

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS**



**INOCUIDAD DE AGUA POTABLE EMBOTELLADA EN LA CIUDAD DE  
TORREÓN, COAHUILA**

**POR:**

**FAVIOLA SUÁREZ GONZÁLEZ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

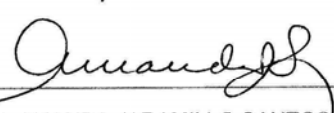
**MAYO 2011**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
INOCUIDAD DE AGUA POTABLE EMBOTELLADA EN LA CIUDAD DE  
TORREÓN, COAHUILA.

TESIS DE LA C: **FAVIOLA SUÁREZ GONZÁLEZ** QUE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA COMO REQUISITO  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

ASESOR PRINCIPAL:   
M.C. HECTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ

ASESOR:   
M.C. AMANDA NARAMILLO SANTOS

ASESOR:   
D.R. CESAR GUERRERO GUERRERO

ASESOR:   
M.C. MARÍA DE JESÚS RIVERA GONZÁLEZ

  
D.R. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México

Mayo 2011

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
INOCUIDAD DE AGUA POTABLE EMBOTELLADA EN LA CIUDAD DE  
TORREÓN, COAHUILA.

TESIS DE LA C. FAVIOLA SUÁREZ GONZÁLEZ QUE SE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

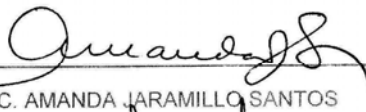
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

  
M.C. HECTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ

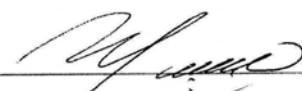
VOCAL:

  
M.C. AMANDA JARAMILLO SANTOS

VOCAL:

  
D.R. CESAR GUERRERO GUERRERO

VOCAL SUPLENTE:

  
M.C. MARÍA DE JESÚS RIVERA GONZÁLEZ

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Mayo 2011

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por darme la vida y la oportunidad de desarrollarme como profesionista, ayudándome a superar cada uno de los obstáculos que se presentaron en mi trayecto académico.

A mi "ALMA MATER" por ser el abrigo en la tempestad, por ser la cuna de mis sueños y por ser la segunda casa donde aprendí cosas nuevas gracias a los maestros para construirme como mejor persona.

A mi amiga María del Refugio, que estuvo a mi lado en cada momento que la necesite, por darme su apoyo y amistad.

Y a todos mis compañeros de generación por encontrar en cada uno de ellos, defectos y virtudes que me ayudan a ser mejor día a día.

## **DEDICATORIAS**

### **A MIS PADRES:**

Amalio Ángel Suárez Gómez y Emilia González Martínez

Por todo su apoyo económico y moral, a sus regaños para seguir un camino recto.

### **A MIS HERMANDOS:**

Amalio, Hector, Hugo, Olga, Edith e Ivón

Por toda la confianza que depositaron en mi, por el apoyo moral y económico, que gracias a Dios no fue en vano pues se supo aprovechar.

A mi difunto hermano Hugo, que esta conmigo en momentos buenos y malos y que me da toda la fuerza para seguir adelante.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
INDICE.....	iii
RESUMEN.....	v
1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2.- JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3.- OBJETIVO.....	5
1.4.- META.....	5
1.5.- HIPÓTESIS.....	5
2.- ANTECEDENTES.....	6
3.- EL AGUA.....	6
3.1.- CICLO HIDROLÓGICO.....	7
3.2.- AGUA POTABLE.....	8
3.3.- CRISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	9
3.4.- ESCASEZ Y DEMANDA DE AGUA EN TORREÓN, COAHUILA.....	9
4.- CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	10
4.1.- CONTAMINACIÓN DE AGUA POR FUENTE PUNTUAL.....	10
4.2.- CONTAMINACIÓN DE AGUA POR FUENTES NO PUNTUALES.....	10
5.- FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN TORREÓN, COAHUILA.....	11
6.- AGUA SUBTERRÁNEA.....	11
6.1.- LOCALIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	11

6.2.- CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	12
6.3.- PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	13
7.- ARSÉNICO.....	14
7.1.- ARSÉNICO EN EL AMBIENTE.....	14
7.2.- EFECTOS EN LA SALUD.....	16
7.3.- TIPOS DE TRATAMIENTO PARA LA ELIMINACIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA.....	18
8.- EL VALOR DEL AGUA.....	20
9.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
9.1.- MUESTREO.....	22
9.2.- ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.....	22
10.- RESULTADOS.....	23
11.- DISCUSIÓN.....	25
12.- CONCLUSIÓN.....	26
BIBLIOGRAFÍA.....	27
APENDICE 1.....	33
APENDICE 2.....	41

## RESUMEN

El agua subterránea es de gran importancia, ya que de esta se abastece la población para su consumo. Sin embargo estos cuerpos de agua se contaminan, por factores naturales si los acuíferos son demasiado ricos en sales disueltas o por la erosión natural de ciertas formaciones rocosas, por otro lado también el hombre participa en la contaminación de acuíferos, derivado de practicas agrícolas, mineras, industriales, etc.

Una cuenca endorreica es un área en la que el agua no tiene salida fluvial hacia el mar. Cualquier lluvia o precipitación que caiga en una cuenca endorreica permanece allí, abandonando el sistema únicamente por infiltración o evaporación, lo cual contribuye a la concentración de sales. La comarca lagunera es un claro ejemplo. La sobreexplotación de los acuíferos, es decir la extracción desmedida de agua en la laguna trae como consecuencia que bajen los niveles de los mantos freáticos, encontrando una concentración elevada de sales de As. Anteriormente, durante el siglo XIX, los agricultores sacaban agua de 10 a 20 metros de profundidad, ahora es de 500 metros.

La presencia de arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua es indeseable por sus efectos negativos a la salud y se convierte en un problema cuando las concentraciones rebasan el límite permitido por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA de 25  $\mu\text{g/L}$ , ocasionando enfermedades como cáncer en la piel, en la vejiga, riñón, hígado y pulmón entre otras.

Por esta razón se realizó el presente estudio que es la determinación de la inocuidad del agua potable embotellada en la ciudad de Torreón, Coahuila. Para determinar que concentración de As contiene y comprobar si cumple con la Norma. Se analizaron 9 embotelladoras, los resultados obtenidos comprueban que no se



rebasa el límite permitido por la norma mexicana, los muestreos se realizaron de acuerdo con la misma norma (NOM-014-SSA).

**Palabras clave:**

Arsénico, agua, agua subterránea, contaminación, inocuidad.

## 1.- INTRODUCCIÓN

La calidad del agua se ha deteriorado rápidamente en muchas regiones del mundo, la contaminación del agua (superficial y subterránea), es ahora un grave problema al medio ambiente y a la salud humana (White y Rasmussen, 1998). La mala calidad de las aguas superficiales y subterráneas se da principalmente por las descargas de aguas domésticas, residuos industriales líquidos, actividad agrícola que genera la contaminación en el recurso hídrico (Cerqueira, et al, 2007).

Hoy en día los cuerpos de agua son un motivo de gran preocupación los cuales están expuestos a las descargas de aguas residuales procedentes de los diferentes sectores, en México solo un bajo porcentaje de aguas residuales son tratadas, la mayor parte de las aguas residuales son utilizados para riego sin un tratamiento previo, lo que presenta un serio peligro para la salud humana y al ambiente (Reynolds, 2002)

Desafortunadamente, la Contaminación por Arsénico de las Aguas Subterráneas se ha convertido en una carga adicional y empeora aún más la situación general del país. La contaminación por arsénico de las aguas subterráneas en Bangladesh, que fue identificado por primera vez en 1993, es la catástrofe más grande de arsénico en el mundo por la aparición de muchas enfermedades, entre ellas el cáncer, por el consumo de agua con concentraciones mayores de 50  $\mu\text{g/L}$  de As (Khan, et al., 2007).

Año con año las poblaciones demandan más agua y abastecerlas resulta cada vez tanto más difícil como costoso. Después de la agricultura, las zonas urbanas ocupan el segundo lugar como usuarios formales del agua, ya que utilizan el 14 % de la extracción (Pintado y Osorno, 2006).

La explotación intensiva de las aguas subterráneas ha provocado una serie de contaminación de diversa índole en los acuíferos (Andreu, 2008). La sobreexplotación y contaminación de las aguas subterráneas, la demanda de agua subterránea pone

de relieve la importancia que adquiere conocer si la calidad del agua subterránea está siendo alterada, pues esto se puede repercutir a mediano y largo plazo en la salud de la población abastecida (Huaiquilaf, 2009).

Los casos de aguas subterráneas contaminadas por arsénico no son infrecuentes. Paradójicamente, estos niveles altos de As en aguas subterráneas no aparecen en zonas con elevada concentración de As en las rocas o en el suelo. Los problemas de contaminación de aguas subterráneas por As son diferentes en medios oxidantes y reductores, y también son diferentes en zonas húmedas y secas (Smedley y Kinnibourgh, 2001).

La explotación del agua subterránea en la Comarca Lagunera, ha provocado el descenso progresivo de los niveles piezométricos y esto a su vez, la migración de aguas subterráneas con concentraciones de arsénico superiores a la establecida por la norma oficial mexicana vigente (NOM-127-SSA1-1994) para uso y consumo humano (Flores, et al., 2008).

La Comarca Lagunera es una región en la que el agua es un recurso escaso ya que las precipitaciones son muy bajas y la demanda es mayor que la recarga de los cuerpos de agua de allí su importancia por la reutilización. La concentración de los metales pesados y sales contaminantes, ha originado una creciente disminución en la calidad del agua (García, 2007).

En la Comarca Lagunera las altas demandas de consumo de agua para el uso urbano e industrial han generado la necesidad de investigar y adoptar nuevas tecnologías que permitan un mejor aprovechamiento de este recurso (Aguirre, et al., 2000)

La Comarca Lagunera es un lugar en el que el arsénico suele encontrarse en el agua en concentraciones que rebasan el límite establecido por la OMS y desafortunadamente los procesos de tratamiento de potabilización no logran eliminarlo completamente generando la pregunta de cuál es la cantidad de este metal que queda en el agua después de ser tratada, por ello el objetivo de este trabajo es

determinar la concentración de arsénico en agua potable embotellada en la ciudad de Torreón, Coahuila.

### **1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la Región Lagunera de los estados de Coahuila y Durango existen lugares donde el agua subterránea se encuentra fuertemente contaminada con arsénico; lugares como San Pedro, Matamoros, Torreón, Viesca y Francisco I. Madero.

Esta contaminación debida a procesos geoquímicos naturales eleva las concentraciones en algunas zonas a valores superiores a 500  $\mu\text{g/L}$ . La Organización Mundial de la Salud considera perjudicial para el ser humano el consumo de agua con una concentración superior a 10  $\mu\text{g/L}$ . La sobreexplotación del acuífero en la Laguna ha causado una continua elevación de la concentración del arsénico en el agua del subsuelo, por lo que el valor de 10  $\mu\text{g/L}$  ya prácticamente no se cumple en ninguna muestra de agua subterránea (Ramírez, 2007).

La concentración elevada de arsénico en las aguas subterráneas en Bangladesh ha despertado grandes preocupaciones de salud pública. Más de 50 millones de personas han sido expuestos crónicamente a beber agua con concentraciones de arsénico superiores a la norma Organización Mundial de la Salud (10  $\mu\text{g/L}$ ). Los efectos sobre la salud del arsénico realizados en un estudio longitudinal se establecieron para los efectos de la exposición al arsénico en una población rural (Chen, et al. 2006).

La razón por la que deben ser tomadas medidas de remediación en las regiones afectadas por problemas de arsénico en el agua es la afectación a la salud de las personas expuestas al consumo de esa agua contaminada o al consumo de vegetales que han sido cultivados utilizando aguas contaminadas (Ramírez, 2007).

## 1.2.- JUSTIFICACIÓN

En todo el mundo, se ha identificado que las poblaciones consumen agua con concentraciones de arsénico que están por arriba de los valores de referencia de la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ( $10 \mu\text{g/L}$ ). (Ehrenstein, et al., 2005).

El cuerpo humano necesita por lo menos un par de litros de agua por día para funcionar correctamente. El consumo mundial de agua embotellada aumenta a un ritmo anual del doce por ciento, es decir que prácticamente se duplica cada seis años. Los ricos desconfían de la sanidad del agua y los alimentos que consumen; los pobres se enferman por consumir agua no apta: ambos grupos sociales son buenos candidatos a consumir agua embotellada. Ese es un factor para que la venta de agua embotellada aumente. El otro factor es la venta de imagen natural y pura a que se dedican todas las aguas embotelladas, asociándola a salud, belleza y conservación de la juventud (Da, 2006).

La complejidad de satisfacer el monitoreo de la evaluación de agua potable fue reconocido por el Comité de Normas y Monitoreo de la IWA (International Water Association), el cual inició la tarea de investigar prácticas internacionales. Los resultados iniciales indican que aunque la mayoría de los países tienen directrices acerca de la calidad del agua potable, sólo unos cuantos se esfuerzan en cumplirlas. No existe una clara liga entre el regulador, el productor y el analista (IMTA Y SEMARNAT, 2004).

Sin tomar en cuenta los métodos que se encuentran en investigación, el método utilizado actualmente a nivel mundial para eliminar el arsénico en el agua es el método a base de Adsorbentes. Este método ha probado ser el más económico y el único que no genera residuos peligrosos. En La Laguna aún continúa el análisis y la práctica de otros métodos.

### **1.3.- OBJETIVO**

Determinar la concentración de arsénico en agua potable embotellada en la ciudad de Torreón, Coahuila.

### **1.4.- META**

Análisis de agua potable de nueve embotelladoras de Torreón, Coahuila.

### **1.5.- HIPÓTESIS**

Si la concentración de Arsénico en el agua potable no rebasa la Norma Oficial Mexicana es que hay inocuidad en el agua potable embotellada.

## **2.- ANTECEDENTES**

La demanda del agua para uso residencial en la Comarca Lagunera proviene del crecimiento de la población, con 1249 millones de personas y 289 mil viviendas en el año 2009. La demanda de agua para uso industrial proviene del crecimiento de la industria, compuesta de 15 parques y mas 871 empresas. El crecimiento de estos sectores ha disminuido el agua para uso agrícola, por lo que la superficie actual depende de la disponibilidad de agua rodada (Salazar, et al., 2006).

Durante el siglo XX se ha triplicado la población mundial y sextuplicada el uso del agua. Más de la mitad de la población en el planeta vive con estrés hídrico y al año mueren entre tres y cuatro millones de personas por enfermedades relacionadas con el agua; 2 millones de estas personas son niños. Se distingue entre: estrés físico donde existe escasez y contaminación del agua, y estrés económico, donde por falta de dinero no se puede desarrollar la infraestructura necesaria para ofrecer agua potable y saneamiento a toda la población (Oswald y Hernández, 2005).

## **3.- EL AGUA**

El agua es un compuesto necesario e imprescindible para el ser humano, importante para la vida de la tierra (bravo, et al., 2008). Toda la biosfera sobrevive gracias a ella. Es considerada como fuente de vida debido a su función esencial en los procesos biológicos y a su importancia como elemento fundamental del desarrollo (Marín, 2005).

El agua que se encuentra en la naturaleza puede ser meteórica, subterránea y superficial y tendrá determinadas características según sus condiciones de contacto con el aire y el suelo, siendo no solo estas las determinantes, sino también algunas climatológicas y su misma calidad original. Como muchas veces el agua es un disolvente universal, está expuesta a recibir una serie casi infinita de elementos y compuestos y retenerlos ya sea en solución o también en suspensión (Oswald y Hernández, 2005).

### **3.1.- CICLO HIDROLÓGICO**

El ciclo hidrológico se visualiza iniciándose con la evaporación del agua en los océanos. El vapor de agua resultante es transportado por las masas móviles del aire. Bajo condiciones adecuadas el vapor se une con partículas que se encuentran en el aire para formar nubes, las cuales, a su vez, pueden transformarse en precipitación. La precipitación que cae sobre la tierra se dispersa de diferentes maneras, la mayor parte de esta es retenida temporalmente por el suelo, en las cercanías del lugar donde cae, y regresa eventualmente a la atmosfera por evaporación y transpiración de plantas. Otra porción de agua que se precipita viaja sobre la superficie del suelo o a través de este hasta alcanzar los canales de las corrientes. La porción restante penetra más profundamente en el suelo para hacer parte del suministro de agua subterránea. Bajo la influencia de la gravedad, tanto la escorrentía superficial como el agua subterránea se mueven cada vez hacia zonas más bajas y con el tiempo pueden incorporarse a los océanos. Sin embargo una parte importante de la escorrentía superficial y del agua subterránea regresa a la atmosfera por medio de evaporación y transpiración, antes de alcanzar los océanos (Linsley, et al. 1980).

A pesar de que el agua es una sustancia globalmente distribuida gracias al ciclo hidrológico, tiende a ver escasez temporal y territorial. Este ciclo hidrológico incide en la formación de las estaciones del año, determina el clima y las precipitaciones, y por ende, se convierte en el sostén de diversos ecosistemas. Pero se relaciona también con fenómenos climáticos mayores como el Niño/la Niña, recién descubiertos y con pocos estudios integrales aun, pero con repercusiones en todo el sistema de clima del mundo (Oswald y Hernández, 2005).



### **3.2.- AGUA POTABLE**

El agua potable es aquella que puede servir de abastecimiento a las poblaciones y debe tener una calidad tal que sea adecuada para ellos; toda aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud. La definición de agua potable indica que el agua para abastecimiento público no debe ser dañina cuando se ingiera, lo cual quiere decir que no debe tener ningún elemento o compuesto químico o biológico que enferme o intoxique a las personas (Serrano, 1997).

Cuando se dice que el agua potable debe tener un sabor agradable se está refiriendo a su temperatura que sea fresca y al oxígeno disuelto que contiene. El sabor se puede inferir a través de su temperatura, oxígeno disuelto y algunas otras características como contenido de hierro, manganeso, dureza, materia orgánica presente, etc. (Linsley, et al. 1980).

Las sales disueltas que debe contener el agua potable indican características químicas, las cuales no deben ser mayores de lo especificado en las normas de calidad para agua potable. En los análisis químicos se determinan los contenidos de elementos y sustancias de esa naturaleza. Las características químicas abarcan una gran cantidad de determinaciones, entre las cuales se tienen: Sólidos totales, pH, alcalinidad, acidez, dureza, Hierro, Manganeso, Fluoruros, Cloruros, Sulfatos, Oxígeno Disuelto, Nitrógenos, Sílice, Sodio y Potasio.

En términos numéricos las dimensiones de la seguridad del agua potable y de riego agrícola en el planeta muestran una creciente crisis. Los organismos multilaterales de las Naciones Unidas distinguen entre el agua azul que se localiza en acuíferos y se estima que asciende a 33.9 millones de km<sup>3</sup>; 70% se destina a la agricultura, 20% al uso industrial y 10% al uso doméstico. Ambos tipos de aguas constituyen parte del recurso renovable del planeta, aunque el agua proveniente de los acuíferos abastece crecientemente a las ciudades y las industrias (Oswald y Hernández, 2005).

### **3.3.- CRISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA**

La calidad del agua es resultado de la actividad humana, los diferentes procesos industriales, urbanos o agrícolas vierten diversos tipos de sustancias en concentraciones tales que la naturaleza no es capaz de incorporarlos al medio ambiente, este problema ocasiona que el agua aunque esté disponible, no pueda ser utilizada, por lo tanto estas condiciones deterioran el ecosistema (Mulvaney, et al., 2001).

A pesar de contar actualmente con más plantas de tratamiento que en el pasado, la calidad del agua en las cuencas afectadas no mejora. Para Blanca Jiménez, Investigadora del Instituto de Ingeniería de la UNAM, controlar la contaminación del agua es posible, pero implica la responsabilidad del gobierno y la sociedad (Pintado y Osorno, 2006).

### **3.4.- ESCASEZ Y DEMANDA DE AGUA EN TORREÓN, COAHUILA**

En la Comarca Lagunera los mantos freáticos, el agua captada y almacenada en las presas en los últimos años ha tenido gran sobreexplotación, lejos de resolverse, ha crecido una mayor demanda de agua. Lo cual ha generado un recurso no sustentable, pues la extracción es mayor que la capacidad de recarga (Soria, et al., 2006).

La disponibilidad efectiva del agua se ha reducido por los desequilibrios que ocasiona el crecimiento de la demanda, uso ineficiente y aumento de los niveles de contaminación. En la Comarca Lagunera existe competencia por el agua entre los diferentes consumidores. Dicha competencia es determinada por la baja disponibilidad de recurso y la existencia de diferentes usuarios como la agricultura de riego por bombeo y de gravedad, el sector residencial, ganadería y la industria (Soria, et al., 2006).

#### **4.- CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

Las descargas municipales, agrícolas e industriales están contaminando cuerpos de agua en todo el país, con graves consecuencias para la salud, el medio ambiente y las actividades productivas (Pintado y Osorno, 2006).

##### **4.1.- CONTAMINACIÓN DE AGUA POR FUENTE PUNTUAL**

Es claro que los problemas de contaminación en los cuerpos de agua, se deben principalmente a las descargas puntuales que son vertidas sin previo tratamiento, y a las que pasan por algún proceso de tratamiento remueven ligeramente los contaminantes, debido a una baja eficiencia de remoción, o que el sistema de tratamiento no es el adecuado para el tipo de compuestos que se descargan (Favela, 2001).

Las fuentes puntuales descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías o alcantarillas a cuerpos de agua superficial (Nebel y Wright, 1996).

##### **4.2.- CONTAMINACIÓN DE AGUA POR FUENTES NO PUNTUALES**

Son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al agua superficial y subterránea sobre una región extensa, y partes de la atmósfera donde los contaminantes son depositados en las aguas superficiales. La principal fuente no puntual de contaminación del agua es la agricultura (CONAGUA, 2004).

## **5.- FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN TORREÓN, COAHUILA**

En Torreón, Coahuila las fuentes relacionadas con la contaminación del agua están en relación con el uso de los químicos, la agricultura, el incremento de la población, la industria minera. Como consecuencia, mayor volumen de aguas residuales que contienen microorganismos patógenos, compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos, metales pesados y solventes, residuos sólidos municipales e industriales, que tienen gran incidencia en la calidad del agua (Huaiquilaf, 2009).

La sobreexplotación de acuíferos, y la calidad del agua es cada vez más baja. La disponibilidad efectiva del agua se ha reducido por los desequilibrios que ocasiona el crecimiento de la demanda, uso ineficiente y el aumento de los niveles de contaminación (IMTA, 2003).

## **6.- AGUA SUBTERRÁNEA**

### **6.1.- LOCALIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

El agua subterránea se encuentra en el subsuelo, en los vacíos que existen entre las partículas del suelo, rocas porosas o permeables y entre grietas del lecho rocoso del subsuelo, capaces de contener el líquido al mismo tiempo que permite su paso a través de ellas (Hornsby, 2000).

El agua subterránea puede ser: a) somera o freática, cuando se haya a menor profundidad pero por encima de la primera capa permeable del suelo; y b) artesiana, cuando se encuentra cubierta o encerrada a mayor profundidad (Hornsby, 2000).

## **6.2.- CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Aunque en agua superficial y subterránea representan un potencial de agua dulce, los cambios en la demanda y oferta por alteraciones en los ecosistemas y los cambios climáticos han mostrado que se trata de un recurso finito que requiere de un manejo cuidadoso. Solo durante los últimos 20 años su consumo se ha duplicado – muy por encima del crecimiento poblacional y muestra en regiones de menor precipitación signos de agotamiento. Diversos escenarios muestran que las sequías se presentan en ciudades con elevado número de población, fenómeno que se va a agravar en los próximos años, ya que las tasas altas de fecundidad se concentran - en más de 90%- en los países pobres y sus megalópolis. Aunque la población pobre tiene menor demanda de agua per cápita, 40% de la población mundial vive ahora en condiciones de pobreza, y de los 6.6 mil millones (Mm) de personas, hay 1.1 Mm sin acceso a agua potable; 2 Mm con escasez; y 2.4 Mm que carecen de sistemas de alcantarillado y saneamiento, equivalente a 40% de la población mundial. Los resultados son alta contaminación de ríos y lagunas, defecación al aire libre y enfermedades y muertes evitables (Oswald y Hernandez, 2005).

La degradación de la calidad de las aguas subterráneas y el riesgo de contaminación cada vez se convierte en el principal problema. Esta se presenta cuando hay una gran diversidad de usos y no hay un control en las fuentes contaminantes, como lo son la agricultura, la urbanización y la industrialización (Aguilar, 2009).

### **6.3.- PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

Los diferentes usos del suelo, sobre todo la agricultura, la urbanización y las industrias son fuentes principales de contaminación del agua subterránea, por lo que el uso no controlado de agroquímicos y la disposición inadecuada de los desechos son las principales fuentes de contaminación (Perdomo, et al., 2005).

La contaminación de suelos puede poner en riesgo especialmente la calidad de las aguas subterráneas por el proceso conocido como lixiviación y que consiste en el drenado y filtración de contaminantes a través del suelo hasta la tabla de agua. El deterioro de los mantos acuíferos ha comenzado a afectar la producción del norte de México (Aguilar, 2009).

En la Comarca Lagunera el agua es un recurso escaso, debido a que la extracción del agua de los mantos freáticos es mayor a la recarga, lo cual ha generado una sobreexplotación de los acuíferos (CNA, 2006)

La explotación intensiva del acuífero principal de la Comarca Lagunera ha provocado en las últimas décadas el avance de los frentes de arsénico, la reducción de los niveles de bombeo y la disminución de los caudales de extracción, en especial en la zona donde se abastece de agua a la población (Ojeda y flores, 2004).

## **7.- ARSÉNICO**

Elemento químico, cuyo símbolo es As y su número atómico, 33. Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza (ubicuo) aunque en menor proporción de manera pura, la mayor parte se encuentra formando minerales como pirita arsenical ( $\text{FeAsS}$ ), rejalgar ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), oropimente ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), arsenolita ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) y cobaltina ( $\text{SAsCo}$ ), se encuentra a veces sustituyendo al azufre en los minerales sulfurados de muchos de los metales pesados; el peso atómico es de 74.922 g/mol; tiene valencias de +3, -3, y -5; sus estados de oxidación es -3, +2, +3 y +5; con una densidad de 5780 kg/m<sup>3</sup>; su punto de ebullición es de 613°C; su punto de fusión es de 817°C, y su estructura forma un sistema romboédrico, en el cual ningún ángulo es recto (Fox y Doner, 2003).

Se descubrió en el siglo XIII por Alberto magno, de nacionalidad alemana. En la clasificación de los elementos por su abundancia en la corteza terrestre figura en el puesto 52°. (Trimble et al., 1999)

El arsénico se encuentra en dos formas comunes: una gris y de aspecto metálico y otra no metálica y amarillenta. (Das, et al., 2004).

### **7.1.- ARSÉNICO EN EL AMBIENTE**

El arsénico es un elemento habitual en la atmosfera, suelos, rocas, aguas naturales y organismos vivos. Su movilidad en el ambiente es debida tanto a procesos naturales como a actividades humanas. La mayor parte de los problemas ambientales del arsénico son el resultado de la movilización por causas naturales (actividad volcánica, reacciones de degradación por la acción de la atmosfera, actividad biológica), pero otros factores promovidos por la actividad humana, como la combustión de combustibles fósiles, la actividad minera, el uso de fertilizantes y herbicidas en la agricultura, o el uso de aditivos arsenicales en piensos animales o como conservantes de la madera, son responsables de problemas de contaminación por arsénico al menos a escala local (Matschullat, 2000).

El arsénico puede encontrarse en agua natural o por descarga de aguas residuales industriales. En la naturaleza, se encuentra generalmente en pequeñas cantidades; puede estar como elemento libre o en combinación con otros formando compuestos, tales como óxidos; con fierro y azufre, con azufre o cobalto solamente, con níquel y azufre. Puede disolverse en el agua cuando se disgregan algunas rocas que lo contengan o por paso a través de mantos subterráneos. El calor de aguas termales hace que se disuelva en concentraciones notables (Wu, 2005).

En las fases acuosas, el arsénico forma precipitados insolubles con un cierto número de elementos (Ca, S, Ba, Al, Fe), lo que resulta en la eliminación de los compuestos de arsénico del agua. En los microorganismos, las plantas y los animales, existe metilación y reducción de los compuestos del arsénico. Esto favorece la producción de un cierto número de compuestos del arsénico, que son estables Físico-Química y Biológicamente (Boyle, et al., 1998).

Para que aparezcan elevadas concentraciones de As en agua son necesarios tres factores:

1. Debe existir una fuente de arsénico. Este puede ser de origen geológico: muchos minerales contienen diferentes formas de As, los sulfuros y los óxidos y oxohidróxidos metálicos presentan cierta capacidad de adsorción de arsenitos y arseniatos, especialmente los óxidos de Fe, aunque también los de Al y Mn.
2. Movilización. Las piritas y otros sulfuros, principales fuentes naturales de arsénico, se forman preferentemente en zonas con fuertes condiciones reductoras. Estos compuestos no son estables en sistemas aerobios, y se oxidan liberando sulfatos, óxidos de hierro y diversos metales que, de esta forma, pasan a las aguas. También se produce la movilización del arsénico, en forma de arsenitos o arseniatos en función de las condiciones del medio. La concentración de estos oxoaniones en el agua está regulada entonces por los procesos de adsorción-desorción sobre óxidos metálicos, especialmente óxidos de hierro. Estos fenómenos de adsorción dependen del estado de oxidación del arsénico, de su concentración, del pH y de la competencia con otros aniones presentes, como el fosfato.



3. Transporte. Está directamente relacionado con los procesos de adsorción/desorción. Se ha comprobado que la velocidad de transporte es diferente para arsenito y arseniato, dependiendo además de factores como el pH y potencial Redox (Calvo, et al., 2003).

En el agua los estados de oxidación más comunes del arsénico son As Pentavalente (V), o Arsenáto, y As Trivalente (III), o Arsenito. El As (V) prevalece en aguas superficiales mientras que es más probable encontrar especies de As (III) en aguas subterráneas anaerobias. En el intervalo de pH natural del agua las especies de As (V) se encuentran cargadas negativamente y las de As (III) son eléctricamente neutras.

## **7.2.- EFECTOS EN LA SALUD**

De las diferentes fuentes ambientales de As, la que tiene mayor efecto en la salud humana es la presencia de éste en aguas de bebida. El valor guía establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha reducido de 50 a 10 µg/L de As total. Esta referencia se ha establecido basándose principalmente en la capacidad de detección analítica. Este mismo límite es el establecido en la C.E. (Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas a consumo humano), USA y Japón. Sin embargo, otros países, algunos de ellos con graves problemas de contaminación arsenical, continúan con el límite de 50 µg/L (Calvo, et al., 2003).

El agua potable contaminada con arsénico es altamente tóxica para la salud humana. La exposición crónica a niveles altos de arsénico durante mucho tiempo se informa que se asocia con una variedad de efectos adversos para la salud. Una estimación conservadora indica que habría más de 290 000 casos de cáncer en la generación actual de Bangladesh debido a la exposición al arsénico en los niveles recomendados. La contaminación por arsénico puede duplicar el riesgo de mortalidad a partir de hígado, la vejiga y el cáncer de pulmón en Bangladesh. Otro

estudio reveló que las enfermedades relacionadas con el arsénico en la actualidad han traído como resultado 9136 muertes por año en las personas expuestas a concentraciones de arsénico > 50 µg/L. Diversos estudios han especulado que la situación de la contaminación por arsénico de las aguas subterráneas puede ser más alarmante en el futuro y, como consecuencia, un gran número de pacientes se añade a los números existentes, si la gente vive durante mucho tiempo y siguen bebiendo agua contaminada con arsénico (Khan, et al., 2007).

Muchos compuestos de arsénico son rápidamente transformados y eliminados por el cuerpo a través de la orina. Sin embargo, la capacidad de las personas es diferente en el momento de eliminar compuestos de arsénico. Las cantidades de arsénico en el cuerpo se pueden determinar tomando muestras de sangre, orina, pelo o uñas y midiendo el nivel de arsénico o de sustancias que contengan arsénico. Los niveles en orina son los que mejor determinan una exposición reciente, mientras que los niveles en pelo y uñas pueden indicar exposiciones pesadas (International Programme on Chemical Safety, 2004).

El mayor riesgo observado en este y otros estudios del arsénico en agua potable es el cáncer de vejiga (Bates, et al., 2004).

### **7.3.- TIPOS DE TRATAMIENTO PARA LA ELIMINACIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA**

La eliminación o reducción de la contaminación de As en el agua se lleva a cabo mediante tecnologías de potabilización y purificación. La inseguridad y/o ignorancia con relación a la calidad del agua potable de los servicios públicos, crea la necesidad en las personas de comprar agua “purificada”, es decir, desprovista de cualquier contaminante. Los contaminantes del agua pueden ser gases de la atmósfera, minerales, materia orgánica y todo tipo de material usado para almacenarla y transportarla (Escobedo, et al., 2006).

Existen diversos tipos de tratamiento que permiten eliminar el arsénico, por ejemplo ósmosis inversa, adsorción sobre carbón activado, floculación con sales de hierro y aluminio. Debido a la simplicidad y menor costo del tratamiento con sales de hierro, se realizaron experimentos de laboratorio con un sistema Físico-Químico convencional de floculación-sedimentación-filtración. Se probó la eficiencia de la remoción en el agua del Muhi (Hungría) con diversas cantidades de sulfato férrico y cloruro férrico. Se demostró la viabilidad de este método para disminuir la concentración por debajo del límite establecido para el agua potable (Jiménez, et al., 2005).

Las eficiencias de remoción para As (V) son mucho mejores que la remoción de As (III), debido a sus propiedades eléctricas. Así, para incrementar la eficiencia de remoción cuando está presente el As (III) es necesaria su pre oxidación a especies de As (V), lo que se logra con la aplicación de cloro, aunque puede utilizarse también permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>) u ozono (O<sub>3</sub>). Por ejemplo la coagulación-filtración es un proceso de tratamiento efectivo para la remoción de As (V), sin embargo el tipo y la dosis de coagulante, así como el pH del agua afectan su eficiencia, por lo que este tipo de tratamiento se recomienda únicamente para sistemas grandes en las que el agua contenga otros contaminantes que puedan ser removidos mediante coagulación. El tratamiento con alúmina activada tiene altas eficiencias pero presenta el inconveniente del costo y la disponibilidad del material

además de los riesgos que representa el manejo de ácidos y bases; mientras que los procesos de membrana y de intercambio iónico requieren de pre tratamiento (Rivera y Piña, 2005).

A lo largo del tiempo se han ensayado diferentes técnicas para reducir el arsénico del agua, entre ellas la destilación solar, la osmosis inversa y el paso del agua arsenical por mantos filtrantes de propiedades adsorbentes, tales como alúmina activada, huesos de vacuno calcinados o virutas de hierro parcialmente oxidado. En el Laboratorio de la Universidad Tecnológica Nacional también se han probado métodos electroquímicos consistentes en la liberación de partículas coloidales de hidróxido de aluminio partiendo de la erosión de electrodos de cinc o de aluminio, y se obtuvieron rendimientos superiores al 99% en la remoción del arsénico, aunque se presentaron problemas de contaminación del agua por impurezas asociadas al material de los electrodos. Asimismo, se ha intentado tratar las aguas arsenicales por electrodiálisis, pero no se han encontrado membranas con poros de tamaño adecuado para eliminar selectivamente el arsénico (Luján, 2001).

## **8.- EL VALOR DEL AGUA**

Al igual que en muchos países de Latinoamérica, en México el abasto de agua para consumo humano y otros servicios careció en el pasado de un proyecto planificado y de largo plazo. Esto, aunado a una falta de cultura de pago de los servicios de agua potable y alcantarillado, ocasionó un desorden de grandes dimensiones, y por consecuencia, la sobreexplotación y contaminación de acuíferos y cuerpos de agua en todo el territorio nacional (Soto, 2005).

El agua es el principal recurso natural. El cuerpo de las personas está formado en un 70 % de agua y de una manera u otra, todas las actividades humanas requieren de la presencia del vital líquido (Antón, 2000).

El agua dulce, como cualquier bien, tiene valor económico. A algunos les puede resultar 'antipático' el escuchar que también el agua tiene un precio, porque no hay duda de que es un elemento vital para todos, pero ¿no pasa lo mismo con la energía eléctrica? Todo bien que es escaso (útil, pero que existe en menor cantidad que la deseada por el público) necesariamente tiene un precio (Tomás, 2008).

El agua dulce y potable después de pasar por un proceso químico e industrial llega al consumidor. Esta agua no puede ser un bien gratuito y, por lo tanto, tiene un precio. De todas maneras, compartimos la posición de que la población tiene 'derecho al agua'. En ese caso, el Estado deberá subsidiar a aquellos sectores que no tienen recursos para comprarla (Soto, 2005).

Si en una región el agua es abundante su valor de cambio será bajo. Por el contrario, si el agua es escasa su valor de cambio será alto (Tomás, 2008).

Incluso en las zonas húmedas hay escasez del vital líquido: áreas rodeadas de agua, como la ciudad de Buenos Aires, o zonas de altísima pluviosidad como Sao Paulo,

en Brasil, están teniendo serios problemas de abastecimiento de agua potable (Soto, 2005).

En los hechos, el problema principal que los seres humanos están experimentando con el agua es sobre todo de *calidad* y en mucho menor grado de *cantidad*.

En general, lo que le da valor al agua no es tanto la cantidad, sino sobre todo la calidad. Las aguas de ciertas calidades (por ejemplo tóxicas) pueden tener valor negativo, pues exigen grandes cantidades de energía para ser eliminadas o tratadas para su ulterior utilización, mientras que otras aguas que no requieren ningún tratamiento pueden tener gran valor (Antón, 2000).

## **9.- MATERIALES Y MÉTODOS**

### **9.1.- MUESTREO**

DISEÑO ECXPERIMENTAL: Completamente al azar.

Número de tratamientos: Nueve.

Número de repeticiones: Tres.

Se tomaron muestras de agua en las diferentes potabilizadoras de agua en garrafón de 18 litros de capacidad. Se vació el recipiente de 18 litros hasta la mitad, se agito y se muestreo el agua para su análisis y las muestras fueron tomadas de acuerdo a las especificaciones de la norma (NOM-014-SSA1-1993). La recolección de la muestra fue en recipientes de plástico blanco con capacidad de ½ litro dejándole un vacío del 10% tal como lo indica la norma.

### **9.2.- ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS**

Los análisis se llevaron a cabo en los laboratorios del Instituto Nacional De Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) CENID-RASPA. Se analizaron con la técnica de Espectrometría de absorción atómica por Generador de Hidruros, con un ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA, MODELO ANALYST 700.

Espectrometría de absorción atómica, es una rama del análisis instrumental en el cual un elemento es atomizado en forma tal que permite la observación, selección y medida de su espectro de absorción. Espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros, es un método similar al del vapor frío. Las muestras reaccionan en un dispositivo externo con un agente reductor, generalmente borohidruro. Los productos gaseosos de reacción se llevan a una celda de muestreo que se encuentra en el paso óptico del espectrómetro de absorción atómica, en este caso, los productos de reacción son hidruros volátiles. Estos compuestos

moleculares no son capaces de dar una señal de absorción atómica, por lo tanto la celda se calienta para disociar el hidruro gaseoso en átomos libres. Cuando el hidruro gaseoso se disocia en la celda calentada en átomos libres, la absorción atómica crece y cae a medida que se crean los átomos y escapan de la celda de absorción. Se mide el máximo de absorción o altura de pico, como señal analítica. Los elementos que se pueden determinar con esta técnica son: As, Bi.

## 10.- RESULTADOS

En el cuadro 1 el análisis de varianza indica que hay una alta significancia en la concentración de arsénico en las muestras de las diferentes aguas embotelladas.

Cuadro 1.- INFORMACION ESTADISTICA CONCENTRADA

Fuentes de Variación.	Grados de Libertad	Sistema de Cuadros	Cuadrados Medios	Probabilidad	Significancia
Modelo	10	1657.41	165.74	0.0001	**
Error	16	0.16	0.01		
Total	26	1657.57			

En el cuadro 2 nuestro análisis de varianza indica que no hay significancia en la concentración de arsénico en las diferentes repeticiones de aguas embotelladas.

Cuadro 2.- INFORMACION ESTADISTICA DESARROLLADA

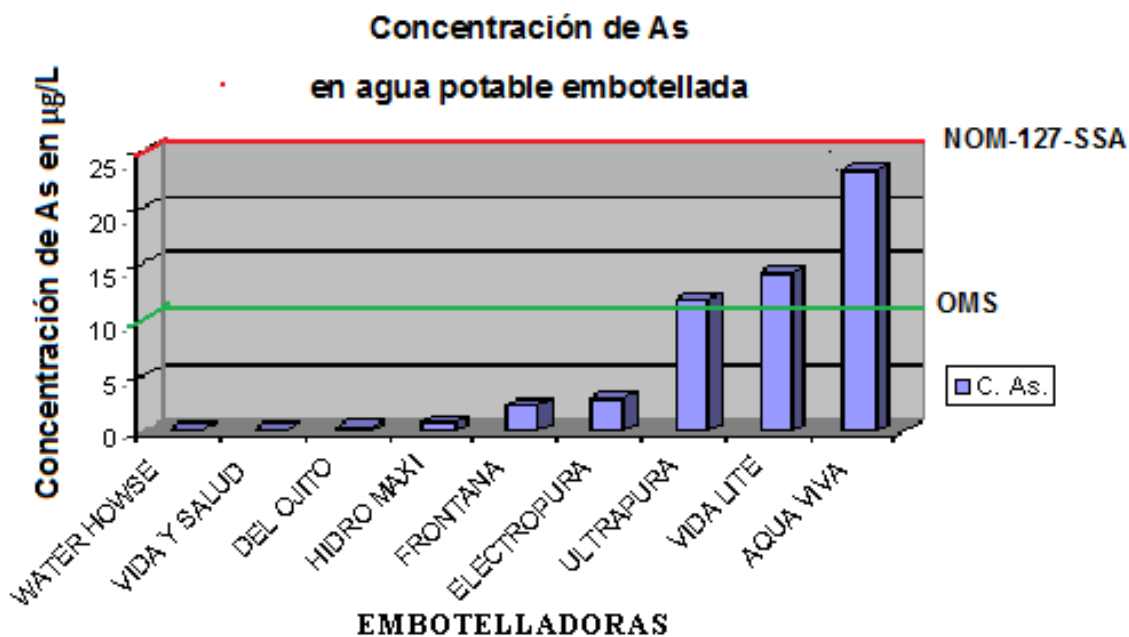
Fuentes de Variación.	Grados de Libertad	Sistema de Cuadros	Cuadrados Medios	Probabilidad	Significancia
Tratamiento	8	1657.38	207.173	0.0001	**
Repeticion	2	0.02	0.014	0.2716	Ns



De acuerdo a la prueba de Tukey del cuadro 3, observamos que todos los análisis están dentro de la Norma Mexicana (25 µg/L), pero la diferencia entre la concentración de As es grande desde 0.09 µg/L hasta 23 µg/L.

Cuadro 3.- COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LOS TRATAMIENTOS EN BASE A LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA.

Tratamiento	Nombre	Concentración de As (Media) µg/L	
6	WATER HOWSE	0.09167	A
9	VIDA Y SALUD	0.10300	B
4	DEL OJITO	0.36767	C
5	HIDRO MAXI	0.70400	D
7	FRONTANA	2.25567	E
8	ELECTROPURA	2.88733	F
3	ULTRAPURA	11.75333	G
2	VIDA LITE	14.04000	H
1	AQUA VIVA	23.37333	H



Grafica de la concentracion de arsenico en el agua potable embotellada.

## 11.- DISCUSIÓN

La concentración de sales de As que se localizan en el subsuelo y que se disuelven en el agua; al ser extraídas; contaminan este líquido; al ser usadas como agua potable perjudican a la salud de los humanos.

La máxima concentración de As encontrados en la investigación es de 23.37, 14.04 y 11.75  $\mu\text{g/L}$  las cuales están dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA que indica 25  $\mu\text{g/L}$  como máxima para considerarse como inocua, pero en relación a la norma de la OMS (Organización Mundial de Salud) es de 10  $\mu\text{g/L}$ ; esto nos indica que las concentraciones de As en el agua embotellada rebasan las Normas Internacionales de la Salud.

Khan, M. M. H. *et. al.* (2007) indica que en Bangladesh la Norma especifica como limite 50  $\mu\text{g/L}$  la cual es muy superior a la Norma Mexicana y a la OMS.

En el estudio de Ehrenstein, O. S. *et .al.* (2005) indica que aun con la implementación de la Norma de la OMS (10 µg/L) en algunos países tales como Estados Unidos, la India, Asia Meridional, Taiwán, Chile, Argentina se han encontrado concentraciones de 100 µg/L hasta 500 µg/L en el agua potable.

Ehrenstein ha correlacionado la presencia de embarazo de alto riesgo, aborto espontaneo, muerte fetal y mortalidad infantil de la India relacionados a la concentración de 200 µg/L de As en el agua potable.

Los análisis obtenidos tienen una concentración de As que están dentro de los límites permitidos de la OMS (10 µg/L), van desde 0.09, 0.103, 0.36, 0.704, 2.25 y 2.88 µg/L lo cual indica que el agua embotellada de estas industrias presentan tratamientos de solutos como osmosis inversa o filtración.

## **12.- CONCLUSIÓN**

El agua potable embotellada en las empresas muestreadas en Torreón, Coahuila cumple con la norma (NOM-127-SSA), con ello se comprueba la inocuidad del agua embotellada.

Aun así, de acuerdo con la organización mundial de la salud (OMS) que tiene como límite máximo 10 µg/L, en nuestra región tres embotelladoras muestreadas están por encima de esta llegando hasta 23 µg/L.

La correlación de domicilios de algunas embotelladoras es directa con la concentración de arsénico en la red de agua potable municipal.

Es recomendable que estas embotelladoras apliquen métodos de tratamiento de agua para la reducción de sales de arsénico y que estén por debajo de la norma de la OMS.

## BIBLIOGRAFÍA

Águila, A. 2009. Gestión de la calidad del agua subterránea con la participación de usuarios. Unidad de economía y medio ambiente. México. P.p. 4-8.

Aguirre, A., W. Herman., H. Fortis., R. Rodríguez., J. Hernández y R. Olague 2000. Consumo de agua en la alfalfa (medicago sativa L.) durante el establecimiento con riego subsuperficial. Instituto tecnológico de Torreón, Torreón Coahuila. P.p. 6.

Antón, D. 2000. El valor del agua, ecosistemas humanos y biodiversidad. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, julio del 2000. 12:21.

Bates, M. N., O.A. Rey., M. L. Biggs., C. Hopenhayn., L. E. Moore., D. Kalman., C. Steinmaus y A. H. Smith 2004. Case-Control Study of Bladder Cancer and Exposure to Arsenic in Argentina. American Journal of Epidemiology. Vol. 154, No. 4, 159:381-389.

Boyle, J. F., A. W. Mackay, N. L. Rose, R. J. Flower y P. G. Appleby. 1998. Sediment Heavy metal record in Lake Baikal: natural and anthropogenic sources. Journal of Paleolimnology. Vol.20. P.p. 135-150.

Calvo, R.C., J. Álvarez., M.A. Benítez., P.M. Diez y S.B. Rodríguez 2003. Contaminación por arsénico en aguas subterráneas en la provincia de Valladolid: variaciones estacionales. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI.*

Cerqueira, M. A., J. F. Silva., F. P. Magallanes., F. M. Soares y J. J. Pato 2007. Assessment of water pollution in the Antua river basin (northwestern Portugal) centre for environmental and marine studies (CESAM) and department of environment and planning. Portugal. P.p. 1.

Chen, Y., Factor, L. P., Howe, G. R., Graziano, J. H., Parvez, F., Van, G.A. y Ahsan, H. 2006. Arsenic Exposure from Drinking Water, Dietary Intakes of B Vitamins and Folate, and Risk of High Blood Pressure in Bangladesh: A Population-based, Cross-sectional Study. *American Journal of Epidemiology*. Vol. 165, No. 5. 165:541-552.

CNA (Comisión nacional del agua) 2006. Valor, costo y precio del agua en la región lagunera. Gerencia de estudios para el desarrollo hidráulico integral. México. P.p. 73.

CONAGUA 2004. Situación de los recursos hídricos. En estadísticas del agua en México. Conagua. México. P.p. 22-50.

Da, C. J. 2006. Agua embotellada: Signo de nuestro tiempo. *Observatorio de la globalización, D3E*. N° 5.

Das, H.K., Mitra, A.K., Sengupta, P.K., Hossain, A., F. Islam And G.H. 2004. Arsenic concentrations in rice, vegetables and fis in Bangladesh: A preliminary study. *Enviroment international*. Vol. 30 p.p. 383-387.

Ehrenstein, O. S., D.N. Mazumder., Y. Yuan., S. Sambit., J. Balmes., A. Sil., N. Ghosh., R. Haque., R. Purushothamam., S. Lahiri., S. Das y A. H. Smith 2005. Decrements in Lung Function Related to Arsenic in Drinking Water in West Bengal, India. *American Journal of Epidemiology*. Vol. 162, No. 6. 162:533-541.

Escobedo, M.T., P.J. Salas y G.E. Muñoz 2006. Evaluación de los Procesos de purificación de una despachadora de agua potable en Ciudad Juárez, CULCyT, agua potable. N 13. P.p. 17

Favela, S.P. 2001. Caracterización de fuentes puntuales de contaminación en el rio Atoyac, México. *Ingeniería sanitaria y ambiental*. México. P.p. 1-7.

Flores, G., M. Tornero., M. Campante y A. Cruz 2008. Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. Laboratorio de ingeniería ambiental. Instituto tecnológico de Puebla. Puebla. P.p. 1-2.

Fox, P. M. y H. E. Doner. 2003. Accumulation, release, and solubility of arsenic, molybdenum, and vanadium in wetland sediments. Journal Environment. Qual. Vol. 32. P.p. 2428-2435.

García, E. 2007. EL manejo del agua en la laguna. México. Agrociencia. P.p. 50-65.

Hornsby, G.A. 2000 (en línea) Agua Subterránea: El recurso oculto. (<http://edis.ifas.ufl.edu>), (consulta 15 de febrero 2011).

Huaiquilaf, C.B. 2009. Contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos líquidos livianos en fase no acuosa. Departamento de ingeniería civil. P.p. 5.

IMTA (instituto mexicano de tecnología del agua) 2003. Aspectos relevantes de la política del agua en México, en el marco de desarrollo sustentable. México. P.p. 30.

IMTA y SEMARNAT, 2004. Calidad y Tratamiento del Agua. Vol.13. Núm. 3. Julio – Septiembre 2004.

International Programme on Chemical Safety 2004; (en línea), Consenso Científico sobre el arsénico, <http://www.greenfacts.org/es/arsenico/> (consultado el 07 de Noviembre de 2010).

Jiménez, C.B., H.M. Mazari., M.R. Domínguez y G.E. Cifuentes 2005. El Agua en el Valle de México, Academia Mexicana de Ciencias, Segunda edición. P.p. 91.

Khan, M. M. H., A. Khandoker., M. Kabir y M. Mori 2007. Determinants of drinking arsenic-contaminated tubewell water in Bangladesh. Health policy and planning. 22:335-343.

Luján, J. C. 2001. Un hidrogel de hidróxido de aluminio para eliminar el arsénico del agua. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán, Argentina. Rivadavia 1050 - (4000), San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health 9(5).

Marín, G. R. 2005. Fisicoquímica y Microbiológica de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Díaz Santos, Córdoba, Veracruz. P.p. 319.

Matschullat, J. 2000. Arsenic in the geosphere. A review. The Science of Total Environment, 249:297-312.

Mulvaney, R. L., S.A. Khan., R. G. Hoefft y H. Brown 2001. A soil organic nitrogen fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. Soil Sci. Soc. Am. J 65: 1164-1172.

Ojeda, G. y O. Flores 2004. Proyectos de recarga artificial de acuíferos en la comarca lagunera, México. Instituto mexicano de tecnología de agua. 1p. Torreón, Coahuila, México.

Oswald, S.U. y R.L. Hernández 2005. El valor del agua: una visión socioeconómica de un conflicto ambiental. Primera edición, México, D.F. P.p. 11-17,23-28.

Perdomo, C. H., O. N. Casanova y V. S. Ciganda 2005. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste de Uruguay. Agrociencias. Facultad de agronomía. Uruguay. P.p. 23-51.

Pintado, L y G. Osorno 2006. Agua, usos, abusos, problemas, soluciones. Ed. Mapas, Vol. 1 p.p. 34-35

Ramírez, V. R. 2007. Arsénico en el agua subterránea de la Comarca Lagunera.

Universidad Iberoamericana Torreón.

([www.lag.uia.mx/buenaaval/buenaaval7/b7arsenico\\_agua46](http://www.lag.uia.mx/buenaaval/buenaaval7/b7arsenico_agua46).)

Reynolds, K. 2002. Tratamientos de aguas residuales en Latinoamérica. Agua Latinoamericana, México. P.p. 6-8.

Rivera, H. M. y S. M. Piña, 2005. Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre zeolita natural acondicionada. Instituto Mexicano de Tecnología.

Salazar, J., G. Soria y F. Manuel 2006. Demanda y distribución del agua en la comarca lagunera, México. Agrociencia. Colegio de posgraduados. México. P.p. 2

Serrano, E. L. 1997. El agua: las aguas residuales y su tratamiento. ERCA. San pablo, México. P.p. 15-18, 30-34.

Smedley, P y D. Kinnibourgh 2001. Arsenic in groundwaters across the world. Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh. Vol. 2 Final Report, 3-16.

Soria, G. E., G. A. Salazar., M.S. Flores., F. Hernández y V. R. Alcalá 2006. Demanda de agua en la comarca Lagunera, México. Agrociencia. México. P.p. 23-50.

Soto, R. F. 2005. El valor del agua no tiene precio. Comisión Nacional del Agua en México.

Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos C.P. 62550.



Tomás, P. R. 2008. El valor del agua. Universidad del Centro Educativo Latinoamericano Rosario, Argentina. INVENIO 11(20).

Trimble, C. A., R. W. Hoenstine y A. B. Highley. 1999. Baseline sediment trace metals investigation: Steinhatchee river stuary, Florida, Northeast Gulf of México. Marine Georesources and Geotechnology. Vol.17. P.p. 187-197.

White, P. A. y J. B. Rasmussen 1998. The genotoxic hazards of domestic wastes in surface waters. Mutat. Res. 410: 223-236.

Wu, J. Y. 2005. Assessing surface water quality of the Yangtze estuary with genotoxicity data. Mar. Pollut. Bull. 150: 1661-1667.

## **APENDICE 1**

NORMA OFICIAL MEXICANA. **NOM-014-SSA1-1993** "PROCEDIMIENTOS SANITARIOS PARA EL MUESTREO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PUBLICOS Y PRIVADOS"

### **Material, Reactivos y Equipo de Muestreo**

1.- Envases para toma de muestra.

Para análisis bacteriológico.- Frascos de vidrio de boca ancha con tapón esmerilado o tapa roscada, o frascos de polipropileno; resistentes a esterilización en estufa o autoclave o bolsas estériles con cierre hermético y capacidad de 125 ó 250 ml.

Para análisis físico-químico.- Envases de plástico o vidrio inertes al agua de 2 l de capacidad como mínimo, con tapones del mismo material que proporcionen cierre hermético.

El material del envase, así como el volumen de muestra requerido y el método de preservación para la determinación de los diferentes parámetros, deben ser los señalados en la tabla que esta al final del texto.

2.- Termómetro con escala de -10 a 110°C.

3.- Potenciómetro o comparador visual para determinación de pH.

4.- Comparador visual para determinación de cloro residual.

5.- Hielera con bolsas refrigerantes o bolsas con hielo.

6.- Agua destilada o desionizada.

7.- Solución de hipoclorito de sodio con una concentración de 100 mg/l.

8.- Torundas de algodón

## **Preparación de Envases para Toma de Muestras**

Para análisis bacteriológico

Toma de muestra de agua sin cloro residual.- Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120° C durante 15 min. Antes de la esterilización, con papel resistente a ésta, debe cubrirse en forma de capuchón el tapón del frasco.

Toma de muestra de agua con cloro residual.- Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120° C durante 15 min, los cuales deben contener 0.1 ml de tiosulfato de sodio al 3% por cada 125 ml de capacidad de los mismos. Debe colocarse un papel de protección al tapón del frasco.

Para análisis físico-químico.- Los envases deben lavarse perfectamente y enjuagarse a continuación con agua destilada o desionizada.

## **Procedimiento para Toma de Muestra**

Para análisis bacteriológico.

1.- En bomba de mano o grifo del sistema de distribución.

El agua de los grifos debe provenir directamente del sistema de distribución. No debe efectuarse toma de muestra en grifos que presenten fugas entre el tambor y el cuello, ya que el agua puede correr por la parte exterior del grifo y contaminar la muestra. Deben removerse los accesorios o aditamentos externos como mangueras, boquillas y filtros de plástico o hule antes de tomar la muestra.

Debe limpiarse el orificio de salida con una torunda de algodón impregnada de solución de hipoclorito de sodio con una concentración de 100 mg/l.

Debe dejarse correr el agua aproximadamente 3 min o hasta asegurarse que el agua que contenían las tuberías ha sido vaciada totalmente.

Cerca del orificio de salida, deben quitarse simultáneamente el tapón del frasco y el papel de protección, manejándolos como unidad, evitando que se contaminen el tapón, o el papel de protección, o el cuello del frasco.

Debe mantenerse el tapón hacia abajo para evitar contaminación y procederse a tomar la muestra sin pérdida de tiempo y sin enjuagar el frasco; se debe dejar el espacio libre requerido para la agitación de la muestra previa al análisis (aproximadamente 10% de volumen del frasco). Efectuada la toma de muestra, deben colocarse el tapón y el papel de protección al frasco.

2.- En captación de un cuerpo de agua superficial o tanque de almacenamiento.

Deben lavarse manos y antebrazos con agua y jabón. Debe quitarse el papel de protección evitando que se contamine, y sumergir el frasco en el agua con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, abrir y enderezar a continuación con el cuello hacia arriba (en todos los casos debe evitarse tomar la muestra de la capa superficial o del fondo, donde puede haber nata o sedimento y en el caso de captación en cuerpos de agua superficiales, no deben tomarse muestras muy próximas a la orilla o muy distantes del punto de extracción); si existe corriente en el cuerpo de agua, la toma de muestra debe efectuarse con la boca del frasco en contracorriente. Efectuada la toma de muestra debe colocarse el tapón, sacar el frasco del agua y colocar el papel de protección.

Para análisis físico-químico.

El volumen de muestra debe tomarse como se indica en la tabla que esta al final del texto.

En bomba de mano o grifo del sistema de distribución o pozo profundo.

Debe dejarse correr el agua aproximadamente por 3 min o hasta asegurarse que el agua que contenían las tuberías ha sido vaciada totalmente. El muestreo debe realizarse cuidadosamente, evitando que se contaminen el tapón, boca e interior del envase; se requiere tomar un poco del agua que se va a analizar, se cierra el envase y agitar fuertemente para enjuagar, desechando esa agua; se efectúa esta operación dos o tres veces, procediendo enseguida a tomar la muestra.

### **Manejo de Muestras**

Las muestras tomadas deben colocarse en hielera con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo para su transporte al laboratorio, de preferencia a una temperatura entre los 4 y 10°C, cuidando de no congelar las muestras. El periodo máximo que debe transcurrir entre la toma de muestra y el análisis es: Para análisis bacteriológico 6 horas.

Para análisis físico-químico, el periodo depende de la preservación empleada para cada parámetro como se indica en la tabla que esta al final del texto.

### **Identificación y Control de Muestras**

Para la identificación de las muestras deben etiquetarse los frascos y envases con la siguiente información:

- 1.- Número de registro para identificar la muestra, y
- 2.- Fecha y hora de muestreo.

Para el control de la muestra debe llevarse un registro con los datos indicados en la etiqueta del frasco o envase referida, así como la siguiente información:

- 1.- Identificación del punto o sitio de muestreo,
- 2.- Temperatura ambiente y temperatura del agua,

3.- pH,

4.- Observaciones relativas a la toma de muestra, en su caso, y Nombre de la persona que realiza el muestreo.

### **Selección de Puntos de Muestreo**

La selección de puntos de muestreo debe considerarse individualmente para cada sistema de abastecimiento. Sin embargo, existen criterios que deben tomarse en cuenta para ello. Estos criterios son:

1.- Los puntos de muestreo deben ser representativos de las diferentes fuentes de agua que abastecen el sistema.

2.- Los puntos de muestreo deben ser representativos de los lugares más susceptibles de contaminación: Puntos muertos, Zonas de baja presión, Zonas con antecedentes de problemas de contaminación, Zonas con fugas frecuentes, Zonas densamente pobladas y con alcantarillado insuficiente, Tanques de almacenamiento abiertos y carentes de protección, y Zonas periféricas del sistema más alejadas de las instalaciones de tratamiento.

3.- Debe haber una distribución uniforme de los puntos de muestreo a lo largo del sistema.

4.- Los puntos se localizarán dependiendo del tipo de sistemas de distribución y en proporción al número de ramales.

5.- Debe haber como mínimo un punto de muestreo inmediatamente a la salida de las plantas de tratamiento, en su caso.

DETERMINACIÓN	MATERIAL DE ENVASE	VOLUMEN MINIMO (ml)	PRESERVACIÓN	TIEMPO MAXIMO ALMACENAMIENTO
Alcalinidad total	P, v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Arsénico	P, v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Bario	P, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Boro	P	100	No requiere	180 d
Cianuros	P, v	1000	Adicionar NaOH a pH>12; refrigerar de 4 a 10° C en la oscuridad.	14 d
Cloruros	P, v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Color	P, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Dióxido de carbono	P, v	100	Analizar inmediatamente	---
Dureza total	P, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Fluoruros	P, v	300	Refrigerar de 4 a 10° C	28 d
Fosfatos	V	100	Enjuagar el envase con ácido nítrico 1:1. Refrigerar de 4 a 10° C	48 h
Magnesio	P, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C	28 d

Metales general	en P, v	1000	Enjuagar el envase con HNO <sub>3</sub> 1 + 1; adicionar HNO <sub>3</sub> a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO <sub>3</sub> a pH<2	180 d
Nitratos	P, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Nitritos	P, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Nitrógeno amoniacal	P, v	500	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Nitrógeno orgánico	P, v	500	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2 refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Olor	---	---	Detectar inmediatamente	---
Oxígeno consumido en medio ácido	P, v	300	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Ph	P, v	---	Analizar inmediatamente	---
Plaguicidas	S	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual.	7 d



			Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	
Sabor	---	---	Detectar inmediatamente	
Sodio	P, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Sólidos	P, v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sulfatos	P, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Sustancias activas al azul metileno	P, v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Temperatura	P, v	---	Determinar inmediatamente	---
Trihalometanos	S	25	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	
Turbiedad	P, v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h

P= plástico, pH= potencial de hidrogeno, s= vidrio enjuagado con solventes orgánicos, V= vidrio.

## APENDICE 2

### TABLA DE RESULTADOS

Tratamiento	Muestra	Análisis As.	Media µg/L
1	AQUA VIVA	193.7	23.25
	AQUA VIVA	193.7	23.45
	AQUA VIVA	193.7	23.42
2	VIDA LITE	193.7	13.77
	VIDA LITE	193.7	14.25
	VIDA LITE	193.7	14.1
3	ULTRAPURA	193.7	11.61
	ULTRAPURA	193.7	11.82
	ULTRAPURA	193.7	11.83
4	DEL OJITO	193.7	0.379
	DEL OJITO	193.7	0.364
	DEL OJITO	193.7	0.36
5	HIDRO MAXI	193.7	0.751
	HIDRO MAXI	193.7	0.69
	HIDRO MAXI	193.7	0.671
6	WATER HOWSE	193.7	0.073
	WATER HOWSE	193.7	0.116
	WATER HOWSE	193.7	0.086
7	FRONTANA	193.7	2.274
	FRONTANA	193.7	2.219
	FRONTANA	193.7	2.284
8	ELECTROPURA	193.7	2.966
	ELECTROPURA	193.7	2.86
	ELECTROPURA	193.7	2.836
9	VIDA Y SALUD (Lerdo)	193.7	0.103