

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**CALIDAD DE AGUA DE POZOS PARA CONSUMO HUMANO DEL MUNICIPIO  
NADADORES, COAH.**

Por:

**ISIDRO SANTIAGO JUAN**

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2013.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

CALIDAD DE AGUA DE POZOS PARA CONSUMO HUMANO DEL MUNICIPIO  
NADADORES, COAH.

Presentado por:

Isidro Santiago Juan

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

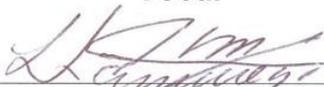
Aprobada

Presidente del Jurado



Dra. Manuela Bolívar Duarte

Vocal



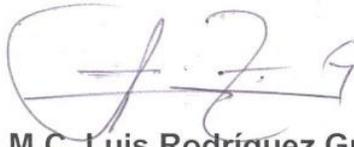
Dr. Luis Samaniego Moreno

Vocal



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Coordinador de la División de Ingeniería



Coordinación de  
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre 2013.

## **AGRADECIMIENTOS**

“La gota abre la piedra, no por su fuerza sino por su constancia.”  
(Ovidio)

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica.  
Esa fuerza es la voluntad."  
(Albert Einstein)

Estas frases son parte de lo que al final nos enseña el camino de esta etapa de mi vida, ya que no fue fácil; vale la pena recorrerlo. Pero en este camino no estuve solo, estuve apoyado en mucha gente que creyó en mí y en mí mismo. Quiero agradecer.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en especial al Departamento de Riego y Drenaje por haberme recibido en su seno y haberme formado a nivel licenciatura. ALMA TERRA MATER.

A la Dra. Manuela Bolívar Duarte, asesor principal por su valiosa contribución y apoyo y por la confianza que depositó en mí para la realización del presente trabajo.

Al Dr. Luis Samaniego Moreno y al Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho, por todo su apoyo y el tiempo dedicado a la revisión de trabajo.

A la Q.F.B. Ana Paola Moreno Garza por su apoyo con los análisis de laboratorio. Por ser una parte fundamental en este trabajo. Gracias por su paciencia.

Al Ing. Rolando Sandino Salazar por su apoyo, confianza y motivación. Gracias por su amistad.

Como olvidar a mis amigos: Eloy (Capitán), Gilberto (Borrego), Salatiel (Sala) y Miguel (Migue) por los mementos compartidos y apoyos recibidos. Hago un agradecimiento especial a Eloy que más que un amigo es un hermano.

**A todos... ¡Muchas gracias!**

## DEDICATORIAS

A **Dios**. Por ser el amigo que nunca falla, por haber sido mi luz y mi fortaleza para seguir siempre adelante, fue quien me iluminó por el sendero del bien, cuidando cada uno de mis pasos, me fortaleció con su fe para superar cualquier tropiezo.

A mi madre, **JUANA**. Por ser una amiga, mi confidente. Por todos los sabios consejos. Por ser luchadora incansable e incomparable, por ser mi fuente de fuerzas, cariño y consejos que me han conducido por el camino de la vida.

A mi padre, **JOSÉ**. Por sembrar en mi la semilla de la perseverancia, del amor y del respeto. Ser luchador incansable y ejemplar, porque nunca nos ha faltado nada pese a nuestros tiempos difíciles. Fuente de inspiración, carácter, perseverancia y experiencia.

A mi hermano el **M.C. ANTONINO**. Por ser mi hermano, mi amigo, por brindarme su cariño, ser fuente de inspiración y gracias a él he aprendido mucho. **Gracias hermano.**

A mis hermanos: **RUBEN, SANDY, JUANA, JOSÉ, CARMEN, MARGARITA**. Por demostrarme su cariño, por sus abrazos, por su respaldo, sus consejos, por consolarme, por sus regaños y por compartir conmigo estos momentos. Porque también son mis amigos y me escuchan, por su apoyo, respeto, porque son maravillosos y sólo con verlos sonreír me sacan una sonrisa. Gracias a ustedes he cumplido mis sueños. Los **adoro**.

Dedicado esta tesis al preciado recurso natural de todos los seres vivos de este planeta, el agua.

Razones hay de sobra para celebrar el 2014.

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	III
<b>DEDICATORIAS</b> .....	IV
<b>ÍNDICE</b> .....	V
<b>ÍNDICE CUADROS</b> .....	VIII
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	X
<b>RESUMEN</b> .....	XI
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Objetivos.....	1
1.2. Hipótesis.....	1
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	2
2.1. El Agua.....	2
2.2. Importancia del Agua.....	2
2.3. Situación Actual del Agua en el Mundo.....	2
2.4. El Agua en México.....	3
2.4.1. Disponibilidad del Agua en México.....	4
2.4.2. Cobertura de Agua Potable y Suministro de Agua.....	5
2.4.3. Calidad del Agua: Materia Orgánica y Coliformes Fecales.....	5
2.4.4. Calidad del Agua: Nitrato y Fosfato.....	7
2.4.5. Precipitación Pluvial.....	7
2.4.6. Balance Global del Agua en México.....	8
2.4.7. Sobreexplotación de Acuíferos.....	9
2.4.8. Red de Monitoreo de Calidad de Agua.....	9
2.5. El Agua en Coahuila.....	10
2.5.1. Precipitación.....	10
2.5.2. Fuentes de Contaminación del Agua.....	11
2.6. Beneficio de la Calidad del Agua para las Familias.....	12
2.7. Calidad del Agua.....	12
2.8. Parámetros sobre la Calidad del Agua.....	12

2.9. Indicadores de Calidad del Agua .....	15
2.9.1. Potencial de Hidrógeno (pH) .....	15
2.9.2. Sólidos Totales (ST).....	16
2.9.3. Turbiedad.....	16
2.9.4. Conductividad Eléctica (CE) .....	16
2.9.5. Sodio (Na+) .....	16
2.9.6. Calcio (Ca <sup>2+</sup> ) y Magnesio (Mg <sup>2+</sup> ) .....	17
2.9.7. Carbonato (CO <sub>3</sub> ).....	17
2.9.8. Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	18
2.9.9. Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) .....	18
2.9.10. Cloruros (Cl).....	18
2.9.11. Dureza.....	19
2.9.12. Coliformes Totales (CT) .....	20
2.9.13 Coliformes Fecales (CF) .....	20
<b>III. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>21</b>
3.1. Localización de las Áreas de Estudio.....	21
3.2. Localización de Nadadores, Coah.....	21
3.2.1. Ubicación Geográfica.....	21
3.2.2. Fisiografía .....	22
3.2.3. Clima .....	22
3.2.4. Geología .....	22
3.2.5. Edafología.....	22
3.2.6. Hidrografía.....	22
3.2.6. Uso del Suelo y Vegetación.....	23
3.2.7. Uso Potencial de la Tierra.....	23
3.3. Procedimiento para la Toma de Muestras.....	23
3.4. Parámetros y Métodos Empleados.....	24
3.5. Métodos de Prueba de Laboratorio .....	25
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
4.1. Determinación del pH.....	27
4.2. Determinación de Sólidos Totales .....	28
4.3. Determinación de Turbiedad.....	29

4.4. Conductividad Eléctrica .....	30
4.5. Determinación de Dureza Total.....	31
4.6. Cationes .....	32
4.6.1. Determinación de Sodio .....	32
4.6.2. Determinación de Calcio .....	33
4.6.3. Determinación de Magnesio .....	34
4.7. Aniones.....	35
4.7.1. Determinación de Carbonatos.....	35
4.7.2. Determinación de Sulfatos .....	36
4.7.3. Determinación de Bicarbonatos .....	37
4.7.4. Determinación de Cloruros .....	38
4.8. Análisis Bacteriológico .....	39
4.8.1. Determinación de Coliformes Totales .....	39
4.8.2. Determinación de Coliformes Fecales .....	39
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>41</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Distribución del Agua en Base a su Consumo.....	2
Cuadro 2. Características Bacteriológicas.....	13
Cuadro 3. Características Físicas y Organolépticas.....	13
Cuadro 4. Características Químicas.....	14
Cuadro 5. Características Radiactivas.....	15
Cuadro 6. Clasificación de los Cuerpos de Agua Según su Dureza en $\text{mg.l}^{-1}$ .....	19
Cuadro 7: Coordenadas (UTM) y Altitud de los Pozos Muestreados.....	24
Cuadro 8. Parámetros y Métodos.....	25
Cuadro 9. Métodos para los Análisis Físicos Químicos y Bacteriológicos de los Parámetro Indicadores de Calidad del Agua.....	25
Cuadro 10. Límites Permisibles de Calidad de Aguas Comisión Guatemalteca de Normas (1985).....	26
Cuadro 11. Comparación de los resultados de pH con respecto a la NOM-127- SSA1-1994.....	27
Cuadro 12. Comparación de Sólidos Totales con respecto a la NOM-127- SSA-1994.....	28
Cuadro 13. Comparación de Turbiedad con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.....	29
Cuadro 14. Comparación de la Conductividad Eléctrica con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.....	30
Cuadro 15. Comparación de Dureza Total con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.....	31
Cuadro 16. Comparación de Sodio con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.....	32
Cuadro 17. Comparación de Calcio con respecto a la Comisión Guatemalteca de Normas (1985).....	33
Cuadro 18. Comparación de Magnesio con respecto a la Comisión Guatemalteca de Normas (1985).....	34
Cuadro 19. Comparación de Carbonatos con respecto al Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (2006).....	35
Cuadro 20. Comparación de sulfatos con respecto a la NOM-127-SSA1-199.....	36
Cuadro 21. Comparación de Bicarbonato con respecto a la Norma Centro Internaciona nal de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (2006).....	37

Cuadro 22. Comparación de Cloruros con respecto a la Comisión Guatemalteca de Normas (1985).....	38
Cuadro 23. Comparación de Coliformes Totales con respecto a la NOM-127- SSA1-1994.....	39
Cuadro 24. Comparación de Coliformes Fecales con respecto a la NOM-127- SSA1-1994.....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Distribución del Agua en el Mundo.....	3
Figura 2. Regiones Hidrológicas (CONAGUA, 2009).....	4
Figura 3. Disponibilidad del Agua en México.....	5
Figura 4. Cobertura de Agua Potable y Suministro de Agua.....	6
Figura 5. Calidad del Agua: Materia Orgánica y Coliformes Fecales.....	6
Figura 6. Precipitación Pluvial Anual.....	7
Figura 7. Balance Global del Agua en México.....	9
Figura 8. Sobre Explotación de Acuíferos.....	9
Figura 9. Red de Monitoreo de Calidad del Agua.....	10
Figura 10. Área de Estudio Nadadore, Coah.....	21
Figura 11. Localización de los pozos de Nadadores, Coah.....	24
Figura 12. Resultados de pH.....	27
Figura 13. Resultados de Sólidos Totales.....	28
Figura 14. Resultados de Turbiedad.....	29
Figura 15. Resultados de CE.....	30
Figura 16. Resultados de Dureza Total.....	31
Figura 17. Resultados de Sodio.....	32
Figura 18. Resultados de Calcio.....	33
Figura 19. Resultados de Magnesio.....	34
Figura 20. Resultdos de Carbonatos.....	35
Figura 21. Resultados de Sulfatos.....	36
Figura 22. Resultados de Bicarbonatos.....	37
Figura 23. Resultados de Cloruros.....	38

## RESUMEN

A continuación se darán a conocer los estudios realizados para la determinación de parámetros de calidad de agua para uso y consumo humano del municipio Nadadores, Coah. Los estudios se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad de Aguas, específicamente en el Departamento de Riego y Drenaje, localizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

En dichos estudios se evaluaron parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y posteriormente comparar los resultados con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, “agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización”. Se tomaron muestras en siete pozos que fueron definidos por el gasto en cada uno de ellos, es importante mencionar que los cálculos estadísticos se realizaron con ayuda del programa Excel.

Es importante mencionar que el pozo cinco es de interés ya que tiene un mayor gasto, además de que se perforó recientemente. En cuanto a los resultados obtenidos hay ciertos parámetros (Sólidos Totales, Turbiedad, Conductividad Eléctrica, Dureza Total, Calcio y Magnesio) que se encuentran fuera de rango en todos los pozos, como lo es el magnesio, pero también existen parámetros que favorecen a todos los pozos como lo es el pH, Sodio, Carbonato, Bicarbonato, Cloruros, Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

Estas son las primeras investigaciones que realiza el Departamento de Riego y Drenaje, esperando que de aquí en adelante se presenten más investigaciones sobre el tema tomando en cuenta que cada día que pasa el agua se contamina más.

Palabras Claves: Parámetros de Calidad de Agua, pozos, NOM-127-SSA1-1994.

## **I. INTRODUCCIÓN**

En México como en el mundo existen problemas sobre el que quizás muchos científicos piensan que es lo más importante en el planeta “el agua”, ya que es el cimiento para lograr un desarrollo sostenible para la humanidad. Debido a que este vital líquido es limitado y cada vez se contamina más y por consiguiente, su calidad va, en descenso. En los últimos años ha tomado gran importancia su estudio, no solo en México sino que también en todo el mundo, para hacer que este vital líquido sea eficiente y racional para la humanidad.

Según Jiménez (2008) un porcentaje mayor de 76.8 por ciento del agua se usa para la agricultura, 13.9 por ciento es para abastecimiento público, 3.8 por ciento para la industria y 5.4 por ciento para termoeléctricas. De estas extracciones, 63 por ciento proviene de fuentes superficiales y 37 por ciento de subterráneas.

En el Norte de México especialmente el Estado de Coahuila, una de las mayores necesidades es la de disponer agua para las actividades agrícolas y de consumo humano; ante el aumento constante de la población, esto genera una demanda que poco a poco es más difícil de satisfacer. También debido a la expansión de la industria y la falta de protección al medio ambiente, se ha originado que la disponibilidad del agua potable en el planeta vaya disminuyendo, ya que una gran parte se encuentra contaminada.

### **1.1. Objetivos**

Determinar la calidad del agua de los pozos para consumo humano que abastece el municipio de Nadadores, Coah.

### **1.2. Hipótesis**

Los parámetros para la determinación de la calidad del agua para uso y consumo humano en el área de estudio se encuentran dentro de los límites permisibles que marca la norma NOM-127-SSA1-1994 del Diario Oficial de la Federación (DOF, 1994).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El Agua

El agua es uno de los recursos esenciales para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente. En la tierra (total del recurso hídrico: 1386 mmc), el agua dulce (2.53 por ciento) está distribuida en los ríos, lagos, glaciares, en la atmosfera y en el subsuelo, Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWPA, 2003). La precipitación constituye la principal fuente de agua para todas las actividades humanas y ecosistema. El estado de Coahuila tiene una precipitación media anual de 400 mm de acuerdo al reporte del Centro de Investigaciones Regional del Noreste (CIRNE, 2012).

Según Baroni *et al.*, (2007) se estima que aproximadamente a nivel mundial el 70 por ciento del agua dulce se consume en la agricultura. El agua en la industria absorbe una media del 20 por ciento, empujándose en la refrigeración, el transporte y como disolvente de una variedad de sustancias químicas. El consumo doméstico absorbe el orden de 10 por ciento restante.

### 2.2. Importancia del Agua

La importancia del agua es manifiesta, si se hace un simple análisis de cada uno de los rubros que integran su consumo. En el Cuadro 1 se presenta los principales usuarios del agua en una sociedad desarrollada o en vías de desarrollo (Mosqueira, 2005).

Cuadro 1. Distribución del Agua en Base a su Consumo (Mosqueira, 2005).

Usuario	% de consumo
Doméstico.	10
Industria.	20
Agricultura.	70

### 2.3. Situación Actual del Agua en el Mundo

Hacia el año 2025, aproximadamente 48 países, más de 2800 millones de habitantes, se verán afectados por la escasez de agua. Otros nueve países, inclusive China y Pakistán, estarán próximos a sufrir la falta de agua. Más allá del

impacto del crecimiento mismo de la población, el consumo de agua dulce ha estado aumentando en respuesta al desarrollo industrial y agrícola, por lo que la demanda crecimiento de la población se ha triplicado de esa manera la extracción de agua se ha visto sobreexplotado. Además, el suministro de agua dulce del que dispone la humanidad se está reduciendo a raíz de una constante contaminación de los recursos hídricos; es preocupante y alarmante observar la descarga de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales y la infiltración de agroquímicos a acuíferos (Benet, J.M and Ferrer, J. 1992). Según la Organización Mundial de la Salud (2010) el agua se distribuye tal y como se muestra en la Figura1.

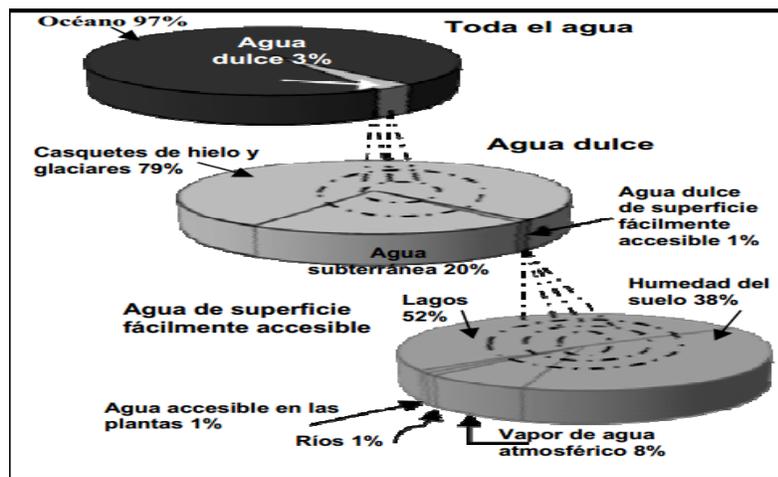


Figura 1. Distribución del Agua en el Mundo (OMS, 2010).

## 2.4. El Agua en México

En la Figura 2 se observa que el país se ha dividido en 13 Regiones Hidrológicas – Administrativas debido a que las cuencas son las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, esto con el fin de organizar la administración y la preservación de las aguas nacionales. El país se puede dividir en dos grandes zonas: la zona Norte, Centro y Noreste, donde se encuentra el 77 por ciento de la población; se genera el 87 por ciento del PIB, pero únicamente ocurre el 31 por ciento del agua renovable, y la zona Sur y Sureste, donde habita el 23 por ciento de la población, se genera el 13 por ciento del PIB y ocurre el 69 por ciento del agua renovable según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2009).

Parar el caso México, la totalidad de habitantes del país 70 por ciento vive en zonas urbanas; el 89 por ciento cuenta con servicio de agua potable y 77 por ciento tiene servicio de alcantarillado, lo que indica que en términos

proporcionales, que prácticamente la totalidad de habitantes de las zonas urbanas cuentan con estos servicios y quienes no dispone de ellos son las comunidades indígenas o rurales siendo el sector con menor poder adquisitivo y a su vez con la menor capacidad para enfrentar los problemas derivados de esta carencia (Shiklomanov, 2003 and Rodda, 2003).

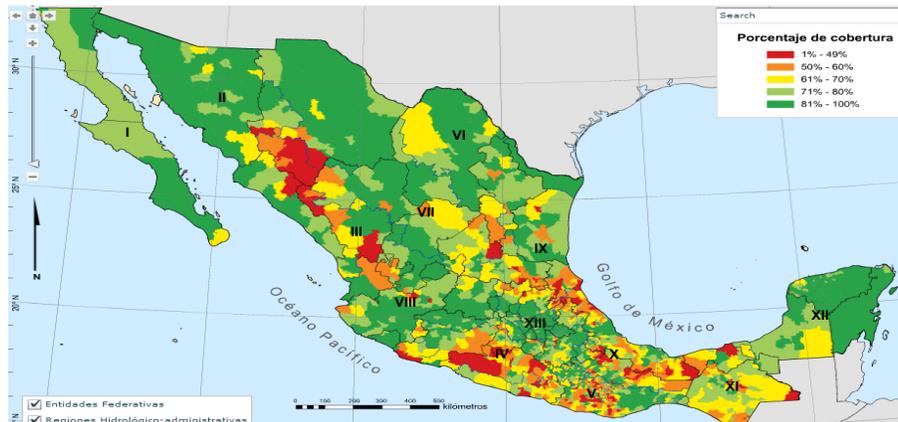


Figura 2. Regiones Hidrológicas (CONAGUA, 2009).

#### 2.4.1. Disponibilidad del Agua en México

Según la Figura 3 proporcionada por la CONAGUA (2004), la disponibilidad natural media per cápita de una región se calcula dividiendo la disponibilidad natural media entre el número de habitantes. En 2003, la disponibilidad natural media nacional fue de 4 547 m<sup>3</sup> anuales por habitante (volumen que corresponde a una categoría de disponibilidad baja). Regiones con valores menores a 1 700 m<sup>3</sup>.hab.año se consideran con estrés hídrico y son propensas a presentar escasez de agua, sobre todo en las temporadas secas. Las características topográficas y geográficas que tiene México producen una condición hidrológica con fuertes contrastes en cuanto a disponibilidad de agua. El Valle de México, con menos de 200 m<sup>3</sup>.hab.año, tiene una disponibilidad extremadamente baja, mientras que la región Frontera Sur, con sus más de 24 mil m<sup>3</sup>.hab.año, cuenta con una disponibilidad muy alta del líquido. La situación del agua disponible varía entre las Regiones hidrológico-administrativas: la mayor parte del agua disponible en la Península de Yucatán está en fuentes subterráneas, mientras que otras regiones como Golfo Norte y Golfo Centro dependen en un porcentaje alto del escurrimiento superficial. Si se consideran las regiones que tienen una disponibilidad base media inferior a los 1 700 m<sup>3</sup>.hab.año, existen más de 35 millones de habitantes en situación de estrés hídrico en México.



Figura 3. Disponibilidad del Agua en México (CONAGUA, 2004).

#### 2.4.2. Cobertura de Agua Potable y Suministro de Agua

Según la CONAGUA (2005), la cobertura de agua potable en México fue en 2004 de 89.5 por ciento. Sin embargo, la cobertura de este servicio aún es mucho mayor en zonas urbanas (95.6 por ciento) que en zonas rurales (71.3 por ciento). El suministro de agua de buena calidad en los sistemas de abastecimiento es importante para la salud e higiene de la población. A nivel nacional, se suministraron más de 320 mil litros de agua por segundo para consumo humano, de los cuales el 95 por ciento fue desinfectado. En promedio, se suministran 264 litros diarios por habitante. Por entidad federativa, algunos estados como Hidalgo y Puebla apenas sobrepasan los 150 litros diarios por habitante y en Oaxaca reciben apenas 100 litros diarios por habitante, en promedio. Los porcentajes antes mencionados se observa en la Figura 4.

#### 2.4.3. Calidad del Agua: Materia Orgánica y Coliformes Fecales

La calidad del agua no es una característica absoluta, sino que depende del uso al que vaya a destinarse el líquido. Factores como los usos del suelo, la cantidad de agua utilizada por las poblaciones humanas, las industrias asentadas en la cuenca y el tratamiento que se le da antes de ser vertida en los cuerpos de agua influyen en la calidad del agua de los ríos y lagos. La contaminación del agua por materia orgánica se evalúa por medio de la demanda bioquímica de oxígeno

(DBO), que refleja la cantidad de este gas que se requiere para descomponer este tipo de desechos. La putrefacción de la materia orgánica y la falta de oxígeno se asocian con condiciones sépticas, de mal olor y sabor del agua que impiden su aprovechamiento. La zona centro del país es la que presenta un mayor número de sitios de monitoreo con valores altos de DBO<sub>5</sub>. En las regiones Balsas y Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, 35 y 65 por ciento de sus estaciones, respectivamente, tienen valores promedio superiores a 30 mg/l, lo que indica contaminación. Las bacterias coliformes fecales no suelen causar enfermedades, pero son buenos indicadores de la contaminación por descargas de aguas residuales domésticas y pecuarias, y son fáciles de detectar. En 59 por ciento de los sitios de monitoreo, la concentración promedio anual es mayor a 1000 NMP /100 ml, lo cual indica una calidad del agua menor que lo establecido para fuentes de agua potable de acuerdo al reporte de la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA, 2005) (Figura 5).



Figura 4. Cobertura de Agua Potable y Suministro de Agua (CONAGUA, 2005).



Figura 5. Calidad del Agua: Materia Orgánica y Coliformes Fecales (CONAGUA, 2005).

#### 2.4.4. Calidad del Agua: Nitrato y Fosfato

CONAGUA (2005) reporta, que el escurrimiento del agua hacia la parte baja de las cuencas hidrológicas acarrea nutrientes y pesticidas procedentes de superficies agrícolas y pecuarias. Estos compuestos, junto con los aportados en las descargas de aguas residuales, contribuyen a que se deteriore la calidad del agua de ríos y lagos. La medición de la concentración de nitrato y fosfato en ríos y lagos es un indicador útil del impacto de la población y la agricultura sobre la calidad del agua. En 2003 se detectaron concentraciones promedio superiores a  $0.2 \text{ mg.l}^{-1}$  de nitrato en 69 por ciento de los sitios de monitoreo de cuerpos de agua superficial. En 71 por ciento de los sitios de monitoreo, la concentración promedio de fósforo total fue superior a  $0.1 \text{ mg.l}^{-1}$  en ese mismo año. Se considera que  $0.1 \text{ mg.l}^{-1}$  es el límite máximo de concentración de fosfato para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y la eutrofización acelerada de ríos y arroyos.

#### 2.4.5. Precipitación Pluvial

La precipitación normal de nuestro país en el periodo de 1971-2008 fue de 760 mm. Los valores “normales” de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2009) reportado por CONAGUA (2009) (Figura 6) corresponde a los promedios calculados para un periodo uniforme y relativamente largo, en el cual debe tener como mínimo 0 años de datos, lo que se considera como un periodo climatológico mínimo representativo y que inicie el 1 de enero de un años que termine en uno y finalice el 31 de diciembre de un año que termine en cero.

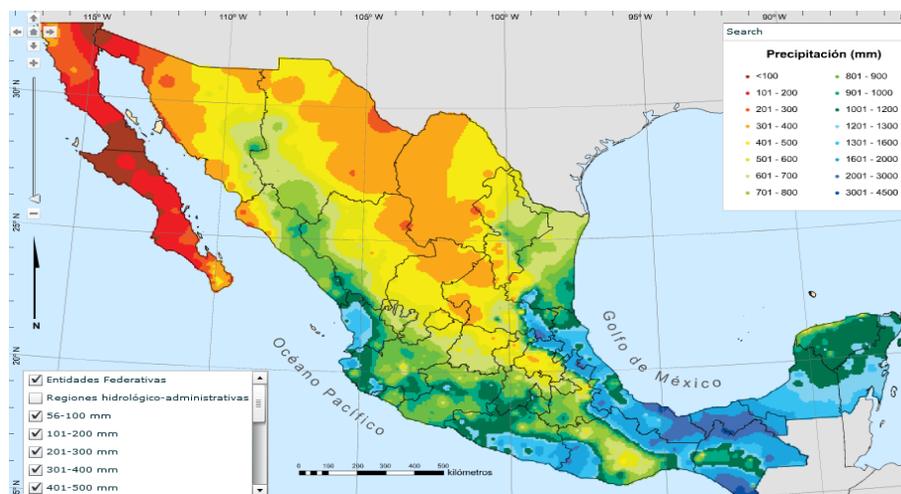


Figura 6. Precipitación Pluvial Anual (CONAGUA, 2009).

### **a) Abastecimiento de Agua Superficial**

Por lo general las grandes ciudades dependen de abastecimientos superficiales, y en la mayoría de los casos de las aguas superficiales, ya sea de corrientes, lagos o embalses, no son seguras para el consumo humano y requiere de tratamiento (Hilleboe, 2007).

El mismo autor menciona que las grandes corrientes usualmente reciben agua de cuencas habitadas y reciben también contaminantes más serias producidas por el escurrimiento superficial de las tierras erosionadas o aradas, por lo que las características físicas de estas aguas son, por lo general, inferiores a las de aguas subterráneas. Además las aguas negras y los desperdicios industriales pueden ser descargados directamente a muchas corrientes sin tratamiento adecuado.

### **b) Abastecimiento de Agua Subterránea**

Las aguas subterráneas constituyen cerca del 95 por ciento del agua dulce de nuestro planeta. Las principales ventajas que presenta la utilización de las aguas subterráneas (Gouvea, 1987) son:

- Costo de construcción de pozos generalmente menor que el costo de las obras de captación superficial, tales como presas, diques y plantas de tratamiento.
- Mayormente su calidad es adecuada para el consumo humano sin necesidad de tratamiento (salvo en caso de contaminación natural y/o artificial).
- Es una alternativa de abastecimiento muy conveniente en el caso de pequeñas o medianas poblaciones urbanas o en comunidades rurales.

### **2.4.6. Balance Global del Agua en México**

CONAGUA (2001) (Figura 7) el balance nacional de agua subterránea resulta positivo en su conjunto, ya que la extracción estimada en  $27.2 \text{ km}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  representa sólo el 41 por ciento de la recarga total estimada en  $66.1 \text{ km}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ . Estos números sin embargo, esconden algunas realidades de México. La distribución espacio-temporal del agua es grande, y desafortunadamente para el país, la zona con la mayor abundancia, el sureste de México, no corresponde al área donde el agua es requerida (el Norte de México). Esto ha resultado en problemas graves en cuanto al manejo del agua subterránea.

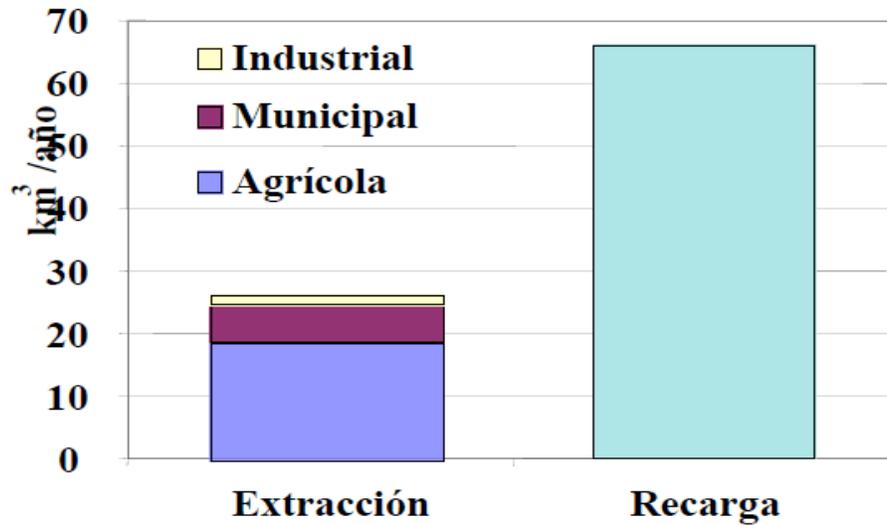


Figura 7. Balance Global del Agua en México (CONAGUA, 2001).

#### 2.4.7. Sobreexplotación de Acuíferos

De los 653 acuíferos identificados por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua, según diversos autores (Marín *et al.*, 2002) (Figura 8) de 98-102 acuíferos están siendo sobre-explotados.



Figura 8. Sobre Explotación de Acuíferos (CONAGUA, 2005).

#### 2.4.8. Red de Monitoreo de Calidad de Agua

Según CONAGUA (2008) (Figura 9) la evaluación de la calidad del agua se lleva a cabo utilizando tres indicadores, la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO<sub>5</sub>), la demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos y totales (SST), la DBO<sub>5</sub> y la DQO se utiliza para indicar la cantidad de materia

orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal. La primera indica la cantidad de materia orgánica biodegradable y en tanto que la segunda indica la cantidad total de materia orgánica.



Figura 9. Red de Monitoreo de Calidad del Agua (CONAGUA, 2008).

## 2.5. El Agua en Coahuila

El uso del agua en Coahuila es de: 82.8 por ciento en la agricultura, 9.6 por ciento en el abastecimiento público, 3.8 en la industria, 3.9 por ciento en termoeléctricas. Coahuila tiene la tercera menor precipitación de México con tan solo 315 mm por año. Se utilizan  $1210 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  de agua superficial contra  $1287 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  de agua subterránea representado el 48.5 por ciento, y 51.5 por ciento respectivamente. El promedio de dotación de agua por habitantes es de  $125 \text{ l} \cdot \text{día}^{-1}$ , Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2006).

### 2.5.1. Precipitación

En el estado de Coahuila se presenta una precipitación media anual de 315 mm; contra una precipitación media nacional de 771.8 mm. La región media occidental del estado se encuentra entre dos vertientes que actúan como barreras al paso del aire húmedo tanto del Golfo de México como del Océano Pacífico. Recibe bajas precipitaciones del orden de los 200 mm anuales. El 75 por ciento de la lluvia ocurre generalmente en el periodo lluvioso el cual va de Junio a Octubre y el 25 por ciento restante en el periodo seco que va de Noviembre a Mayo. El estado no dispone de los recursos suficientes a causa del clima adverso caracterizado por escasas precipitaciones. Ante esto los recursos de agua

subterránea presenta la principal fuente de abastecimiento para satisfacer todos los usos como son públicos, domésticos, agrícola, industrial etc. Sin embargo, el clima adverso también restringe la ocurrencia de agua subterránea y limita la recarga natural. El 90 por ciento del agua que abastece a las poblaciones de Coahuila procede de fuentes subterráneas. Los organismos proveedores de agua potable extraen anualmente 264 millones de m<sup>3</sup> ([www.aquatell.com/water-tips/iron-drinking-water](http://www.aquatell.com/water-tips/iron-drinking-water)).

## **2.5.2. Fuentes de Contaminación del Agua**

### **2.5.2.1. Fuentes Puntuales**

Según la FAO (1981) las fuentes puntuales son aquellas que descargan contaminantes en las localizaciones específicas a través de tuberías, acequias o alcantarillas a cuerpos de aguas superficiales. Los ejemplos incluyen fábricas, plantas de tratamiento de agua residual (que retiran algunos, pero no todos los elementos contaminantes) minas subterráneas de carbón activas o abandonadas, minas de oro, pozos de petróleo fuera de costas y buques- tanques de petroleros.

### **2.5.2.2. Fuentes No Puntuales**

De acuerdo a la organización mencionada anteriormente las fuentes no puntuales son grandes áreas de terrenos que descargan contaminantes a las aguas superficiales y subterráneas sobre una región extensa y parte de la atmosfera donde los contaminantes son depositados en el agua superficial. Los ejemplos pueden ser los vertimientos de sustancias químicas en el agua superficial y la infiltración de tierras de cultivo, lotes de pastura para ganado, bosques talados, tierras urbanas y suburbanas, tanques sépticos, predios de construcción, sitios de estacionamiento, carreteras.

### **2.5.2.3. Identificación del Problema**

La FAO (1981) identifica y describe los problemas que causan los cambios en la calidad del agua (superficial o subterránea) bien por la introducción de sustancias químicas o biológicas en el medio ambiente debido a las actividades humanas, por la interferencia cuantitativa con los esquemas naturales de circulación, por procesos completamente natural o por las diversas combinaciones posibles entre todos ellos.

- A. **La infiltración** a partir de vertedores de basuras, los residuos producidos por explotación ganadera concentrada o las fugas en los tanques de

almacenamiento de una industria petroquímica, son ejemplos de fuente de materiales correspondiente a la materia primera categoría.

- B. **Sondeo de pozos y ríos de explotación** son ejemplos de interferencia cuantitativa, restituyendo los compuestos químicos naturales o introducidos por el hombre de una forma que no sería posible más que por el efecto de la extracción del agua.
- C. **En la tercera categoría, son los procesos naturales**, se incluye la mineralización natural, de las aguas (subterráneas y superficiales) así como los procesos naturales de introducción del agua de mar en los acuíferos.

## **2.6. Beneficio de la Calidad del Agua para las Familias**

Según el reporte de la FAO (1981), la dureza del agua y la presencia de sólidos disueltos en el abastecimiento municipal de agua, puede imponer diversos costos en las familias, por ejemplo la oxidación de las instalaciones, a los minerales depositados y daños a los aparatos. Si la dureza y los sólidos disueltos son debidos, al menos en parte a la contaminación procedente de fuentes determinadas, el control de estas fuentes reducirá dichos costos y originará beneficios correspondientes.

## **2.7. Calidad del Agua**

La calidad del agua y la presencia de acuerdo a Dunne y Leopold (1982), Gosz *et al.*, (1980) y Lee (1980) citados por Aceves (1991) es definida por los tributos, físicos, químicos y biológicos que afectan la disponibilidad del agua para consumo humano, para la agricultura, la industria, la recreación y otros usos que se les destine.

Aceves (1991) señala que la calidad del agua incluye propiedades físicas, químicas y biológicas asociadas con el material mineral y orgánico que se encuentre suspendido o disuelto en el agua.

## **2.8. Parámetros sobre la Calidad del Agua**

FAO (1994) considera que el abastecimiento para usos y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de

enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer parámetros en los cuales se establezcan límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radioactivas.

El agua potable, también llamada para consumo humano, debe cumplir con las disposiciones legales nacionales, a falta de éstas, se toman en cuenta normas internacionales.

Los límites máximo permisibles (LMP) referenciales para el agua potable de los parámetros que se controlan actualmente, se indican en los cuadros siguientes tal y como lo marca la norma NOM-127-SSA1-1994 (DOF 1994) (Cuadros 2, al 5).

Cuadro 2. Características Bacteriológicas (DOF, 1994).

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE
Organismos Coliformes Totales	2 NMP/100 ml
	2 UFC/100 ml
Organismos Coliformes Fecales	No detectable NMP/100 ml
	Cero UFC/100 ml

Cuadro 3. Características Físicas y Organolépticas (DOF, 1994).

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE
<b>Color</b>	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
<b>Olor y sabor</b>	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
<b>Turbiedad</b>	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

Cuadro 4. Características Químicas (DOF, 1994).

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Aluminio	0.20
Arsénico	0.01
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN-)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.00
Cloruros (como Cl-)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F-)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos	l
Aldrín y dieldrín separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.20
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	1.00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	1000.00
2,4-D	200.00
Plomo	0.01
Sodio	30.00
Sólidos disueltos totales	20.00
sulfatos (como SO <sub>4</sub> =)	400.00
Substancias activas al azul del metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en el Cuadro 4. Los límites se expresan en mg.l<sup>-1</sup>, excepto cuando se indique otra unidad.

Cuadro 5. Características Radiactivas (DOF, 1994).

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.00

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en el Cuadro 5. Los límites se expresan en  $\text{Bq.l}^{-1}$  (Becquerel por litro).

## **2.9. Indicadores de Calidad del Agua**

Los parámetros indicadores de contaminación o índices de calidad permiten medir los cambios percibidos en un cierto cuerpo de agua que pueden ser afectados por distintos tipos de contaminación o degradación física (Custodio y Llamas, 2001).

Cualquier cambio significativo en la concentración de algún parámetro indicador es sospecha de algún grado de contaminación, ya sea físico, químico o bacteriológico (Farell y Nieuwenhuijsen, 2003).

### **2.9.1. Potencial de hidrógeno (pH)**

Hem (1985) dice, el pH es una medida del contenido de ión de hidrógeno en medio acuoso. Las aguas que poseen un valor de pH superior a siete son alcalinos, y si es inferior son ácidas. El agua de los ríos que está afectada por la contaminación presenta un pH entre 6.5 y 8.5 dentro de los cuales los organismos acuáticos capturan y liberan dióxido de carbono durante la fotosíntesis y respiración, respectivamente.

La NMX-AA-008-SCFI-2000 da a conocer algunos factores que alteran el pH.

- La capacidad de obstáculo.
- La entrada de sustancias básicas o ácidas (sintéticas o naturales).
- En el agua dulce, un aumento en la temperatura hace disminuir el pH.
- Las aguas con crecimiento elevado de algas pueden mostrar un cambio diurno en el pH. Cuando las algas crecen y se reproducen usan  $\text{CO}_2$ . Esta reducción hace que el pH aumente. Por lo tanto, si las condiciones son favorables para el crecimiento de algas cuando la luz del sol entibia la temperatura, el agua será más alcalina.
- El pH puede variar en función de la profundidad en lagos, estuarios, agua de bahías y océanos, etc.

### **2.9.2. Sólidos Totales (ST)**

Es la suma de sólidos, sólidos disueltos y en suspensión. Es la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103 °C. El valor de los sólidos incluye tanto material disuelto (residuo filtrable) y no disuelto (suspendido) (Orozco *et al.*, 2005).

### **2.9.3. Turbiedad**

La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos. La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, a la elaboración de productos destinados al mismo y a otros procesos de manufactura que requieren el empleo de agua con características específicas, razón por la cual, la determinación de la turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua, y juega un papel muy importante en el desempeño de las plantas de tratamiento de agua, formando como parte del control de los procesos para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada, lo antes mencionado es dado a conocer por la NMX-AA-038-SCFI-2001 (DOF, 2001).

### **2.9.4. Conductividad Eléctrica (CE)**

Según Tassi *et al.*, (2005) la conductividad es una medida de la actividad eléctrica de los iones en una solución. Se expresa en unidades de microsiemen por centímetro ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) y se mide con un conductivímetro. La conductividad de las aguas geotérmicas es elevada, en contraste con las de las aguas nacientes que es baja. Este parámetro es un indicador de alguna infiltración o descarga de aguas geotérmicas en manantiales superficiales.

### **2.9.5. Sodio (Na<sup>+</sup>)**

En el agua, el sodio se origina del intercambio iónico natural, donde la arcilla que la contiene reacciona con el calcio o magnesio y la libera. El sodio se encuentra en niveles elevados en aguas subterráneas, donde hay abundancia de depósitos de minerales de sodio, o por infiltración de aguas geotérmicas de origen

profundo (superior a  $3000 \text{ mg.l}^{-1}$ ), mientras que en cuerpos de agua superficiales de las nacientes el contenido es relativamente bajo, (Houslow, 1995).

Reacción.



### 2.9.6. Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )

En el suelo son muchas las fuentes de calcio, como por ejemplo: la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), dragonita, dolomita,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) ( $\text{CaF}_2$ ) (Hounslow, 1995).

El mismo autor dice que, la principal fuente de magnesio en aguas naturales es la dolomita, mientras que, en aguas salinas predomina el cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ). El calcio y el magnesio son los principales componentes de la dureza del agua, cuyas fuentes naturales provienen de rocas sedimentarias y la escorrentía, responsable de las incrustaciones en las tuberías. Por lo general, el agua subterránea es más dura que la superficial.

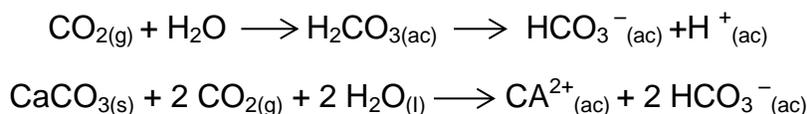
### 2.9.7. Carbonato ( $\text{CO}_3$ ).

Según Hutchinson (1985), los carbonatos y bicarbonatos presentes en cuerpos naturales de agua dulce se originan generalmente del desgaste y disolución de rocas en la cuenca que contienen carbonatos tales como la piedra caliza. A pesar de que la piedra caliza no es muy soluble en agua pura, su disolución es promovida por la presencia de  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua ( $\text{CO}_2$  atmosférico o  $\text{CO}_2$  generado en sedimentos ricos en materia orgánica). El  $\text{CO}_2$  reacciona con el agua para generar pequeñas cantidades de ácido carbónico, el cual disuelve entonces las rocas de carbonato en la cuenca, lo que a su vez contribuye a la alcalinidad del agua.

El mismo autor afirma que las aguas dulces suelen contener entre 50 y 350 ppm de ión bicarbonato y si el pH es inferior a 8.3, no habrá ión bicarbonato. El agua de mar contiene alrededor de 100 ppm de ión bicarbonato.

### 2.9.8. Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ )

El bicarbonato es una medida de la capacidad del agua de aceptar protones. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) generado en los procesos biológicos al cambiarse con el agua forma ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), el cual rápidamente se descompone en bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). No obstante, en el agua de origen profundo, la elevada concentración de bicarbonato se debe a la disolución de minerales de carbonato de calcio, calcita, principalmente, o de la reducción de sulfato (Apple y Postma, 1994).



### 2.9.9. Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

En la superficie, de las fuentes son los minerales pirina ( $\text{FeS}_2$ ), yeso y anhidrita (Hunslow *et al.*, 1995).

Los gases azufrados como el sulfuro de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) son abundantes en la atmosfera y su origen natural es la descomposición anaerobia de la materia orgánica (sedimentos y combustibles fósiles) y erupciones volcánicas (Orozco *et al.*, 2005).

Los sulfatos llegan al medio acuático mediante la oxidación del  $\text{SO}_2$  atmosférico o proveniente de desechos industriales; su concentración en la mayoría de las aguas dulces es muy baja en contraste con los gases geotérmicos de origen profundo que es alta (entre 40 y 50  $\text{mg.l}^{-1}$ ) (Apple y Postma, 1994).

### 2.9.10. Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )

Las concentraciones elevadas de cloruro hacen que el agua tenga un sabor desagradable, el cual depende de la composición química del agua. Si el catión predominante es el sodio, una concentración de cloruro de 250  $\text{mg.l}^{-1}$  puede tener un sabor salado detectable, pero si prevalece el calcio y magnesio, no se detecta, Organización Mundial de la Salud (OMS, 1995).

Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y también evitar el crecimiento de plantas. Las altas concentraciones de cloruro en aguas residuales, cuando éstas son utilizadas para el riego en campos agrícolas deteriora, en forma importante la calidad del suelo. Es entonces importante el

poder determinar la concentración de cloruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas en un amplio intervalo de concentraciones (Hounslow, 1995).

### 2.9.1.1. Dureza

Según Seoanez (1999), la dureza se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón y esto está basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio. La dureza es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales como las unidades de transferencia de calor. El término dureza se aplicó en principio por representar al agua en la que era difícil (duro) de lavar y se refiere al consumo de jabón para lavado, en la mayoría de las aguas alcalinas esta necesidad de consumo de jabón está directamente relacionada con el contenido de calcio y magnesio.

La dureza es una característica química del agua que está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio.

El mismo autor dice que en el agua podemos determinar distintos tipos de durezas.

Dureza total: es la suma de las concentraciones de iones de calcio y magnesio presentes en la muestra.

Dureza cálcica: expresa la concentración de sales cálcicas presentes en la muestra.

Dureza de magnesio: expresa la concentración de sales magnésicas presentes en la muestra. En el Cuadro 6, se clasifica la dureza de los cuerpos de agua.

Cuadro 6. Clasificación de los Cuerpos de Agua Según su Dureza en  $\text{mg.l}^{-1}$  (Seoanes, 1999).

Tipo de agua	Dureza $\text{mg.l}^{-1}$
Aguas blandas.	50
Aguas ligeramente duraz.	50-100
Aguas moderadamente duraz.	100-200
Aguas muy duraz.	>200
Aguas extremadamente duraz.	>9999

### **2.9.12. Coliformes Totales (CT)**

El Diario Oficial de la Federación (DOF, 2000) (NMX-AA-42-1987) dice, la presencia y extensión de contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua. Las heces contienen una variedad de microorganismos y formas de resistencia de los mismos, involucrando organismos patógenos, los cuales son un riesgo para la salud pública al estar en contacto con el ser humano. El examen de muestras de agua para determinar la presencia de microorganismos del grupo coliformes que habitan normalmente en el intestino humano y de otros animales de sangre caliente, da una indicación. Dada la limitada capacidad de algunos miembros del grupo de organismos coliformes para sobrevivir en agua; sus números también pueden emplearse para estimar el grado de contaminación fecal.

### **2.9.13. Coliformes Fecales (CF)**

Los coliformes fecales son un subgrupo entéricas, que fermentan la lactosa a altas temperaturas de incubación (44.5°C), por lo que también se le conoce como coliformes termotolerantes. Este grupo consiste principalmente de bacterias como *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Citobacter freundii* y *Enterobacters sp* (Eaton *et al.*, 2005).

Las bacterias coliformes totales se localizan naturalmente en el aparato digestivo en el hombre y animales de sangre caliente; por lo tanto, se encuentran en las heces de estos orígenes, pero también algunas pueden hallarse en el ambiente. Las bacterias más frecuentes en las aguas contaminadas con los coliformes fecales (Ongley, 1997).

Las enfermedades de transmisión hídrica son causadas por bacterias, virus y parásitos (protozoarios y helmintos) que se encuentran en las heces de los individuos afectados y de ahí son las fuentes de contaminación. Se controlan los niveles de coliformes fecales debido a la correlación que existe entre estos y las bacterias patógenas (Cortez-Lara, 2003).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización del Área de Estudio



Figura 10. Área de Estudio Nadadores, Coah.

#### 3.2. Localización de Nadadores, Coah.

La información que a continuación se dará a conocer es proporcionado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2009.)

##### 3.2.1. Ubicación Geográfica

Coordenadas: Entre los paralelos 27° 00' y 27° 31' de Latitud Norte; los meridianos 102° 01' y 101° 33' de Longitud Oeste; Altitud entre 400 y 2 000 m.

### **3.2.2. Fisiografía**

Provincia: Sierra Madre Oriental (100 por ciento).

Subprovincia: Sierras y Llanuras Coahuilenses (100 por ciento).

Sistema de topoformas: Sierra Plegada (35.2 por ciento), Bajada Típica (33.4 por ciento), Llanura Desértica de Piso Rocoso o Cementado (31.1 por ciento), Llanura Aluvial (0.2 por ciento) y Bajada con Lomerío (0.1 por ciento).

### **3.2.3. Clima**

Rango de temperatura: 16 - 22°C.

Rango de precipitación: 300 - 500 mm.

Clima: Seco semicálido (95 por ciento) y semiseco templado (5 por ciento).

### **3.2.4. Geología**

Periodo: Cuaternario (55 por ciento) y Cretácico (45 por ciento).

Roca: Sedimentaria: Caliza (35 por ciento), conglomerado (15 por ciento) y caliza-lutita (10 por ciento).

Suelo: Aluvial (40 por ciento).

### **3.2.5. Edafología**

Suelo dominante: Leptosol (52.4 por ciento), Calcisol (30.7 por ciento), Kastañozem (10.0 por ciento), Solonchak (2.7 por ciento), Gypsisol (1.8 por ciento), Fluvisol (1.6 por ciento), No aplicable (0.4 por ciento) y Luvisol (0.4 por ciento).

### **3.2.6. Hidrografía**

Región hidrológica: Bravo-Conchos (100 por ciento).

Cuenca: P. Falcón-R. Salado (100 por ciento).

Subcuenca: R. Salado de Nadadores (96%) y Cuatrociénegas (4 por ciento).

Corrientes de agua: Intermitentes: A. Piedras Negras, A. Noria Vieja, A. El Mimbres y A. San Matías.

### **3.2.6. Uso del suelo y vegetación**

Uso del suelo: Agricultura (13.3 por ciento) y zona urbana (0.4 por ciento).

Vegetación: Matorral (81 por ciento), pastizal (5 por ciento) y bosque (0.3 por ciento).

### **3.2.7. Uso Potencial de la Tierra**

Agrícola: Para la agricultura mecanizada continua (44 por ciento) no apta para la agricultura (56 por ciento).

Pecuario: Para el establecimiento de praderas cultivadas con maquinaria agrícola (44 por ciento) para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal (24 por ciento) para el aprovechamiento de la vegetación natural únicamente por el ganado caprino (32 por ciento).

## **3.3 Procedimiento para la Toma de Muestras**

Muestreo del agua para determinar la calidad física, química y bacteriológica.

Se muestrearon los pozos existentes que abastecen de agua potable al municipio en el mes de Noviembre de 2013.. En cuanto a la toma de las muestras se utilizaron bolsas esterilizadas, antes de tomar la muestra se consideró el estado dinámico del pozo, el agua corrió por 10 minutos y finalmente se tomó la muestra.

Cabe mencionar que son siete los pozos seleccionados de los cuales se tomaron tres muestras en cada uno, lo suficiente para los respectivos análisis, la bolsa fue cuidadosamente sellada para evitar posibles contaminantes. Teniendo las muestras se colocaron en una hielera para mantenerlos en su estado inicial.

Los análisis del agua se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coah, las muestras se colectaron en bolsas de plásticos esterilizadas y para ser transportadas al laboratorio.

Los análisis a se realizaron: cationes: (Ca, Mg y Na); aniones: (CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Cl y SO<sub>4</sub>) y pH, CE, Turbiedad, Dureza y Sólidos Totales (ST).

Análisis bacteriológico: Coliformes Totales (CT) y Fecales (CF).

Los siete pozos que se analizaron se ubicaron con un GPS (UTM) esto con la finalidad de conocer el área de trabajo. Como se muestra en Cuadro7 y Figura 13.

Cuadro 7. Coordenadas (UTM) y Altitud de los Pozos Muestreados.

POZO	X	Y	Z
1.-UNIDAD DEPORTIVA	243767	2992365	522
2.- UPN	241879	2992457	522
3.- COL. BENITO JUÁREZ	242448	2991115	536
4.- P. VIEJO BENITO JUÁREZ	242471	2991071	538
5.- CAÑÓN DE LA VEREDA	240273	2987232	627
6.- VILLA DE NADADORES	242153	2989801	562
7.- POZO OFICIAL VILLA	242386	2989778	553

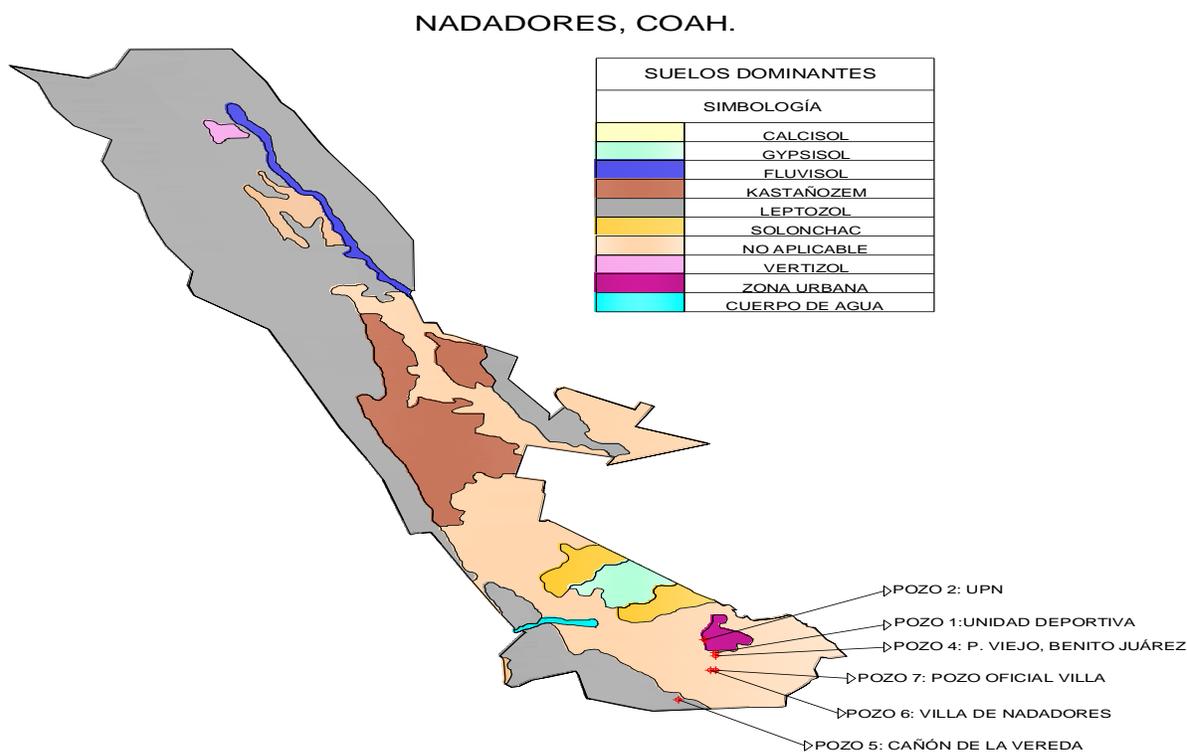


Figura 11. Localización de los pozos de Nadadores, Coah.

### 3.4. Parámetros y Métodos Empleados

Para poder llevar a cabo los análisis se emplearon varios métodos tal y como se observa en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Parámetros y Métodos.

Parámetros	Métodos
pH	Electrométrico
Sólidos totales	Gravimétrico, secado a 150 C
Turbiedad	Espectrofotométrico
Conductividad Eléctrica	Electrométrico
Sodio	Aniones y Cationes
Carbonatos	Aniones y Cationes
Bicarbonatos	Aniones y Cationes
Sulfatos	Aniones y Cationes
Dureza Total (DT)	Titulación con EDTA
Coliformes Totales	Número más probable
Coliformes Fecales	Número más probable

### 3.5. Métodos de Prueba de Laboratorio

Para los análisis de laboratorio del trabajo ya mencionado se tuvieron que optar por varios métodos con sus respectivos límites permisibles.

Cuadro 9. Métodos para los Análisis Físicos Químicos y Bacteriológicos de los Parámetros Indicadores de Calidad del Agua.

Parámetros	Unidad	Métodos
pH		Electrométrico
Sólidos totales	g.l <sup>-1</sup>	Gravimétrico, secado a 150 C
Turbiedad	UNT	Espectrofotométrico
Conductividad Eléctrica	25 <sup>0</sup> C Us.cm <sup>-1</sup>	Electrométrico
Sodio	mg.l <sup>-1</sup>	Aniones y Cationes
Carbonatos	mg.l <sup>-1</sup>	Aniones y Cationes
Bicarbonatos	mg.l <sup>-1</sup>	Aniones y Cationes
Sulfatos	mg.l <sup>-1</sup>	Aniones y Cationes
Dureza total	mg.l <sup>-1</sup>	Titulación con EDTA
Coliformes Totales	UFC.100 ml <sup>-1</sup>	Número más probable
Coliformes Fecales	UFC.100 ml <sup>-1</sup>	Número más probable

Cuadro 10. Límites Permisibles de Calidad de Aguas (Comisión Guatemalteca de Normas, 1985).

Parámetros	Unidad	Métodos
Calcio	mg.l <sup>-1</sup>	Aniones y Cationes
Magnesio	mg.l <sup>-1</sup>	Aniones y Cationes
Cloruros	mg.l <sup>-1</sup>	Aniones y Cationes

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se analizan y discuten los resultados de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.

### 4.1. Determinación del pH

En el Cuadro 11 y Figura 11, se comparan los resultados obtenidos en los análisis con los de la NOM-127-SSA1-1994.

Cuadro 11. Comparación de los resultados de pH con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.

Pozo	pH	NOM-127-SSA1-1994. (Límite Permisible)	Condición del Agua
1	6.96	6.5-8.5	Óptimo
2	7.2	6.5-8.5	Óptimo
3	7.39	6.5-8.5	Óptimo
4	7.43	6.5-8.5	Óptimo
5	8.47	6.5-8.5	Óptimo
6	7.04	6.5-8.5	Óptimo
7	7.1	6.5-8.5	Óptimo

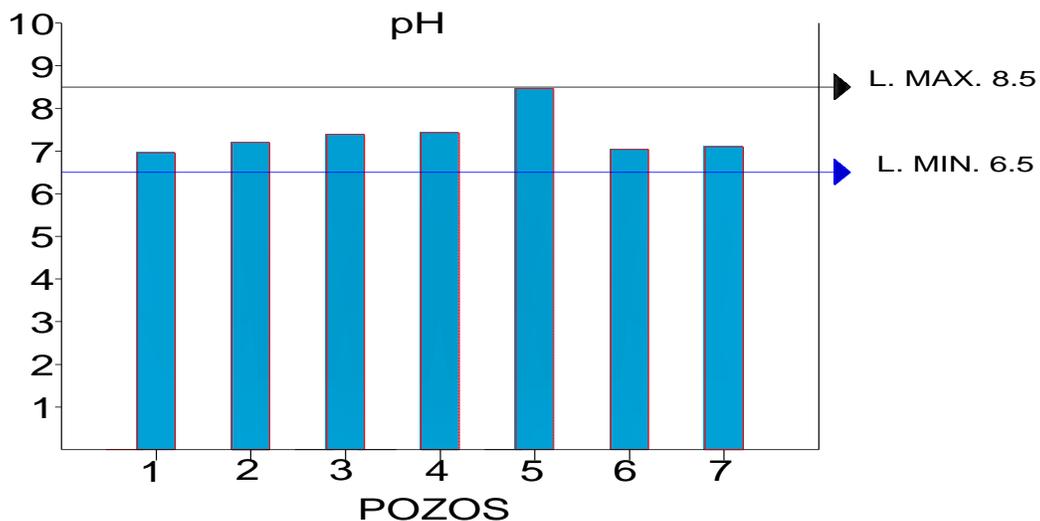


Figura 12. Resultados de pH.

Los resultados para este parámetro son favorables, ya que todos los pozos analizados se encuentran en los límites que establece la NOM-127-SSA1-1994.

## 4.2. Determinación de Sólidos Totales

Los resultados de este parámetro se pueden apreciar en el en el Cuadro 12 y Figura 12.

Cuadro 12. Comparación de Sólidos Totales con respecto a la NOM-127- SSA-1994.

Pozo	Sólidos Totales g.l <sup>-1</sup>	NOM-127-SSA1-1994. (Límite Permisible)	Condición del Agua
1	1960	1000	Fuera de rango
2	1873	1000	Fuera de rango
3	1764	1000	Fuera de rango
4	1736	1000	Fuera de rango
5	177	1000	Óptimo
6	899	1000	Óptimo
7	795	1000	Óptimo

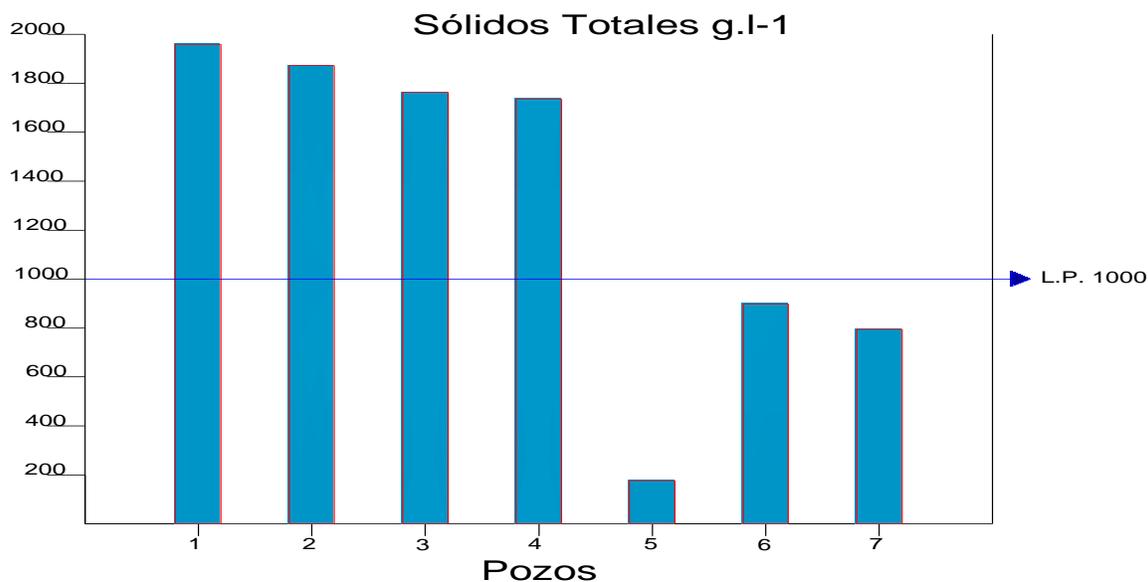


Figura 13. Resultados de Sólidos Totales.

En este análisis, cuatro pozos (5,6 y 7) son ideales para el consumo humano, los pozos restantes (1, 2, 3 y 4) se encuentra con un elevado contenido de sólidos totales, por lo que se afirmar que no cumple con la Norma establecida.

### 4.3. Determinación de Turbiedad

En el Cuadro 13 y Figura 13 se pueden observar los resultados obtenidos en los análisis de este parámetro.

Cuadro 13. Comparación de Turbiedad con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.

Pozo	Turbiedad	NOM-127-SSA1-1994. (Límite Permisible)	Condición del Agua
1	4.35	5	Óptimo
2	5.54	5	Fuera de rango
3	5.58	5	Fuera de rango
4	5.78	5	Fuera de rango
5	23.67	5	Fuera de rango
6	4.16	5	Óptimo
7	5	5	Óptimo

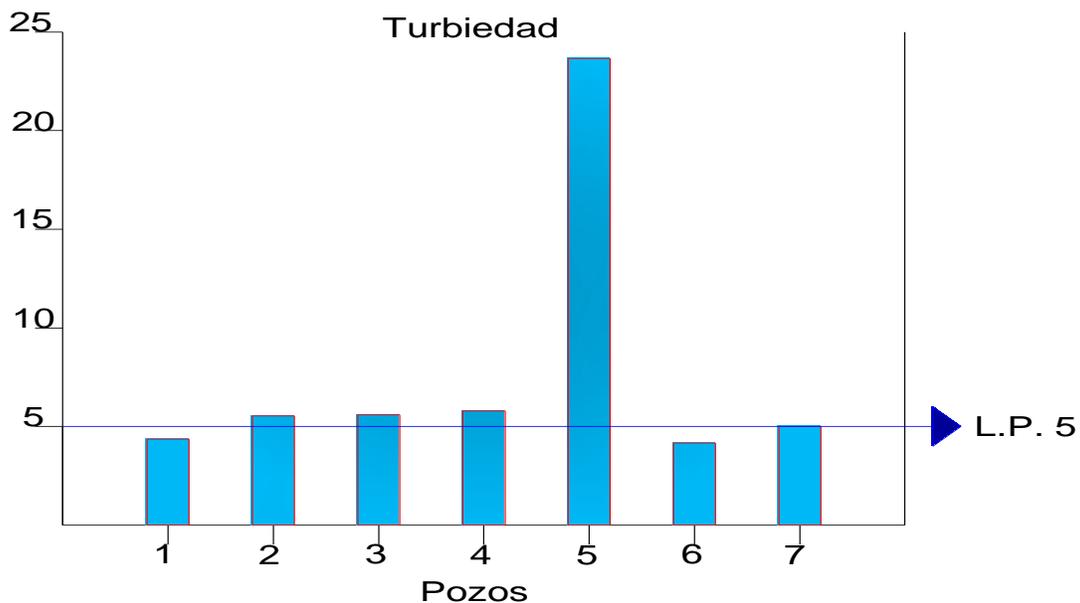


Figura 14. Resultados de Turbiedad.

La turbidez es un parámetro de suma importancia, en los análisis realizados solamente tres pozos (1,6 y 7) cumplen con el límite permisible. Los pozos (2, 3, 4, y 5) restantes se encuentra fuera del rango establecido por la NOM-127-SSA1-1994.

#### 4.4. Conductividad Eléctrica

Los resultados de la conductividad eléctrica del agua de los pozos analizados se presentan en el cuadro 14 y Figura 14.

Cuadro 14. Comparación de la Conductividad Eléctrica con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.

Pozo	Conductividad Eléctrica $\text{Us.cm}^{-1}$	NOM-127-SSA1-1994. (Límite Permissible)	Condición del Agua
1	4060	1500	Fuera de rango
2	3740	1500	Fuera de rango
3	3538	1500	Fuera de rango
4	3486	1500	Fuera de rango
5	354	1500	Óptimo
6	1791	1500	Fuera de rango
7	1596	1500	Fuera de rango

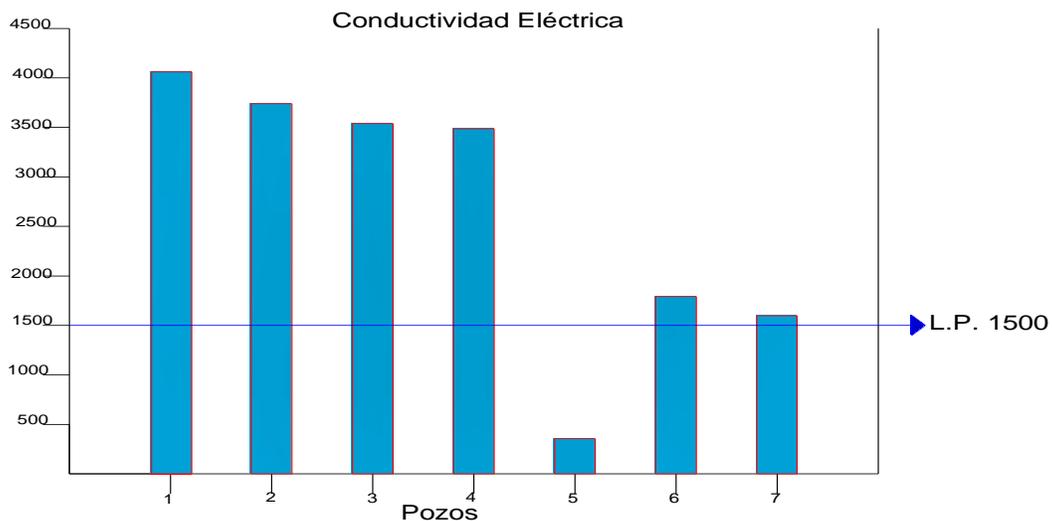


Figura 15. Resultados de CE.

Este indicador resultó apto en el pozo cinco ya que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994. Los demás pozos se encuentran fuera de rango, en consecuencia se tendrá un alto contenido de sales.

#### 4.5. Determinación de Dureza Total

Los resultados de Dureza Total se presentan en el Cuadro 15 y Figura 15.

Cuadro 15. Comparación de Dureza Total con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.

Pozo	Dureza Total $\text{mg.l}^{-1}$	NOM-127-SSA1-1994. (Límite Permisible)	Condición del Agua
1	1496	500	Fuera de rango
2	1408	500	Fuera de rango
3	1448	500	Fuera de rango
4	1536	500	Fuera de rango
5	472	500	Optimo
6	888	500	Fuera de rango
7	648	500	Fuera de rango

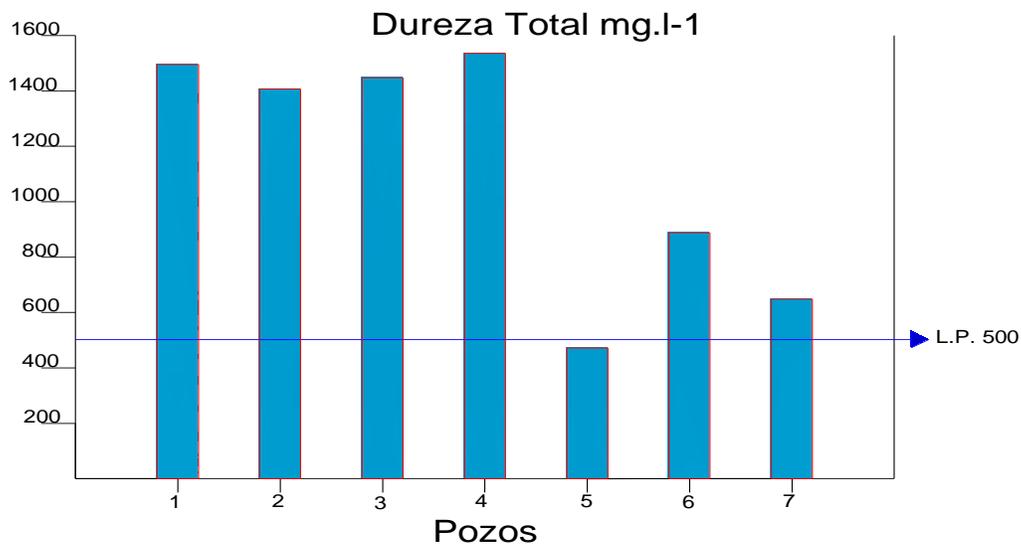


Figura 16. Resultados de Dureza Total.

Como en los demás análisis, el pozo cinco vuelve a ser presencia ya que cumple con la Norma, en cuanto a los demás pozos se puede apreciar en la gráfica que se encuentran fuera del límite permisible que establece la NOM-127-SSA1-1994. En consecuencia tendremos un alto contenido de bicarbonatos, carbonatos, calcio y magnesio causando formaciones de incrustaciones en las llaves y regaderas de casa.

## 4.6. Cationes

### 4.6.1. Determinación de Sodio

Podemos apreciar los resultados de Sodio en el Cuadro 16 y Figura 16.

Cuadro 16. Comparación de Sodio con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.

Pozo	Sodio mg.l <sup>-1</sup>	NOM-127-SSA1-1994. (Límite Permisible)	Condición del Agua
1	184.3789	200	Óptimo
2	77.5348	200	Óptimo
3	135.1065	200	Óptimo
4	119.1061	200	Óptimo
5	27.8886	200	Óptimo
6	81.4228	200	Óptimo
7	85.535	200	Óptimo

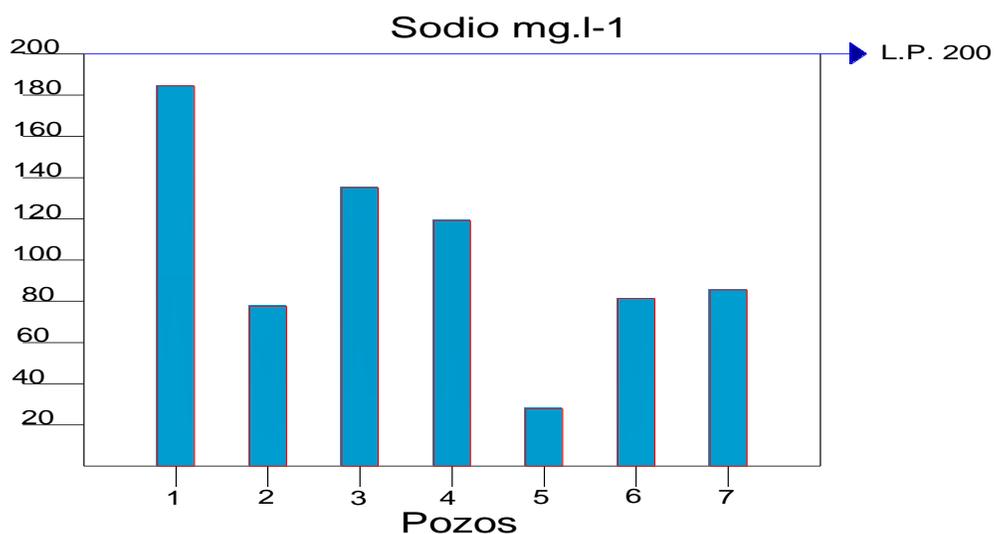


Figura 17. Resultados de Sodio.

En este parámetro los resultados fueron favorables, ya que todos los pozos analizados cumplen con la NOM-127-SSA1-1994. En consecuencia podemos observar que el pozos 1 se encuentra en un suelo salino.

#### 4.6.2. Determinación de Calcio

El resultado de Calcio se puede observar el en Cuadro 17 y Figura 17.

Cuadro 17. Comparación de Calcio con respecto a la Comisión Guatemalteca de Normas (1985).

Pozo	Calcio mg.l <sup>-1</sup>	COGUANOR 29 001-1985. Agua Potable ( Límites Permisibles)	Condición del Agua
1	345.6	75-150	Fuera de rango
2	249.6	75-150	Fuera de rango
3	273.6	75-150	Fuera de rango
4	254.4	75-150	Fuera de rango
5	72	75-150	Óptimo
6	91.2	75-150	Óptimo
7	81.6	75-150	Óptimo

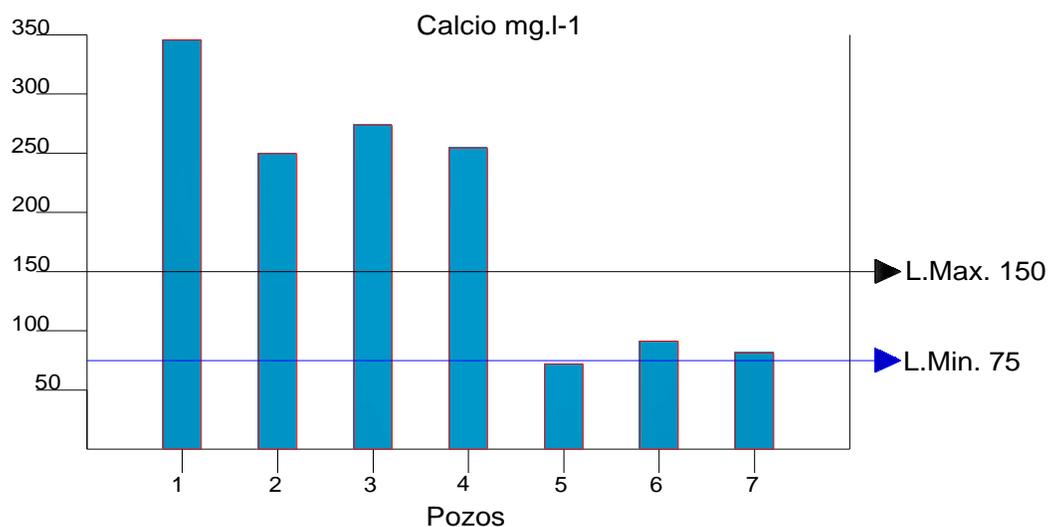


Figura 18. Resultados de Calcio.

Mediante la comparación con los límites permisibles de calidad del agua para consumo humano que establece la Comisión Guatemalteca de Normas (1985), se observa claramente que un pozo (5) no cumplen con la norma a que presenta un rango mínimo, dos pozos (6 y 7) cumplen con la norma establecida, en cuanto a los demás pozos (1 al 4) analizados tiene un valor fuera de rango. En consecuencia tendremos un alto contenido de pH y se reduce la disponibilidad por inutilización.

### 4.6.3. Determinación de Magnesio

Podemos apreciar los resultados de este parámetro e el Cuadro 18 y Figura 18.

Cuadro 18. Comparación de Magnesio con respecto a la Comisión Guatemalteca de Normas (1985).

Pozo	Magnesio $\text{mg.l}^{-1}$	COGUANOR 29 001-1985. Agua Potable ( Límites Permisibles)	Condición del Agua
1	704.64	50-100	Fuera de rango
2	474.24	50-100	Fuera de rango
3	461.76	50-100	Fuera de rango
4	417.6	50-100	Fuera de rango
5	116.16	50-100	Fuera de rango
6	350.4	50-100	Fuera de rango
7	552	50-100	Fuera de rango

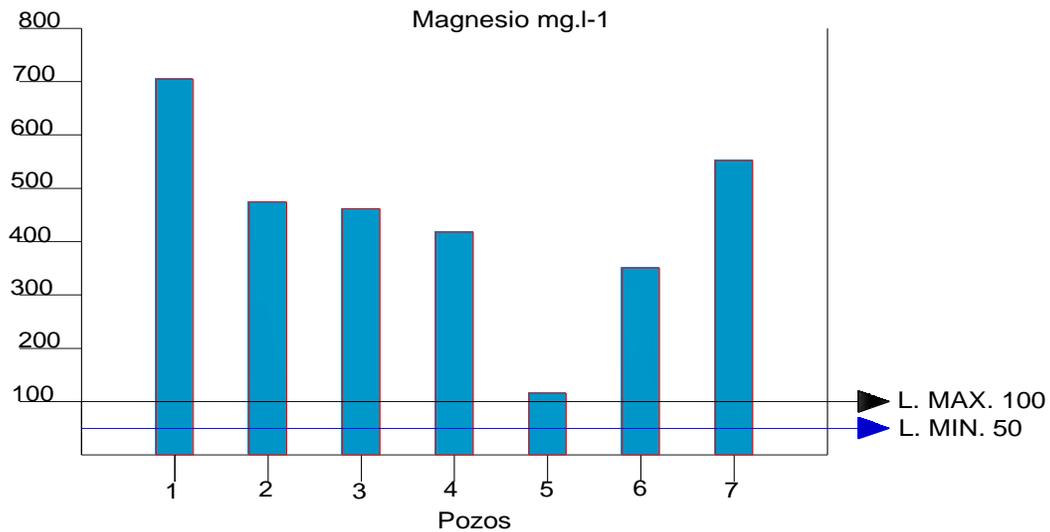


Figura 19. Resultados de Magnesio.

Este parámetro de acuerdo a los resultados obtenidos, ninguno cumple con los límites establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR 29 001- 1985 lo que se ve reflejado en la dureza total.

## 4.7. Aniones

### 4.7.1. Determinación de Carbonatos

En el Cuadro 19 y Figura 19 se presentan los resultados de este parámetro.

Cuadro 19. Comparación de Carbonatos con respecto al Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (2006).

Pozo	Carbonatos mg.l <sup>-1</sup>	CIDECALLI, 2006. (Límites Permisibles de Calidad del Agua)	Condición del Agua
1	158.4	300	Óptimo
2	108	300	Óptimo
3	136.8	300	Óptimo
4	144	300	Óptimo
5	201.6	300	Óptimo
6	86.4	300	Óptimo
7	136.8	300	Óptimo

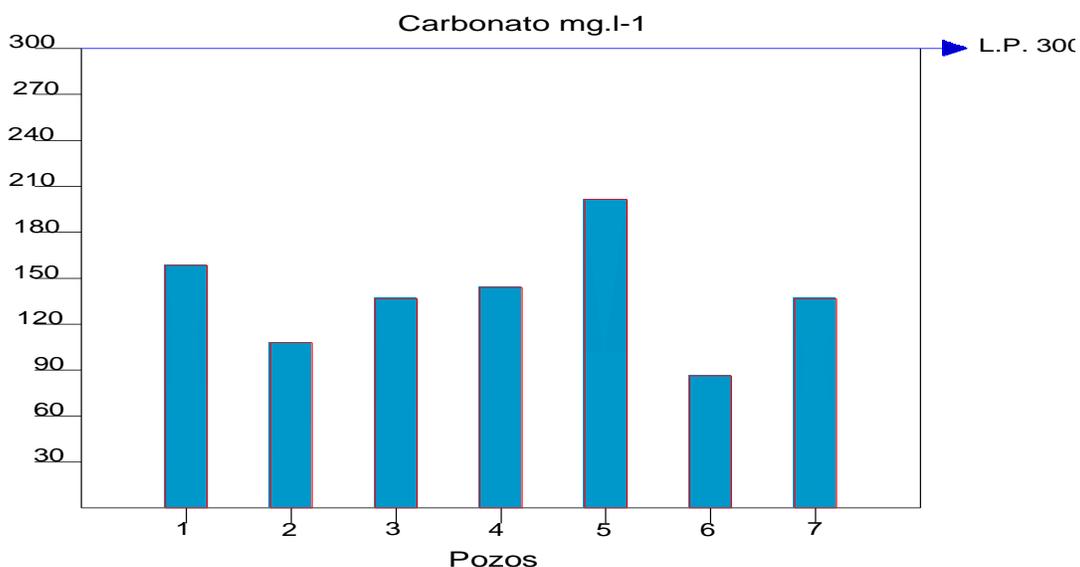


Figura 20. Resultados de Carbonatos.

Este parámetro resulto favorable ya que se encuentra dentro de los límites que establece el Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia 2006, lo que se ve reflejado en la dureza total.

#### 4.7.2. Determinación de Sulfatos

En el Cuadro 20 y Figura 20 podemos observar los resultados obtenidos del parámetro mencionado.

Cuadro 20. Comparación de sulfatos con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.

Pozo	Sulfatos mg.l <sup>-1</sup>	NOM-127-SSA1-1994. (Límite Permisible)	Condición del Agua
1	1789.9045	250	Fuera de rango
2	4356.3117	250	Fuera de rango
3	6491.694	250	Fuera de rango
4	1289.7841	250	Fuera de rango
5	88.8372	250	Óptimo
6	2415.055	250	Fuera de rango
7	8413.2091	250	Fuera de rango

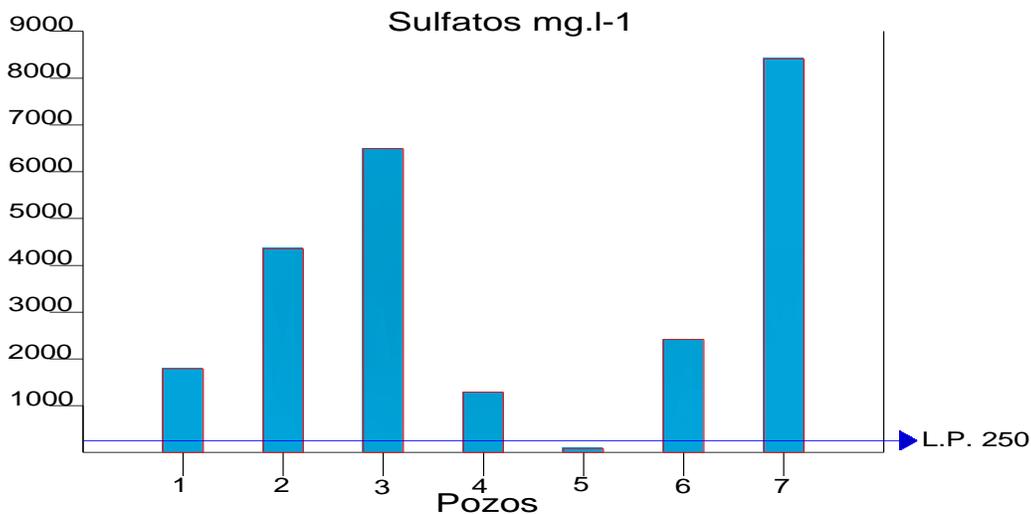


Figura 21. Resultados de Sulfatos.

Según este parámetro, sólo el pozo cinco es apto para el consumo humano, ya que presenta un resultado favorable, seis pozos (1, 2, 3, 4, 6 y 7) no cumplen con la NOM-127-SSA1-1994.

### 4.7.3. Determinación de Bicarbonatos

Los resultados de bicarbonato del agua se presentan en el Cuadro 21 y Figura 21.

Cuadro 21. Comparación de Bicarbonato con respecto a la Norma Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (2006).

Pozo	Bicarbonatos mg.l <sup>-1</sup>	CIDECALLI, 2006. (Límites Permisibles de Calidad del Agua)	Condición del Agua
1	130	300	Óptimo
2	130	300	Óptimo
3	135	300	Óptimo
4	135	300	Óptimo
5	90	300	Óptimo
6	150	300	Óptimo
7	130	300	Óptimo

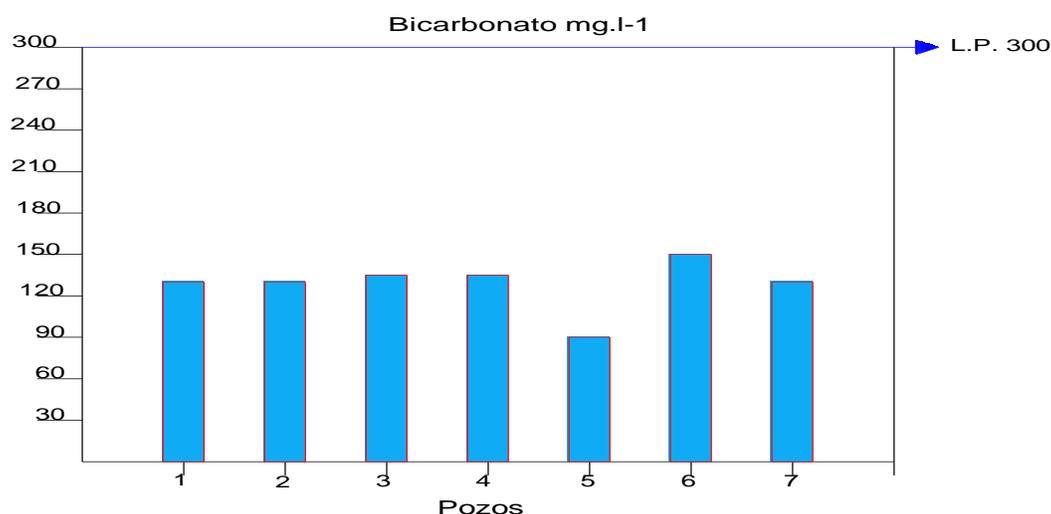


Figura 22. Resultados de Bicarbonatos.

Se puede observar claramente en la gráfica que en este parámetro se obtuvo un resultado favorable, ya que cumple con el límite permisible de Carbonato que establece Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (2006).

#### 4.7.4. Determinación de Cloruros

Los resultados obtenidos de este parámetro se presentan en el Cuadro 22 y Figura 22.

Cuadro 22. Comparación de Cloruros con respecto a la Comisión Guatemalteca de Normas (1985).

Pozo	Cloruro $\text{mg.l}^{-1}$	COGUANOR 29 001-1985. Agua Potable (Límites Permisibles).	Condición del Agua
1	209.3	100-250	Optimo
2	189.98	100-250	Optimo
3	128.8	100-250	Optimo
4	125.58	100-250	Optimo
5	54.74	100-250	Optimo
6	96.6	100-250	Optimo
7	93.38	100-250	Optimo

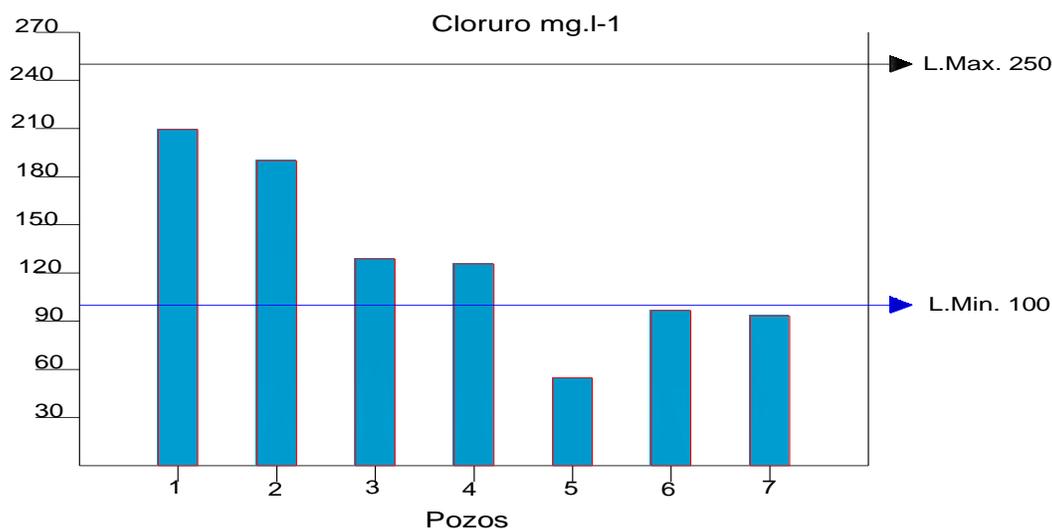


Figura 23. Resultados de Cloruros.

En la gráfica se puede apreciar que tres pozos (5, 6 y 7) presenta un límite mínimo permisible, solo cuatro pozos (1 al 4) cumplen con los límites permisibles que establece la Comisión Guatemalteca de Normas (1985).

## 4.8. Análisis Bacteriológico

### 4.8.1. Determinación de Coliformes Totales

Uno de los parámetros más importantes de este trabajo se presenta en el cuadro 23.

Cuadro 23. Comparación de Coliformes Totales con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.

Pozo	Coliformes Totales
1	NEGATIVO
2	NEGATIVO
3	NEGATIVO
4	NEGATIVO
5	POSITIVO
6	NEGATIVO
7	NEGATIVO

En este parámetro, el pozo cinco resulto positivo por lo tanto no cumple con la norma, en cuanto a los demás pozos analizados se obtuvieron resultados favorables.

### 4.8.2. Determinación de Coliformes Fecales

Coliformes Fecales, es un parámetro de suma importancia y el resultado se presenta en el cuadro 24.

Cuadro 24. Comparación de Coliformes Fecales con respecto a la NOM-127-SSA1-1994.

Pozo	Coliformes Fecales
1	NEGATIVO
2	NEGATIVO
3	NEGATIVO
4	NEGATIVO
5	NEGATIVO
6	NEGATIVO
7	NEGATIVO

En cuanto al análisis de coliformes totales el pozo cinco tuvo un resultado positivo, pero al realizar el análisis de coliformes fecales se obtuvo un resultado negativo, lo que lleva a concluir que los siete pozos cumplen con la NOM-127-SSA1-1994.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El pozo cinco se caracterizó por tener una buena calidad ya que cumple con la mayor parte de los parámetros establecidos, el más importante de ellos es Coliformes Totales (CT) y Coliformes Fecales (CF).

Los demás pozos (1, 2, 3, 4, 6, y 7) tienen ciertos parámetros fuera de rango, pero cumple con uno de los parámetros más importantes Coliformes Totales (CT) Y Coliformes Fecales (CF).

Se puede afirmar que el agua que se consume en el municipio Nadadores, Coah. Se caracteriza por tener una buena calidad, ya que sólo ciertos parámetros (Sólidos Totales, Turbiedad, Calcio, Magnesio, sulfatos y Cloruros) se encuentran fuera del rango establecido por la Norma.

Se recomienda volver a realizar los análisis del pozo cinco ya que cuando se tomó la muestra se encontraba en un nivel estático.

Se recomienda realizar un estudio de suelo para verificar que tanto influyen los minerales.

Se recomienda establecer un programa constante de vigilancia de la calidad del agua, realizando análisis periódicos de parámetros físicos, químicos y biológicos, es absolutamente indispensable, para la gestión integrada del agua de la región.

Se recomienda sensibilizar y capacitar a técnicos institucionales y equipos municipales sobre campañas que vayan dirigidas a la población, para la adopción de métodos de desinfección.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aceves. M.L.A. 1991. Recreación y Calidad del Agua en el Cauce "CHORROS" de Arteaga, Coah. UAAAN. pp. 5-10.
- Apple, C.A.J.; Postma, D. 1994. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Rotterdam, Netherlands, Balkema. pp. 536.
- Arreguim. C.F. 2004. Uso eficiente del agua. Instituto Mexicano en Tecnología del Agua, CONAGUA. México.
- Baroni, I; Cenci, I; Tettamanti, M. Berati, M. 2007. Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems. European Journal of Clinical Nutrition 61. pp. 279-286.
- Benet, J.M and Ferrer, J. Abastecimiento y Distribución del Agua. Valencia, Universidad Politécnica, 1992.
- Cantú y Garduño, 2004. Contaminación de aguas subterráneas. Facultad de ingeniería. UNAM. México.
- Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI) 2006. Demostración Capacitación Niñas Mazahuas, tomando agua de lluvia purificada "Lluviatl". Edo de México. pp.13.
- Centro de Investigación Regional de Noreste (CIRNE) 2012. Precipitación en el estado de Coahuila. Saltillo, Coah. México.
- Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) 29-001- 1985. Agua Potable (Límites Permisibles). Guatemala. 1985.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) 2000. Estadísticas del Agua en México Precipitación pluvial anual. México.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) 2003. El agua en México, Retos y Avances, México.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) 2004. Estadísticas del agua en México. Disponibilidad del agua en México. México.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) 2001. Estadísticas del Agua en México. Balance global del agua en México. México.

- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) 2005. Estadísticas del Agua en México. Calidad del agua: nitrato y fosfato. México.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) 2005. Estadísticas del Agua en México- Extracción de agua y usos Consuntivos. México.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) 2005. Estadísticas del Agua en México. Gerencia de Planeación Hidráulica. Subdirección General de Planeación. México.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) 2005. Estadísticas del Agua en México – Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 2004. México
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) 2006. Conservación y uso Sustentable del Agua. Coahuila. México.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) 2008. Estadísticas del Agua en México. Red de monitoreo de calidad del agua. México.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) 2009. Atlas del agua en México. SEMARNAT, 2009. pp. 01-02.
- Cortez-Lara, M.C. 2003.Importancia de los Coliformes Fecales como Indicadores de Contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. Rev. Biomed. Pp. 121-123.
- Custodio. E.; Díaz, E. 2001. Sección 18: calidad del agua subterránea. En: Hidrología Subterránea. Eds. E. Custodio; M.R. Llamas. 2 ed. Tomo II. Barcelona, España. Omega. pp. 18.28-18.31.
- Dunne, T. and L.b. Leopold .1982. Water in Eviromental Planning. San Francisco, Cal. USA. Witt. Freeman and company. pp. 713-766.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) 1981. Contaminación de Aguas Subterráneas: Tecnología, Economía y Gestión. Preparado por el Instituto Geológico y Minero de España, en Cooperación con el Instituto Tecnológico de Massachusetts, Cambridge. USA.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 1994. NOM-127-SSA1-1994. Los parámetros para la determinación de la calidad del agua para uso y consumo humano. México.

- Diario Oficial de la Federación (DOF) 1994. 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".
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 1987.NMX-AA-42-1987. Calidad del Agua Determinación del Numero Más Probable (NMP) de Coliformes Totales, Coliformes Fecales (Termotolerantes) y Escherichia Coli Presuntiva.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 2000.NMX-AA-008-SCFI-2000. Análisis de Agua - Determinación del pH.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 2001.NMX-AA-038-SCFI-2001. Análisis de Agua - Determinación de Turbiedad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 2001.NOM-009-CONAGUA-2001.Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua. México.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 2008. NOM-004-ENER-2008. Eficiencia energética de bombas y conjunto motor bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0,187 kW a 0,746 kW. Límites, método de prueba y etiquetado. México.
- Eaton, A.D.; Clesceri, L.S.; Rice, E.W.; Greenberg, E.A. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 Ed. Estados Unidos, Centennial Edition. pp. 176.
- Fawell, J. and Nieuwenhuijsen, M.J. 2003. Contaminants in Drinking Water. British Medical Bulletin. Universidad of Texas. USA. pp. 212.
- Gouvea, J.1987. Irrigation management transfer; selected paper, FAO, Roma. pp. 449.
- Hem, J.D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristic of Natural Water. 3 edition. USA, U.S. pp. 224- 225.
- Hilleboe, E.H. 2007. Manual de tratamiento de agua, departamento de sanidad del estado de Nueva York. Editorial Limusa. pp. 11-16.
- Hounslow, A.W. 1995. Water Quality Data. Analysis and Interpretation. United States. Publisher: Taylor Francis Inc. pp. 145.
- Hutchinson, J.D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristic of Natural Water. 3 Edition. USA, US. Geological Survey Water Supply

- Paper. Pp. 250-260Hunslow, A.W. 1995. Water Quality Data. New York, USA. CRC Lewis Publishers. pp. 49-59.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2009. Información Nacional por Entidad Federativa y Municipal. México. pp. 3-23.
- Jiménez, B., 2007. Academia Mexicana de Ciencias. Agenda del Agua. UNAM. México. pp.15
- Marín, 2002. Medición del agua en las ciudades de Mexicanas. Un esfuerzo institucional. Memorias del seminario internacional sobre uso eficiente del agua. México. DF.
- Mosqueira. P., S. 2005. Introducción a la Química y el Ambiente. Primera Edición. Publicación Cultural. México. pp. 3-13.
- Ongley, E.D. 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los recursos hídricos. En: Estudios FAO. Riego y drenaje. Departamento de agricultura. Canadá. pp. 55.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) 1995. Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones. 2 edición: OMS. V.1.US. pp. 195.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO) 1981. Hidrología de las zonas áridas. Riego y Drenaje. Roma, Italia. Colección FAO No 37.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO) 1994. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. Colección FAO: Agricultura No 27. ISBN 92-5-303550-1.
- Orozco, B.C.; Pérez, S.A.; González, D.M.N.; Rodríguez, V.F.; Alfayate, B.J.M. 2005. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Madrid. España. pp. 97- 100.
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWPA) 2003. El Agua y los asentamientos humanos, Brazil. Environment and Urbanization, Vol. 17, No. 1
- Seoanez, C.; M. 1999. Aguas Residuales: Tratamiento por Humedades Artificiales, Fundamentos Científicos y Tecnológicos. Madrid, España. Edición Mundi-Prensa. pp. 59-69.
- Shiklomanov, I.A y Rodda, J.C 2003. Estadísticas del agua en México edición 2004. SEMARNAT. pp. 17-39.

Tassi, F.; Vaselli, O.; Capaccioni, B.; Giolito, C.; Duarte, E.; Fernandez, E.; Minissale, A.; Magro, G. 2005. The Hydrothermal-Volcanic System of Rincon de la Vieja Volcano (Costa Rica): A Combined (Inorganic and Organic) Geochemical Approach to Understanding the Origin of the Fluid Discharges and its Possible Application to Volcanic Surveillance. Journal of Volcanology and Geothermal Research. pp. 315-333.

### **PÁGINAS WEB CONSULTADAS**

<http://traslate.google.com.mx/traslate?hl=es&langpair=en%7ces&u=http://>

[www.aquatell.com/water-tips/iron-drinking-water](http://www.aquatell.com/water-tips/iron-drinking-water)

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=5>