Herradura.

**e) Variación temporal de los parámetros bacteriológicos.**

Se observó que durante el mes de septiembre hubo una mayor incidencia de coliformes totales (31 ufc/100ml). La presencia de coliformes fecales fue nula (Tabla 13).

Tabla 13. Coliformes totales y fecales a lo largo del tiempo del pozo: Herradura.

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL
<b>C.T (ufc/100ml)</b>	1	1	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0
<b>C.F (ufc/100ml)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



De acuerdo a la frecuencia los CF estuvieron ausentes en los doce muestreos mientras que los CT en 9, en 2 fue mínima la contaminación y solo en uno fue un poco más alto (Tabla 14). Estos resultados nos indican que en general el agua de esta zona es de muy buena calidad bacteriológica y que la contaminación todavía no lo ha afectado de forma importante esta zona del acuífero.

Tabla 14. Frecuencia de CT y CF en el Pozo La Herradura.

Coliformes totales		Coliformes fecales	
Valor	Frecuencia	Valor	Frecuencia
0	9	0	12
1	2		
31	1		

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

Comparando las medias y los valores mínimo y máximo de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA.1994 tenemos que todos los parámetros fisicoquímicos a excepción del pH se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles (Tabla 15).

Tabla 15. Comparación de las medias, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA, 1994.

PARÁMETRO	RESULTADOS DE LAS MUESTRAS mg/L		LÍMITE MÁX PERM. DE ACUERDO A LA NOM-127-SSA-1994 mg/L
Dureza total	Media	37.93	500
	Valor mín.	23.53	
	Valor máx.	55	
Sólidos disueltos	Media	80.42	1000
	Valor mín.	63	
	Valor máx.	96	
pH	Media	6.91	6.5 – 8.5
	Valor mín.	5.2	





	Valor máx.	7.72	
Nitratos	Media	0.714	10
	Valor mín.	0.144	
	Valor máx.	1.09	
Nitrógeno amoniacal	Media	0	0.50
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0	
Nitritos	Media	0.001	1.0
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0.004	
SAAM	Media	0	0.50
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0	
Turbiedad	Media	0.139	5 UNT
	Valor mín.	0.07	
	Valor máx.	0.35	
Sulfatos	Media	4.06	400
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	8.8	
Coliformes totales	Mediana	0	Ausencia o no detectables
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	31	
Coliformes fecales	Mediana	0	Ausencia o no detectables
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0	

Aunque las bacterias CF estuvieron ausentes en todos los muestreos las CT si presentaron contaminación bacteriana en 3 muestreos, que aunque fue baja nos indica que el acuífero en esa zona se empieza a ver afectado por la contaminación.

En el caso del pH el valor mínimo quedo fuera de la norma. Sin embargo a excepción de los casos mencionados anteriormente se puede decir que en general los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos (Tabla 15) presentan promedios muy por debajo de los límites establecidos, esto nos sugiere una calidad buena del agua en condiciones naturales, dado que las muestras se colectaron antes de la cloración correspondiente del agua en cada sistema.



### g) Índice de calidad del agua (ICA).

El índice de calidad del agua es de 99 %, el cual de acuerdo a la tabla de usos del agua sugiere que el agua es de muy buena calidad, la cual no requiere purificación (Tabla 16). Coincidiendo esto con la comparación con la norma mexicana.

Tabla 16. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo

<b>PERIODO</b>	<b>HERRADURA (%)</b>
Mayo	99
Junio	99
Julio	100
Agosto	100
Septiembre	95
Octubre	100
Noviembre	100
Diciembre	98
Enero	100
Febrero	100
Marzo	100
Abril	100
<b>MEDIA</b>	<b>99</b>

### 8.1.3 POZO: UNIVERSIDAD

#### a) Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos.

Los valores mínimos, máximos, las medias y desviaciones estándar por cada parámetro se presentan en la tabla 17. Las medias, valores mínimos y máximos para DBO<sub>5</sub>, detergentes y nitrógeno amoniacal, se encontraron por debajo del límite de detección del método.

Los sólidos suspendidos y la DQO también presentaron en diversas ocasiones valores en el límite de sensibilidad del método y en otras los valores en general fueron muy bajos.



En este pozo los parámetros fisicoquímicos DBO<sub>5</sub> y el nitrógeno amoniacal cuyos valores encontrados por debajo de la sensibilidad del método nos indican la ausencia de materia orgánica.

Tabla 17. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos del Pozo: Universidad

UNIVERSIDAD	DBO <sub>5</sub>	DQO	O.D	pH	T°	Cond.	S.tot.	S. susp.	S. dis.	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>
<b>Medias</b>	2	3.31	5.84	6.74	18.16	133.08	111.3	0.417	110.8	0.731	0.005
<b>D. Std</b>	0	0.34	1.62	0.74	1.02	7.20	9.05	0.793	9.11	0.336	0.010
<b>Valor mín.</b>	2	2.8	2.47	4.6	17	120	96	0	96	0.106	0
<b>Valor máx.</b>	2	3.8	8.2	7.68	20	145	124	2	124	1.5	0.036

Tabla 17. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximo de los parámetros fisicoquímicos del Pozo: Universidad (Continuación).

UNIVERSIDAD	Alc. T	Alc. F.	D. tot.	D. cal.	D. Mn	Cl <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	SAAM	Turbiedad	NH <sub>3</sub>
<b>Medias</b>	75.01	0	36.99	19.99	17	3.76	3.82	mld	0.108	mld
<b>D. Std</b>	8.81	0	6.50	4.78	6.18	8.12	1.94	mld	0.042	mld
<b>Valor mín.</b>	61.8	0	26.4	11.8	5.4	0	1.2	mld	0.05	mld
<b>Valor máx.</b>	89.61	0	46	28	27	27.9	7.3	mld	0.18	mld

El contenido de sales representadas por la alcalinidad, durezas, sulfatos y cloruros en general se pueden considerar bajas obteniéndose un valor mínimo de sólidos disueltos de 96 y un máximo de 124 mg/L (Tabla 17).

### b) Comportamiento temporal del OD y temperatura

En la Figura 13, se puede observar que la concentración de oxígeno disuelto (OD) es baja durante los meses de agosto y septiembre (2.47 y 3.8mg/L respectivamente), incrementándose durante los meses de octubre a julio, manteniéndose mas o menos constante (excepto diciembre con 8.2 mg/L OD de concentración).

La temperatura oscilo entre 17°C y 20°C y presento los valores mas bajos de mayo a agosto, incrementándose un poco en los siguientes meses.



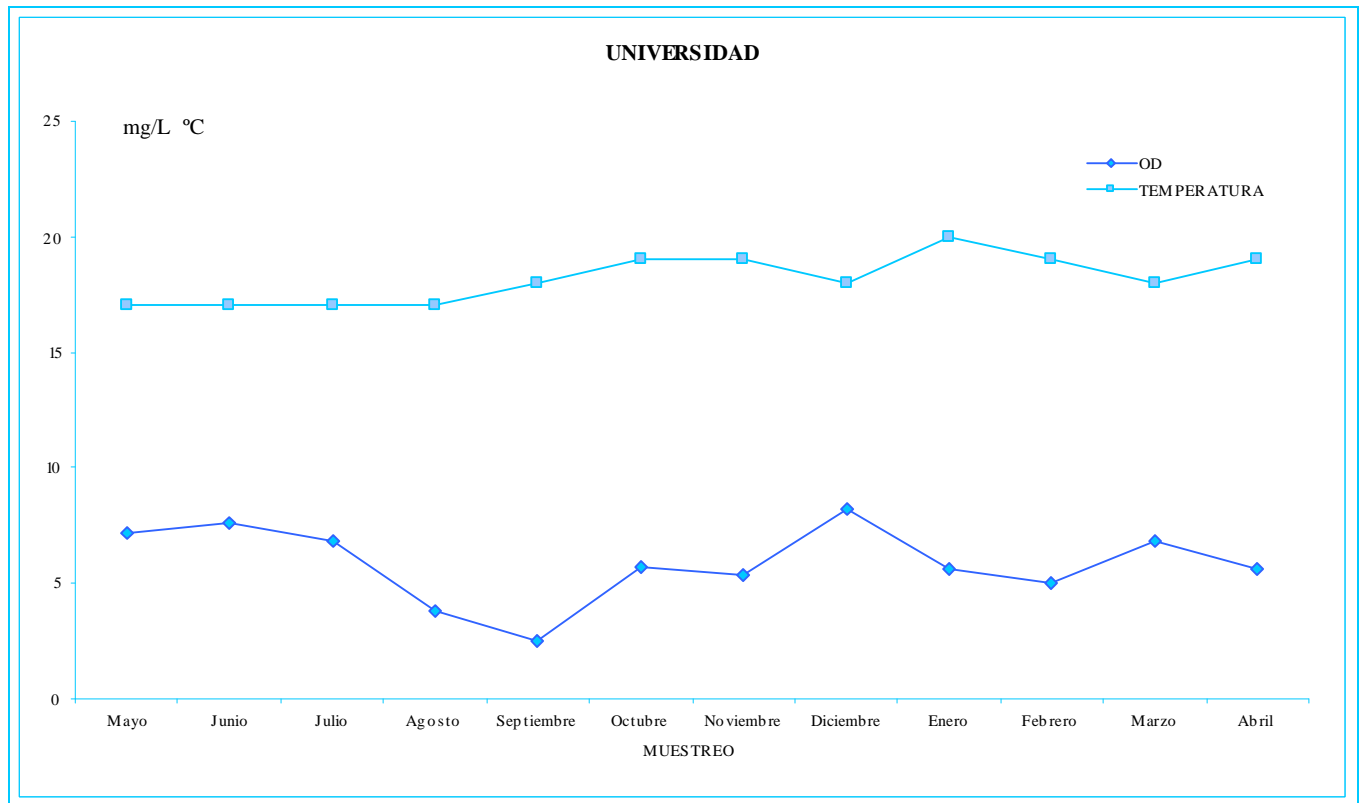


Figura 13. Comportamiento espacial de la temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L), del pozo Universidad.

### c) Comportamiento temporal de la alcalinidad total y dureza total.

La alcalinidad osciló en un intervalo entre 61.8 y 89.6 mg/L; En la figura 14 se observa que en mayo y junio la alcalinidad tuvo los valores mas altos, seguidos de una ligera disminución durante julio para después volverse a incrementar un poco en el resto de los meses.

La media fue de 75.01 mg/L. debida a la presencia de bicarbonatos de acuerdo a la relación de alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleína.

La dureza estuvo en un intervalo entre 26.4 y 46 mg/L. siendo los dos primeros meses los más bajos para la dureza.

La dureza del agua de este pozo presentó una media de 36.99 mg/L lo cual, de acuerdo a la tabla 2 nos indica que el agua del pozo es de tipo suave.

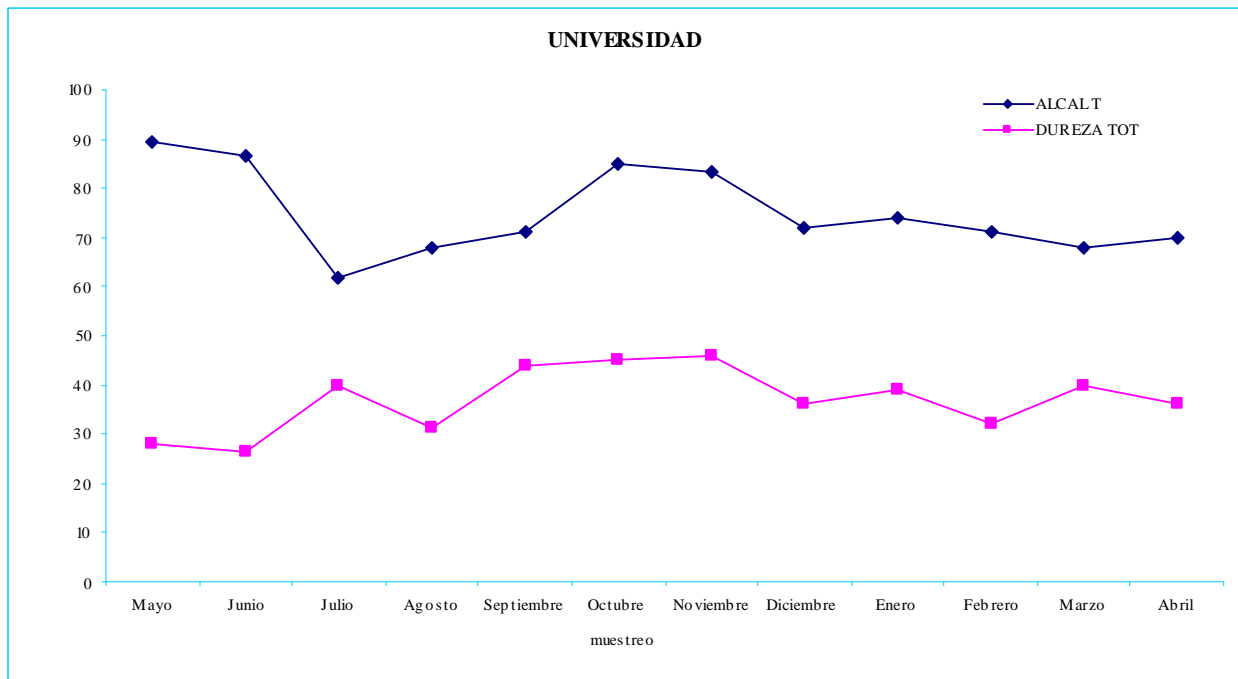


Figura 14. Comportamiento espacial de dureza total (mg/L) y alcalinidad total (mg/L), del pozo Universidad.

Con los datos de las medias de alcalinidad total (75.01 mg/L) y de dureza total (36.99 mg/L) se pudo calcular la dureza carbonatada o temporal de este pozo y su valor fue de 36.99 mg/L y la dureza no carbonatada fue de 39.02 mg/L respectivamente.

Los efectos de la dureza carbonatada y no carbonatada se explican en el rubro 8.1.1 del pozo Hotel del Prado.

#### d) Comportamiento temporal de los aniones cloruros y sulfatos.

Los sulfatos se mostraron mas o menos constantes a través del tiempo dentro del intervalo de 1.2 a 7.3 mg/L., presentándose el valor mas alto en octubre (Figura 15).





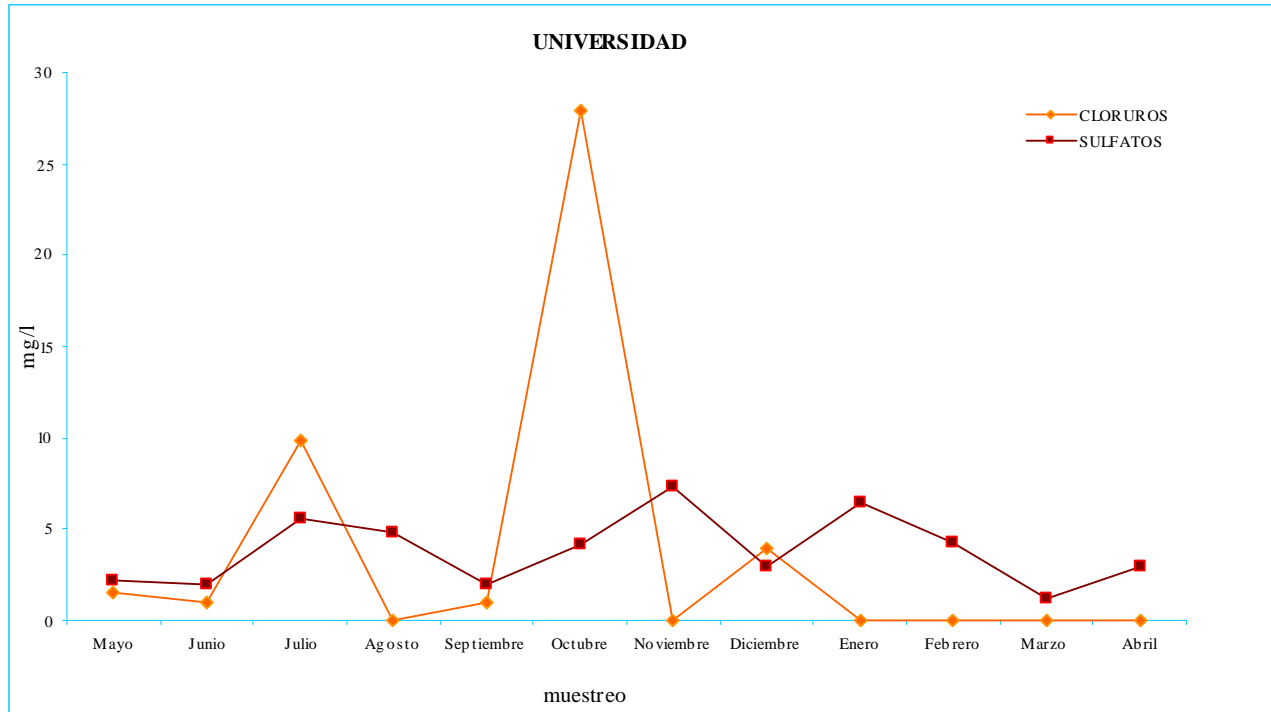


Figura 15. Comportamiento espacial de cloruros (mg/L) y sulfatos (mg/L), del pozo Universidad.

Los cloruros también presentaron variación y oscilaron entre 0 y 27.9 mg/L presentando el valor más alto en octubre (27.9mg/L).

**e) Variación temporal de los parámetros bacteriológicos.**

Bacteriológicamente se observa la presencia de coliformes totales a lo largo del estudio durante los meses de mayo, junio, julio, febrero y marzo. Mientras que los coliformes fecales se detectaron durante mayo, junio, febrero y marzo (Tabla 18).

Tabla 18. Coliformes totales y fecales a lo largo del tiempo del pozo: Universidad.

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL
C.T (ufc/100ml)	8	2	2	0	0	0	0	0	0	36	2	0
C.F (ufc/100ml)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	36	2	0

En tanto a la frecuencia los CT y CF estuvieron presentes en tres muestreos, donde fue mínima la contaminación y solo en uno fue un poco alta (Tabla 19). De tal manera que estos resultados nos



indican que en general el agua de esta zona es de muy buena calidad bacteriológica y que la contaminación aún no ha afectado de forma importante esta zona del acuífero.

Tabla 19. Frecuencia de CT y CF en el Pozo Universidad.

Coliformes totales		Coliformes fecales	
Valor	Frecuencia	Valor	Frecuencia
0	9	0	12
1	2		
3	1		

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

En comparación con las medias y los valores mínimo y máximo de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos a excepción del pH con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA.1994 tenemos que todos los parámetros fisicoquímicos se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles (Tabla 20).

Tabla 20. Comparación de las medias, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA, 1994.

PARÁMETRO	RESULTADOS DE LAS MUESTRAS mg/L		LÍMITE MÁX PERM. DE ACUERDO A LA NOM-127-SSA-1994 mg/L
Dureza total	Media	36.99	500
	Valor mín.	26.4	
	Valor máx.	46	
Sólidos disueltos	Media	110.8	1000
	Valor mín.	96	
	Valor máx.	124	
pH	Media	6.74	6.5 – 8.5
	Valor mín.	4.6	
	Valor máx.	7.68	
Nitratos	Media	0.7317	10
	Valor mín.	0.106	



	Valor máx.	1.5	
Nitrógeno amoniacal	Media	0	0.50
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0	
Nitritos	Media	0.005167	1.0
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0.036	
SAAM	Media	0	0.50
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0	
Turbiedad	Media	0.10833	5 UNT
	Valor mín.	0.05	
	Valor máx.	0.18	
Sulfatos	Media	3.827	400
	Valor mín.	1.2	
	Valor máx.	7.3	
Coliformes totales	Media	4.167	Ausencia o no detectables
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	36	
Coliformes fecales	Media	3.33	Ausencia o no detectables
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	36	

El valor mínimo de pH estuvo fuera de la norma, mientras que la mediana de las bacterias CT estuvo dentro de los límites, hubo algunos muestreos en los que se presentó un poco de contaminación quedando fuera de la norma en el caso de querer consumir esta agua directa sin pasar por dosificador de cloro.

Sin embargo en general tanto los parametros fisicoquímicos y los bacteriológicos (Tabla 20) presentan promedios muy por debajo de los límites establecidos, esto sugiere una calidad buena del agua en condiciones naturales, dado que las muestras se colectaron antes de la cloracion correspondiente del agua en cada sistema.



### g) Índice de calidad del agua (ICA).

El índice de calidad del agua en promedio es de 99 %, el cual de acuerdo a la tabla de usos del agua sugiere que el agua es adecuada para uso y consumo humano sin necesidad de purificación (Tabla 21).

Tabla 21. Resultados de los Índices de Calidad de Agua por cada muestreo.

<b>PERIODO</b>	<b>UNIVERSIDAD (%)</b>
Mayo	100
Junio	100
Julio	98
Agosto	99
Septiembre	100
Octubre	99
Noviembre	100
Diciembre	100
Enero	100
Febrero	100
Marzo	100
Abril	100
<b>MEDIA</b>	<b>99</b>

### 8. 1.4 MANANTIAL: TÚNEL

#### a) Variación temporal de los parámetros fisicoquímicos.

Los valores mínimos y máximos, las medias y desviaciones estándar por cada parámetro se presentan en la tabla 22. Las medias, valores mínimos y máximos para DBO<sub>5</sub>, detergentes y nitrógeno amoniacal, se encontraron por debajo del límite de detección del método. Los sólidos suspendidos y la DQO también presentaron en diversas ocasiones valores en el límite de sensibilidad del método y en otras los valores en general fueron muy bajos.





En este pozo los bajos valores encontrados por debajo de la sensibilidad del método para la DBO<sub>5</sub> y el nitrógeno amoniacal nos indican la ausencia de materia orgánica.

Tabla 22. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos del Pozo: Túnel

TUNEL	DBO <sub>5</sub>	DQO	O.D	pH	T°	Cond.	S. tot.	S. susp.	S. dis.	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>
<b>Medias</b>	2	5.05	4.67	6.49	17.167	147.58	118.3	1.33	117	1.672	0.001
<b>D. Std.</b>	0	2.47	1.57	0.38	0.717	17.64	13.51	2.30	12.43	0.708	0.002
<b>Valor mín.</b>	2	3.2	2.45	5.7	16	124.4	90	0	90	0.166	0
<b>Valor máx.</b>	2	12	6.8	7	18	177.5	140	8	132	2.68	0.005

Tabla 22. Media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos del Pozo: Túnel (Continuación).

TUNEL	Alc. T	Alc. F.	D. tot.	D. cal.	D. Mn	Cl <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	SAAM	Turbiedad	NH <sub>3</sub>
<b>Medias</b>	73.83	0	59.03	30.60	28.42	4.84	10.3	0	0.18	mld
<b>D. Std.</b>	13.17	0	12.16	3.06	11.01	1.42	4.29	0	0.05	mld
<b>Valor mín.</b>	55.62	0	41.17	27.5	13.17	2.9	5.33	0	0.11	mld
<b>Valor máx.</b>	92.7	0	77.2	35	43.6	6.9	16.9	0	0.3	mld

El contenido de sales representadas por la alcalinidad, durezas, sulfatos y cloruros en general se pueden considerar bajas obteniéndose un valor mínimo de sólidos disueltos de 90 y un máximo de 132 mg/L (Tabla 22).

### b) Comportamiento temporal del OD y temperatura

En la Figura 16, se puede observar que la concentración de oxígeno disuelto (OD) es baja durante los meses de septiembre, octubre y noviembre (2.47, 2.45, 22.86 mg/L OD respectivamente), incrementándose de diciembre a julio.

La temperatura oscilo entre 17°C y 20°C y presento los valores mas bajos de mayo a agosto, incrementándose un poco en septiembre, octubre y noviembre, volviendo a bajar un poco de diciembre a marzo e incrementándose ligeramente en abril.

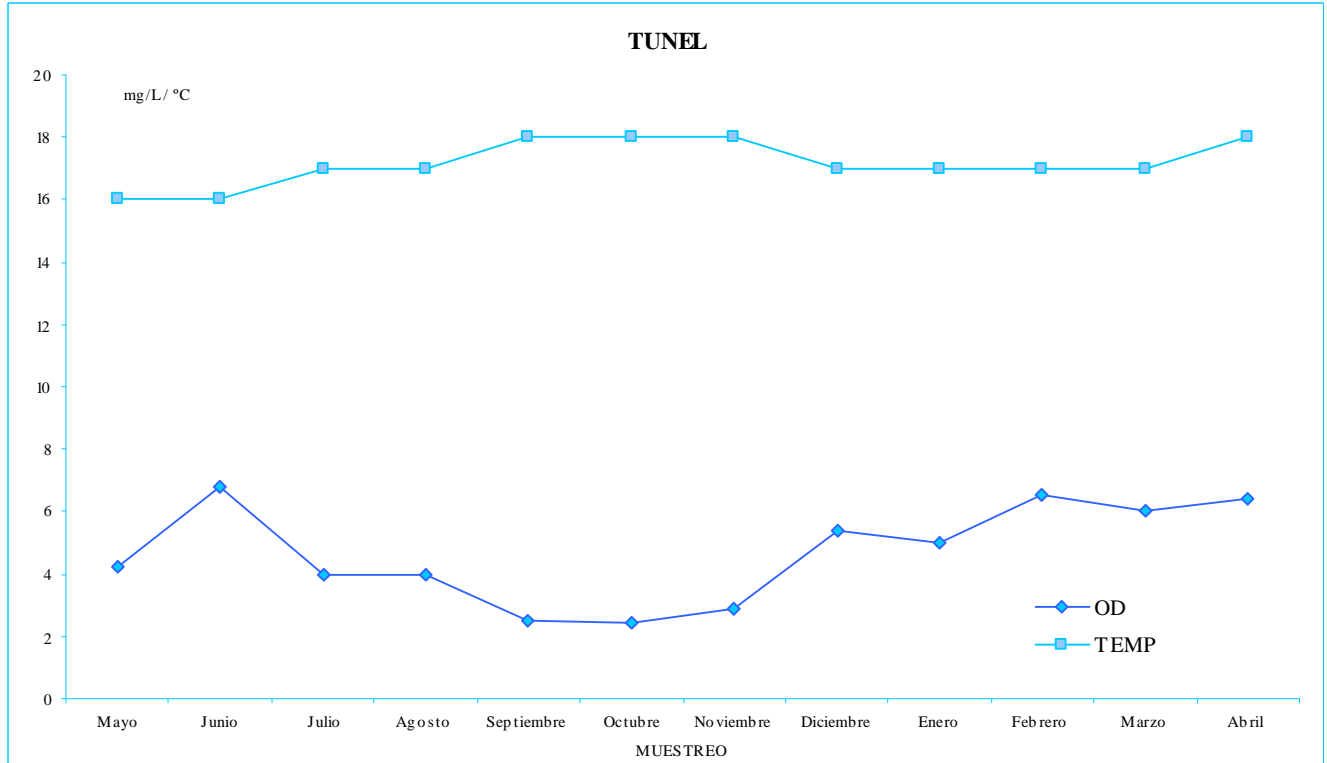


Figura 16. Comportamiento espacial de la Temperatura (°C) y Oxígeno Disuelto (mg/L), del pozo Túnel.

**c) Comportamiento temporal de la alcalinidad total y dureza total**

La dureza presentó variaciones considerables a lo largo de los muestreos fluctuando entre 41.17 y 77.2 mg/L presentando el valor más alto en enero y el más bajo en mayo (Figura 17).



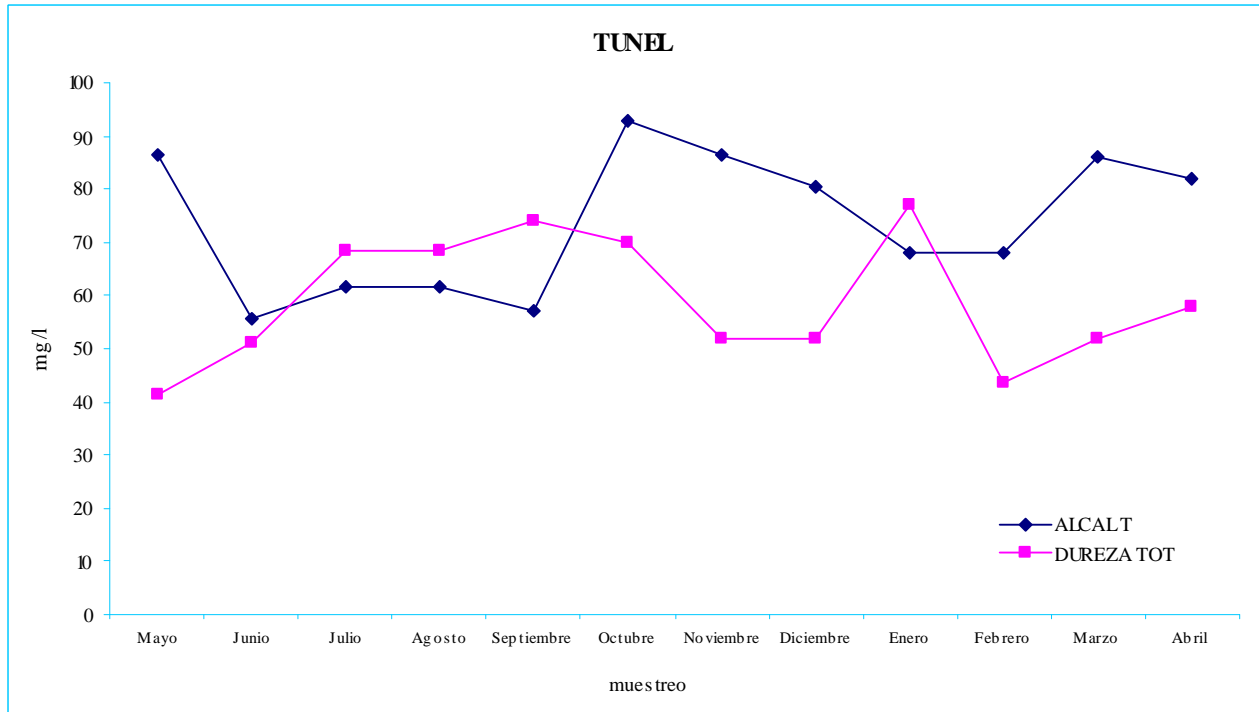


Figura 17. Comportamiento espacial de dureza total (mg/L) y alcalinidad total (mg/L), del pozo Túnel.

La dureza del agua de este pozo presentó una media de 59.03 mg/L lo cual, de acuerdo a la tabla 2 nos indica que el agua del pozo es de tipo suave.

Con los datos de alcalinidad y dureza se pudo observar que la dureza temporal o carbonatada de este pozo es de 59.03 mg/L y la no carbonatada es de 14.80 mg/L.

Los efectos de la dureza carbonatada y no carbonatada se explican en el rubro 8.1.1 del pozo Hotel del Prado.

La alcalinidad se mantuvo más o menos constante de enero a mayo y variable en el resto de los muestreos y los valores fluctuaron entre 55.6 y 92.7 mg/L presentando los valores más altos en octubre y mayo y el más bajo en junio y septiembre.





La media fue de 73.8 mg/L. y la alcalinidad que presentó este pozo fue debida a bicarbonatos de acuerdo a la relación de alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleína.

#### d) Comportamiento temporal de los aniones cloruros y sulfatos.

En el manantial a diferencia de los pozos se presentaron concentraciones de sulfatos y cloruros mayores a lo largo del estudio. Los cloruros mostraron valores que oscilaron entre 2.9 y 6.9 mg/L a través del tiempo mientras que los sulfatos presentaron valores altos durante los meses de julio, agosto y octubre (Figura 18).

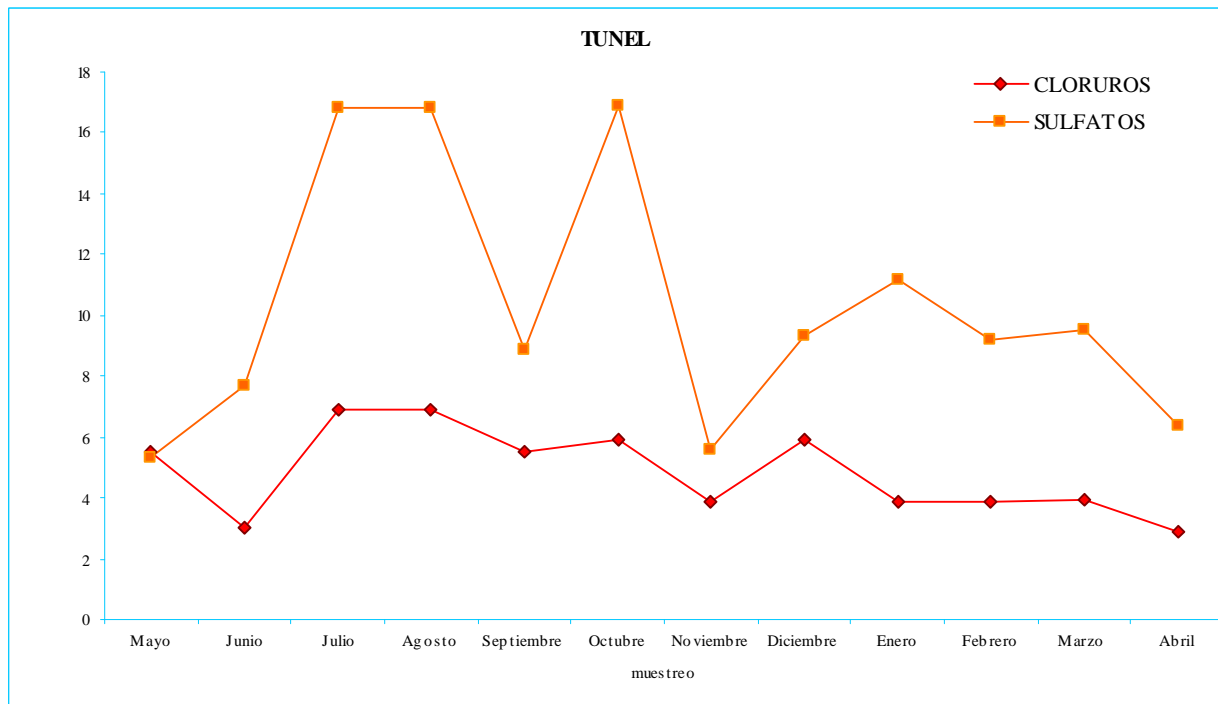


Figura 18. Comportamiento espacial de cloruros (mg/L) y sulfatos (mg/L), del pozo Túnel.

#### e) Variación temporal de los parámetros bacteriológicos.

De acuerdo a la Tabla 23, la incidencia más alta de coliformes totales y fecales se presento en el manantial El túnel, dado que en todos los muestreos se observan concentraciones significativas. Siendo muy altas durante el periodo de abril a septiembre. La presencia de coliformes totales y fecales a lo largo de todo el periodo de estudio indica una constante contaminación.





Tabla 23. Coliformes totales y fecales a lo largo del tiempo en el manantial: Túnel.

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL
<b>C.T (ufc/100ml)</b>	300	300	600	600	300	340	150	178	150	130	130	1600
<b>C.F (ufc/100ml)</b>	130	18	65	65	60	46	56	60	70	21	21	260

En la Figura 19 se puede observar que la ocurrencia de C.T. es muy evidente a lo largo del estudio, obteniéndose valores entre 130 a 178 ufc durante los meses de noviembre a marzo incrementándose a 600 ufc durante julio y agosto; observándose un incremento disparado en el último muestreo (1600 ufc).

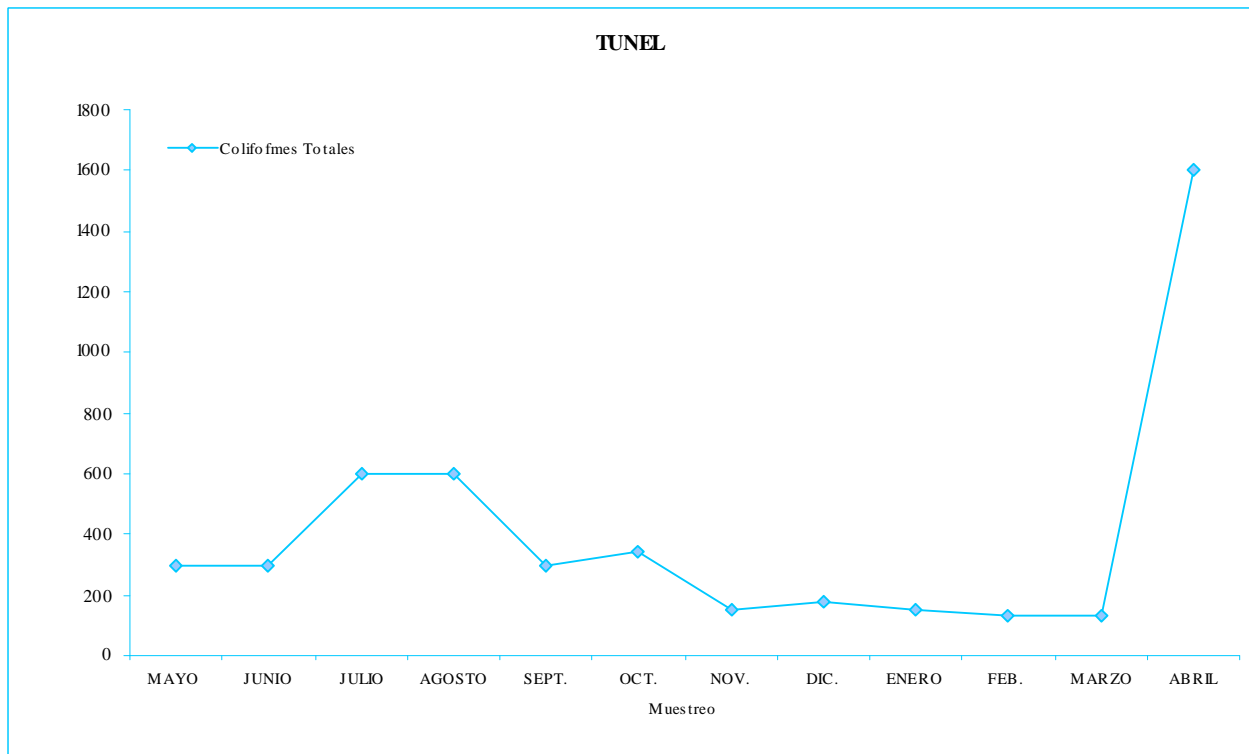


Figura 19. Variación temporal de coliformes totales: Túnel.

Por otro lado en la Figura 20 se puede observar que la ocurrencia de coliformes fecales también fue muy evidente a lo largo del estudio, obteniéndose valores entre 65-70ufc durante los meses de julio a enero; disminuyendo de 18-21ufc durante junio, febrero y marzo; observándose un incremento disparado en el último muestreo (260 ufc).



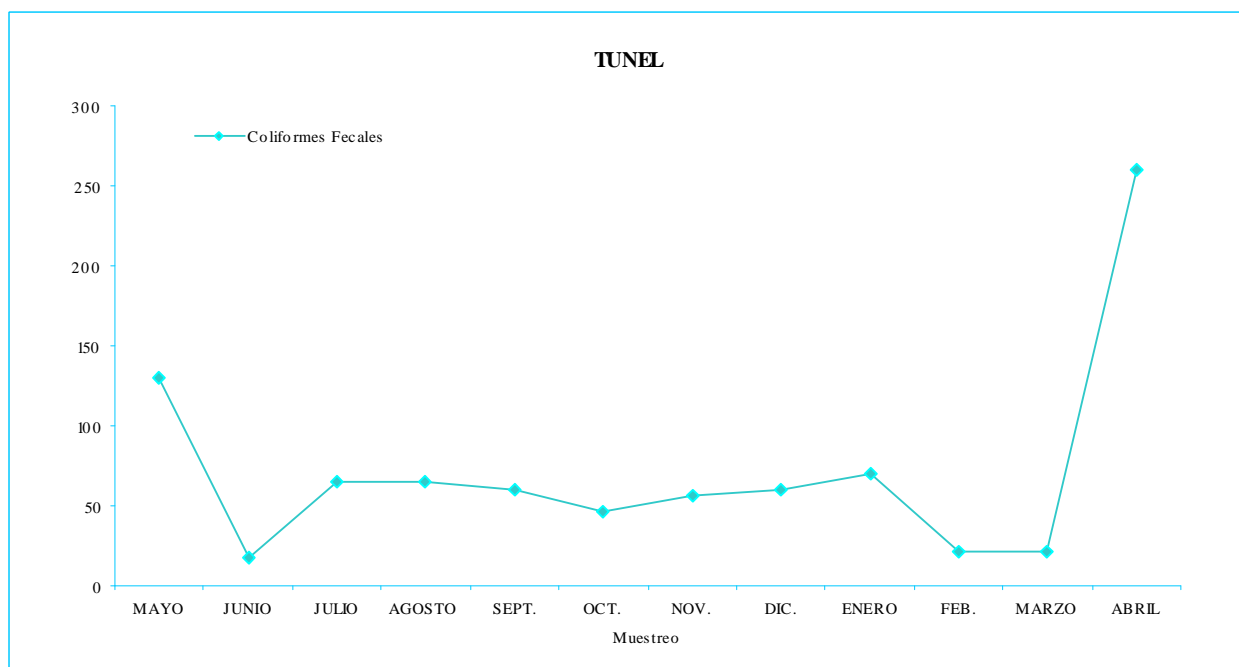


Figura 20. Variación temporal de coliformes fecales del pozo: Túnel.

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

Comparando las medias y los valores mínimo y máximo de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA.1994 tenemos que todos los parámetros fisicoquímicos a excepción del pH, se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles (Tabla 24).

Tabla 24. Comparación de las medias, valores mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con la NOM-127-SSA, 1994.

PARÁMETRO	RESULTADOS DE LAS MUESTRAS mg/L		LÍMITE MÁX PERM. DE ACUERDO A LA NOM-127-SSA-1994 mg/L
Dureza total	Media	59.03	500
	Valor mín.	41.17	
	Valor máx.	77.2	
Sólidos	Media	117	1000
	Valor mín.	90	



disueltos	Valor máx.	132	
pH	Media	6.49	6.5 – 8.5
	Valor mín.	5.7	
	Valor máx.	7	
Nitratos	Media	1.6727	10
	Valor mín.	0.166	
	Valor máx.	2.68	
Nitrógeno amoniacal	Media	0	0.50
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0	
Nitritos	Media	0.001	1.0
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0.005	
SAAM	Media	0	0.50
	Valor mín.	0	
	Valor máx.	0	
Turbiedad	Media	0.18667	5 UNT
	Valor mín.	0.11	
	Valor máx.	0.3	
Sulfatos	Media	10.3	400
	Valor mín.	5.33	
	Valor máx.	16.9	
Coliformes totales	Media	398.167	Ausencia o no detectables
	Valor mín.	130	
	Valor máx.	1600	
Coliformes fecales	Media	73	Ausencia o no detectables
	Valor mín.	18	
	Valor máx.	260	

La media del pH estuvo ligeramente fuera de la Norma, pero el valor mínimo también estuvo fuera de los límites.

Las bacterias tanto CT como CF estuvieron siempre fuera de la norma indicando con ello que el acuífero en esta zona está siendo más propenso a la contaminación. Esto concuerda ya que el Túnel por su ubicación está muy próximo a la exposición de los desechos domésticos que la gente arroja a las barrancas siendo muy probable la infiltración de esta contaminación llegando a afectar el agua del acuífero como se puede observar en estos resultados.



**g) Índice de calidad del agua (ICA).**

El índice de calidad del agua en promedio es de 79 %, el cual de acuerdo a la tabla de usos del agua sugiere que el agua tiene una mayor necesidad de tratamiento (Tabla 25).

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

<b>PERIODO</b>	<b>TÚNEL (%)</b>
Mayo	78.9
Junio	92.4
Julio	69.3
Agosto	71.5
Septiembre	75.5
Octubre	70.3
Noviembre	76.3
Diciembre	88.2
Enero	86.8
Febrero	82.2
Marzo	83.9
Abril	72.3
<b>MEDIA</b>	<b>79.0</b>





## 8.2 SEGUNDA PARTE: COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LOS POZOS Y EL MANANTIAL.

### 8.2.1 Concentración de sales disueltas.

Para evaluar el comportamiento estacional de las sales disueltas entre los 3 pozos y el manantial se graficaron los sólidos disueltos (Figura 21).

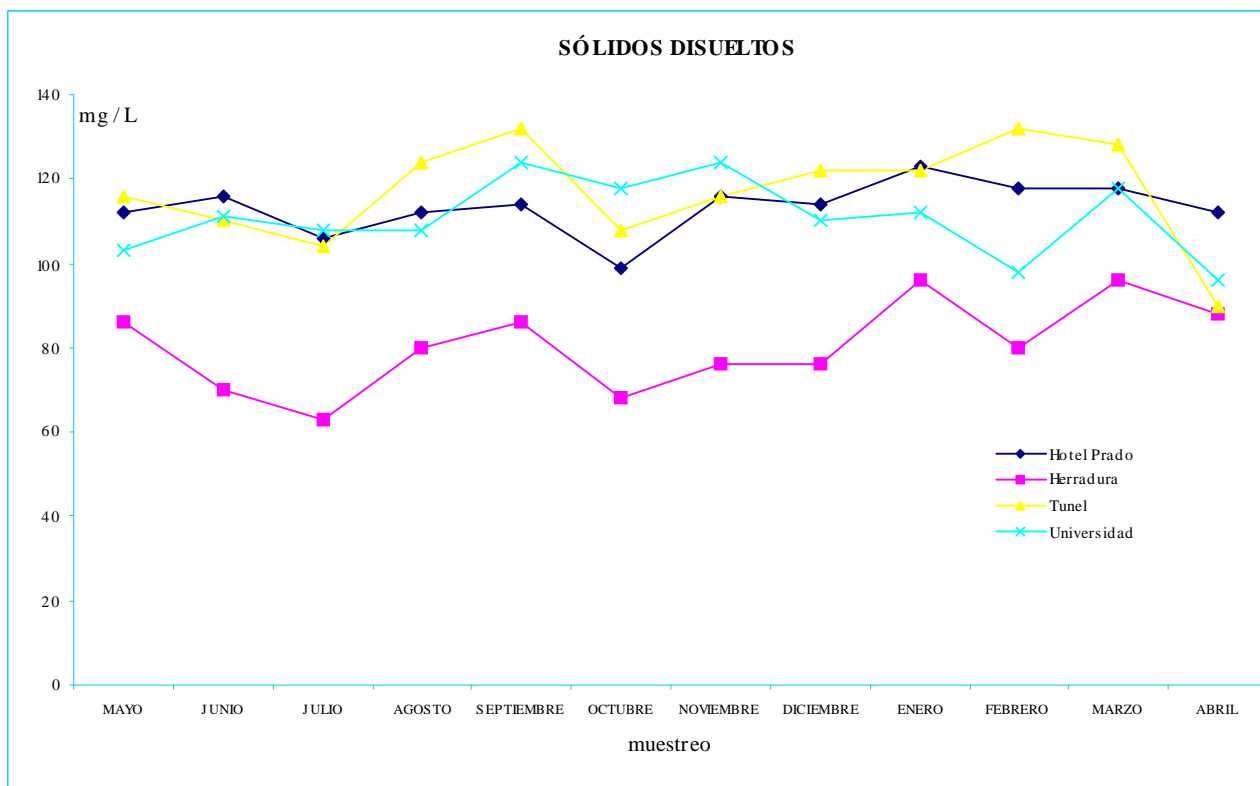


Figura 21. Comportamiento espacial de los sólidos disueltos (mg/L), en los pozos y el manantial.

En la gráfica se pudo apreciar que las concentraciones mas bajas de sales las presentó el pozo La Herradura, mientras que los otros 2 pozos y el manantial presentaron concentraciones mayores.

Los pozos y el manantial que fueron muestreados aunque se consideraron como la zona norte del Valle de Cuernavaca presentan diferentes altitudes. Así tenemos que Hotel Prado (1880 msnm) y Universidad (1850 msnm) presentan las mayores alturas seguido de la Herradura (1700 msnm) y el manantial el Túnel que prácticamente ya esta mas al centro de Cuernavaca (1560 msnm).



Esto es importante ya que dentro de este Valle el acuífero empieza en la zona norte que es la más alta y sigue su curso hacia las zonas más bajas y por consiguiente se van disolviendo las sales del suelo por donde va pasando; concentrándose cada vez mas el agua de sales minerales. Esto se corrobora con los resultados de los sólidos disueltos, los cuales engloban a todas las sales disueltas.

Aunque los pozos estudiados estuvieron dentro de la zona norte a excepción del manantial que se puede considerar más del centro, las concentraciones de sales en general fueron un poco bajas, siendo Herradura con menos cantidad de sales. Dichas concentraciones se pudieron apreciar un poco más elevadas en el Manantial el Túnel, lo cual concuerda con el curso del acuífero el cual inicia en las zonas un poco más altas con una cierta concentración y al llegar a la parte más del centro donde se encuentra el Tunel ya lleva un cierto incremento de sales

De acuerdo con los resultados obtenidos con la correlación hecha entre los tres pozos y el manantial, calculada mediante el Coeficiente de Correlación de Pearson para conocer si había alguna relación en el contenido de sales (Tabla 26), se observó una relación significativa entre el Hotel del Prado con Herradura (0.663), y Hotel del Prado con Túnel (0.491) incrementándose un poco en ellos el contenido de sales de enero a mayo y bajando ligeramente en los otros meses.

Tabla 26. Coeficientes de correlación entre los pozos y el manantial.

<b>Hotel vs Herradura</b>	<b>Hotel vs Tunel</b>	<b>Hotel vs Universidad</b>
0.663	0.491	-0.031
<b>Herradura vs Túnel</b>	<b>Herradura vs Universidad</b>	
0.353	-0.040	
<b>Túnel vs Universidad</b>		
0.346		

En general los resultados obtenidos de las concentraciones de los sólidos disueltos coinciden con los estudios reportados por la Comisión Nacional del Agua que reporta que las menores concentraciones se presentan en la porción Norte con contenidos de sólidos disueltos totales de 50 a 100 mg/L al Norte del Valle (CNA, 2002). Se ha reportado que los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras; observándose que las



aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior potabilidad y puede inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional (Jiménez 2001).

Para la agrupación y clasificación de las aguas subterráneas, se tienen clasificaciones simples, de uso práctico para el aprovechamiento domestico, municipal o industrial en base a los iones presentes: como lo son los bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio, y en menor proporción por el hierro, el aluminio y otros metales.

De acuerdo a la tabla 27, la media de las durezas en cada uno de los pozos y el manantial se encuentra por debajo de 60 mg/L, lo cual establece una clasificación de agua de tipo suave.

Tabla 27. Muestra la dureza de cada pozo.

<b>POZO</b>	<b>DUREZA mg /L</b>	<b>ALCALINIDAD TOTAL</b>
Hotel Prado	47.8	94.5
Herradura	37.9	65.3
Universidad	59.0	73.8
Túnel	19.9	75.0

Aunque no se conocen con exactitud los efectos de las aguas duras y blandas sobre el organismo de los consumidores; ciertos estudios epidemiológicos parecen apuntar que la incidencia de enfermedades cardiovasculares es mayor en las zonas de consumo de aguas blandas. Por otra parte, las aguas blandas facilitan la disolución de metales de cañerías provocando entre otras enfermedades, saturnismo (intoxicación por plomo) en aquellos abastecimientos en que aun conservan tuberías antiguas de plomo (Cortes, 2004).

### **8.2.2 Contaminación bacteriana**

Los resultados de coliformes totales y fecales, expresado en ufc/100ml, se presentan en a tabla 28 divididas en siete categorías. En la primera categoría se incluyo a aquellos pozos en los que no se detecto presencia de coliformes en los muestreos, siendo Hotel Prado, Herradura y Universidad en los que se presento en la mayoría de los muestreos ausencia de coliformes. En las siguientes categorías se observaron frecuencias de contaminación de los pozos de 1, 2, 3 y 7 en intervalos de



1 a10 y 11 a 99 ufc/100ml. A diferencia de los pozos el manantial el “Túnel” presento las frecuencias de contaminación bacteriana en las categorías mas altas; observándose frecuencias de contaminación en intervalos de 11-99 ufc/100ml en 10 muestreos, en intervalos de 100-500ufc/100ml en 13 muestreos y solo en un muestreo en un intervalo de 1001-5000 ufc/100ml con 1600 ufc/100ml.

Tabla 28. Muestra la frecuencia de contaminación bacteriana entre los pozos y el manantial.

Intervalo de ufc/100ml	Frecuencias			
	Hotel Prado	Herradura	Universidad	Manantial Túnel
0	21	21	15	0
1 a 10	3	2	7	0
11 a 99	0	1	2	10
100 a 500	0	0	0	13
501 a 1000	0	0	0	0
1001 a 5000	0	0	0	1
> 5000	0	0	0	0

Un estudio similar realizado en Uruguay en aguas subterráneas reporta una contaminación generalizada por CT en un 87% y menor, aunque también importante de CF en un 60%. Dividiendo en cuatro categorías la frecuencias de contaminación bacteriana. En la primera (categoría 1) se incluyo de igual forma aquellos pozos en los que no se detecto presencia de coliformes, en la segunda categoría a los que tuvieron un conteo hasta 50 CC (Colonias de Coliformes), en la tercera categoría a los pozos con conteo entre 51-200 CC, y en la 4ª categoría a aquellos con la mayor presencia de coliformes 201-1200 CC. Obteniendo que la mayoría de los pozos evaluados se ubican en las categorías 3y4 mas contaminadas en un 50% y 24% respectivamente (Perdomo, 2001).

Es importante aclarar que según los estudios bromatológicos, la sola presencia de estos microorganismos en el agua es un indicador cualitativo de contaminación, por lo que aun las aguas con niveles bajos de coliformes son consideradas contaminada. Dado que cuando aumenta





la presencia de coliformes en agua, aumenta la probabilidad de que esta contenga algún microorganismo patógeno. Al respecto conviene resaltar (de acuerdo a Richard *et al.* 1996, citado en Perdomo 2001), que la contaminación de un pozo no refleja necesariamente la contaminación de un acuífero, ya que los pozos pueden contaminarse fácilmente por aporte local si tienen un defecto de construcción.

### 8.2.3 Índice de Calidad del agua (ICA).

De acuerdo a la figura 22, los índices de calidad del agua (ICA) mas bajos a lo largo del estudio los presentó el manantial con los porcentajes mas bajos de calidad durante el periodo de agosto-noviembre. Mientras que los demás pozos mostraron porcentajes estables a lo largo del muestreo y en general de muy buena calidad.

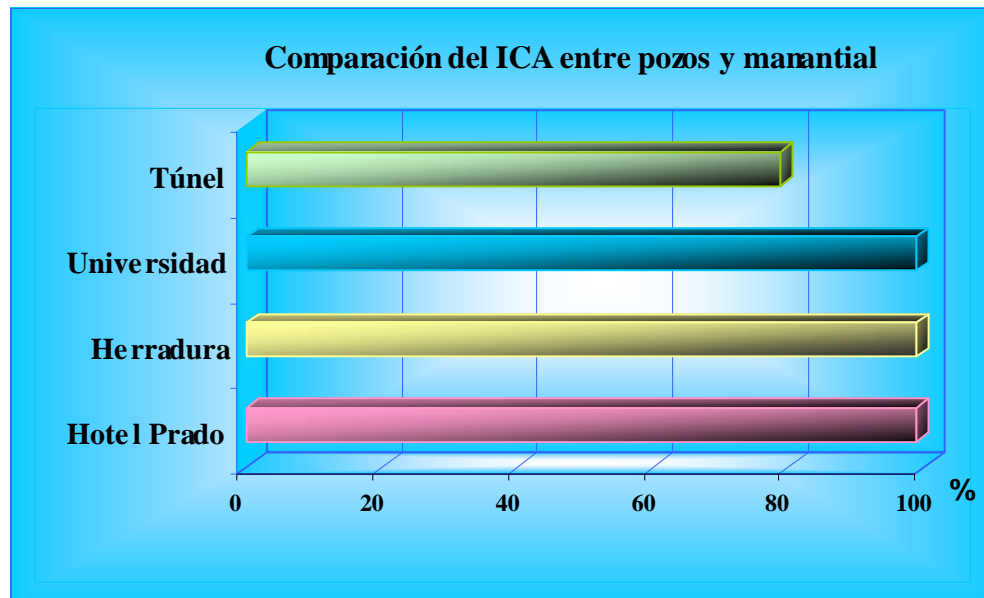


Figura 22. Índice de Calidad del Agua (ICA) por cada pozo a lo largo del muestreo.

Los valores de ICA obtenidos para el manantial “El Túnel” nos indican que el agua requiere una mayor necesidad de tratamiento para el abastecimiento público sin necesidad de purificar, siendo aceptable para el desarrollo de la vida acuática y para cualquier deporte acuático.



Mientras que en los pozos Hotel Prado, Herradura y Universidad los valores obtenidos muestran que el agua es de buena calidad para el abastecimiento público y es aceptable para cualquier deporte acuático y por consiguiente aceptable para la vida acuática.

#### 8.2.4 Comparación con la NOM-127-SSA.1994.

De acuerdo a la tabla 29 se puede observar que solo para el caso del manantial el Túnel los coliformes totales y fecales fueron los parámetros que se encontraron fuera de la NOM en todos los muestreos; y el pH se encontró por debajo del límite permisible de la NOM en 5 muestreos. Para los pozos hubo algunos parámetros que estuvieron fuera de la NOM: los coliformes totales se observaron fuera de la NOM en todos los pozos con una incidencia de 3-5 muestreos y para coliformes fecales solo el pozo Universidad se encontró fuera del límite permisible en 4 muestreos, el pH estuvo fuera de la NOM solamente en 2 ocasiones, una en la Herradura y otra en Universidad.

Tabla 29. Muestra los parámetros analizados que se encuentran fuera de la NOM-127-SSA.1994.

		Hotel Prado	Herradura	Universidad	Manantial Túnel
<b>Parámetros fuera de la NOM todos los muestreos.</b>	CT				12
	CF				12
<b>Parámetros fuera de la NOM en algunos muestreos</b>	CT	3	3	5	
	CF			4	





## 9. CONCLUSIONES

- ◆ El agua subterránea de los pozos de la Zona Norte del acuífero del Valle de Cuernavaca en general muestra buena calidad. Sin embargo resulta evidente el impacto de la actividad humana (antropogénica) en el manantial el “Túnel” dada principalmente por la descargas residuales domesticas y municipales a la barranca.
- ◆ En general los parámetros fisicoquímicos nos sugieren una calidad buena del agua del acuífero en condiciones naturales, sin embargo fue notorio la diferencia en el contenido de sales que presento el pozo La Herradura, con las concentraciones mas bajas con respecto a los demás. Esto es justificado por la ubicación que tiene este pozo, ubicado en una zona alta en el norte del Valle mientras que los otros se encuentran un poco mas abajo y por lo mismo ya han disuelto mas sales de las rocas por donde pasa el acuífero.
- ◆ Se estableció de acuerdo a las durezas en cada uno de los pozos y el manantial una clasificación de agua de tipo suave.
- ◆ De acuerdo al Índice de Calidad del Agua (ICA) los pozos Hotel Prado, Herradura y Universidad muestra que el agua es de buena calidad para el abastecimiento público y por consiguiente para cualquier otra actividad humana. Dichos porcentajes nos indican que el agua es aceptable para consumo humano previa cloración. Mientras que los valores de ICA obtenidos para el manantial el “Túnel” nos indican que el agua requiere una mayor necesidad de tratamiento para el abastecimiento público, siendo aceptable para el desarrollo de la vida acuática y para cualquier deporte acuático.
- ◆ En comparación con la normatividad, los parámetros evaluados con los establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, tenemos que los 3 pozos y el manantial se encuentran dentro de los límites permisibles para los parámetros fisicoquímicos. Bacteriológicamente Hotel Prado, Herradura y Universidad rebasaron ligeramente la norma en dos y cuatro muestreos respectivamente. Mientras que el manantial el “Túnel” excedió la norma en cuanto a su calidad bacteriológica ya que presenta una constante





carga de coliformes, lo cual nos indica que en esta zona el acuífero se ve afectado por las descargas domésticas, por su ubicación en una barranca.

**Este trabajo fue posible gracias al apoyo de:**

- ◆ **Subgerencia de Explotación y Monitoreo Geohidrológico**  
**Gerencia de Aguas Subterráneas**  
**Comisión Nacional del Agua (CNA)**
  
- ◆ **Subdirección de Aguas Subterráneas**  
**Dirección Técnica**  
**Dirección General del Organismo de la Cuenca del Río Balsas**  
**CNA Cuernavaca**





## 10. REFERENCIAS

- ◆ Alcocer, J., Lugo, A., Sánchez, M. y Escobar E. 1998. Contaminación del Agua Subterránea en la Península de Yucatán. *Imagen Veterinaria*.1: 41-50.
- ◆ Appelo, C. A. J. 1994. *Geochemistry Groundwater and pollution*. Balkema A. 2a. Edition printed in the Netherlands. 521 p.
- ◆ APHA-AWWA-WEF. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20<sup>a</sup> ed. USA.
- ◆ Atherholt, T., Feerst E., Hovendon B., Kwak, J. V. y Rosen J. D. 2003. Evaluation of indicators of fecal contamination in groundwater. *American Water Works Association*. 95 (10): 119-131.
- ◆ Ávila, G. P. 2003. *Agua, Medio Ambiente y Desarrollo en el siglo XXI. México desde una perspectiva Global y Regional*. Colegio de Michoacán. Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 19-20 p.
- ◆ Barrón, R. L. E. 2004. *Evaluación de la contaminación del agua subterránea basado en índices de calidad del agua: caso acuífero Pénjamo-Abasolo*. Tesis de Licenciatura. (Biología). Facultad de Ciencias. UNAM. México. 69 p.
- ◆ Batllori, G. A. 2001. *Los problemas ambientales del Estado de Morelos: La educación como parte de la solución*. *Gaceta Ecologica*. No. 061. Instituto Nacional de Ecologia. D.F. México. pp. 47-60.
- ◆ Bedient, B. P., Rifai, S. H. y Newell, J. Ch. 1999. *Ground water Contamination transport and Remediation*. 2<sup>a</sup> Edition. Prentice-Hall. PTR. México. S.A. 597 p.





- ◆ Caballero, A. D. 2006. La Calidad del Agua Subterránea en la Subcuenca del río Guanajuato. Tesis de Licenciatura (Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería. UNAM. México. 168 p.
  
- ◆ Campoy, O. E. 2001. Análisis microbiológico y fisicoquímico del acuífero del Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo, México. Tesis de Maestría. FES Cuautitlán. UNAM. México. 3 p.
  
- ◆ Castro, J. M. 2000. Análisis Fisicoquímicos y bacteriológicos de la calidad del agua del Ramal. 1991-1992. México. Tesis de Licenciatura (Biólogo). Facultad de Ciencias UNAM. México. 88 p.
  
- ◆ 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) 2002. Informe técnico “Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero de Cuernavaca, Morelos. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación Geohidrológica.
  
- ◆ Cortés, M. R. S. 2004. “Evaluación de la calidad bacteriológica y fisicoquímica de la Presa Valle de Bravo” Tesis de Licenciatura. FES Iztacala. UNAM. México.
  
- ◆ Davis, L. M., Masten, J. S. 2005. Ingeniería y Ciencias Ambientales. Mc Graw Hill. México. pp. 200-231.
  
- ◆ Fetter, C. W. 1999. Contamination Hidrogeology. 2a. edition. Prentice Hall. USA. 497 p.





- ◆ Gallegos, E., Warren, A., Robles, E., Campoy, E., Calderón, A., Sainz, Ma. G., Bonilla, P. y Escolero, O. 1999. The effects of wastewater irrigation on groundwater quality in Mexico. *Water Science. Technology.* 40 (2):45-52.
- ◆ Galindo, R. E., Del Pozo, G. M. 1998. La calidad de las aguas subterráneas de Ibiza y su problemática. Instituto Tecnológico Geomineo de España. Valencia Madrid. 7p.
- ◆ Govantes, M. G. 2007. Estudio fisicoquímico y bacteriológico de la Laguna Negra de Puerto Márquez. Tesis de Licenciatura. (Biología). FES- Iztacala.
- ◆ Jiménez, C. B. E. 2001. La Contaminación Ambiental en México causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C. Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA. México. 926 p.
- ◆ Leal, A. M. T., Gelover S. S. 2006. Evaluación de Acuíferos de la Mesa del Norte. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Jiutepec Morelos. 4 p.
- ◆ Legarreta, L. N. 1994. Contaminación del agua Subterránea. Tesis de Licenciatura. (Ingeniería Civil). Facultad de Ingeniería. UNAM. México. 195p.
- ◆ León, V. L. F. 2006. Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la cuenca Lerma–Chapala. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. 6 p.
- ◆ Martínez J., Ruano, P. 1998. Aguas Subterráneas. Captación y Aprovechamiento. PROGENSA (Promotora General de Estudios, S.A.). España. 401p.
- ◆ Mata, O. F. 2004. Fundamentos de Contaminación de Agua Subterránea. Tesis de Licenciatura (Ingeniero Civil). FES- Acatlán. UNAM. México. 321p.
- ◆ Maurits, R. J. W. 1989. Threats to the World's Water. *Scientific American.* 261 (3): 49-55.





- ◆ Mazari, M. H., Mackay, D. M. (1993). Potential for Groundwater Contamination in México City. *Environmental Science Technological*. **27**(5): 5.
- ◆ 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.
- ◆ Ordóñez S. J., Martín, M. M., Cumbreñas, F. y Díaz, A. 1998. Caracterización Química e Hidrogeológica de las aguas Subterráneas para abastecimientos Urbanos en la Sierra de Aracena, Huelva. Jornadas sobre la Contaminación de las aguas subterráneas. Oficina de Proyectos ITGE. Sevilla. España. 435-443p.
- ◆ Oscar, A., Escolero, F. 2006. La experiencia mexicana con grupos de usuarios de aguas subterráneas. *Internacional Symposium on Groundwater Sustainability (ISGWAS)*. Departamento de Geología Regional. Instituto de Geología. UNAM. México. pp. 53-160.
- ◆ Pacheco, J., y Cabrera, A. 1997. Groundwater contamination by nitrates in the Yucatán Peninsula, México. *En Hydrogeology Journal*. **5** (2): 9-18.
- ◆ Pacheco, Á. J. G. 2002. Contaminación del agua Subterránea por nitratos y bacterias: causas y significancia. Tesis de Doctorado. Instituto de Geofísica. UNAM. México. 137 p.
- ◆ Perdomo, C. H.; Casanova, O. N.; Ciganda V. S. 2001. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. *Agrociencia*. Uruguay. **5**(1): 10-22.







- ◆ Perevochtchikova, M., Carrillo, R. J., Godoy, A. A. 2006. Gestión Integral del agua en la cuenca de México: ¿Coincide la cuenca Superficial con la Subterránea? UNAM. México. 10 p.
- ◆ Price, M. 2003. Agua Subterránea. Editorial Limusa. México. D.F.
- ◆ Robles, V. E., Arreaga, G. M. E. y Castillo N. P. 2002. Contaminantes físicos y químicos del agua y sus efectos en el hombre y el medio ambiente. Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FES-I). UNAM. 120p.
- ◆ Romero, R. J. A. 1999. Calidad del agua. 2ª edición. Editorial Alfaomega. Escuela Colombiana de Ingeniería. 273p.
- ◆ S.A.R.H 1979. Índice de calidad del agua. Dirección General de Protección y Ordenamiento Ecológico. México. D.F. 40 p.
- ◆ Schwartz, F. W. & Zhang Hobao.2002. Fundamentals of Groundwater. Ed. John Wiley & Sons. Inc. USA. 577 p.
- ◆ Soto, G. E. 2000. Análisis Espacial de Fuentes de Contaminantes de Agua Subterránea en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Tesis de Maestría. (Ecología Básica) Unidad Académica de los ciclos Profesionales y Posgrado (C.C.H.).UNAM. 53p.
- ◆ Suárez, B. M. D. 1988. Calidad Fisicoquímica y Bacteriológica del agua subterránea del Valle de Cuernavaca, Morelos. México. Tesis de Licenciatura. (Ing. Geólogo). Facultad de Ingeniería. UNAM. 84p.
- ◆ Taylor, R. G.; Cronin, A. A., Lerner, D.N., Tellan, J.H., Rueedi, J. y Barrett, M.H. 2006. Hydrochemical evidence of the depth of penetration of anthropogenic recharge in sandstone aquifers underlying two mature cities in the U K. Applied Geochemistry. 21(9): 1570-1592.





- ◆ Tebbutt, T. H. Y. 1999. Fundamentos de Control de Calidad del Agua. Editorial Limusa. 6<sup>a</sup> Edición. Mexico. 223p.
- ◆ Torres, B. B. 1999. Uso de Indicadores Biológicos de Calidad del Agua Subterránea en una zona de la Ciudad de México. Tesis de Maestría (Ecología Básica) Unidad Académica de los ciclos Profesionales y Posgrado (C.C.H.).UNAM.
- ◆ Ward, D. A.; Timble W. S. 2004. Environmental Hydrology. 2<sup>a</sup> Edition. Lewis Publishers. USA. pp 4-7.

### REFERENCIAS EN INTERNET

- ◆ <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/276/barrancas.html>. 2006. Batllori, G. A. Evaluación ecológica y social de las barrancas de Cuernavaca, Morelos. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Av. Universidad s/n, Col. Chamilpa. C.P. 62210, Cuernavaca, Morelos. Correo electrónico: [batllori@servidor.unam.mx](mailto:batllori@servidor.unam.mx).
- ◆ <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/estudios/397/castillo.html>. 2005. Castillo, E. I. Problemas de Calidad del Agua en México. Periférico 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco, C.P. 04530, Delegación Coyoacán, México D.F.
- ◆ [http://www.medioambienteonline.com/site/root/resources/case\\_study/2076.html](http://www.medioambienteonline.com/site/root/resources/case_study/2076.html). Claret, M., Urrutia R., Ortega R., Abarzua M., Pérez C. y Palacios M. 2003. Estudio de la contaminación en agua de pozo destinada a consumo humano y su expresión espacial en el secano mediterráneo de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA); Centro EULA, Universidad de Concepción; Pontificia Universidad Católica de Chile. Proyecto “Conservación del Medio Ambiente y Desarrollo Rural Participativo del Secano Mediterráneo de Chile” (CADEPA), convenio INIA - JICA. Chile. 3p.





## 11. ANEXO

Muestreo	Pozo	DBO	DOO	OD	pH	T°	COND.	S.TOTSS.	SUSP	S. DIS.	NH <sub>3</sub>	NH <sub>2</sub>	ALCAL TOTAL	ALCAL FEN.	DUREZA TOTAL	D. CALCIO	D. MAGNES	Cl <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	SAAM	TURBIEDAD	NH <sub>3</sub>	C. T	C.F
		mg/L	mg/L	mg/L		°C	µmhos/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µfc/100ml	µfc/100m	
Mayo	H Prado	2	5	5	6,8	20	135	112	0	112	0,317	0	92,7	0	28,43	15	13,43	2	2,05	0	0,11	0	0	0
Junio	H Prado	2	5	5	7	18	133	116	0	116	0,058	0	111,24	0	35,29	21	15,29	1	3,7	0	0,14	0	0	0
Julio	H Prado	2	4	4	6,7	18	133	110	4	106	0,8	0	83,4	0	45,09	23,5	21,59	4	4,7	0	0,19	0	3	0
Agosto	H Prado	2	4	4	6,7	18	135	112	0	112	0,878	0	74,2	0	47,1	15,7	31,4	1	5,5	0	0,46	0	1	0
Septiembre	H Prado	2	4	2	7,2	20	138	114	0	114	0,262	0,004	107	0	57	28	29	1	2	0	0,32	0	0	0
Oct	H Prado	2	4	2	7	19	127	99	0	99	0,542	0,002	100,3	0	55	37,5	17,5	2	18,7	0	0,12	0	1	0
Nov.	H Prado	2	6	3	6,7	19	135	116	0	116	0,287	0	97,3	0	56	28	28	1	7	0	0,16	0	0	0
Dic	H Prado	2	6	4	7,2	18	138	116	2	114	0,256	0,005	117	0	44	20	24	4	2	0	0,08	0	0	0
Ene	H Prado	2	6	5	6,8	18	139	123	0	123	0,389	0,004	89,5	0	51,3	35,6	15,7	4	6,5	0	0,09	0	0	0
Feb	H Prado	2	6	7	6,8	19	132	118	0	118	0,371	0	86,5	0	47,5	27,7	19,8	2	3,9	0	0,08	0	0	0
Mar	H Prado	2	6	6	6,7	18	130	118	0	118	0,501	0	89	0	52	24	28	2	5,35	0	0,18	0	0	0
Abril	H Prado	2	5	5	6,5	19	125	112	0	112	0,631	0	87	0	56	20	36	1	2,92	0	0,07	0	0	0
	Medias	2	5	5	6,8	19	133	113,8	0,5	113,3	0,441	0,00125	94,595	0	47,893	24,66667	23,309167	2	5,36	0	0,166667	0	0	0
	D. Std.	0	1	1	0,2	1	4,33	5,859	1,2432	6,155	0,239204	0,00196	12,4248	0	8,8153	7,060174	7,2124267	1	4,54049	0	0,11547	0	1	0
	Valor -	2	4	2	6,5	18	125	99	0	99	0,058	0	74,2	0	28,43	15	13,43	1	2	0	0,07	0	0	0
	Valor +	2	6	7	7,2	20	139	123	4	123	0,878	0,005	117	0	57	37,5	36	4	18,7	0	0,46	0	3	0

Tabla 30. Pozo Hotel Prado.





Muestreo	Pozo	DBO	DBO	OD	pH	T°	COND.	SOL.TOTS.	SOL. SUSP.	SOL DIS.	NH <sub>3</sub>	NH <sub>2</sub>	ALCAL. TOTAL	ALCAL FEN.	DUREZA TOTAL	D. CALCIO	D. MAGNES	Cl <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	SAAM	TURBIDAD	NH <sub>3</sub>	C. T	C. F	
		mg/L	mg/L	mg/L		°C	µmhos/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UTN	mg/L	µfc/100ml	µfc/100m
Mayo	Herradura	2	5	6	7	17	99	86	0	86	0.837	0.002	61	0	26	18	8	1	2.9	0	0.07	0	1	0	
Junio	Herradura	2	10	5	7	17	88.8	70	0	70	0.144	0	61.8	0	23.53	16.3	7.23	1	4.1	0	0.1	0	1	0	
Julio	Herradura	2	5	5	7	19	88	67	4	63	1.09	0	55.6	0	31.4	17.8	13.6	4	8.8	0	0.35	0	0	0	
Agosto	Herradura	2	4	4	8	19	100	80	0	80	0.904	0	61.8	0	35.2	11.8	23.4	0	5.4	0	0.13	0	0	0	
Septiembre	Herradura	2	4	3	7	20	110	86	0	86	0.497	0.004	70	0	51	24	27	1	0	0	0.3	0	31	0	
Oct.	Herradura	2	3	3	7	19	99	68	0	68	0.581	0.002	69.5	0	55	20	35	0	7.21	0	0.07	0	0	0	
Nov.	Herradura	2	4	2	7	19	100	76	0	76	0.501	0	71	0	44	22	22	0	0	0	0.12	0	0	0	
Dic.	Herradura	2	3	6	5	18	100	86	10	76	0.736	0.004	76	0	40	16	24	1	0	0	0.07	0	0	0	
Ene	Herradura	2	3	6	7	18	110	96	0	96	0.749	0.004	61.7	0	43.5	15.8	27.7	6	7	0	0.09	0	0	0	
Feb	Herradura	2	4	5	7	19	95	80	0	80	0.671	0	64.8	0	31.6	15.8	15.8	2	4.8	0	0.17	0	0	0	
Mar	Herradura	2	4	6	7	19	112	96	0	96	0.845	0.001	63.5	0	40	16	24	0	4.92	0	0.11	0	0	0	
Abril	Herradura	2	4	6	7	19	110	88	0	88	1.02	0	68	0	34	18	16	2	3.7	0	0.09	0	0	0	
	Medias	2	4	5	7	19	101	81.58	1.167	80.42	0.7146	0.0014	65.39	0	37.936	17.625	20.3108	2	4.06917	0	0.13917	0	3	0	
	D. Stand.	0	2	1	1	1	8.14	9.922	3.01	10.49	0.2597	0.0017	5.62	0	9.5057	3.2102	8.31955	2	2.93944	0	0.09209	0	9	0	
	Valor -	2	3	2	5	17	88	67	0	63	0.144	0	55.6	0	23.53	11.8	7.23	0	0	0	0.07	0	0	0	
	Valor +	2	10	6	8	20	112	96	10	96	1.09	0.004	76	0	55	24	35	6	8.8	0	0.35	0	31	0	

Tabla 31. Pozo Herradura.





Muestreo	Pozo	DBO	DBO <sub>5</sub>	OD	pH	T°	COND.	SOL. TOT.	SOL. SUSP.	SOL. DIS.	NH <sub>3</sub>	NH <sub>2</sub>	ALCAL. TOTAL	ALCAL. FEN.	DUREZA TOTAL	D. CALCIO	D. MAGNES	Cl <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	SAAMI	TURBIEDAD	NH <sub>3</sub>	C. T	C. F
		mg/L	mg/L	mg/L		°C	µmhos/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UTN	mg/L	ufc/100ml	ufc/100m
Mayo	Universidad	2	3	7	7	17	130	104	1	103	0.576	0	89.61	0	28.1	18	10.1	1	2.17	0	0.11	0	8	1
Junio	Universidad	2	3	8	7	17	133	113	2	111	0.106	0	86.52	0	26.4	21	5.4	1	2	0	0.08	0	2	1
Julio	Universidad	2	4	7	7	17	132	108	0	108	0.97	0	61.8	0	40	19.6	20.4	10	5.6	0	0.05	0	2	0
Agosto	Universidad	2	4	4	8	17	132	108	0	108	0.844	0	67.9	0	31.4	11.8	19.6	0	4.8	0	0.06	0	0	0
Septiembre	Universidad	2	4	2	7	18	145	124	0	124	0.679	0.004	71	0	44	28	16	1	2	0	0.11	0	0	0
Oct	Universidad	2	4	6	5	19	140	118	0	118	1.5	0.036	84.9	0	45	18	27	28	4.13	0	0.17	0	0	0
Nov.	Universidad	2	4	5	7	19	143	124	0	124	0.414	0	83.4	0	46	20	26	0	7.3	0	0.18	0	0	0
Dic	Universidad	2	3	8	7	18	130	112	2	110	0.675	0.006	72	0	36	16	20	4	3	0	0.09	0	0	0
Ene	Universidad	2	3	6	7	20	130	112	0	112	0.661	0.016	74.1	0	39	23.7	15.3	0	6.5	0	0.09	0	0	0
Feb	Universidad	2	3	5	7	19	125	98	0	98	0.625	0	71	0	32	15.8	16.2	0	4.3	0	0.12	0	36	36
Mar	Universidad	2	4	7	7	18	137	118	0	118	0.785	0	68	0	40	28	12	0	1.2	0	0.16	0	2	2
Abril	Universidad	2	3	6	7	19	120	96	0	96	0.945	0	70	0	36	20	16	0	2.92	0	0.08	0	0	0
	Medias	2	3	6	7	18	133	111.3	0.417	110.8	0.7317	0.0052	75.02	0	36.992	19.992	17	4	3.82667	0	0.10833	0	4	3
	D. Stand.	0	0	2	1	1	7.2	9.057	0.793	9.114	0.3367	0.0108	8.817	0	6.5082	4.7838	6.18664	8	1.94099	0	0.04239	0	10	10
	Valor -	2	3	2	5	17	120	96	0	96	0.106	0	61.8	0	26.4	11.8	5.4	0	1.2	0	0.05	0	0	0
	Valor +	2	4	8	8	20	145	124	2	124	1.5	0.036	89.61	0	46	28	27	28	7.3	0	0.18	0	36	36

Tabla 32. Pozo Universidad.





Muestreo	Manantial	DBOD	DO	OD	pH	T°	COND.	SOL.TOT.	SOL. SUSP.	SOL. DIS.	NH <sub>3</sub>	NH <sub>2</sub>	ALCAL. TOTAL	ALCAL. FEN.	DUREZA TOTAL	D. CALCIO	D. MAGNES	Cl <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	SAM	TURBIEDAD	NH <sub>3</sub>	C. T	C.F	
		mg/L	mg/L	mg/L		°C	µmhos/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UTN	mg/L	ufc/100ml	ufc/100m
Mayo	Túnel	2	12	4	6	16	162	118	2	116	1.654	0.0015	86.52	0	41.17	28	13.17	5	5.33	0	0.22	0	300	130	
Junio	Túnel	2	7	7	7	16	146	112	2	110	1.488	0	55.62	0	51.3	32	19.3	3	7.7	0	0.17	0	300	18	
Julio	Túnel	2	5	4	6	17	178	104	0	104	2.68	0	61.8	0	68.6	27.5	41.1	7	16.8	0	0.14	0	600	65	
Agosto	Túnel	2	6	4	6	17	178	124	0	124	2.68	0	61.8	0	68.6	27.5	41.1	7	16.8	0	0.14	0	600	65	
Sept.	Túnel	2	5	2	7	18	152	140	8	132	1.77	0.005	57	0	74	34	40	6	8.9	0	0.25	0	300	60	
Oct	Túnel	2	4	2	7	18	145	108	0	108	2.4		92.7	0	70	35	35	6	16.9	0	0.11	0	340	46	
Nov.	Túnel	2	4	3	6	18	145	116	0	116	0.166	0	86.5	0	52	28	24	4	5.6	0	0.15	0	150	56	
Dic	Túnel	2	3	5	7	17	149	124	2	122	1.02	0.004	80.3	0	52	32	20	6	9.3	0	0.19	0	178	60	
Ene	Túnel	2	4	5	7	17	124	124	2	122	1.294	0.004	67.9	0	77.2	33.6	43.6	4	11.2	0	0.19	0	150	70	
Feb	Túnel	2	4	7	7	17	128	132	0	132	1.44	0	67.9	0	43.5	27.7	15.8	4	9.2	0	0.2	0	130	21	
Mar	Túnel	2	4	6	7	17	131	128	0	128	1.64	0	86	0	52	28	24	4	9.5	0	0.3	0	130	21	
Abril	Túnel	2	4	6	6	18	133	90	0	90	1.84	0	82	0	58	34	24	3	6.35	0	0.18	0	1600	260	
	Medias	2	5	5	6	17	148	118.3	1.333	117	1.6727	0.0013	73.84	0	59.031	30.608	28.4225	5	10.2983	0	0.18667	0	398	73	
	D. Stand.	0	2	2	0	1	17.6	13.51	2.309	12.43	0.7087	0.002	13.17	0	12.162	3.0646	11.012	1	4.29411	0	0.05228	0	413	66	
	Valor -	2	3	2	6	16	124	90	0	90	0.166	0	55.62	0	41.17	27.5	13.17	3	5.33	0	0.11	0	130	18	
	Valor +	2	12	7	7	18	178	140	8	132	2.68	0.005	92.7	0	77.2	35	43.6	7	16.9	0	0.3	0	1600	260	

Tabla 33. Manantial "El Túnel".

