

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Factibilidad de la roca caliza Indidura Calcárea Treviño como removedor de
arsénico (As) en agua potable**

POR

HUGO ENRIQUE HERNÁNDEZ LÓPEZ

TESIS

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Factibilidad de la roca caliza Indidura Calcárea Treviño como removedor de
arsénico (As) en agua Potable

POR

HUGO ENRIQUE HERNÁNDEZ LÓPEZ

TESIS QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

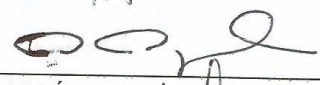
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR
COMITÉ PARTICULAR

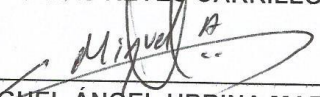
ASESOR PRINCIPAL:


ING. RUBI MUÑOZ SOTO

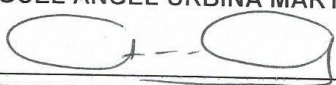
ASESOR

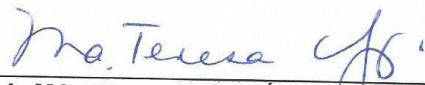

DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

ASESOR


MC. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ

ASESOR


MC. CYNTHIA DINORAH RUEDAS ALBA


DRA. MA. TERESA VALDÉS PEREZGASGA
COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS
AGRONÓMICAS



Sección de la División de
Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Diciembre, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Factibilidad de la roca caliza Indidura Calcárea Treviño como removedor de
arsénico (As) en agua Potable

POR

HUGO ENRIQUE HERNÁNDEZ LÓPEZ

TESIS

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

ING. RUBI MUÑOZ SOTO

VOCAL:

DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL:

M.C. MIGUEL ANGEL URBINA MARTÍNEZ

VOCAL SUPLENTE:

M.C. JOSÉ LUIS RÍOS GONZÁLEZ

DRA. MA. TERESA VALDÉS PEREZGASGA

COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Diciembre, 2014

AGRADECIMIENTOS

A MIS ASESORES

A la Ing. Rubí Muñoz Soto muchas gracias por su colaboración y ayuda en los momentos de muestrear y de hablar con gente, así mismo por haber soportado mis desplantes e impulsos.

A la M.C. Blanca Estela Barajas Balderas por haber aceptado escuchar el proyecto y prestarme el laboratorio de caleras de la laguna, para poder realizar los trabajos necesarios además de estar siempre a disposición de lo que yo necesitara.

A la Ing. Diana Rubio y el Ing. Salvador por estar ahí cuando lo necesite en el laboratorio que no sabía que hacer ellos me guiaban y me enseñaban como trabajar.

DEDICATORIAS

A mi Madre

Que siempre estuvo ahí cuando más la necesitaba aguantándome todo y haciendo todo lo posible para yo tener lo necesario aun y cuando yo era muy exigente. Te amo mamá.

A mi Padre

Que gracias a él he podido cumplir este sueño dándome el carácter necesario para salir adelante frente a los problemas y que sin su apoyo y lucha no podría estar aquí. Te amo

A mis tías

Que siempre me estuvieron alentando para que saliera adelante y me superara, me dieron su apoyo en todo lo que fue posible.

A la familia Benitez Reyes

A ellos que siempre estuvieron para mí cuando más lo necesite en estos dos últimos años, me cuidaron, me brindaron su apoyo y sobre todo me dieron un hogar en donde me sentía cobijado gracias a todos ustedes que son una excelente familia. Pase lo que pase Los quiero mucho.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	II
INDICE GENERAL	III
1. Resumen	V
2. Introducción	1
1.1. Caleras de la Laguna, S.A. de C.V.	3
2.1.2 Su mercado	3
2.1.3 Óxido de calcio: CaO	4
2.1.4 Hidróxido de Calcio: Ca(OH) ₂	5
2. Objetivo	7
3. Revisión de Literatura	8
3.1. Importancia del agua	8
3.2. Contaminación del agua por metales pesados	8
3.3. Arsénico en el agua	9
3.4. Otras fuentes	10
4.5. Características del arsénico	11
4.6. Daños a la salud	11
4.7. Problemática en América latina	13
4.8. Problemática en la Cd. de torreón, Coahuila, México	13
4.10. Formación indidura en la plataforma de Coahuila y Durango.	15
4.11. Interacción roca-agua	16
5. Materiales y Métodos	17
5.1. Materiales.	17
5.2. Método	17
5.2.1. Muestreo de la roca:	17
5.2.2. Prueba de desorción	18
5.3. Método determinación de arsénico para el agua	18
5.3.1. Método Espectrofotométrico	18
5.3.2. Muestreo de agua	19
5.3.3. Preparación de envases	19

5.3.4. Procedimiento para Toma de Muestra.....	19
5.3.5. Prueba de adsorción	21
Resultados de las muestras de agua analizadas.....	22
Pozo 1:	22
Pozo 2:	23
Pozo 3:	24
Gráfica. Niveles de arsénico en cada pozo muestreado.....	25
Gráfica. Interacción roca-agua con respecto al tiempo.....	29
A parte de trabajar las corridas en horas también se hicieron repeticiones en diferentes días, obteniendo los siguientes resultados:	29
Resultados de la muestra del día 1	29
En el primer de día de tratamiento la roca se comportó de manera favorable.....	29
Gráfica. Comparación de límites establecidos con el primer día de prueba.....	30
Muestra día 10	30
Gráfica. Comparación de límites establecidos con el resultado del día 10.....	31
Muestra día 20	31
Gráfica. Comparación del resultado del día 20 con los límites permisibles.....	32
Muestra día 30	32
Gráfica. Comparación de resultado del día 30 con los límites máximos permisibles.....	33
Gráfica. Comparación de los resultados obtenidos	33
7. Discusión	34
8. Conclusión	35
9. Bibliografía	36

1. Resumen

Los efectos carcinogénicos que puede tener beber agua con altos niveles de arsénico pueden ser letales. La Comarca Lagunera en los últimos años se ha convertido en un foco rojo, ya que los niveles de arsénico que contienen las aguas para consumo humano son demasiado altos y de acuerdo con los científicos el beber este tipo de agua puede causar desde una severa diarrea y en casos extremos la muerte. La Comarca Lagunera es una zona donde las principales actividades económicas son a ganadería y la agricultura siendo esta última una de las causas de que los suelos de esta región cuenten con altos niveles de arsénico y así mismo los mantos acuíferos se contaminen. Otro aspecto importante que se le atribuye los altos niveles de arsénico en el agua es la profundidad de los pozos en que se extrae el agua. La Comarca Lagunera es una zona en donde sus recursos naturales son diversos. Una característica de los cerros es que son compuestos por altos contenidos de carbonatos ya que es una zona marmolera. La reducción de arsénico se ha llevado a cabo por métodos tecnológicos, en este estudio se pretende probar el poder reducir los niveles de arsénico por medio de una roca que se encuentra en esta región con un alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3), que es un componente muy importante para lograr la adsorción.

PALABRAS CLAVE: Adsorción, Desorción, Carbonato de Calcio, Contaminación y Filtro.

2. Introducción

Las investigaciones de los cuerpos de aguas subterráneas empezaron desde hace tiempo, debido a los problemas presentados principalmente a la contaminación por arsénico, que lo podemos encontrar de forma natural y en forma antropogénica debido a la agricultura y ganadería (Flores *et al.*, 2009).

El arsénico se encuentra ampliamente distribuido en el medio natural y con frecuencia son transportados por el agua. La problemática de la aparición de arsénico en aguas subterráneas ha obtenido el tema de mayor atención mundial, y debido a los diversos estudios en regiones donde la concentración de Arsénico son de alta exposición del mundo han establecido su carcinogénesis humano (smedley y Kinniburgh, 2002).

Los recursos de agua del mundo están siendo contaminados a través de diversas actividades antropogénicas, El arsénico es un metaloide tóxico que ocurre comúnmente en el medio natural. Los peligros para la salud asociados con el arsénico incluso a bajos niveles en el agua subterránea han tienen atraído la atención de la comunidad científica (Pushpa *et al.*, 2005).

Un aspecto muy importante del arsénico como problema de riesgo ambiental que se genera y que no ha sido bien caracterizado es el grado de variabilidad temporal en agua de pozo (Ayotte *et al.*, 2014).

El arsénico se sabe que existe más comúnmente en el estado de oxidación OS -3, 3 y 5. Lo forma una variedad de compuestos inorgánicos y orgánicos, de los cuales sólo un pequeño número se sabe que se producen naturalmente (Sadler *et al.*, 1993).

La explotación minera es uno de los principales factores que alteran el suelo, debido a que produce anomalías biogeoquímicas que se produce en el momento de la extracción. La anomalía más notable es el aumento de los microelementos presentes en el suelo convirtiéndose en macroelementos los cuales afectan la biota y calidad del suelo (Puga *et al.*, 2006).

La exposición crónica que resulta de beber agua con altos niveles de arsénico durante un largo periodo de tiempo (5 a 20 años) es conocido como arsenicosis (Caballero-Gutiérrez *et al.*, 2010).

Los síntomas inmediatos de la intoxicación aguda por arsénico incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. Seguidamente, aparecen efectos, como entumecimientos u hormigueo en las manos y los pies o calambres musculares y en casos extremos la muerte (OMS, 2012).

La sensibilidad humana a los efectos tóxicos del arsénico varía, probablemente debido a factores genéticos, metabólicos de la dieta, del estado de la salud, del sexo y de la edad, entre otros (Navoni *et al.*, 2012).

Cada vez más efectos en la salud del humano han sido relacionados con la contaminación por Arsénico, incluidas las asociaciones con diabetes, enfermedades del corazón, y la susceptibilidad del virus H1N1 (Kozul *et al.*, 2009).

En varios países de América Latina como Argentina, Chile, México, El Salvador; Nicaragua, Perú y Bolivia, por lo menos cuatro millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico, que ponen en riesgo su salud en tal magnitud que en algunos países se ha convertido en un problema de salud pública.

La Comarca Lagunera se encuentra en la parte central del norte de México (Castro de Esparza, 2006).

Se trata de una importante producción de área de algodón, y otras principales actividades económicas están relacionadas con los productos lácteos y la minería operaciones. El clima es muy seco, con una precipitación anual de alrededor de 250 a 350 mm. No solo en los seres humanos es una problemática grave, ya que también ha atacado a los animales de granja y se han encontrado niveles de arsénico similar a los del humano. Pero no solo el agua para beber es una fuente de contaminación, también el alimento para el ganado es otro punto de los cuales se tiene que prevenir. La comarca lagunera es una región en donde sus principales actividades económicas son la agricultura y ganadería y estas dos actividades son factores importantes en la contaminación de los cuerpos de agua subterráneas (Rosas *et al.*, 1997a).

1.1. Caleras de la Laguna, S.A. de C.V.

Esta Empresa fue fundada en 1944 por el Sr. Manuel García Peña con el nombre inicial “COMPAÑÍA INDUSTRIAL DE MARMOLES, S.A.”, dedicada a la explotación de piedra caliza y mármol en la Ciudad de Torreón; fue hasta el 4 de Abril de 1955 cuando se constituye en fábrica de cal adquiriendo el nombre de CALERAS DE LA LAGUNA, S.A.

En el año de 1963 la empresa fue vendida por el Sr. Manuel García Peña a una empresa Calera de la Ciudad de México quien durante su gestión moderniza la operación y fomenta el crecimiento de la misma incorporando el proceso de hidratación con lo que propicia un crecimiento importante para la empresa introduciendo al mercado la Marca de cal “CAL FLOR”.

En 1993 CALERAS DE LA LAGUNA se escinde de la Empresa Calera de la Ciudad de México y junto con la Empresa Productos Industriales del Bajío ubicada en la Cd. de Irapuato, Gto. Se constituyen como Grupo Navomora.

Fue hasta Febrero de 1996 cuando GRUPO NAVOMORA se asocia con GRUPO CALIDRA, Empresa Calera con una Gran Visión y Dinamismo ; Es a partir de esa Sociedad que CALERAS DE LA LAGUNA , S.A. DE C.V. inicia un camino muy interesante de crecimiento y modernización lo que hasta la fecha le ha permitido constituirse como una de las plantas de Cal y sus Derivados más productivas del país sirviendo a Distintos Mercados en toda la República Mexicana y presencia en Estados Unidos de Norteamérica , Sudamérica , Asia , Europa y Oceanía.

El Carbonato de Calcio es un compuesto químico que se encuentra en la naturaleza, formado de rocas sedimentarias y cristalizaciones, por lo general con más del 98.5% de pureza y es obtenido por la extracción, trituración y molienda fina de rocas calizas, (CaCO₃).

2.1.2 Su mercado

El carbonato de calcio cuenta con características como: alta pureza, alta blancura, baja abrasividad y buena dispersabilidad.

Se utiliza en la industria química para la fabricación de pinturas y adhesivos, en la industria cerámica, farmacéutica y también en la industria agropecuaria se utiliza para alimentación animal como fuente de calcio.

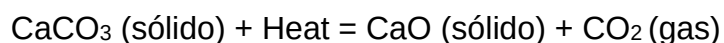
En la industria de la medicina como suplemento de calcio, como antiácido y agente adsorbente. Es fundamental materia prima en la producción de vidrio y cemento. También como carga para papel y plásticos para mejorar la velocidad de extrusión y las propiedades mecánicas del plástico.

El carbonato de calcio es utilizado en hules y plásticos, especialmente en PVC plastificado y rígido. Es utilizado también en recubrimientos y selladores. Las aplicaciones más importantes se dan en: PVC plastificado, plastisoles de PVC, PVC rígido, polipropileno, polietileno y resinas de poliéster no saturadas.

2.1.3 Óxido de calcio: CaO

El Óxido de calcio es un compuesto químico resultante de la calcinación de piedra caliza en hornos a temperaturas cercanas a los 1000° C.

El óxido de calcio (cal viva) con alto contenido de calcio es aquel que está constituido por alrededor de 90% de óxido de calcio (CaO). La producción de cal viva de alto calcio requiere de una roca caliza de alta pureza y una eficiente calcinación. Su producción sigue la siguiente secuencia química:



Se utiliza como fundente en la producción de acero, facilitando la escorificación y disminuyendo el consumo energético durante la fundición. En la industria del vidrio para darle transparencia y resistencia al vidrio.

En la fabricación de papel para la transformación de materiales celulósicos y de acabado. En la obtención de pasta celulosa a partir de la pulpa como blanqueador y filler.

Es utilizado en la minería para optimizar la recuperación y optimización de minerales como cobre, oro, plata, zinc, proporcionando un adecuado pH y neutralizando los ácidos presentes logrando condiciones propicias para el proceso metalúrgico.

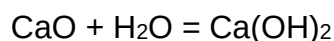
En la acuicultura para el control de materia orgánica en los estanques, evitando la proliferación de bacterias y virus regulando el pH, además de aportar el Calcio necesario en la formación de los caparazones.

El uso del Oxido de Calcio en la producción de azúcar como alcalinizante, floculante y precipitante de impurezas minerales y orgánicas permite clarificar y refinar los productos de manera más efectiva.

2.1.4 Hidróxido de Calcio: Ca(OH)_2

El hidróxido de calcio (cal hidratada, cal apagada), es un polvo blanco, obtenido de la reacción de hidratación del óxido de calcio con agua.

El hidróxido de calcio de alta pureza es aquel que está constituido por alrededor de 95% de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2). La producción de hidróxido de calcio requiere de una roca caliza de alto contenido de calcio, una eficiente calcinación y además un proceso de hidratación controlado. Su producción sigue la siguiente secuencia química:



Por su alta calidad y especialidad, participa de manera importante en una infinidad de procesos especializados:

Se utiliza en la fabricación de alimentos y sus procesos de conservación en lácteos, harinas y aditivos para alimentos, en el proceso de nixtamalización del maíz para la fabricación de tortillas y para el procesamiento de agua para bebidas alcohólicas y carbonatadas.

Es utilizado en la fabricación de materias primas y productos de uso industrial como las grasas lubricantes que soportan altas y bajas temperaturas. En la industria petrolera para la manufactura de aditivos para el petróleo crudo y en la perforación de pozos. En la industria química para producción de estearato, propionato y fosfato de calcio. En la industria petroquímica para la manufactura de lubricantes sólidos y para la preparación de mezclas secas para pintura y decoración.

También en el proceso de desulfurizado de gases; durante los procesos industriales, tales como la combustión y refinación de combustibles fósiles y la producción de metales a partir de minerales; el azufre, el cual es un elemento común en muchas materias primas, es oxidado y grandes cantidades de dióxido de azufre SO_2 son producidos, El hidróxido de calcio participa durante la neutralización del dióxido de azufre, ya que el SO_2 es un precursor de ácido sulfúrico, su presencia en la atmósfera causa lluvia ácida la cual tiene un impacto adverso en el ecosistema.

Se usa en la neutralización de ácido gastado en procesos de galvanizado. Para mezclas de pesticidas, además de participar en la eliminación de exceso de CO_2 en las cámaras de atmósfera controlada (AC) para la conservación de frutas, verduras y flores. Es utilizado en la fabricación productos farmacéuticos como aditivo en las pasta de dientes y excipiente en medicinas y compuestos químicos.

Las posibilidades para Caleras de La Laguna de abrir un nuevo mercado serán de acuerdo a los resultados y al comportamiento de la roca caliza indidura calcárea Treviño al momento de filtrar el agua y adsorber el arsénico (As) (CALASA, 2014).

El presente estudio tiene como objetivo demostrar que en la Comarca Lagunera los recursos naturales con los que cuentan, pueden ayudar a resolver la problemática de la contaminación de las aguas por arsénico.

2. Objetivo

Determinar la factibilidad que presenta la roca caliza indidura calcárea Treviño para reducir los niveles de arsénico en el agua potable, por medio de un filtro fabricado a base de esta.

3. Revisión de Literatura

3.1. Importancia del agua

La porción de recursos hídricos que puede ser usada para satisfacer el consumo humano, es cada vez más escasa, cuantitativamente y cualitativamente. Es así como en términos tanto de gestión de los recursos de agua disponibles como de provisión del acceso al agua potable y saneamiento para la población mundial, el agua constituye un desafío mundial para el siglo XXI. El agua es un bien social: La disponibilidad domiciliar de agua es un derecho inalienable de los ciudadanos y cumplen una función de protección de la salud. El agua es un bien ambiental: La preservación del agua como recurso natural e integrado al medio ambiente es hoy el principio rector para el manejo del agua en todos sus usos. El agua es un bien económico: Los costos de instalación, operación y mantenimiento obligan a adoptar un criterio empresarial en la comercialización del agua (Rodríguez y Echeverría, 2008).

Es prioritario asegurar el acceso oportuno de alimentos para todos los habitantes del planeta y las futuras generaciones, garantizando que mantengan una calidad adecuada, no solo por su aporte nutrimental y caducidad, sino además por estar exentos de cualquier contaminante que pudiera ocasionar daño alguno quienes los consumen. Existen diversos reportes de contaminación de alimentos de origen vegetal como consecuencia de malos manejos culturales y poscosecha, pero también de contaminantes acumulados en los tejidos vegetales provenientes de los insumos empleados en su producción incluyendo el suelo y agua. Tal es el caso de la presencia de arsénico en los ecosistemas, en donde la ocurrencia de cambios químicos y físicos facilita su disponibilidad para ser absorbidos por diferentes organismos, ingresando así a la cadena trófica y magnificándose en los eslabones superiores de manera exponencial, ocasionando graves daños a la salud principalmente de los seres humanos (Caballero-Gutiérrez *et al.*, 2010).

3.2. Contaminación del agua por metales pesados

La problemática de los metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en el agua residual utilizada para riego, radica principalmente en que pueden ser acumulados en los suelos. Los metales pesados y el arsénico se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas agrícolas. Resultan peligrosos por su carácter no biodegradable. Pasar a la atmósfera por volatilización y movilizarse hacia el agua superficial o subterránea. No son degradados fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (MANCILLA-VILLA *et al.*, 2011).

3.3. Arsénico en el agua

El arsénico se encuentra ampliamente distribuido en el medio ambiente y cualquier muestra de sistema de agua se encontró que contenía una pequeña cantidad de arsénico (Shingara, 1977).

El arsénico es un metaloide muy tóxico que se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre, ocupando el vigésimo lugar entre los elementos más abundantes. Es un constituyente natural de ciertas rocas y formaciones minerales como la arsenopirita y minerales de sulfuro. A través de un proceso de erosión, desintegración y disolución de las rocas llega a contaminar los mantos acuíferos donde se le encuentra como sales inorgánicas de arsenito (As III) y arsenato (As V), siendo mucho más tóxico el primero (Ochoa-Reyes *et al.*, 2009).

La presencia de arsénico en el agua subterránea de grandes extensiones territoriales constituye un problema de salud pública debido a su toxicidad. El peligro proviene de la extracción del agua mediante pozos localizados en zonas geológicas ricas en arsénico y su uso tanto en actividades domésticas como agropecuarias (Navoni *et al.*, 2012).

El arsénico aparece en la mayoría de las aguas, aunque usualmente en pequeñas cantidades. Su presencia es un tema de gran interés en países como Argentina, Chile, Brasil, Perú, Bolivia, México, Tailandia, Bangladesh, China, India y Estados Unidos en los cuales se han producido serios casos de contaminación (Bocanegra *et al.*, 2002).

Las concentraciones altas no se restringen a determinadas condiciones o ámbitos, apareciendo en acuíferos en condiciones oxidantes y de pH alto, acuíferos en condiciones reductoras, acuíferos con circulación geotermal, acuíferos afectados por procesos ligados a la actividad minera o relacionados con depósitos minerales, y acuíferos ligados a otros procesos antropogénicos (actividad industrial, asentamientos urbanos, actividad agropecuaria, etc.) Sin embargo, la mayor parte de los acuíferos con contenidos altos de arsénico tienen un origen ligado a procesos geoquímicos naturales. A diferencia de la contaminación antropogénica, la cual genera una afección de carácter más local, la ocurrencia de concentraciones altas de arsénico de origen natural afecta a grandes áreas. Los numerosos casos de “contaminación” natural de aguas subterráneas por arsénico que existen en el mundo están relacionados con ambientes geológicos muy diferentes: metasedimentos con filones mineralizados, formaciones volcánicas, formaciones volcano-sedimentarias, distritos mineros, sistemas hidrotermales actuales, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias, etc. (Lillo).

3.4. Otras fuentes

Aparte del agua potable, los materiales de alimentación son también una fuente de arsénico para el ganado. Una vez que el ganado se ve afectado, entorno a contaminación de arsénico se produce a través uso doméstico y agrícola del estiércol de vaca. El arsénico se excreta por la orina y las heces y también se acumula en el cabello y las uñas (Bera *et al.*).

4.5. Características del arsénico

- Masa molecular: 74.92 g mol⁻¹.
- Punto de fusión: 817° a 36 atm.
- Tiene tendencia a formar cationes.
- El As elemental se obtiene por reducción de sus óxidos con hidrógeno o carbono.

El arsénico (As) es un elemento químico minoritario en nuestro planeta que se presenta bajo la forma química de As³⁺; AS⁵⁺ fundamentalmente. Todos los compuestos de As tienen un cierto efecto tóxico, pudiendo además experimentar fenómenos de bioacumulación que potencian su efecto negativo, se lo incluye como carcinógeno para el ser humano. El arsénico es usado comercialmente e industrialmente como un agente en la manufactura de transistores, láser y semiconductores, como también en la fabricación de vidrio, pigmentos, textiles, papeles, adhesivos de metal, preservantes de alimentos y madera, municiones, procesos de bronceado, plaguicidas y productos farmacéuticos (Rodriguez y Echeverria, 2008).

4.6. Daños a la salud

La salud pública tiene como propósito prevenir enfermedades, prolongar la vida y fomentar la salud. Así surge una pregunta: ¿es la exposición al arsénico un problema de salud pública? Si se considera un problema de salud pública como un evento de alta frecuencia y peligrosidad, la exposición al arsénico efectivamente es un problema de salud pública. No existe el conocimiento definitivo de cuál es el riesgo de producirse diversos tipos de cáncer a concentraciones de arsénico menores a 50 µg/L. Actualmente las estimativas de riesgo son hechas utilizando modelos estadísticos basados en observaciones en humanos haciendo una extrapolación de los datos para bajas concentraciones (Galetovic-Carabantes y De Fernicola, 2003).

La esperanza de vida es el indicador más utilizado para medir el estado de salud de una población. La contaminación por arsénico se ha convertido en un tema importante de preocupación en todo el mundo. Se ha reportado que la carcinogenicidad del arsénico depende de (a) la práctica de los alimentos (b) concentración de arsénico (c) el período de exposición (d) estado nutricional (e) la variación genética del ser humano en respuesta al arsénico exposición (f) nivel de inmunidad de la población (g) por edad y sexo de los individuos expuestos. Informaron de que la ingestión de arsénico, tanto de los suministros de agua y preparaciones farmacéuticas provoca cáncer de piel y cánceres internos como el hígado, pulmón, riñón, y de vejiga. En el contenido de 0,05 mg /Litro de agua/día bebida contaminada por arsénico, el riesgo de vida de morir por cáncer de hígado, los pulmones, los riñones o la vejiga puede ser tan alta como 13.4 por 1000 personas (Sukha, 2010).

Millones de personas en todo el mundo están expuestos al arsénico en su agua potable y al ser ingerido es causante de cáncer de pulmón, vejiga y piel. Además del cáncer, el arsénico en el agua también se ha asociado con las enfermedades cardiovasculares, lesiones de la piel, la diabetes, reproductiva trastornos, deficiencias cognitivas en los niños, y otros efectos sobre la salud. El Consejo Nacional de Investigación (NRC) ha estimado que el riesgo de cáncer asociado con la exposición de por vida a arsénico en el estándar de agua potable regulador de los EE.UU. de 10 mg / L puede estar cerca de 1 en 300. Esto es aproximadamente 30 a 300 veces mayor que los riesgos de cáncer estimados por la exposición a todos los otros carcinógenos conocidos de agua potable en concentraciones iguales a sus actuales normas reguladoras de EE.UU. (Dawit *et al.*, 2013).

El arsénico inorgánico se metaboliza a través de un proceso de metilación al entrar en la cadena alimentaria. En los seres humanos la absorción de arsénico es principalmente a través de ingestión e inhalación a través de tanto la contaminación ambiental y la exposición ocupacional. Aunque el trióxido de arsénico se ha utilizado como un agente quimioterapéutico para la leucemia promielocítica aguda (APL), el arsénico es generalmente considerado como tóxico y carcinogénico (Qi *et al.*, 2014).

En los humanos, el arsénico inorgánico ingerido es metabolizado al monometilarsénico (MMA) y luego a dimetilarsénico (DMA), aunque en la mayoría de las personas este proceso no es completa. Varios estudios también han relacionado la ingesta de ácido fólico y del folato para el metabolismo del arsénico y los riesgos de enfermedades relacionadas con el arsénico (Steinmaus *et al.*, 2010).

En una relación dosis-respuesta no lineal en el que poco riesgo de cáncer ocurriría hasta que la exposición se aumenta suficientemente. Un menor concentración de exposición de agua potable a alrededor de 100 a 150? g / L se estimó que resulte en una concentración de arsénico trivalente especies en células de la vejiga que sería suficiente para ejercer tóxico efectos, y por lo tanto aumentar el riesgo de cáncer (Tsuji *et al.*, 2014).

4.7. Problemática en América latina

En varios países de América Latina como: Argentina, Chile, El Salvador, Nicaragua, México, Perú y Bolivia, por lo menos cuatro millones de personas beben permanentemente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud. Las concentraciones de arsénico en el agua, sobre todo en el agua subterránea, presentan niveles que llegan en algunos casos hasta 1 mg/L. En otras regiones del mundo como India, Bangladesh, China y Taiwán el problema es aún mayor. De acuerdo con la información obtenida, en India existen alrededor de 6 millones de personas expuestas, de las cuales más de 2 millones son niños. En Estados Unidos más de 350.000 personas beben agua cuyo contenido es mayor que 0,5 mg/L de arsénico, y más de 2,5 millones de personas están siendo abastecidas con agua con tenores de arsénico mayores a 0,025 mg/L. (Castro de Esparza, 2006).

4.8. Problemática en la Cd. de torreón, Coahuila, México

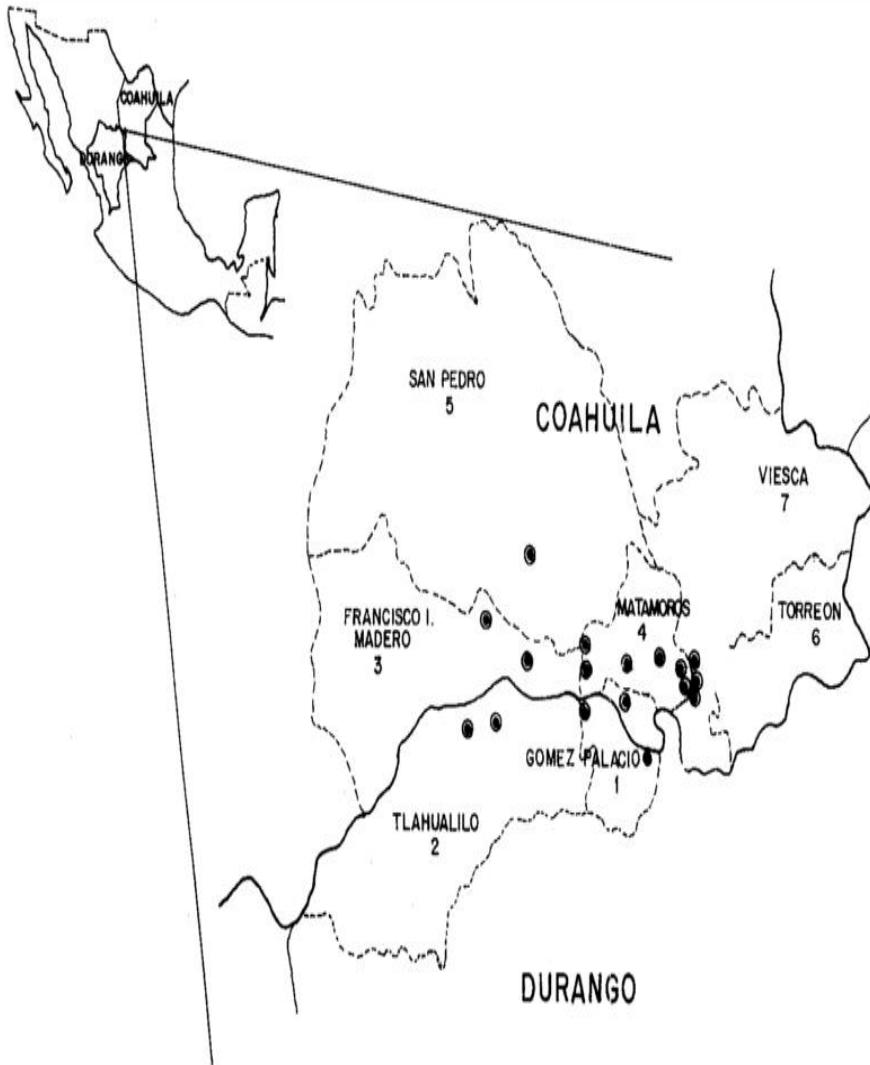
Desde 1963, es bien sabido que la mayor parte de esta región tiene un sustrato rico en arsénico, que produce altos niveles de arsénico en el agua subterránea, así como

la salud efectos sobre la población por el consumo de esta agua. Los niveles de arsénico que se encuentran en las aguas subterráneas en Durango y Coahuila (Comarca Lagunera) han recibido más atención. La Comarca Lagunera se encuentra en la parte central del norte de México. Se trata de una importante producción de algodón área, y otras principales actividades económicas están relacionadas con los productos lácteos y la minería operaciones. El clima es muy seco, con una precipitación anual de alrededor de 250 a 350 mm. Por lo tanto, la extracción de agua subterránea de aproximadamente 62 m de profundidad es la principal de agua de recursos (Rosas *et al.*, 1997b).

4.9. Roca caliza *indidura calcárea Treviño*

Existen diversos estudios en los cuales mencionan diferentes tipos de materiales utilizados para la remoción de arsénico (As). En los cuales son utilizadas membranas, Carbón activado y rocas como la roca caliza soyatal que se ubica en Zimapan Hidalgo que facilita a reducir los niveles de adsorción de arsénico cuando la roca se pone en contacto con el agua contaminada, reduciendo considerablemente las concentraciones de dicho metal. Aunque la roca Soyatal contiene arsénico, las pruebas de desorción efectuadas indican niveles mínimos de dicho fenómeno. La doctora Aurora Armienta en su artículo menciona que la roca ideal para adsorber el arsénico (As) es aquella que contenga una pureza mínima de 50% (Flores *et al.*, 2009).

En la comarca lagunera se cuenta con la roca *CALIZA INDIDURA CALCÁREA*
TREVIÑO



Principales ciudades de la región con altos niveles de arsénico (Rosas *et al.*, 1997b)

4.10. Formación indidura en la plataforma de Coahuila y Durango.

La Formación Indidura tiene faunas representativas del Cenomaniano Superior. Al sur y poniente de Torreón, Coah., reportaron la presencia de un conglomerado que sobreyace a la Formación Cuesta del Cura, dando como cierto también el contacto

discordante en esa región. La Formación Treviño en el oriente y noreste de la Plataforma de Coahuila es concordante y transicional con la Formación Indidura. En el Pozo Tlahualilo 1 el contacto también es transicional y concordante entre la facies lagunar de la Caliza Treviño y la facies calcáreo-arcillosa con planctónicos de la unidad Baicuco, pero sobre ésta, en ese pozo, existe una arenisca conglomerática que está en la base de la Formación Indidura. Las investigaciones de este autor nos marca que en la región de Torreón Coahuila es rica en roca indidura calcárea Treviño (EGUILUZ-DE ANTUÑA, 1991).

4.11. Interacción roca-agua

La investigación de las interacciones roca-agua comprende múltiples facetas. El equilibrio químico, la cinética de las reacciones y los mecanismos que condicionan el transporte en medios porosos a través de superficies reactivas se presentan acoplados. Su estudio persigue determinar soluciones posibles (modelos) que contribuyan a representar diferentes momentos en la evolución de las rocas y de los fluidos asociados en los ambientes superficiales de la corteza terrestre (Cuevas, 2007).

Generalmente los minerales arcillosos presentan una carga negativa que repele de manera efectiva los aniones que estén cerca de la superficie del mineral. El volumen que se excluye depende del contenido de agua y de la concentración de la solución sólida.

Los aniones son repelidos fuera de la matriz para formar parte de la porosidad principal, mientras que los cationes son absorbidos. Este fenómeno puede provocar un retardo en las curvas de llegada del trazador anión y del trazador catión. En aquellos terrenos que contienen superficies con hidróxidos también se producen adsorciones fuertes de aniones. Los principales compuestos que intervienen son los óxidos de aluminio y de hierro (incluyendo los hidróxidos y oxihidróxidos) y los bordes de las capas de silicatos. La carga superficial de estos minerales depende del pH de la solución sólida. La carga positiva aumenta al disminuir el pH. El caolín es uno de los minerales que presenta este comportamiento. La adsorción de aniones hace que éstos

experimenten un retardo respecto al movimiento del agua en el terreno o en el acuífero. Esto puede incluso afectar a las composiciones de los isótopos ambientales (Igme, 2014).

5. Materiales y Métodos

5.1. Materiales.

5.2. Método.

El procedimiento para la determinación de los componentes de la roca se llevó a cabo en el laboratorio de la empresa CALERAS DE LA LAGUNA S.A. de C.V., la cual se encuentra localizada en avenida 4 calle 16 S/N. Colonia Vicente Guerrero en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Empresa que se dedica a la fabricación y comercialización de cal en sus distintas variedades.

El muestreo se llevó a cabo durante los meses de enero a agosto del 2013. Con el propósito de comprobar la factibilidad de la roca caliza indidura calcárea Treviño para adsorber el arsénico que se encuentra en las aguas para consumo humano.

Se muestrearon 3 pozos los cuales estaban reportados con mayor cantidad de arsénico.

Se llevaron las muestras al laboratorio de MICROMEX S.A. de C.V. ubicado en la ciudad de Gómez Palacio, Durango.

Las muestras se analizaron siguiendo la metodología marcada en la NMX-AA-46-SCFI., para determinar el contenido del metal en las mismas.

5.2.1. Muestreo de la roca:

Se seleccionó la roca de una manera en la cual se pudiera trabajar.

Se puso una muestra en el equipo de leco cs230 para determinar los carbonatos de la roca así como los óxidos que componían a la misma.

Se tamizo la roca hasta llegar al diámetro deseado para así poder realizar las pruebas necesarias.

Se le dio un lavado a la roca y se puso a secar a temperatura ambiente para no alterar sus componentes.

Se mandó la roca a analizar para obtener el contenido de arsénico.

5.2.2. Prueba de desorción

En una bureta graduada de 100ml, se agregaron 10g de roca y 100ml de agua destilada con el fin de probar si la roca sufre desorción al momento de pasar el agua.

Los resultados obtenidos al realizar esta prueba fueron:

Arsénico (As) 0.007 mg/L

5.3. Método determinación de arsénico para el agua

5.3.1. Método Espectrofotométrico

Esta Norma establece el método espectrofotométrico con dietil ditio carbamato de plata, para la determinación de arsénico (As) en agua, aplicable en aguas naturales, residuales, estuarias y costeras. El arsénico se reduce a arsina por el zinc en solución ácida, la arsina pasada a través de un depurador y después a un tubo absorbente que contenga dietil ditio carbamato de plata, para la formación de un complejo rojo soluble cuyo color es proporcional al contenido de arsénico en la muestra.(NORMA MEXICANA NMX-AA-46-1981).

5.3.2. Muestreo de agua

Se solicitaron datos en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), donde nos proporcionaron las direcciones de los pozos con altos niveles de arsénico.

En las oficinas del Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento (SIMAS) obtuvimos el permiso para poder muestrear los pozos indicados para la obtención de las muestras, siempre con la compañía del personal de Sistema.

Todos estos procedimientos se llevaron a cabo de acuerdo a la NOM-014-SSA1-1993.

Los valores para la determinación de la calidad de agua nos apoyamos de la NOM-127-SSA1-1994, en el cual se establecen los parámetros permisibles que el agua de consumo debe contener.

5.3.3. Preparación de envases

Los envases se lavaron y enjuagaron perfectamente con agua destilada o desionizada.

5.3.4. Procedimiento para Toma de Muestra

En bomba de mano o grifo del sistema de distribución o pozo profundos se dejó correr el agua aproximadamente por 3 min o hasta asegurarse que el agua que contenían las tuberías ha sido vaciada totalmente.

El muestreo se realizó cuidadosamente, evitando que se contaminara el tapón, boca e interior del envase; para luego tomar un poco del agua a analizar.

Se cerró el envase y agito fuertemente para enjuagar, desechando esa agua; se efectuó esta operación dos o tres veces, procediendo enseguida a tomar la muestra.

En la captación de un cuerpo de agua superficial, tanque de almacenamiento, pozo somero o fuente similar, debe manejarse el envase siguiendo las indicaciones comprendidas en 6.1.2.1, 6.1.2.3, 6.1.3.1 y 6.1.3.2, de la NOM según sea el caso.

Basándonos en la norma correspondiente el agua de consumo humano debe obtener las siguientes especificaciones:

NOM-127-SSA1-1994		
DETERMINACIÓN	LIMITES	RESULTADOS
ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES	2 NMP/100 ml	NO DETECTABLE
ORGANISMOS COLIFORMES FECALES	NO DETECTABLE NMP/100ML	NO DETECTABLE
TURBIEDAD	5 UTN	
ALUMINIO (Al)	0.20 mg/L	0.017
ARSÉNICO (As)	0.025 mg/L	0.130
COBRE (Cu)	2.0 mg/L	0.003
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	500 mg/L	50
FIERRO (Fe)	.30 mg./L	0.015
PLOMO (Pb)	0.01 mg/L	0.014
SODIO (Na)	200 mg/L	47.3

Especificaciones de límites permisibles para agua de consumo humano(NOM-127-SSA1, 1994).

5.3.5. Prueba de adsorción

Se agregó 100g. de roca *CALIZA INDIDURA CALCAREA TREVIÑO* en el tubo de 2 ½", al mismo tiempo se le agregó 1 litro de agua, se filtró, el tiempo de retención del agua fue de 3 horas. Se depositó en frascos de vidrio con tapa hermética se rotuló para así mandarlo al laboratorio externo para sus análisis. Así se trabajó durante 30 días filtrando 1 litro de agua diario, de los cuales para llevar un monitoreo del comportamiento se mandó a analizar las muestras de los días 1, 10, 20, 30.

6. Resultados

Para la roca caliza Indidura Calcárea Treviño

El contenido de arsénico por parte de la roca es:

elemento	cantidad mg/Kg
Na ₂ O	0.068
MgO	0.381
Al ₂ O ₃	0.217
CaCO ₃	98.4
Fe ₂ O ₃	0.0866
As	0.0032

En la tabla se puede observar que tenemos una pureza de 98.4% y que al igual que la roca *CALIZA SOYATAL*, la roca caliza *Indidura Calcárea Treviño* también contiene arsénico.

Uno de los puntos importantes para que la roca lleve a cabo la adsorción es que contenga aluminio y hierro, en el análisis realizado por el método de difracción y espectrofotometría de rayos X.

Resultados de las muestras de agua analizadas

Pozo 1:

DETERMINACIÓN	RESULTADOS
Organismos Coliformes Totales	no detectable
Organismos Coliformes Fecales	no detectable
Turbiedad	N/A
Aluminio (Al)	0.017 mg/L
Arsénico (As)	0.125 mg/L
Cobre (Cu)	0.003 mg/l
Dureza Total (CaCO ₃)	50 mg/L
Fierro (Fe)	0.015 mg/L
Plomo (Pb)	0.014 mg/L
Sodio (Na)	47.3 mg/L

Valores obtenidos en la muestra del pozo 1 que se lleva para su análisis a MICROMEX

Pozo 2:

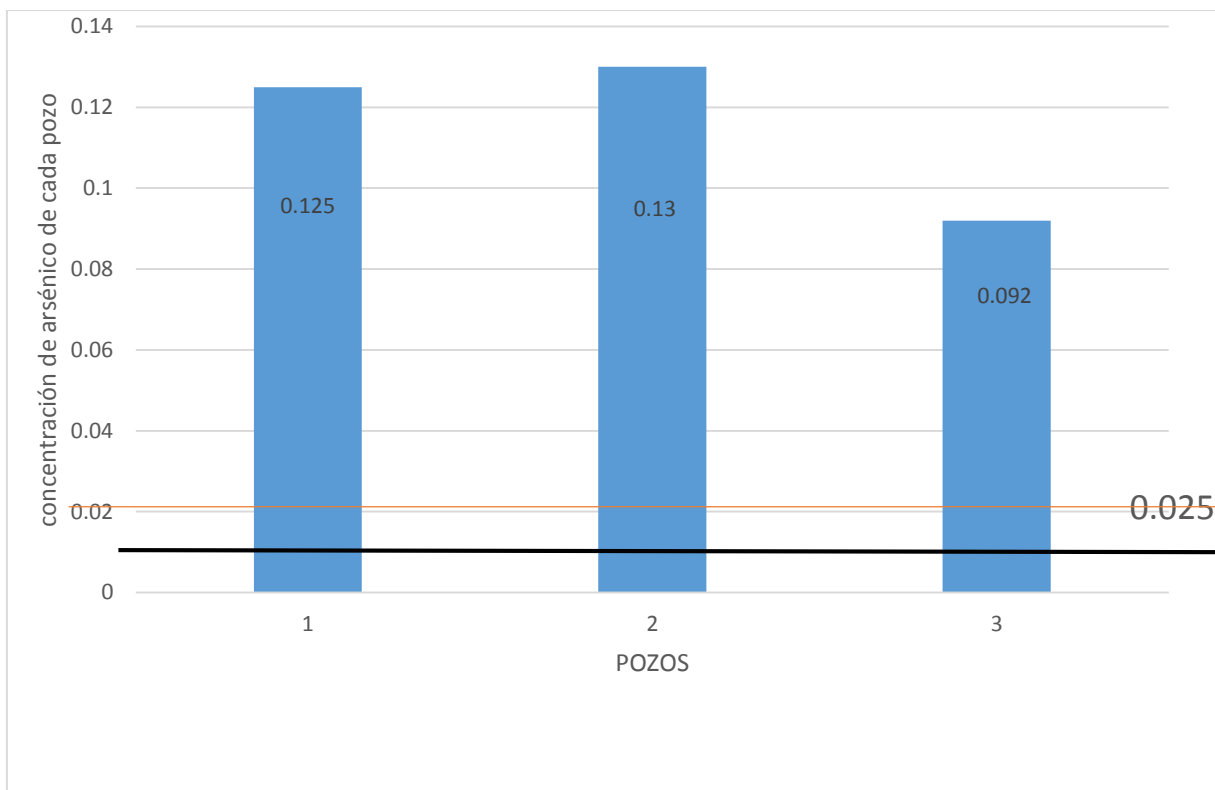
DETERMINACIÓN	RESULTADOS
Organismos Coliformes Totales	No detectable
Organismos Coliformes Fecales	No detectable
Turbiedad	
Aluminio (Al)	0.015 mg/L
Arsénico (As)	0.130 mg/L
Cobre (Cu)	0.003 mg/L
Dureza Total (CaCO ₃)	70 mg/L
Fierro (Fe)	0.012 mg/L
Plomo (Pb)	0.012 mg/L
Sodio (Na)	54.2 mg/L

Valores obtenidos del análisis del agua pozo 2

Pozo 3:

DETERMINACIÓN	RESULTADOS
Organismos Coliformes Totales	No detectable
Organismos Coliformes Fecales	No detectable
Turbiedad	
Aluminio (Al)	0.015 mg/L
Arsénico (As)	0.092 mg/L
Cobre (Cu)	0.003 mg/L
Dureza Total (CaCO ₃)	70 mg/L
Fierro (Fe)	0.012 mg/L
Plomo (Pb)	0.012 mg/L
Sodio (Na)	54.2 mg/L

Valores obtenidos en la muestra del pozo 3 que se lleva para su análisis a MICROMEX



Gráfica. Niveles de arsénico en cada pozo muestreado

En la gráfica podemos observar que los resultados de los tres pozos tienen concentraciones que rebasan por mucho lo establecido en la Norma Oficial Mexicana. La línea naranja muestra el límite máximo permisible según la NOM y la línea negra marca el límite máximo permisible por parte de la OMS

Se decidió trabajar con la muestra del agua obtenida del pozo 2 ya que es el que más concentración de arsénico arrojó en las muestras.

El proceso consto de tres corridas cada una con diferente tiempo 1, 3, y 5 en horas y los resultados observados fueron los siguientes:

Tiempo de retención de 1 hora.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS
Organismos Coliformes Totales	No detectable
Organismos Coliformes Fecales	No detectable
Aluminio (Al)	0.017 mg/L
Arsénico (As)	0.028 mg/L
Cobre (Cu)	0.003 mg/L
Dureza Total (CaCO ₃)	50 mg/L
Fierro (Fe)	0.015 mg/L
Plomo (Pb)	0.014 mg/L
Sodio (Na)	47.3 mg/L

- Al filtrar durante un tiempo de retención de 1 Hr la adsorción del arsénico no es suficiente ya que los resultados arrojados se observa que aún se encuentran muy por encima de lo establecido en la NOM.

Tiempo de retención 3 horas.

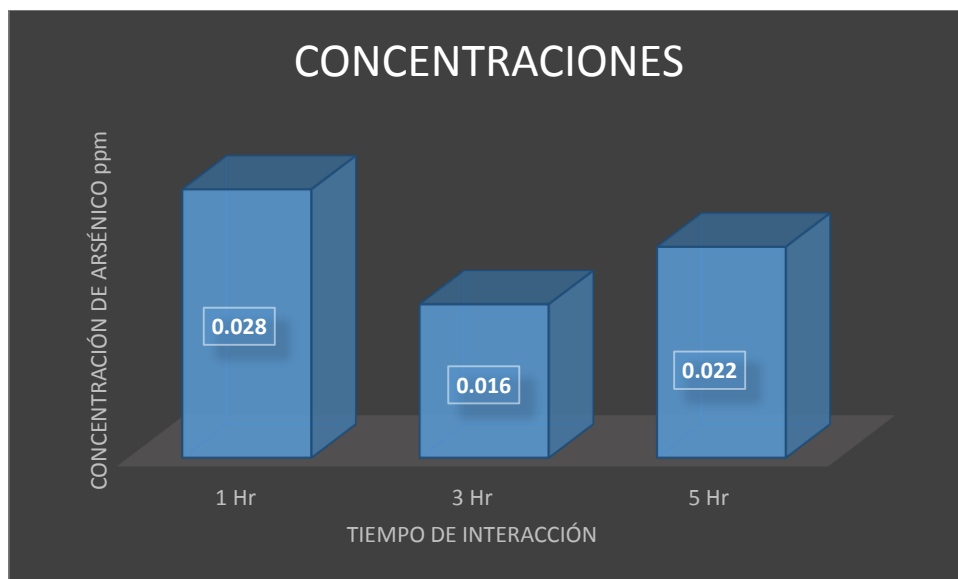
DETERMINACIÓN	RESULTADOS
Organismos Coliformes Totales	No detectable
Organismos Coliformes Fecales	No detectable
Turbiedad	
Aluminio (Al)	0.017 mg/L
Arsénico (As)	0.016 mg/L
Cobre (Cu)	0.003 mg/L
Dureza Total (CaCO ₃)	50 mg/L
Fierro (Fe)	0.015 mg/L
Plomo (Pb)	0.014 mg/L
Sodio (Na)	47.3 mg/L

- Al filtrar el agua por un tiempo de retención de 3 horas, se observa que la adsorción del arsénico es buena ya que arroja resultados muy por debajo de lo que establece la Norma Oficial Mexicana, lo que se consideró como un buen resultado.

Tiempo de retención 5 horas.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS
Organismos Coliformes Totales	No detectable
Organismos Coliformes Fecales	No detectable
Turbiedad	
Aluminio (Al)	0.017 mg/L
Arsénico (As)	0.022 mg/L
Cobre (Cu)	0.003 mg/L
Dureza Total (CaCO ₃)	50 mg/L
Fierro (Fe)	0.015 mg/L
Plomo (Pb)	0.014 mg/L
Sodio (Na)	47.3 mg/L

- Cuando la filtración se llevó a cabo por un tiempo de retención de 5 horas, observamos que la roca comenzó a generar desorción por lo que los niveles de arsénico subieron hasta 0.022 mg/L.



Gráfica. Interacción roca-agua con respecto al tiempo

De acuerdo a los datos obtenidos en las pruebas se elige trabajar con la corrida 2 que en la que filtro el agua por tres horas ya que es donde se observó mejor interacción roca-agua.

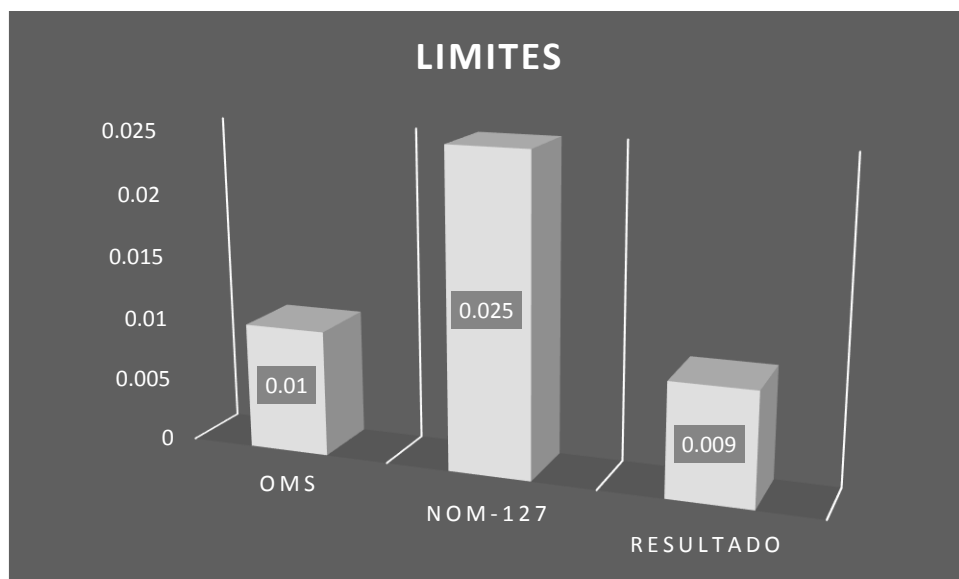
A parte de trabajar las corridas en horas también se hicieron repeticiones en diferentes días, obteniendo los siguientes resultados:

Resultados de la muestra del día 1

En el primer de día de tratamiento la roca se comportó de manera favorable.

DETERMINACIÓN Y UNIDADES	METODO	RESULTADO	LIMITES NOM-127-SSA1
ARSÉNICO (mg/L) As	NMX-AA-46	0.009	0.025
PLOMO (mg/L) Pb	Colorimetría (Merck 14833)	0.004	0.01

La interacción roca-agua se comportó de manera favorable ya que los niveles de arsénico se redujeron a niveles muy por debajo de las normas tanto de la Norma Oficial Mexicana como de la OMS.

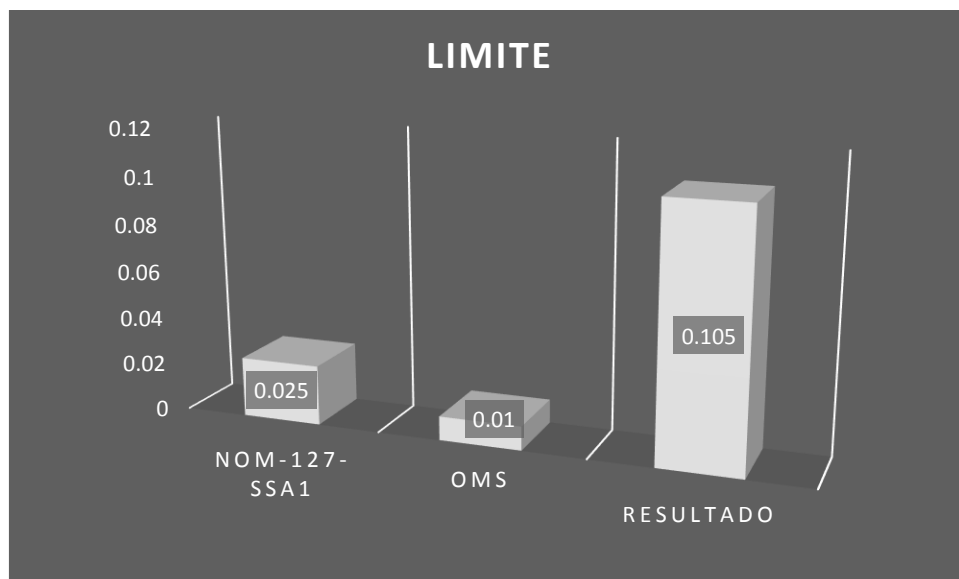


Gráfica. Comparación de límites establecidos con el primer día de prueba

Muestra día 10

DETERMINACIÓN Y UNIDADES	METODO	RESULTADO	LIMITES NOM-127-SSA1
ARSÉNICO (mg/L) As	NMX-AA-46	0.105	0.025
PLOMO (mg/L) Pb	Colorimetría (Merck 14833)	0.007	0.01

La interacción roca agua no se comportó de manera deseada ya que los niveles de arsénico aumentaron rebasando los límites establecidos por la norma y la OMS.

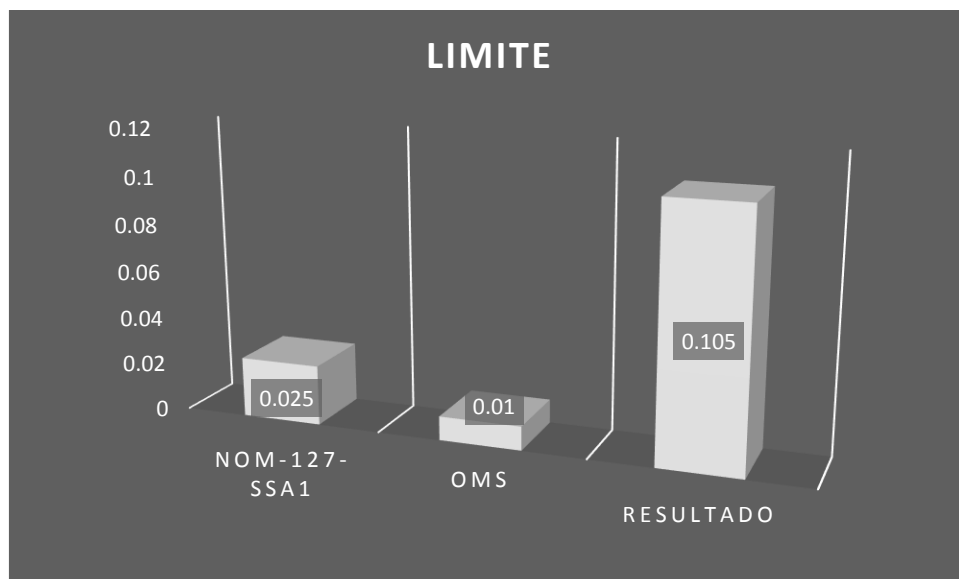


Gráfica. Comparación de límites establecidos con el resultado del día 10

Muestra día 20

DETERMINACIÓN Y UNIDADES	METODO	RESULTADO	LIMITES NOM-127-SSA1
ARSÉNICO (mg/L) As	NMX-AA-46	0.106	0.025
PLOMO (mg/L) Pb	Colorimetría (Merck 14833)	0.008	0.01

La interacción roca-agua se comporta de manera no satisfactoria, ya que solo reduce niveles de 19.24%. Lo cual los niveles de arsénico siguen siendo demasiado altos y las expectativas no se cumplen.

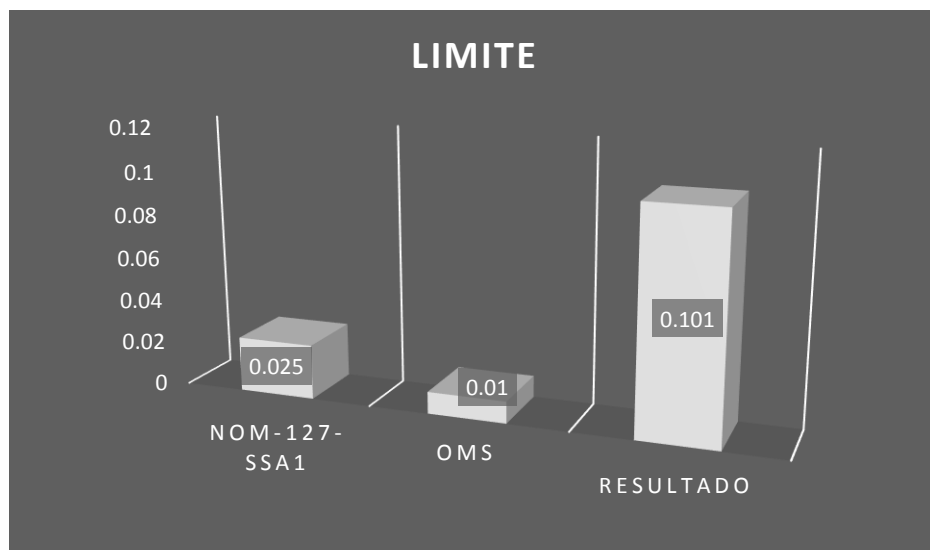


Gráfica. Comparación del resultado del día 20 con los límites permisibles

Muestra día 30

DETERMINACIÓN Y UNIDADES	METODO	RESULTADO	LIMITES NOM-127-SSA1
ARSÉNICO (mg/L) As	NMX-AA-46	0.101	0.025
PLOMO (mg/L) Pb	Colorimetría (Merck 14833)	0.007	0.01

Los resultados arrojados en el último día de prueba son desfavorables a lo deseado. La disminución de concentración de Arsénico (As) no se logró en el periodo de 30 días.



Gráfica. Comparación de resultado del día 30 con los límites máximos permisibles



Gráfica. Comparación de los resultados obtenidos

De acuerdo a los resultados obtenidos en los 30 días de prueba si comparamos cada uno de los días muestreados, al inicio la reducción de arsénico (As) se logra a límites inferiores de las establecidas tanto en normativa nacional como internacional. En los 3 siguientes días el comportamiento de la roca no es satisfactorio ya que la reducción de arsénico (As) no pasa del 20 % y la concentración en el agua potable es demasiada alta para clasificarse como no apta para consumo humano.

7. Discusión

La Comarca Lagunera se ha caracterizado por ser una zona agrícola y ganadera ya que es uno de los principales productores de algodón, y a la vez es la principal cuenca lechera del país. Castro de Esparza menciona en su artículo que la agricultura es una de las actividades que logran generar concentraciones altas de arsénico en las aguas por el uso excesivo de plaguicidas.

Erasmoflores en su artículo menciona que una de las características principales que debe tener la roca para llevar a cabo la remoción de arsénico es una pureza mínima del 50% de Carbonato de Calcio (CaCO_3). La piedra con la que se decidió trabajar cuenta con una pureza del 98%.

También menciona que la roca no genera desorción ya que la roca con la que ellos trabajaron produce una adsorción química. En este caso nuestra roca genera desorción ya que la adsorción que genera es física lo cual significa que la molécula adsorbida no está fija en un lugar específicamente, sino más bien está libre de trasladarse dentro de la interface.

8. Conclusión

Se necesita poner más énfasis en el estudio del arsénico en las aguas subterráneas de la República Mexicana. Hablando de la Comarca Lagunera, son diversas las acciones que se están llevando a cabo para poder llevar agua con la menor cantidad de arsénico posible a las familias, aunque no todos los métodos son factibles en términos de la reducción deseada.

En el estudio llevado a cabo pudimos comprobar que la roca caliza Indidura Calcárea Treviño resulto factible en la reducción del arsénico en el agua, sin embargo observamos que su periodo de adsorción es demasiado corto ya que solo se puede utilizar en una sola filtración.

Esto puede deberse a que la adsorción es de tipo física, presentando por esto, el fenómeno de desorción al paso de otro fluido por la misma, explicando esto, que la fuerza de adsorción de la roca sea demasiado débil ya que las moléculas del adsorbato solo quedan ahí sin alguna fuerza que les asegure su estabilidad en un punto.

9. Bibliografía

- Ayotte, J. D., M. Belaval, S. A. Olson, K. R. Burowc, S. M. Flanagan, S. R. Hinkle y B. D. Lindsey 2014. "Factores Que Afectan La variabilidad temporal De Arsénico En Las Aguas Subterráneas Utilizadas Para Abastecimiento De Agua Potable En Los Estados Unidos." *Science Of The Total Environment*.
- Bera, K. A., T. Rana, S. Das, D. Bhattacharya, S. Bandyopadhyay, D. Pan, D. Sumanta, S. Samanta, A. C. Narayan, K. T. Mondal y K. D. Subrata "Ground Water Arsenic Contamination In West Bengal, India: A Risk Of Sub-Clinical Toxicity In Cattle As Evident By Correlation Between Arsenic Exposure, Excretion And Deposition." *Toxicology And Industrial Health* 26.
- Bocanegra, C. O., M. E. Bocanegra y A. A. Alvarez 2002. "Arsénico En Aguas Subterráneas: Su Impácto En La Salud ".
- Caballero-Gutiérrez, P. U., J. C. Carrillo-Rodriguez, R. M. Gomez-Ugalde y M. P. Jerez-Salas 2010. "Presencia De Arsénico En Pozos Y En Cultivos En Oaxaca, México." *Agronomía Mesoamericana*.
- CALASA 2014. "(en línea) CALERAS DE LA LAGUNA S.A. de C.V." Disponible En (<http://www.calasa.mx/consulta>) (27 de Noviembre del 2014).
- Castro de Esparza, M. L. 2006. "Presencia de Arsénico En El Agua De Bebida En América Latina Y Su Efecto En La Salud Pública." *Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-SB/SDE/OPS)*: 20-24.
- Cuevas, J. 2007. "Procesos Geoquímicos De Interacción Roca-Agua En Barreras Naturales Y De Ingeniería, Hormigón, Bentonita Y Otras Arcillas." *Reunión De La Sociedad Española De La Mineralogía*.
- Dawit, M., F. B. Catterina, D. K. C., R. D. Parra, B. J. Acevedo, B. L. Pérez, B. S. Cortés, E. A. Smith, Y. Yuane, J. Liawe y E. C. Steinmaus 2013. "Arsenic Methylation And Lung And Bladder Cancer In a Case-Control Study In Northern Chile." *ELSEVIER*.
- Eguiluz- De Antuña, S. 1991. "Discordancia Cenomaniana Sobre La Plataforma De Coahuila." *BOL. AMGP*.

- Flores, E., A. Armienta, S. Micete y R. M. Valladares 2009. "Tratamiento De Agua Para Consumo Humano Con Alto Contenido De Arsénico: Estudio De Un Caso De Zimapán Hidalgo-México." Información Tecnológica 20.
- Galetovic-Carabantes, A. y N. A. G. G. De Fernicola 2003. "Arsénico En El Agua De Bebida: Un Problema De Salud Pública." Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences.
- Igme 2014. "(en línea) Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico."
- ." disponible en (<http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/LIBRO%20IS%C3%93TOPOS/PDF%20Isotopos-IV/Seccion%20IV-%204.pdf>) (Consulta 29 de Noviembre).
- Kozul, C., k. Ely, R. Enelow y H. J. 2009. "Bajas Dosis De Arsénico Compromete La Respuesta Inmune A Infección Por Influenza A En Vivo." Environ Health Perspect 117.
- Lillo, J. "Peligros Geoquímicos: Arsénico De Origen Natural En Las Aguas."
- Mancilla-Villa, O. R., H. M. Ortega-Escobar, C. Ramírez-Ayala, E. Uscanga-Mortera, R. Ramos-Bello y A. L. Reyes-Ortigoza 2011. "Metales Pesados Totales Y Arsénico En El Agua Para Riego De Puebla Y Veracruz, México." Revista Internacional de Contaminación Ambiental 28.
- Navoni, J. A., D. Pietri, S. Garcia y E. C. Villaamil-Lepori 2012. "Riesgo Sanitario De La Población Vulnerable Expuesta Al Arsénico En La Provincia De Buenos Aires, Argentina." Panam Salud Publica.
- NOM-127-SSA1 1994. "NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental, Agua Para Uso Y Consumo Humano-Límites Permisibles De Calidad Y Tratamientos A Que Debe Someterse El Agua Para Su Potabilización."
- NORMA MEXICANA NMX-AA-46-1981 "Análisis De Agua Determinación De Arsénico."
- Ochoa-Reyes, J., A. Vidal-Lozano, A. Lerma-Santana, L. Gómez-Reza, A. Reta-Sanchez, D. Fernandez-Escajeda, A. Vidal-Flores, L. Trevizo-Ortiz, D. Gonzales-piñeyro, M. Ornelas-Reynoso, F. Fernández-Luna, G. Hernández,

- A., C. Del rosál-Díaz, J. Chavira-Renova y L. Orozco-Domínguez 2009. "Arsenicismo Subagudo Y Crónico. Estudio Retrospectivo en 44 " Dermatología rev. mex. 53.
- OMS 2012. "(en línea) Organización Mundial de la Salud, Arsénico." Disponible en (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>) (consulta 29 de mayo del 2014).
- Puga, S., M. Sosa, T. Lebgue, C. Quintana y A. Campos 2006. "CONTAMINACIÓN Por Metales Pesados En Suelo Provocada Por La Industria Minera." Ecología Aplicada.
- Pushpa, K., S. Parul y S. Shalini 2005. "Arsenic Removal From The Aqueous System Using Plant Biomass: A Biorremedial Approach." Environmental Biotechnology.
- Qi, Y., H. Li, M. Zhanga, T. Zhangd, J. Franka y G. Chena 2014. "La Autofagia En La Carcinogénesis Arsénico." Experimental And Toxicologic Pathology 66.
- Rodríguez, R. y M. Echeverría 2008. "Reducción De Arsénico En Agua Uso De Un Método Doméstico." EDUTECNE: 27.
- Rosas, I., R. Belmont, A. Armienta y A. Baez 1997b. "Arsenic Concentrations In Water, Soil, Milk And Forage In Comarca Lagunera, Mexico." Kluwer Academic Publishers.
- Sadler, R., H. Olszowy, G. Shaw, R. Biloft y D. Connell 1993. "Soil And Water Contamination By Arsenic From A Tannery Waste." Kluwer Academic Publishers.
- Shingara, S. S. 1977. "Study on the Post-Mortem Identification Of Pollutants In The Fish Killed by Water Pollution: Detection of Arsenic."
- smedley, P. y D. Kinniburgh 2002. "A Review Of The Source, Behaviour And Distribution Of Arsenic In Natural Waters." Applied Geochemistry 17.
- Steinmaus, C., Y. Yuan, D. Kalman, O. A. Rey, C. F. Skibola , D. Dauphine, A. Basu, K. E. Porter, A. Hubbard, M. N. Bates, T. Smith y A. H. Smith 2010. "Individual Differences In Arsenic Metabolism And Lung Cancer In A Case-Control Study In Cordoba, Argentina." ELSEVIER.
- Sukha, R. S. 2010. "Impact Of Arsenic Pollution in Drinking Water on Life Expectancy: A GIS Study." Journal of Civil Engineering 14.

Tsuji, J. S., D. D. Alexander, V. Perez y P. J. Mink 2014. "Arsenic Exposure And Bladder Cancer: Quantitative Assessment Of Studies In Human Populations To Detect Risks At Low Doses " ELSEVIER.