

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



BIOSORCIÓN DE ARSÉNICO POR HOJA DE MORINGA

POR:

FLOR VÁZQUEZ VÁZQUEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN COAHUILA

DICIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
“BIOSORCIÓN DE ARSÉNICO POR HOJA DE MORINGA”

POR:

FLOR VÁZQUEZ VÁZQUEZ

TESIS

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

ASESOR PRINCIPAL: _____

PhD. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

ASESOR: _____

ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR: _____

M.C. EDGARDO CERVANTES ALVAREZ

ASESOR: _____

M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADO POR EL COMITÉ ASESOR:

PRESIDENTE:



PhD. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

VOCAL:



ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL:

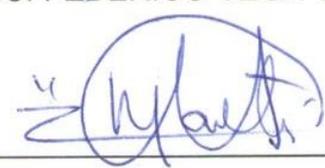


M.C. EDGARGO CERVANTES ALVAREZ

VOCAL:



M.C. FEDERICO VEGA SOTELO



M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



AGRADECIMIENTOS

A mis padres Antonio Vázquez Méndez y María Vázquez Vázquez gracias por haberme apoyado en toda mi carrera profesional, gracias a ustedes ahora soy una profesionista.

A mis hermanos Mario Vázquez Vázquez, Samuel Vázquez Vázquez y Artemio Vázquez Vázquez gracias por todo su apoyo y formar parte de mi familia.

A mis abuelos Andrés Vázquez Méndez y Filomena Vázquez Vázquez, Felipa Méndez Vázquez les agradezco por el apoyo que me brindaron.

A mi asesor principal PhD. Vicente De Paul Alvarez Reyna por brindarme su apoyo le agradezco por todo lo que aprendí, y permitirme ser su tesista y su tiempo.

A mi asesor Ing. Joel Limones Avitia por brindarme su apoyo y su tiempo y dedicación.

A mi asesor M.C .Edgardo Cervantes Álvarez por brindarme su apoyo y el tiempo brindado.

A mi asesor M.C. Federico Vega Sotelo por ser uno de mis asesores le agradezco por su apoyo.

A QI. Juan Carlos Mejía Cruz gracias por su apoyo incondicional y su tiempo brindado.

A Ma. Lourdes Ortiz Pérez gracias por su tiempo durante mi estancia en el laboratorio y haberme proporcionado los materiales necesarios para poder llevar a cabo mi tesis.

A MC. Héctor Armando Díaz Méndez gracias por su apoyo incondicional con el programa SAS.

Al Ing. Joel Limones Avitia le agradezco su apoyo y por ser uno de mis asesores.

A mi Alma Mater Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro agradezco por aceptarme en tu casa y ser parte de ella, y de ser una profesionista.

A todos mis maestros gracias por su tiempo, y brindarme su enseñanza, conocimientos, consejos que me sirvieron de mucha ayuda durante mi carrera.

DEDICATORIAS

A mis padres, Antonio Vázquez Méndez y María Vázquez Vázquez gracias por confiar en mí, todo el tiempo y ser unas personas maravillosas en mi vida.

A mis hermanos Mario Vázquez Vázquez, Samuel Vázquez Vázquez y Artemio Vázquez Vázquez, por no dejarme sola en todo.

A mis abuelos Andrés Vázquez Méndez y Filomena Vázquez Vázquez, Felipa Méndez Vázquez por ser mis segundos padres los quiero mucho.

A mi madrina Florentina Méndez Hernández por ser una madre para mí, te quiero mucho.

RESUMEN

El arsénico (As) es uno de los metaloides más tóxicos presentes en el medio ambiente y la especiación de éste depende de diversos factores químicos, físicos y biológicos. La distribución y contaminación del arsénico se debe a procesos naturales y antropogénicos, su problemática se debe a su fácil movilización en el ambiente. La concentración de arsénico en el agua y suelo se han convertido en un problema global, ya que las exposiciones prolongadas a este metaloide pueden causar daños crónicos a la salud. Dicha situación es particularmente importante en la Comarca Lagunera.

Palabras clave: arsenito; arseniato; arsenito oxidasa; biotransformación.

Contenido

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	iii
RESUMEN	iv
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURA	vL
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	5
HIPÓTESIS	5
REVISION DE LITERATURA	6
CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR ARSÉNICO A NIVEL GLOBAL	7
DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE ARSÉNICO	9
NORMAS OFICIALES PARA LA CALIDAD DE AGUA EN MÉXICO	25
TECNOLOGÍAS PARA REMOVER ARSÉNICO	29
EFFECTOS TÓXICOS AGUDOS	32
MATERIALES Y MÉTODOS	41
RESULTADOS	47
CONCLUSIÓN	50
BIBLIOGRAFÍA	51

Índice de cuadros

Pag

Cuadro 1. Diferentes valores guías para la concentración de arsénico, establecidos por los organismos reguladores de cada país.....	8
Cuadro 2. Procesos convencionales para la remoción de Arsénico (As) en agua.....	11
Cuadro 3. Condiciones de trabajo y eficiencias remoción de Arsénico reportadas por varios autores.....	14
Cuadro 4. Concentración de arsénico bajo los diferentes tratamientos de polvo de hoja de moringa. U.A.A.A.N U.L.2016.....	48

Índice de figuras	Pag
Figura 1. Ciclo de Arsénico en el ambiente.....	27
Figura 2. Los contaminantes entran al agua subterránea de fuentes naturales y desperdicios agrícolas, domésticos, e industriales.....	28
Figura 3. Cáncer de piel causado por la ingestión prolongada de agua con Arsénico.....	31
Figura 4. Usos potenciales de Moringa Oleífera.....	33
Figura 5. Hoja de Moringa Oleífera.....	36
Figura 6. Vainas de Moringa Oleífera.....	37
Figura 7. Raíz de Moringa Oleífera.....	38
Figura 8. Hoja de Moringa Oleífera.....	38
Figura 9. Tallo de Moringa Oleífera.....	39
Figura 10. Flor de Moringa Oleífera.....	40
Figura 11. Semilla de Moringa Oleífera.....	40
Figura 12. Hoja verde de Moringa Oleífera.....	42
Figura 13. Hoja seca de Moringa Oleífera.....	42
Figura 14. Arsenómetro.....	43
Figura. 15 Agua con Arsénico y Moringa.....	44
Figura 16. Prueba de jarra agua de la muestra con Moringa.....	44
Figura 17. Arsenómetro WAGTECH 10500.....	44
Figura 18. Descripción del equipo.....	45
Figura 19. Técnica para la lectura.....	45
Figura 20. Preparación de muestra para la determinación de lectura.....	46

Introducción

El arsénico (As) toxico natural de preocupación mundial. Como elemento se encuentra en la atmosfera, suelo agua y en los organismos vivos. Se moviliza en el medio ambiente a través de los niveles tróficos gracias a la combinación química con otros elementos, que sirven para producir actividad biológica. Su procedencia principalmente obedece a emisiones volcánicas así como al desarrollo de actividades antropogénicas específicas como la minería, combustión de combustibles fósiles, uso de pesticidas, herbicidas y curado de maderas (Alfaro y Diego, 2016).

La contaminación crónica por arsénico es ahora reconocida como un problema a nivel mundial, 21 países sufren la contaminación por arsénico en el agua (Roy *et al.*, 2015).

La problemática de contaminación por arsénico se localiza principalmente en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Sonora y San Luis Potosí. El área afectada es de aproximadamente 3200 km, siendo la Comarca Lagunera, en los estados de Coahuila y Durango, la región donde se reportan las mayores concentraciones. La primera intoxicación crónica por arsénico en esta región se reportó en 1958, y desde entonces se habla de casos por contaminación endémica (Rangel *et al.*, 2015).

La Comarca Lagunera es una de las áreas más importantes de la agricultura y ganadería; además, es la principal cuenca lechera del país. Por lo tanto, la explotación del agua es un componente importante en su crecimiento económico. Sin embargo, esto ha causado una continua elevación de la concentración de arsénico en el agua del subsuelo, la cual se utiliza para consumo animal, humano y riego agrícola (Montoya *et al.*, 2015a).

En esta región existe el problema de hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE) que es una enfermedad causada por el consumo de agua contaminada con arsénico (Montoya *et al.*, 2015d).

La biosorción es un proceso natural responsable del éxito de la remediación de ambientes contaminados con metales y metaloides. El uso cáscaras de frutas como biosorbentes de bajo costo han sido ampliamente utilizadas para el tratamiento de aguas contaminadas. El arsénico es un elemento que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y que representa graves daños a la salud es considerado altamente carcinógeno cuando se tiene una exposición prolongada. Los altos niveles encontrados de este metaloide, hacen necesario el uso de medidas biorremediadoras que sean de bajo costo. En Michoacán uno de los principales productores de limón a nivel nacional; los residuos de limón resultantes de la extracción de pectina y aceites esenciales, son potencialmente capaces de retener este metaloide (Tovar *et al.*, 2015).

La problemática del arsénico es el resultado de su fácil movilización bajo condiciones naturales. Sin embargo, el hombre ha tenido un importante impacto en la generación de formas tóxicas del As a través de la actividad minera, uso de combustibles fósiles, de pesticidas orgánicos, herbicidas y desecantes agrícolas, así como el uso del arsénico como un aditivo de alimentos para ganado y aves de corral (Shankar *et al.*, 2014).

La filtración doméstica aplicada en el tratamiento del agua para consumo, es un proceso simple cuyo precio varía de acuerdo con el medio filtrante utilizado carbón activado, arena, resinas, carbonatos de calcio, magnesio, entre otros (Campos, 2013b).

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 (Esparza, 2012a).

El arsénico en agua superficial y aguas subterráneas proviene de la disolución de minerales, la erosión y desintegración de rocas y por deposición atmosférica. Además, en forma mineral, aerosoles y en agua se puede encontrar arsénico en sus formas trivalente y pentavalente, según las condiciones del medio. Con mayor frecuencia en el agua superficial predominan las formas oxidadas y en el agua subterránea sobre todo, en la más profunda, las formas reducidas (Esparza, 2012b).

El agua de bebida proveniente de fuentes no contaminadas normalmente solo contiene pequeñas cantidades de arsénico. El agua de bebida de pozos puede estar muy contaminada en algunas zonas en las que el agua está en contacto con el arsénico presente de forma natural en los minerales (Green Facts., 2013).

Algunos procesos industriales tales como la minería, fundición de metales o las plantas eléctricas de carbón contribuyen a que haya arsénico en aire, agua y suelo. El uso de arsénico en algunos pesticidas agrícolas y en algunos productos químicos que sirven para conservar la madera, también resulta en contaminación ambiental (Green Facts., 2013).

En la Comarca Lagunera, en Coahuila y Durango: el valor promedio de arsénico encontrado en el agua de acuerdo a los estudios realizados en los años ochenta fue 8 veces superior a la norma de la OMS y 60 veces más alto que el valor encontrado en las zonas no afectadas (Gleason, 2011).

El estado de oxidación del arsénico, movilidad y toxicidad, están controlados fundamentalmente por las condiciones redox (potencial redox,) y pH (González. *et al.*, 2013).

Los compuestos inorgánicos del arsénico son los más tóxicos y aparecen, sobre todo, en agua, donde se encuentran principalmente en forma de pentóxido de arsénico (As_2O_5) o trióxido de arsénico (As_2O_3). La toxicidad de estos compuestos depende del estado de oxidación, estado físico, solución o tamaño de las partículas de polvo, velocidad de absorción en las células, velocidad de eliminación y solubilidad en el medio biológico. Además, la exposición a compuestos de arsénico inorgánico se ha asociado a diversos tipos de cánceres como de hígado, pulmones piel, así como a diabetes (Basu et al., 2014).

La moringa oleífera es un árbol de crecimiento muy rápido en el primer año se puede desarrollar varios metros hasta tres o incluso cinco en condiciones ideales de cultivo, resistente a la sequía aunque con tendencia a perder las hojas en periodos de estrés hídrico se beneficia de algún riego esporádico. Además se beneficia de algún pequeño aporte de fertilizante (no es un árbol fijador de nitrógeno) no alcanza gran altura hasta unos 10 – 12 metros, la copa es poco densa de forma abierta tirando a sombrilla (tipo acacia) el tronco puede ser único o múltiple (más común único). El sistema radicular es muy poderoso las flores son de color crema y aparecen principalmente en las épocas de sequía, cuando el árbol suele perder las hojas (Benítez y Wilberth, 2012).

La moringa oleífera es un cultivo originario del norte de la india pero sus múltiples propiedades se conocen igualmente en amplias zonas de África, como el sur de Nigeria o la región de Nsanje en Malawi donde ha dado buenos resultados. Para los konso de Etiopia la moringa constituye la base de su alimentación. Adecuadamente el instituto forestal de Kenia ha llevado a cabo varios experimentos con esta planta de los que ha obtenido grandes éxitos (Wilberth, 2012).

En virtud de lo que en algunos lugares del este africano se conoce este árbol como el mejor amigo de mama en el sur nigeriano se le llama idagba manoye que literalmente significa “creciendo sin sentido” en el valle de Nilo recibe el nombre de shagara al rauwaq es decir “el árbol que purifica” por su uso en el tratamiento de agua en algunos lugares se denomina “palo de tambor “ debido a la forma de sus vainas uno de los principales productos alimenticios de África, o el árbol de rábano picante por el sabor de sus raíces (Wilberth., 2012).

Las hojas tienen grandes cualidades nutritivas. Según un estudio de la FAO el contenido de proteínas es del 27% (tanto como en el huevo y el doble que la leche) y tiene cantidades significativas de calcio (cuatro veces más que la leche), hierro fósforo y potasio (tres veces más que los plátanos así como vitamina A (cuatro veces más que las zanahorias) y C (siete veces más que las naranjas). La semilla contiene un 40% de aceite que es de alta calidad, poco viscoso y dulce, con un 73 % de ácido oleico, similar al aceite de oliva (Wilberth., 2012).

Objetivos

Remoción de arsénico mediante el uso de la hoja de moringa

Hipótesis

La hoja de moringa es un buen bioadsorbente de arsénico

Revisión de literatura

La presencia de arsénico en el medio ambiente ha sido de gran preocupación debido a su descarga en crecimiento, toxicidad y otros efectos adversos. Muchas técnicas tales como intercambio iónico, membrana, coagulación, ablandamiento con cal, precipitación y adsorción, se han desarrollado para Remoción arsénico del agua. Entre estos métodos, adsorción parece ser el más eficaz (Anirudhan *et al.*, 2013).

Contaminación del agua por arsénico en Aguas son utilizadas para beber y se considera como un problema de trascendencia mundial. Entre muchas posibles vías de exposición al arsénico, el agua potable es considerada como el más importante (Biswas *et al.*, 2014).

El arsénico es un elemento natural, presente en la corteza terrestre que puede aparecer en el agua a través de procesos de meteorización química o por disolución de minerales. También puede estar presente por contaminación antrópica debido a actividades como la minería o el uso de plaguicida (Francisca y Pérez, 2014).

Estos procesos se producen de forma natural, pero pueden intensificarse por la acción de las actividades mineras, con la exposición de grandes volúmenes de rocas. A pesar de artículos publicados decenas, sobre todo al final del siglo pasado, la contribución humana a la alta concentración de arsénico en diferentes compartimentos ambientales no está bien definido, siendo una fuente de mucho debate(Costa *et al.*, 2015). La principal desventaja de este método es la formación de sulfuro de hidrógeno ácido, un gas tóxico (Santander y Valderrama, 2015).

En la fitorremediación, el uso de especies adecuadas es de suma importancia. No hay especies que se adapten a todas las combinaciones existentes de los niveles de sustrato, el clima y la contaminación. Sin embargo, hay algunos todos los resultados representan la media de dos plantas, excepto para el contenido de arsénico, que corresponde a toda la unidad de muestra (Cipriani *et al.*, 2013).

Contaminación en el Agua por Arsénico a Nivel Global

Cabe destacar que una cantidad considerable de información se refiere al tema del arsénico como un problema de contaminación, a pesar de que en la mayoría de los casos a los que se hace referencia tales como los registrados en Argentina, Chile, India, Taiwán y Vietnam entre otros, corresponden a la presencia natural de alta concentración de arsénico en el ambiente. Solamente en algunos países como México y China las elevadas concentraciones de arsénico encontradas en el ambiente han sido derivadas de una acción antropogénica como son la actividad minera y la quema de carbón, respectivamente adsorción, electroquímicos, físico químicos y de membranas (Calderón *et al.*, 2012).

No obstante, investigaciones enfocadas al conocimiento del comportamiento del As, después de agregar fósforo en forma de fertilizante a los suelos de la región Lagunera, son escasas. Lo antes mencionado supone que el determinar la concentración de As disponible aunado a la adición de fósforo en suelos de la Laguna, aportaría elementos para una mejor comprensión del problema, lo cual contribuiría en la formulación de estrategias de manejo agrícola y ambiental (Ordáz *et al.*, 2013).

A principios de la década de 1960, las instituciones de salud de México reportaron problemas de salud en gente y animales en la Comarca Lagunera, en los estados de Coahuila y Durango, México, debido al consumo de agua con elevadas concentraciones de arsénico (Mejía *et al.*, 2014).

El As puede oxidarse mediante procesos químicos o biológicos (Montoya *et al.*, 2015b). La enterobiasis, al igual que otras enfermedades, se encuentra estrechamente relacionada con la calidad microbiológica del agua para consumo humano. Para el control de la potabilidad del agua se incluyen, en el análisis de laboratorio, pruebas de cuenta de bacterias mesofílicas aerobias y la estimación del número más probable de organismos coliformes totales y fecales (Bueno *et al.*, 2012).

Existen tecnologías convencionales para remover arsénico del agua pero su aplicación es muy limitada en áreas rurales de México ya que requieren de personal capacitado y tienen alto costo de operación y mantenimiento (Aragon y Herrera, 2014).

Cuadro 1. Diferentes valores guías para la concentración de arsénico, establecidos por los organismos reguladores de cada país (Litter Marta I. Mansilla H. D.; 2003, EPA 2003, OMS 2004, NOM-127-SSA1- 1994).

países			
País/ Organización	Concentración de As (mg/L)	País/ Organización	Concentración de As (mg/L)
OMS	0.01	India	0.05
EPA (USA)	0.01	China	0.01
Unión Europea	0.01	Bangladesh	0.05
México	0,025	Japón	0.01
Canadá	0.01	Argentina	0.01
Australia	0.007	Sudáfrica	0.01

Un gran porcentaje de la producción mundial de arsénico es usado en el tratamiento de la madera como arseniato de cromo y cobre, un porcentaje menor en productos químicos para la agricultura, y otro pequeño porcentaje en la fabricación de vidrios, uso farmacéutico y aleaciones no ferrosas (Komorowicz y Barańkiewicz, 2014).

Teniendo en cuenta el impacto letal de arsénico en la salud humana, las autoridades ambientales han tomado una actitud más estricta en relación con la presencia de arsénico en el agua. Quién y EPA restableció una pauta de 0,01 mg / l como el contenido permisible máximo del arsénico (Srivastava *et al.*, 2013).

La agricultura se enfrenta al enorme desafío en las próximas décadas de proporcionar alimentos saludables para una población en crecimiento y reducir al mínimo las consecuencias ambientales (Linguist *et al.*, 2015).

Por lo tanto, la presencia de arsénico en fuentes de agua potable en niveles elevados es uno de los problemas ambientales más difíciles debido a su alta toxicidad y efectos agua para las sociedades humanas casi el 60 % del suministro anual de agua que sale del agua superficial. Por lo tanto, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer ha clasificado el arsénico en el agua potable Grupo cuales causa cáncer de los sistemas respiratorio (Tajernia *et al.*, 2014).

Coahuila ha superado ocho veces el nivel máximo de contaminación en agua potable por arsénico establecida en México (50 mg de As/L-1). De acuerdo a un estudio que se hizo entre Durango y Coahuila, en el cual la ingesta del agua de bebida se calculó considerando bebidas de agua potable normal y calientes consumidas para el verano y el invierno, debido a que el patrón del consumo es mayor para el agua en verano y el agua a mayor temperatura en invierno. En la mayoría de los casos, los alimentos se someten a ebullición antes de su consumo. Los resultados mostraron que los alimentos que tienen una mayor cantidad de agua, tales como frijoles pintos y sopa de pasta, presentaron las mayores concentraciones para Coahuila; en contraste, las tortillas, los alimentos con un contenido de agua inferior, mostraron la más baja concentración, sugiriendo que el As se encuentra en los alimentos dependiendo de la cantidad de agua y el tiempo de cocción (Cebrian *et al.*, 2002).

Definición y Descripción en General de Arsénico

El arsénico y sus componentes se presentan en forma cristalina, en polvo, amorfa o vítrea. Presenta varias formas alotrópicas: gris metálico, amarillo y negro. Alotrópico es la propiedad de algunos elementos químicos de presentarse bajo estructuras moleculares diferentes, como el oxígeno (oxígeno atmosférico O_2 y

ozono O_3), o con características físicas distintas, como el fósforo (fósforo rojo y fósforo blanco) o el carbono (grafito y diamante). El arsénico gris metálico es la forma estable en condiciones normales y tiene estructura romboédrica, es un buen conductor del calor pero pobre conductor eléctrico y en exposición al aire pierde el brillo metálico. El arsénico amarillo se obtiene cuando el vapor de arsénico se enfría rápidamente. Es volátil y más reactivo que el arsénico metálico y presenta fosforescencia a temperatura ambiente. El gas está constituido por moléculas tetraédricas de As_4 y el sólido formado por la condensación del gas 14 tiene estructura cúbica y es de textura jabonosa. Expuesto a la luz o al calor revierte a la forma estable. También se denomina arsénico amarillo al oropimente, mineral de trisulfuro de arsénico. El arsénico negro de estructura hexagonal tiene propiedades intermedias entre las formas alotrópicas anteriores y se obtiene en la descomposición térmica de la arsina o bien enfriando lentamente el vapor de arsénico. El arsénico en sí mismo no es soluble en el agua y en combinación con otros elementos, sales arsenicales, tiene rangos de solubilidad dependiendo del pH, del ambiente iónico y de la presencia de otros elementos químicos (Pérez., 2009).

La producción de agentes químicos pesticidas de arsénico conservantes de la madera decolorantes en insecticidas de vidrio también generan residuos de arsénico que contiene. Aquellos residuos a menudo se almacenan con la seguridad debida consideración, por lo que constituyen un alto riesgo potencial para el medio ambiente circundante. El desarrollo de tecnologías de tratamiento innovadoras para el arsénico que contiene residuos es una alta prioridad y urgente (Zhang *et al.*, 2014).

El término “biosorción”, se utiliza para referirse a la captación de metales que lleva a cabo una biomasa completa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Cuando se utiliza biomasa viva, los mecanismos metabólicos de captación también pueden contribuir en el proceso (VILLANUEVA., 2000).

Cuadro 2. Procesos convencionales para la remoción de arsénico en agua.

Proceso	Principios básicos	Ventajas	Desventajas	Eficiencia	Autor
OXIDACION Y REDUCCION - Aireación simple - Agentes oxidantes - Radiación	Se busca convertir As^{+3} a As^{+5} .	<ul style="list-style-type: none"> - Sencillo de usar en grandes volúmenes de agua - Bajo costo de instalación - Mejora propiedades organolépticas 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo de los insumos - Posible formación de subproductos carcinogénicos - Necesita un tratamiento adicional de remoción 	<ul style="list-style-type: none"> - 95% con cloro - 50% a 80% con radiación 	- Castro de Esparza, 2006. D'Ambrosio, 2005. Rivera H., et al, 2000.
PRECIPITACIÓN Y FILTRACIÓN - Coagulación - Precipitación - Filtración	El material disuelto, suspendido o coloidal se aglomeran por la adición de coagulantes y sedimentan por gravedad o son posibles de filtrar	<ul style="list-style-type: none"> - Es ideal para aguas con alta turbiedad - Remueve múltiples contaminantes - Emplea químicos comunes y disponibles 	<ul style="list-style-type: none"> - Hay una gran cantidad de lodos generados - La gran demanda de coagulantes eleva los costos - No es apropiado para pequeños sistemas por su alto costo - Requiere de preoxidación 	<ul style="list-style-type: none"> - 98% de As^{+5} y 54% de As^{+3} con sales férricas - 79% de As^{+5} y 25% de As^{+3} con sales de alúmina 	- Litter M., et al., 2003
ADSORCION - Alúmina activada - Óxidos de hierro - Zeolitas, Arcillas - Biosorbentes - Carbón activado - TiO_2	En un fenómeno de transferencia de masa donde una sustancia pasa de la fase líquida a la superficie de un sólido quedando atrapados por fuerzas químicas y físicas	<ul style="list-style-type: none"> - Es altamente efectivo para remover As - Hay disponibilidad de materiales baratos - Es rápido 	<ul style="list-style-type: none"> - Hay que regenerar o reemplazar el material - Hay que disponer adecuadamente el sólido agotado - Los caudales son bajos 	<ul style="list-style-type: none"> - 96% de As^{+5} y 0% de As^{+3} con alúmina activada - <u>99.95% de As^{+5} y 98% de As^{+3} con óxidos de hierro</u> 	- Petkova S., et al., 1998. Maiti A., et al., 2007
INTERCAMBIO IONICO Resinas de Intercambio iónico	Proceso fisicoquímico reversible en el que los iones de resinas son desplazados por iones en solución. Para remover arsénico usualmente se usa resinas sulfato y nitrato selectivas.	<ul style="list-style-type: none"> - No demanda gran cantidad de energía - No requiere de ajuste de pH - Es ideal para agua acidas con alto contenido de As 	<ul style="list-style-type: none"> - Hay que tratar o disponer de los líquidos obtenidos al reactivar la resina - El intercambio iónico no es eficiente removiendo As^{+3}. - Es relativamente costoso 	De 82% a 99.5% de As^{+5} y 0% de As^{+3}	- Clido J., et al., 2004
MEMBRANAS - Osmosis inversa - Nanofiltración - Ultrafiltración - Microfiltración	Se usan membranas semipermeables que permiten el paso del agua y son capaces de retener toda clase de solutos. Las membranas mayormente son de poliamidas o polisulfonas. Sus formas son tubulares, fibra hueca o espiral.	<ul style="list-style-type: none"> - Remueve el 99% de microorganismos - No requiere de insumos químicos - Hay poca influencia del pH. - Los equipos son automatizados 	<ul style="list-style-type: none"> - No todas las calidades de agua pueden ser tratadas - Baja tasa de recuperación del agua (10-20%) - Opera a altísimas presiones. - Altos costos de operación. - Bajo contenido de micronutrientes importantes para la salud humana. - Agua de rechazo 	91% a 98% de As^{+5} 63% a 70% de As^{+3}	- Clido J., et al., 2004
ELECTRODIALISIS INVERSA	Proceso en el cual los iones son transferidos a través de una membrana selectiva y permeable a cationes y aniones bajo la influencia de un campo eléctrico. Las membranas son adaptadas en electrodos opuestos	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de operación simple - El mantenimiento es económico 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo de energía eléctrica - Hay bajas tasas de recuperación del agua (de 20 a 25%) - No es tan eficiente como la osmosis inversa y nanofiltración 	80% de As^{+5} y 28% de As^{+3}	- Hektor K., et al., 2000. Castro de Esparza, 2006

El agua a menudo contiene y ha incrementado la concentración de sales de sodio, calcio, magnesio, sulfatos, cloruros, bicarbonatos, nitratos y micro elementos, (flúor, arsénico, boro, bromo, radionucleídos etc.) por lo tanto en muchos casos sólo los métodos de la membrana hacen que sea posible para asegurar la purificación de la clase especificada de las aguas a la calidad potable. El grado de retención de ciertas sustancias durante el tratamiento de membrana depende de la carga de material y propiedades selectivas de las membranas en los parámetros de trabajo de la presión de trabajo de la planta y el grado de extracción de permeado (Babak *et al.*, 2014).

Desde hace algunos años se han realizado estudios sobre bacterias que presentan la capacidad de oxidar el As buscando comprender el sistema que involucra este paso en el metabolismo de estas bacterias, con el fin de utilizarlas como una tecnología para el tratamiento de agua y suelo contaminados con arsénico (Montoya *et al.*, 2015a).

Además, la persistencia, carácter tóxico y acumulativo de algunos metales, dañan a los cultivos (Díaz *et al.*, 2016).

La solubilidad del As depende de la alcalinidad del agua, especialmente aquellas ricas en bicarbonato de sodio. En cambio es escaso o no se encuentra en aguas ricas en sales de calcio o magnesio aunque sean bicarbonatadas o sulfatadas. El agua subterránea que contiene mayor concentración de arsénico es la muy alcalina (Curto *et al.*, 2011).

En lugares contaminados con el metaloide, se han aislado microorganismos que presentan diversos mecanismos de resistencia que les permite tolerar la concentración de arsénico que mantiene su hábitat (Mellado *et al.*, 2011).

En Sudamérica las zonas más afectadas por la presencia de arsénico corresponden al norte chileno, noroeste argentino, sur peruano y suroeste boliviano, entre los paralelos 14° y 28° Sur (Pinto *et al.*, 2010).

Anualmente se vierten 32.5 millones de metros de agua negra al río Zahuapan. En las zonas urbanas; el 40 % del agua es saneada y la restante es liberada al río, mientras que en las zonas rurales; hasta el 80 % es descargada directamente a este sistema (Nieto *et al.*, 2011).

Generar los conocimientos básicos de comportamiento hidrogeoquímico del sistema por contaminación de As en vías de generar recomendaciones y estrategias del uso de agua para consumo humano y propiciar recomendaciones de remediación a la presente problemática (Reyes *et al.*, 2010).

De la diversidad de contaminantes naturales que existen, uno muy importante por los efectos nocivos a la salud humana corresponde al arsénico (As). Las

concentraciones del As son usualmente bajas, pero en algunas circunstancias pueden exceder las establecidas por las normas y causar daños potenciales a la salud (Sulik *et al.*, 2015).

México posee una compleja geología, con rocas ígneas, sedimentarias y un ambiente tectónico activo, factores que predisponen a la contaminación del medio ambiente natural de agua subterránea, siendo el arsénico una de las principales causas de efectos adversos en la salud por la ingestión de agua subterránea contaminada con este metaloide (Jasso *et al.*, 2015).

El arsénico se acumula en el organismo, en la orina, piel, uñas de los dedos y cabello por exposición crónica, y a ciertas concentraciones ocasiona afecciones severas (Basu *et al.*, 2014).

La alta concentración de As en la Comarca Lagunera se debe principalmente a las características geológicas del área. La movilización del As, así como su presencia en el agua subterránea, son producto de las reacciones de disolución de óxidos de Fe y desorción debido a valores altos de pH (Mejía *et al.*, 2014).

En México, el arsénico ha sido detectado en varias fuentes de agua potable. Chihuahua, localizado en una zona semiárida al norte de México, es una de las zonas más afectadas por su presencia de manera natural en agua subterránea (Olmos *et al.* 2012).

En varios países se ha logrado suministrar a la población agua con concentraciones de arsénico dentro de los límites permitidos, pero en la India la situación persiste siendo un problema de salud pública (OMS 2011).

Cuadro 3. Condiciones de trabajo y eficiencia de remoción de arsénico por varios autores.

Autor	Condiciones de operación								Resultados	
	Tipo de adsorbente	Tamaño de partícula (nm)	Área Sup. (m ² /g)	Dosis de adsorbente (g/L)	Tiempo de retención (horas)	pH	T (°C)	Mecanismo remoción/separación	Eficiencia remoción	Tipo de As removido
Saidur Rahman et al. (2010)	Nanopartículas de magnetita-maghemita	20-40	49	0.4	24	2	25	Agitación (28 rpm)/centrifugado 5000rpm	96 - 99%	As (III) As (V)
Jegadeesan G. et al.(2010)	Nanopartículas de TiO ₂	No indica	98	0.2	72	7	25	Centrifugado/ Filtro 0.45µm	100%	As (III) As (V)
Kaushik Gupta et al.(2009)	Nano-óxido bimetálico (Fe ₂ O ₃ y TiO ₂)	11 ± 2.0	78	40 38	4	7±0.1	15, 30, 45	Agitación (300 rpm) / Filtro 0.45µm	100% 98%	As (III)
Morgada M. et al.(2009)	Nanopartículas de hierro valencia cero	5 a 15	55-63	0.05 a 0.1	2.5	7.8	< 30	Agitación (150 rpm) / Filtro 0.45µm	≈ 90%	As (V)
T. Tuutijärvi et al. (2009)	Maghemita: comercial sintética sol-gel	10-26 9-15 3-5	51.0 203.2 90.4	0.25 0.06 0.10	10 (tiempo de equili=50)	5	23	Agitación (200 rpm)/ campo magnético	45% 47% 36%	As (V)
Martinson et al. (2009)	Nanopartículas de óxido cúprico	12-18	85	2	10 5 min	8	21-25	Agitación (250 rpm) / Filtro 0.45µm	90% 99%	As (III) As (V)
Miriam Z. Lopez et al (2013)	Óxidos de titanio (78.9% anatasa y 21.1% rutilo)	≈30	55.2	2.1 1.5 1.7	2 6 0.5	7.6 - 8.7 (nat.)	26±1	Agitación (150 rpm) / Filtro 0.45µm	99% 99% >92%	As (III)
Cafer T. Yavuz et al. (2006) y J.T Mayo et al. (2007)	Nanocristales de magnetita (Fe ₃ O ₄)	12	98.8	0.5	24h (agitación) 30 min (Centrifug)	8	22	Agitación (4rpm)/ Columna Magnética	99.2% 98.4%	As (III) As (V)
M.E. Pena et al. (2005)	Nanocristales TiO ₂ Degussa P25	6 30	330 55	0.2	4 1	7±0.1	21-25	Agitación magnética / Filtro 0.45µm	90% 38%	As (III)
P.K. Dutta et al. (2004)	TiO ₂ Degussa P25 y Hombikat UV100	30 <10	55 334	No indica	1 2	9 4	22±3	Agitación magnética / Filtro 0.45µm	85% (As ⁺⁵)	As (III) As (V)

La contaminación con arsénico de agua es un problema mundial que afecta también a la República Argentina, en ese sentido, en la Provincia del Chaco, al norte de Argentina, el arsénico es un contaminante natural de los acuíferos (Blanes et al., 2011).

El reciente reconocimiento de la necesidad de desarrollar tecnología respetuosa con el medio ambiente de bajo costo para el tratamiento del agua ha estimulado el interés en los estudios de biorremediación de metales (Banerjee et al., 2011).

En zonas mineras también se han estudiado los procesos de atenuación natural que actúan en suelo o cuerpos de agua para controlar la movilidad de arsénico y metales

pesados, principalmente asociada al drenaje ácido, y se ha visto que éstos constituyen una alternativa para el control de la contaminación (Drahota et al., 2012).

La presencia de este metaloide en la región Lagunera de Coahuila es de gran importancia para la sociedad desde el punto de vista ambiental (Iliná et al., 2009), económico y de salud (García et al., 2003); sin embargo, el estudio del As se ha centrado en el agua que se extrae del subsuelo, la cual presenta alta concentración (0.250 mg L⁻¹) de este elemento (Castruita et al., 2011).

La acumulación de metales pesados en sólidos, sedimentos y tejidos vegetales, bien sea por adsorción y/o coprecipitación u otras formas de asociación natural, incluida la bioacumulación, constituyen un modo de minimizar su transporte y propagación (García et al., 2006b).

La bioconcentración del As depende de la velocidad de absorción y eliminación en un organismo (Ramírez et al., 2004).

La toxicidad de un compuesto con arsénico para los humanos depende en gran medida de su forma química, diferenciándose dos grupos de compuestos: inorgánicos y orgánicos (Sanz et al., 2001).

El arsénico puede penetrar en el aire, agua y suelo a través de tormentas de polvo y agua de escorrentía, por lo que la contaminación por arsénico está muy extendida debido a su fácil dispersión (Gillispie et al., 2015).

El agua es un elemento fundamental y determinante en la vida humana. La escasez y uso abusivo del agua dulce plantea una creciente y seria amenaza para el desarrollo sostenible y protección del medio ambiente (Hernández et al., 1998).

Los estados de oxidación más comunes de arsénico inorgánico en el agua son el arsénico trivalente As⁺³, encontrado en agua subterránea, y arsénico pentavalente As⁺⁵ que prevalece en agua superficial (Zamudio et al., 2009).

La disminución de los límites máximos permisibles para metales tóxicos en agua potable, como por ejemplo el arsénico, ($As=10 \mu g.L^{-1}$) ha estimulado el incremento de estudios dirigidos a identificar regiones contaminadas por este metal en el mundo. Un papel prioritario lo poseen las zonas vinculadas con depósitos de oro donde la lixiviación de los desechos de la minería contiene frecuentemente altos niveles de As. Entre las regiones más afectadas en el mundo se destacan Bangladesh, India, E. U, Hungría, Chile, China, Argentina, Taiwán, Ghana, México, Filipinas, Nueva Zelanda y Mongolia (Toujague *et al.*, 2003).

La presencia de arsénico en agua es considerada como un elemento indicador de otros elementos que se pueden encontrar a nivel de traza y es especialmente utilizado para la determinación de Fe, Cu, Hg, Ni, Pb, Bi, Zn entre otros; por ejemplo, las piritas ($FeAsS$) y otros sulfuros como la enargita (Cu_3AsS), son importantes fuentes naturales de arsénico y se forman preferentemente en zonas con fuertes condiciones reductoras (Blanes y Giménez, 2005).

Podemos decir entonces, que la concentración natural de metales en agua natural está relacionada con la actividad volcánica y procesos de erosión de suelo. En este sentido se deben considerar las características hidráulicas de agua subterránea de la llanura Chaco pampeana que, en el caso de los acuíferos freáticos, están representadas por una velocidad de escurrimiento más bien lenta, este fenómeno confiere al acuífero un mayor tiempo de contacto con el sedimento, favoreciendo el desarrollo de fenómenos termoquímicos entre las dos fases (Blanes *et al.*, 2004).

La toxicología genética surgió ante la necesidad de estudiar los efectos de estos agentes contaminantes en la actividad fisiológica normal de los seres vivos. Sin embargo, las pruebas que se utilizan para identificar a los agentes genotóxicos no pueden ofrecer una evaluación cuantitativa de las respuestas in vivo con relación al daño carcinogénico o mutagénico en los tejidos blancos (García *et al.*, 2006a).

Por las manifestaciones cutáneas, pueden describirse cuatro períodos clínicos de la intoxicación, los cuales no pueden delimitarse categóricamente ya que se imbrican entre sí (Albores *et al.*, 1979).

La mayor parte de los problemas ambientales del arsénico son resultado de la movilización por causas naturales (actividad volcánica, reacciones de degradación por la acción de la atmósfera, actividad biológica...), otros factores promovidos por la actividad humana, como la combustión de combustibles fósiles, actividad minera, 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 (Revuelta *et al.*, 2003).

A pesar de la incidencia de estos elementos en la salud e influencia en al menos nueve estados del noroeste, centro y sur de México, se han realizado pocas investigaciones de carácter hidrogeológico en cuencas y acuíferos regionales que permitan evaluar los controles físicos y químicos de As y F, y otros elementos nocivos a la salud, en el agua subterránea (Ortega, 2009).

La bioconcentración del As depende de la velocidad de absorción y eliminación en un organismo (Ramírez *et al.*, 2004).

El arsénico es un metal que aparece de manera natural y ubicua en el ambiente en forma de diferentes compuestos inorgánicos y orgánicos, tanto en estado sólido como líquido (Sanz *et al.*, 2001).

En la región Lagunera del estado de Coahuila, en varios países de América Latina, así como a nivel mundial, existe el problema de hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), que es una enfermedad producida por el consumo de agua contaminada con arsénico. Una enorme cantidad de personas consume en forma permanente agua con contenido elevado de arsénico lo que pone en riesgo su salud (Iliina *et al.*, 2009).

Un papel prioritario lo poseen las zonas vinculadas con depósitos de oro donde la lixiviación de los desechos de la minería contiene frecuentemente alto nivel de As. Entre las regiones más afectadas en el mundo se destacan Bangladesh, India, E. U, Hungría, Chile, China, Argentina, Taiwán, Ghana, México, Filipinas, Nueva Zelanda y Mongolia(Toujague *et al.*, 2003).

La presencia de arsénico en agua es considerada como un elemento indicador de otros elementos que se pueden encontrar a nivel de traza y es especialmente utilizado para la determinación de Fe, Cu, Hg, Ni, Pb, Bi, Zn entre otros; por ejemplo, las piritas (Fe As S) y otros sulfuros como la enargita (Cu 3AsS), son importantes fuentes naturales de arsénico y se forman preferentemente en zonas con fuertes condiciones reductoras (Blanes y Giménez, 2005).

Podemos decir entonces, que la concentración natural de metales en agua natural está relacionada con la actividad volcánica y procesos de erosión de suelo. En este sentido se deben considerar las características hidráulicas de agua subterránea de la llanura Chaco pampeana que, en el caso de los acuíferos freáticos, están representadas por una velocidad de escurrimiento más bien lenta, este fenómeno confiere al acuífero un mayor tiempo de contacto con el sedimento, favoreciendo el desarrollo de fenómenos termoquímicos entre las dos fases (Blanes *et al.*, 2004).

Cabe mencionar que existen numerosos problemas de contaminación de metales y metaloides asociados a la actividad minera y yacimientos hidrotermales en México (Guerrero, 2009).

En la actualidad, aunado al déficit de agua potable, el deterioro de la calidad del agua subterránea va en aumento. La extracción intensiva de agua subterránea es un factor importante que ha modificado las condiciones hidrogeoquímicas de los acuíferos (Esteller, *et al.*, 2012).

Se han detectado en diversos países concentraciones superiores a las normas ambientales como Argentina, Camboya, China, Japón, Nepal, Pakistán, Filipinas y en especial Bangladesh en la India (Singh 2006).

Muchas rocas ígneas y metamórficas tienen concentraciones de As de 1-10 mg/kg, concentraciones similares se encuentran en minerales carbonatados y rocas (Plant *et al.* 2003).

Los metales pesados y el As 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 (Zhao, et al. 2006).

La contaminación por arsénico total inorgánico (As) y fluoruro (F) disueltos en agua subterránea destinada a consumo humano, es un problema epidémico en el mundo (Amini et al., 2008).

La Comisión Nacional del Agua (Soto et al., 2004) reconoce problemas locales de As en diferentes acuíferos granulares del centro y noroeste de México.

Los principales mecanismos de resistencia bacteriana, se encuentran asociados a determinantes genéticos, que les otorgan la capacidad de realizar transformaciones de oxidación y/o reducción del metaloide (Silver y Phung 2005).

La contaminación por arsénico en el norte de Chile es principalmente de origen geológico y los niveles de éste en el río Camarones (XV región) supera 100 veces el límite permitido por la Organización Mundial de la Salud, EPA y la Norma Chilena 409, para el consumo de agua potable (Yáñez et al. 2005).

La presencia de arsénico en agua es considerada como un elemento indicador de otros elementos que se pueden encontrar a nivel de traza y es especialmente utilizado para la determinación de Fe, Cu, Hg, Ni, Pb, Bi, Zn entre otros; por ejemplo, las piritas (FeAsS) y otros sulfuros como la enargita (Cu_3AsS), son importantes fuentes naturales de arsénico y se forman preferentemente en zonas con fuertes condiciones reductoras. Estos compuestos al no ser estables en sistemas aerobios, se oxidan liberando sulfatos, óxidos de hierro y diversos metales que de esta forma, pasan a agua (Calvo et al., 2003).

El arsénico, aun en concentración muy baja (vestigios), puede causar a largo plazo enfermedades neoplásicas malignas, queratosis, atrofia cutánea, conjuntivitis, astenia o trastornos neurológicos y hematológicos (Ghimire et al. 2003).

El arsénico (As) presente en agua destinada a consumo humano es una problemática reconocida en distintas regiones del mundo (Smedley et al. 2005).

Las concentraciones de arsénico utilizadas variaron desde 0 a 5 mg/L. Este rango de concentraciones se encuentra dentro de los valores máximos y mínimos de concentración de As registrados en el agua (Vilches, et al. 2005).

Por esto se hace necesaria la consideración de tecnologías simples, eficientes y de bajo costo, socialmente aceptadas por la población, para la remoción in situ de este contaminante (Litter et al. 2010).

Los humedales construidos son sistemas pasivos de tratamiento constituidos por lagunas o canales poco profundos (menos de 1.0 m) plantados con macrófitas acuáticas y en los que los procesos de depuración son ejecutados simultáneamente por componentes físicos, químicos y biológicos (García y Corzo 2008).

Las plantas *Zantedeschia aethiopica* y *Anemopsis californica* han sido reportadas como eficientes para la remoción de arsénico del agua de consumo humano, utilizando humedales construidos de flujo subsuperficial alimentados en procesos discontinuos (por lotes) (Zurita et al., 2012).

Considerando estudios previos realizados en Centro de Investigación en Materiales Avanzados, a nivel de laboratorio, invernadero y en macetas, que reportaron como eficientes para remover arsénico a las especies *Eleocharis macrostachya* y *Schoenoplectus americanus* (Márquez et al., 2012).

Los procesos de remediación que se conocen en la actualidad son: oxidación, precipitación, coagulación y ablandamiento con cal, ósmosis inversa, microfiltración, nanofiltración, adsorción, tratamientos biológicos y fitorremediación, electrodiálisis y electrocinética, entre otros (Francisca et al., 2013a).

Las cargas superficiales de las partículas varían en función del pH y punto de carga cero. En el caso de los ensayos con bentonita y cloruro férrico, la bentonita aumento el pH de la solución, ya que en general la bentonita sódica tiene un pH de 9 a 10 (Kaufhold et al. 2008).

El arsénico (As) es un metaloide ampliamente distribuido en rocas, suelo, agua y aire (Järup, 2003).

La presencia de este metaloide en la región Lagunera de Coahuila es de gran importancia para la sociedad desde el punto de vista ambiental (Iliná et al., 2009).

La utilización de pesticidas en la agricultura, productos químicos para la preservación de madera, tiraderos ilegales de productos químicos y la quema de combustibles fósiles (Alam et al., 2007).

Sin embargo, el estudio del As se ha centrado en el agua que se extrae del subsuelo, la cual presenta altas concentraciones (0.250 mg L⁻¹) de este elemento (Castruita et al., 2011).

Desde hace más de 100 años se ha empleado para riego directo, agua superficial contaminada con agua residual, a consecuencia de esto, se han acumulado metales pesados en suelos agrícolas irrigados con agua residual (Silva et al., 2002).

Se ha estimado que más de 100 millones de individuos en el mundo están expuestos a concentraciones elevadas de As a través del agua de bebida proveniente de pozos (Mukherjee et al. 2007).

En humanos, así como en muchos mamíferos, la biotransformación del As se realiza principalmente en el hígado y se lleva a cabo mediante una serie de reacciones de reducción y metilación oxidante (Regmi et al. 2007).

La intoxicación aguda con As por vía digestiva se manifiesta con un cuadro gastrointestinal de tipo coleriforme: dolores abdominales, vómitos, diarreas profusas y deshidratación (Suárez et al. 2004).

El arsénico es un elemento no esencial para el desarrollo de los seres humanos, por lo que se considera un elemento potencialmente tóxico de alta prioridad. Su presencia en suelo y agua es frecuente debido a diferentes actividades humanas y fuentes geogénicas (Bauer et al. 2008).

Algunos macrófitas tienen fenotipos de acumulación para uno o varios metales (Bauer et al. 2008).

El arsénico (As) es conocido como un agente carcinógeno al que están expuestos numerosos grupos humanos en México y en el resto del mundo y cuya actividad

genotóxica ha sido demostrada en grupos de individuos expuestos. El As y sus compuestos se introducen al organismo principalmente por ingestión, en donde el sistema gastrointestinal absorbe en promedio el 80% del As; esta cantidad es variable según algunas características del compuesto y del individuo (Lizama et al., 2011).

El As puede dañar la médula ósea y por lo tanto la producción de células rojas disminuye. Existe un sinnúmero de documentos que expresan los efectos adversos en la salud al ingerir agua potable con As (García y Corzo 2008).

La exposición crónica a este metaloide en concentraciones significativas mayores de 50 µg/L son severas e incluyen: problemas de salud piel, cardiovasculares, renales, hematológicos. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (US EPA, por su siglas en inglés) categoriza al arsénico como un cancerígeno de clase A, la toxicidad del arsénico es tal que una pequeña cantidad es suficiente para contaminar el agua (García y Corzo 2008).

La presencia de estos metales pesados en el ambiente acuático causa severos daños a la vida acuática, además de que eliminan microorganismos durante los tratamientos biológicos de aguas residuales, lo que ocasiona que el proceso de purificación decaiga. Aunado a lo anterior las sales de estos metales pesados son solubles en agua y por consecuencia no pueden ser separadas por los métodos ordinarios tradicionales (Hussein et al. 2004).

La necesidad de una mayor calidad de agua está haciendo que este tratamiento esté en auge. Es considerado como un tratamiento de refino, y por lo tanto al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico (Rodríguez et., al 2006).

Los compuestos orgánicos de arsénico son menos tóxicos que los compuestos inorgánicos de arsénico. La exposición a niveles altos de ciertos compuestos orgánicos de arsénico puede causar efectos similares a los causados por arsénico inorgánico (ATSDR, 2011a).

La EPA ha establecido límites para la cantidad de arsénico liberado al medio ambiente por fuentes industriales y restringido o cancelado muchos usos de arsénico en pesticidas (ATSDR, 2011b).

La movilidad del arsénico entre el sedimento y el agua se debe a factores que están controlados por el pH, condiciones redox. Los procesos geoquímicos que intervienen en la movilización del arsénico son de adsorción desorción. El arsénico inorgánico puede ser adsorbido por óxidos de hierro, manganeso y aluminio (Alem, 2011b).

El aumento de la concentración de arsénico en agua dependerá del régimen hidrogeológico y paleohidrogeológico del acuífero. Es decir, que el problema tiene una dimensión temporal. Un factor crítico es el tiempo de residencia del agua en el acuífero. Una consecuencia de esto, es que en acuíferos profundos y antiguos la concentración de arsénico es baja (Alem, 2011a).

El aumento en el caudal de agua extraído, (es decir una mayor explotación), de un pozo realizado en un acuífero arsenífero, producirá con el tiempo agua con mayor contenido de arsénico. Por este motivo, suelen realizarse nuevas perforaciones. estas son soluciones de corto o mediano plazo, ya que el acuífero es el mismo, y por lo tanto a largo plazo puede incrementarse la concentración de arsénico en toda la zona abastecida por él (Alem., 2011a).

Las fuentes antropogénicas se deben al uso de compuestos de arsénico, como por ejemplo: óxido arsenioso, óxido arsénico, arseniatos de calcio y plomo, arsenicales orgánicos, arsénico elemental (Alem., 2011a).

En humanos: gran número de casos de cáncer de piel en personas expuestas a As inorgánico a través de drogas, agua o pesticidas. Dos estudios epidemiológicos diferentes muestran resultados opuestos con respecto a la correlación entre exposición a As por agua de bebida y cáncer de piel. Varios casos de cáncer ocupacional de pulmón, hígado. El arsenito atraviesa la placenta y produce abortos y malformaciones (Alem., 2011a).

La elevada concentración de arsénico en el agua se presenta en una amplia región norte y centro de Argentina y norte de Chile. En estas zonas, salvo en casos muy puntuales (explotaciones mineras, fundiciones), no hay actividades antrópicas que pueden generar las anomalías de arsénico observadas. Este arsénico es de origen natural, es decir está relacionado con diversos procesos geológicos que han afectado y afectan a esta región (Galindo *et al.*, 2011).

Toxicocinética de arsénico varía dependiendo de la forma de arsénico, y diferentes factores como la etapa de la vida, el sexo, el estado nutricional y los polimorfismos genéticos. La absorción de arsénico inorgánico (AS) es notablemente influenciada por la solubilidad del compuesto arsenical [Como son absorbidos casi por completo y rápidamente (III) y As (V) en el agua potable], la presencia de otros constituyentes de los alimentos y nutrientes en el tracto gastrointestinal las vías y por la matriz del alimento en sí (EFSA, 2009).

La exposición humana al arsénico puede ocurrir por diferentes vías. Aunque la exposición dérmica e inhalación es posible, los alimentos y agua potable son las principales vías de exposición a arsénico (IARC., 2012).

Una vez absorbido, el As transforma y se excreta por la orina principalmente como DMA. Aunque los datos humanos son limitados, se reconoce que las formas de arsénico orgánicos son en general absorbidas de manera eficiente. Mientras arsenoazúcares (abundantes en las algas y moluscos) son completamente metabolizados a DMA antes de su excreción, arsenobetaína (forma principal en la mayoría de los mariscos) no se metaboliza en el ser humano y se excreta sin cambios (Francesconi., 2010).

A principios de la década de 1960, las instituciones de salud de México reportaron problemas de salud en gente y animales en la Comarca Lagunera, en los estados de Coahuila y Durango, México, debido al consumo de agua subterránea con elevadas concentraciones de arsénico. El agua provenía del acuífero aluvial que representaba la principal fuente de abastecimiento para más de dos millones de

personas que habitaban en la zona. Estudios realizados delinearon extensas áreas de la Región Lagunera donde las concentraciones de arsénico estaban por arriba de 25 µg/l, nivel máximo recomendado en la NOM-127-SSA1-1994, modificada en 2000 para agua de consumo humano (González. *et al.*, 2014).

Normas oficiales para la calidad del agua en México

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".

NOM-012-SSA1-1993 "Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados".

NOM-013-SSA1-1993 "Requisitos sanitarios que debe cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo".

NOM-014-SSA1-1993 "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano, en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados".

NOM-112-SSA1-1994. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable.

NOM-117-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

El As para la categoría de alimentos pescado y otros productos del mar se descartaron para reducir la incertidumbre en las estimaciones de la exposición. Crustáceos y moluscos mostraron, en general, una mayor concentración que los peces (Fontcuberta *et al.*, 2011).

El porcentaje en los alimentos de origen terrestre varía y depende de las condiciones de cultivo, agua utilizada y área geográfica entre otros factores (Fontcuberta *et al.*, 2011).

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 y óxido de hierro, entre otras (ILINÁ *et al.*, 2009).

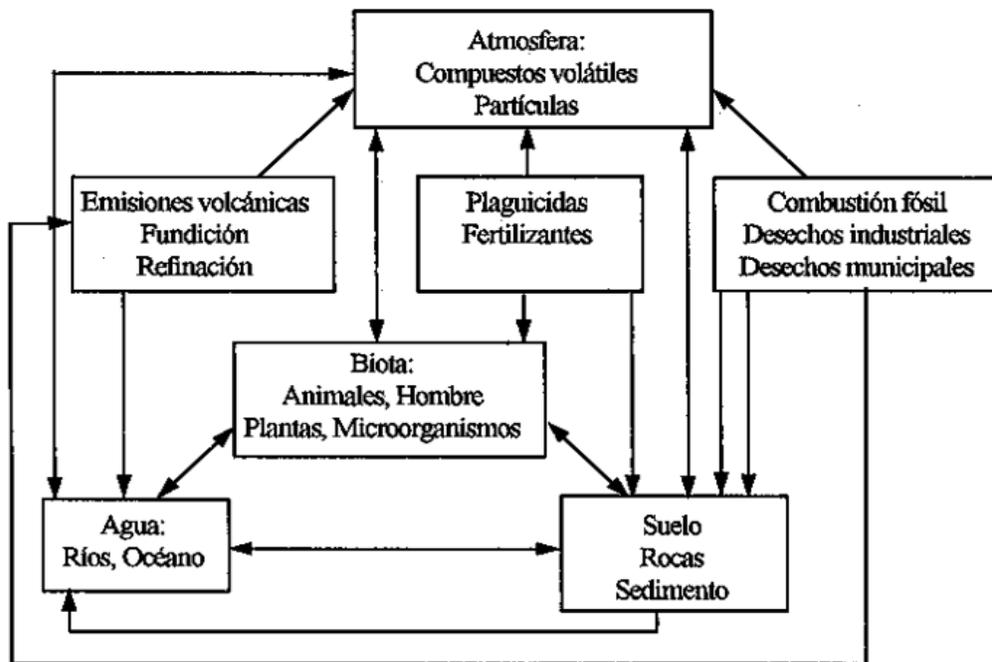
El fenómeno de biosorción (Ghimire *et al.* 2003) ha demostrado actualmente ser una alternativa para el tratamiento de diferentes efluentes industriales con respecto a otros métodos fisicoquímicos (precipitación, intercambio iónico, separación por membranas, etc.). En el proceso de biosorción se utilizan materiales de origen biológico, tales como: algas, hongos, caparazón de artrópodos, bacterias, restos de vegetales etc., los cuales se encuentran en gran abundancia y son fácilmente transformables a biosorbentes. Los iones de metales pesados y metaloides se unen a los centros activos de biosorción del material biológico mediante la formación de complejos, quelatos, intercambio iónico, microprecipitación en la parte interna del material, etc.

El As se clasifica como uno de los elementos químicos más tóxicos y carcinogénicos, representando un serio problema ambiental en varias regiones de México y el mundo (Yamamura y Amachi, 2014).

La toxicidad del arsénico en el agua es eliminada con un proceso oxidativo para la transformación de la forma más tóxica de As (III) a la forma menos tóxica de As (V) (Cha *et al.*, 2015).

Las intoxicaciones accidentales con AS han producido con relativa frecuencia debiéndose generalmente a errores o equivocaciones, así vemos como se han descrito confusiones de insecticidas en polvo con harina o azúcar. El uso de AS con fines autolíticos, sin embargo, es raro, y consiste generalmente en el uso de herbicidas o insecticidas arsenicales en grandes cantidades (Solá *et al.*, 2011).

Figura 1. Ciclo de Arsenico en el Ambiente (Albores *et al.*, 2012).



La presencia de alto nivel de arsénico en el agua es un tema prioritario de preocupación ambiental, que limita el uso de recurso para agua potable y otros propósitos, e impide el crecimiento socioeconómico, sostenibilidad del uso racional de suelo y el desarrollo sostenible de la agricultura. Por lo tanto, para mejorar el estatus socioeconómico y no comprometerlo a futuro en las regiones afectadas, se necesitan datos para mejorar la comprensión de la distribución geográfica y génesis geológica del As en acuíferos, sedimentos y suelo, en los factores que influyen en su movilidad en el agua, su permeación a suelo, y su absorción por las plantas (olmos *et al.*, 2009).

La exposición crónica que resulta de beber agua con alto nivel de arsénico durante un largo periodo de tiempo (cinco a 20 años), es conocida como arsenicosis (Ubaldo. *et al.*, 2010).

El arsénico forma parte de los elementos denominados metaloides o semimetales. Este tipo de elementos tienen propiedades intermedias entre metales y no metales.

En cuanto a su conductividad eléctrica, este tipo de materiales al que pertenece el arsénico, son semiconductores (Salud, 2014).

Cabe mencionar que existen numerosos problemas de contaminación de metales y metaloides asociados a la actividad minera y yacimientos hidrotermales en México que no son objeto del presente análisis (Adrián. y Guerrero., 2009).

La contaminación por arsénico del agua en Bangladesh representa una amenaza para la salud de alrededor de 30 millones de personas. El problema se origina en el lecho rocoso rico en arsénico de la cuenca del río Brahmaputra, que filtra el agua potable bombeada a la superficie por miles de pozos entubados (FAO, 2011).

La presencia natural de arsénico en agua superficial y subterránea en América Latina se asocia con vulcanismo terciario y cuaternario, aguas termales y fenómenos geotérmicos vinculados con el vulcanismo circumpacífico del llamado “Círculo de fuego del Pacífico”(Campos. *et al.*, 2010).

Figura 2. Los contaminantes entran al agua subterránea de fuentes naturales y desperdicios agrícolas, domésticos, e industriales.



Los compuestos inorgánicos del arsénico son los más tóxicos y aparecen, sobre todo, en agua, donde se encuentran principalmente en forma de pentóxido de

arsénico (As_2O_5) o trióxido de arsénico (As_2O_3). La toxicidad de estos compuestos depende del estado de oxidación, estado físico, solución o tamaño de las partículas de polvo, velocidad de absorción en las células, velocidad de eliminación y solubilidad en el medio biológico. Además, la exposición a compuestos de arsénico inorgánico se ha asociado a diversos tipos de cánceres como de hígado, pulmones y piel, así como a diabetes (Basu et al., 2014).

Alrededor de un tercio del arsénico presente en la atmósfera proviene de fuentes naturales como reacciones ambientales, actividad biológica, emisiones volcánicas, y el resto proviene de un rango de actividades antropogénicas (Alam et al., 2014).

La comprensión del comportamiento geoquímico del arsénico y su movilización es importante para el desarrollo de estrategias que ayuden en la descontaminación de agua y suelo afectados por la contaminación de arsénico (Sarkar et al., 2013).

El As se encuentra presente en la atmósfera, suelo, rocas, cuerpos de agua, minerales y organismos de formas inorgánica, orgánica (Basu et al., 2014).

La absorción de arsénico por la piel es mínima, de manera que el lavado de las manos y prendas de vestir, e incluso el baño, con agua que contenga arsénico, así como el trabajo en arrozales con aguas contaminadas con arsénico, no conllevan riesgos para la salud humana. Por consiguiente, las estrategias de mitigación se deben concentrar principalmente en la reducción del consumo de agua de bebida con elevadas concentraciones de arsénico (OMS, 2006).

Tecnologías para Remover Arsénico

Existen alrededor de 14 tecnologías para remover arsénico del agua con eficiencias que van desde 70 hasta 99 % (Castro-de-Esparza, 2006). Tales como precipitación química, filtración, intercambio iónico, tratamiento electroquímico, membrana de adsorción, adsorción sobre carbón activado, evaporación etc. Sin embargo, la precipitación química y el tratamiento electroquímico son ineficaces, especialmente cuando la concentración de los iones del metal en solución acuosa oscila entre 1 a $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, y también producen gran cantidad de lodos necesaria para tratar con

gran dificultad. Sin embargo, muchos de estos métodos tienen un costo elevado, lo que hace difícil su aplicación a gran escala (Wang and Chen, 2009).

En el agua los estados de oxidación más comunes del arsénico son As (V), o arsenato, y As (III), o arsenito. El As (V) prevalece en agua superficial mientras que es más probable encontrar especies de As (III) en agua subterránea anaerobia. En el intervalo de pH natural del agua las especies de As (V) se encuentran cargadas negativamente y de As (III) son eléctricamente neutras (Huerta. y Soberanis., 2011).

La elevada toxicidad del arsénico y sus compuestos exige un riguroso control del agua y alimento, pues aún en pequeñas dosis, puede acumularse en el organismo y provocar intoxicaciones crónicas (Carrera y Cirelli., 2004).

La mayor parte de agua contaminada con As proviene de acuíferos subterráneos (napas). Estos cuerpos de agua están en contacto con rocas que presentan contenidos de sales inorgánicas de As en concentración variable. De esta manera, el As pasa al agua por procesos de solubilización o lixiviación, contaminando los recursos acuíferos. Las poblaciones que consumen esta agua se encontrarán expuestas al As por tiempos prolongados y sufrirán sus efectos deletéreos (Navoni y Olmos., 2013).

Para proteger los organismos que habitan estos ecosistemas, se han establecido normas y/o regulaciones ambientales basadas en concentraciones totales y disueltas máximas de los elementos químicos en forma individual sin considerar el papel que juegan los factores ambientales (Gaete. y Chavez., 2008).

El arsénico aparece en la mayoría de agua, 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, Estados Unidos, en los cuales se han producido serios casos de contaminación (Bocanegra. *et al.*, 2002).

En México no existe actualmente un cálculo exacto de la población expuesta a la ingestión de arsénico a partir del agua; sin embargo, se conoce que son varias las localidades del país cuyas fuentes de abastecimiento se encuentran contaminadas con este metaloide. Tales localidades se ubican en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Guanajuato, Jalisco, Morelos, Hidalgo y Guerrero (IMTA, 2009).



Figura 3. Cáncer de piel causado por la ingestión prolongada de agua con arsénico (Bangladesh).

El arsénico se le puede encontrar en cierto suelo de forma natural. Además cuando entra en contacto con el agua subterránea este puede terminar en el agua de nuestro grifo. Puede terminar en el ambiente a través de la producción industrial de metales como el cobre, plomo y zinc. Además, debido a la aplicación de pesticidas y conservadores para madera, ya que es un ingrediente que se utiliza para estos usos (Cárdenas. *et al.*, 2011).

Como veneno agudo, el arsénico posee una dosis letal mediana, o que es letal 50 por ciento de las veces (DL50) igual a 763 mg/kg por ingestión de la sustancia pura. Las demás formas de arsénico tienen toxicidades mayores o menores; por ejemplo, una DL50 de 15 mg/kg para el trióxido de arsénico; 1.5 mg/kg para la arsina y dosis DL50 mayores para varias formas orgánicas (Henke, 2011).

La presencia de As en el arroz, tanto en su forma orgánica como inorgánica, es un peligro potencial para la salud, teniendo en cuenta los niveles de toxicidad de esta sustancia. En Colombia, la población puede verse expuesta a este elemento a través del consumo de arroz, puesto que este cereal es base fundamental de la dieta y una de las principales fuentes de calorías para la población (Bogotá, 2013).

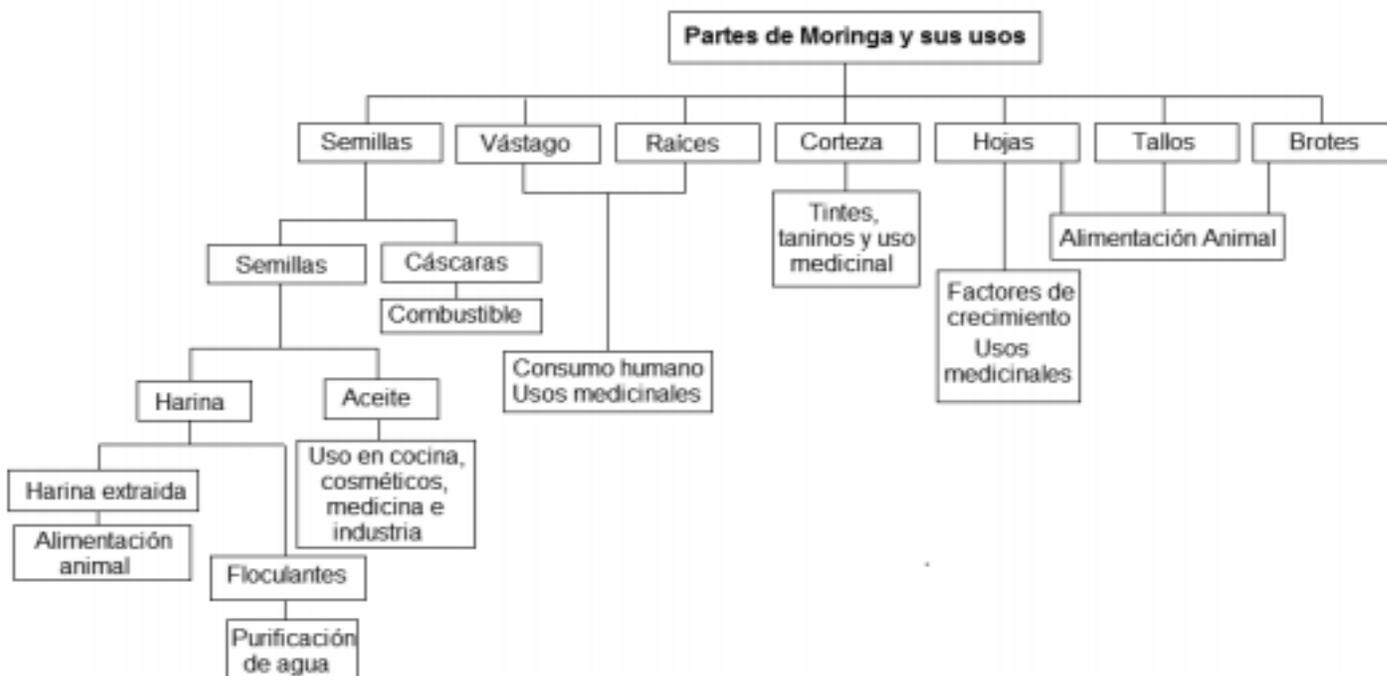
Efectos tóxicos agudos

Los efectos más destacados de la intoxicación aguda por arsenicales inorgánicos son:

- Daño severo gastrointestinal con dolores, vómitos y diarrea, vasodilatación, caída de la presión sanguínea, shock, daño renal glomerular y tubular con reducción de volumen urinario y anuria final, depresión y parálisis de la respiración. Esta es frecuentemente la causa de muerte, pérdida de movimientos voluntarios y parálisis de origen central, hipotermia, contracciones musculares, anormalidades cardíacas.

La moringa es un género de plantas con numerosas especies distribuidas por zonas áridas y semiáridas de Asia, África, y Madagascar. La especie más conocida es moringa oleífera y su principal utilidad es de complemento alimenticio. La moringa se está revelando como un recurso de primer orden y bajo costo de producción para prevenir la desnutrición y múltiples patologías, como la ceguera infantil, asociadas a carencias de vitaminas y elementos esenciales en la dieta (Benítez y Wilberth, 2012).

Figura 4. Usos potenciales de *Moringa oleífera*



Fuente: Foidl *et al.*, 2001.

Los estudios demuestran que los nutrientes en las hojas de la moringa son biodisponible de una manera suficiente o que los beneficios medicinales se acercan a lo que dice la medicina tradicional, tendríamos una herramienta poderosa para combatir la desnutrición global. Sería una herramienta provista por la naturaleza y casi sin costo y puesto en las puertas de la gente que más la necesita. A pesar de las numerosas investigaciones efectuadas a escala mundial en los últimos años sobre las propiedades profilácticas, nutricionales y terapéuticas de la moringa, se necesitan ensayos clínicos más rigurosos en humanos (Alejandro *et al.*, 2014a).

Este árbol tiene gran potencial para su cultivo en México así como en muchas partes de América tropical por su combinación singular de propiedades. Las hojas son comestibles y ricas en proteínas, con un perfil de aminoácidos esenciales muy balanceado. Al mismo tiempo, contiene vitaminas, principalmente A y C, en altas cantidades, así como antioxidantes potentes. Los frutos jóvenes son comestibles y las semillas producen un aceite comestible y lubricante de altísima calidad. Los

desechos del prensado de la semilla para obtener el aceite contiene uno de los floculantes o aglutinantes vegetales más potentes que se conocen y pueden eliminar la turbidez del agua (Olson *et al.*, 2011).

Desde hace milenios, prácticamente todas las partes de *M. oleifera* han sido utilizadas por el hombre. Las hojas, flores, frutos y raíces son apreciados por su valor nutritivo y pueden ser usados tanto en la alimentación humana como en la animal (Martín *et al.*, 2013a).

A pesar de su utilidad ancestral, su aplicación ha sido más bien empírica y la mayor parte de la información existente proviene de la tradición oral o de publicaciones de carácter general. Solo a finales del siglo XX este árbol empezó a recibir una atención merecida por parte de la comunidad científica. Durante las últimas dos décadas se han publicado numerosos reportes sobre la evaluación científica de los procesos de utilización de la planta, así como la identificación de principios activos y mecanismos de acción, lo que ha permitido explicar muchos de los efectos beneficiosos previamente conocidos, optimizar su explotación y proponer nuevas aplicaciones (Martín *et al.*, 2013b).

Utilidades: La moringa y otras especies del género son una de las plantas más versátiles y uno de los proyectos de desarrollo más importantes de agro desierto.

Comestibilidad: todas las partes de la planta son comestibles. El contenido de proteínas, vitaminas y minerales es sobresaliente. El sabor es agradable y las diversas partes se pueden consumir crudas (especialmente las hojas y flores) o cocinadas de diversas maneras (Gassensschmidt *et al.*, 2012).

Depuración de agua: la semilla es de mucha utilidad como uno de los mejores floculantes naturales conocidos y se emplean ampliamente en la depuración y purificación de agua fluvial y agua turbia. Además se emplea en la clarificación de miel y jugo de la caña de azúcar (gassensschmidt *et al.*, 2012).

Aceite: la semilla de moringa contiene un 35 % de aceite. Es un aceite de muy alta calidad, poco viscoso y dulce, con un 73% de ácido oleico, de calidad por tanto

similar al aceite de oliva. Empleado en cocina, no se vuelve rancio, muy bueno para aliño de ensalada. Además puede tener interesante aplicación en lubricación de mecanismos, fabricación de jabón y cosméticos. Este aceite arde sin producir humo, es apto por tanto como combustible para lámparas (Tsaknis et al., 2011).

Forraje para animales: las hojas de moringa constituyen uno de los forrajes más completos que se pueden imaginar. Muy ricas en proteína, vitamina y minerales y con una palatabilidad excelente las hojas son ávidamente consumida por todo tipo de animales; Rumiantes, camellos, cerdos, aves, incluso carpas, tilapias y otros peces herbívoros (tsaknis et al., 2011).

La Moringa oleífera es un árbol cuyas propiedades terapéuticas constan en los manuscritos hindúes que se remontan hasta el año 150 antes de nuestra era (AC). La historia sigue su rastro hasta los griegos y romanos y continúa por El Caribe donde es exportado a Europa en 1920. Invariablemente, este árbol ha sido parte de la medicina tradicional a través de las generaciones por sus cualidades benéficas (Romero. *et al.*, 2014) .

Este cultivo puede ser propagado por medio de semilla o por reproducción asexual (estacas), aún en suelo pobre; soporta largos períodos de sequía y crece bien en condiciones áridas y semiáridas. Es una de esas especies resistentes que requieren poca atención hortícola y crece rápidamente, hasta cuatro metros en un año (Boiron, 2013).

Experiencias recientes con Moringa oleifera desarrolladas en Kenya, en colaboración con el Instituto de Investigación Forestal han producido árboles de cuatro metros en sólo cuatro meses. En el sur de Malawi han trabajado con el cultivo para probar su potencial en el tratamiento del agua; los ensayos mostraron que el árbol podría florear y dar fruto en un año. En muchas partes del mundo se han reportado grandes y múltiples cosechas en un solo año (Folkard y Sutherland., 2011).

La moringa es una planta de múltiples usos, ya que estos productos gomosos se emplean en importantes tipos de industrias, como la de alimentos, farmacéutica,

cosmética y otras; en la elaboración de los más disímiles productos como: confites, derivados lácteos, alimentos enlatados, bebidas gaseosas, productos dietéticos, emulsiones, tabletas, grageas, jarabes y suspensiones, emulsiones y cremas, cintas pegantes, papel, tintas, pinturas, telas y metales (Pérez. *et al.*, 2010).

Sus beneficios nutricionales de la moringa son tan ampliamente reconocidos que hay poco lugar para dudar del impacto positivo del consumo de harina de hoja de moringa en situaciones de inanición inminente. Sin embargo, el desarrollo de un mayor número de pruebas clínicas bien controladas y documentadas con claridad sería de inmenso valor. Los análisis del contenido proteínico de las hojas secas muestran que hasta el 30% de su peso está formado por proteína (la leche en polvo contiene 35%) y que la mayor parte de ésta parece ser directamente asimilable (Olson y Fahey., 2011).



Figura 5. Hoja de Moringa Oleífera

Muchos productores agrícolas en México se preguntan si la planta se puede cultivar en este país. La respuesta es que ya es parte de la horticultura tradicional desde hace mucho tiempo, principalmente con fines ornamentales: la encontramos abundantemente en los pueblos de toda la costa del Pacífico, desde el sur de Sonora hasta Chiapas, incluyendo el sur de la península de Baja California (al sur de La Paz y de Todos Santos). Los ejemplares de moringa son especialmente abundantes y frondosos en las llanuras calientes del sur del istmo de Tehuantepec. La planta también se cultiva en los poblados de las depresiones tropicales secas del país, como la del Balsas y depresión central de Chiapas. La planta se encuentra en los pueblos de la zona del Infiernillo y en las cercanías de Apatzingán, Mezcala,

Iguala y Tequesquitengo. Como se puede apreciar gracias a su distribución cultivada, la moringa es una planta de zonas cálidas que nunca sufren heladas. En general, prospera mejor por debajo de los 500 m snm y crece muy poco cuando se cultiva a altitudes mayores a 1 500 metros (Olson y Fahey, 2011a).

Las vainas: tiernas son comestibles y se usan en sopa o se preparan a manera de espárragos; la raíz tiene sabor picante como el rábano rústico y se usa como condimento en lugar de éste, la semilla madura se tuesta y consume como nuez, siendo su sabor dulce, ligeramente amargo y agradable; las almendras son oleaginosas; las hojas se comen como verdura y también pueden servir de forraje (Olson y Fahey, 2011b).



Figura 6. Vainas de Moringa Oleífera

Por otra parte, también se ha usado como fertilizante, agente de limpieza, combustible biológico (biogás, biodiesel), clarificador de miel y del jugo de la caña de azúcar, así como pesticida; asimismo, la pulpa se emplea para hacer papel prensa y papel celofán. Además se usa como floculante, al purificar el agua y reducir su turbidez y contaminación bacterial; como planta ornamental, por su forma atractiva, lo que pueden utilizar como árboles de sombra, como setos, pantalla visual y auditiva, incluso como cortavientos. El efecto coagulante de la semilla también se ha empleado en la preparación de quesos (Ruiz. *et al.*, 2012).

Usos medicinales de las partes de la planta:

Raíz: Antilitiásico, rubefaciente, vesicante, carminativo, para la fertilidad, antiinflamatorio, para estimular a pacientes en estado paralítico; también actúa como tónico cardiocirculatorio, como laxante, como método abortivo y se emplea para aliviar algunas afecciones: reumatismo, inflamaciones, dolores articulares, y estreñimiento.



Figura 7. Raíz de Moringa Oleífera

Hojas: Pueden utilizarse como purgante, como cataplasma en las heridas, para minimizar los dolores de cabeza (frotarlas en la sien), hemorroides, fiebre, dolor de garganta, bronquitis, infecciones óticas y oculares, escorbuto y catarro. El jugo de las hojas controla los niveles de glucosa y reduce la inflamación glandular.



Figura 8. Hoja de Moringa Oleífera

Corteza del tallo: Como rubefaciente, vesicante, para curar enfermedades oculares y tratamiento de pacientes delirantes. Asimismo, previene el agrandamiento del bazo y formación de glándulas tuberculosas en el cuello, destruye tumores y sana las úlceras. El jugo de la corteza del tallo alivia los dolores de oídos, se pone en la cavidad dentaria como analgésico y tiene actividad antituberculosa.



Figura 9. Tallo de Moringa Oleífera

Goma o resina: Se emplea para corregir las caries dentales, mezcladas con el aceite de ajonjolí, alivia el dolor de cabeza, la fiebre, las molestias intestinales, disentería y asma. Muchas veces se utiliza como abortivo y para tratar a pacientes con sífilis y afecciones reumáticas.

Flores: Poseen alto valor medicinal como estimulante, afrodisíaco, abortivo, colagogo y antiinflamatorio. Se emplean para aliviar enfermedades musculares, histeria, tumores, agrandamiento del bazo, para bajar los valores del colesterol, fosfolípidos, triglicéridos, índice aterogénico; también disminuye el perfil lipídico del hígado, corazón y de la aorta en conejos hipercolesterolémicos y aumenta la excreción de colesterol fecal.



Figura 10. Flor de Moringa Oleífera

Semilla: El extracto de las semillas ejerce su efecto protector, disminuye los peróxidos lipídicos del hígado.



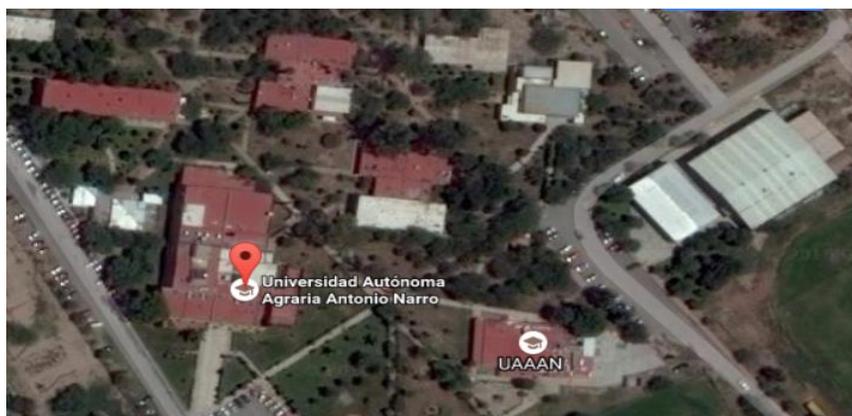
Figura 11. Semilla de Moringa Oleífera

Materiales y Métodos

El área de estudio se ubicó en el Fraccionamiento Senderos Lagos, que es parte del municipio de Torreón, Coahuila, México. Las coordenadas geográficas del cuadrante del área son: latitud norte $25^{\circ}37'14''$ y longitud oeste $103^{\circ}22'9''$. El agua que se analizó es utilizada para abastecimiento público del pozo # 79 fue un volumen de 20 litros en un garrafón, y se llevaron al laboratorio del departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna.



La investigación de campo de campo se llevó a cabo durante los meses de julio a septiembre del año 2016 en la UAAAN – UL, Laboratorio de Riego y Drenaje.



PROCESAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE LA HOJA MORINGA OLEÍFERA

Las hojas de moringa se recolectaron verdes y enteras del árbol ubicado en el departamento de Riego y Drenaje; las mismas se preservaron y almacenaron hasta que se secará a medio ambiente.



Figura 12. Hoja verde de Moringa Oleífera

Las hojas secas y sin rama se pulverizaron finamente en un aparato de extracción y procesador de alimentos llamado Nutribullet de la marca NB8SW hasta obtener una harina de color verde de aspecto como maicena; almacenándose en frasco de vidrio, para su preservación y posterior uso



Figura 13. Hoja seca de Moringa Oleífera

CONTENIDO DE ARSENICO DEL AGUA PROVENIENTE DEL POZO #79

Se determinó el contenido de arsénico del agua potable proveniente del pozo #79 Senderos lagos con el aparato Arsenator en el Laboratorio de Riego y Drenaje. El cual presento un contenido de 100 microgramos por litro.



a) Colorímetro



b) testigo arsénico (As)

Figura 14. Arsenómetro

PREPARACION DE LA SOLUCIÓN

Se prepararon 3 suspensiones de solución a las cuales se les agregaron 0.25, 0.50 y 0.75 gramos de polvo de hoja de Moringa oleífera. Las soluciones preparadas se aforaron a 500 ml de agua con arsénico obteniendo tres soluciones respectivamente.



Figura 15. Agua con arsénico y moringa

En el mezclado de la dosis correspondiente de polvo de hoja de moringa con el agua se utilizó el aparato llamado prueba de jarras Fig. 17. El mezclado fue por un periodo de 30 minutos, posteriormente se dejaron reposar por un lapso de 24 para finalmente llevar a cabo las determinaciones de la concentración de arsénico en los diferentes tratamientos.

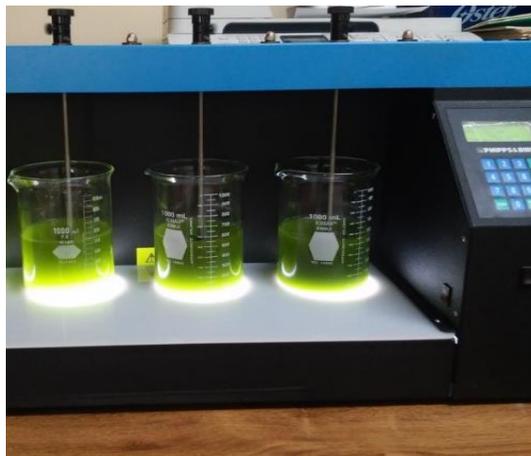


Figura 16. Prueba de jarra (agua de la muestra con Moringa)

DETERMINACION DEL ARSENICO

Para determinar la concentración de arsénico se realizaron las lecturas en el aparato Arsenator medidor digital portátil Fig.18.



Figura 17. Arsenómetro WAGTECH 10500



Figura 18. Descripción del equipo.

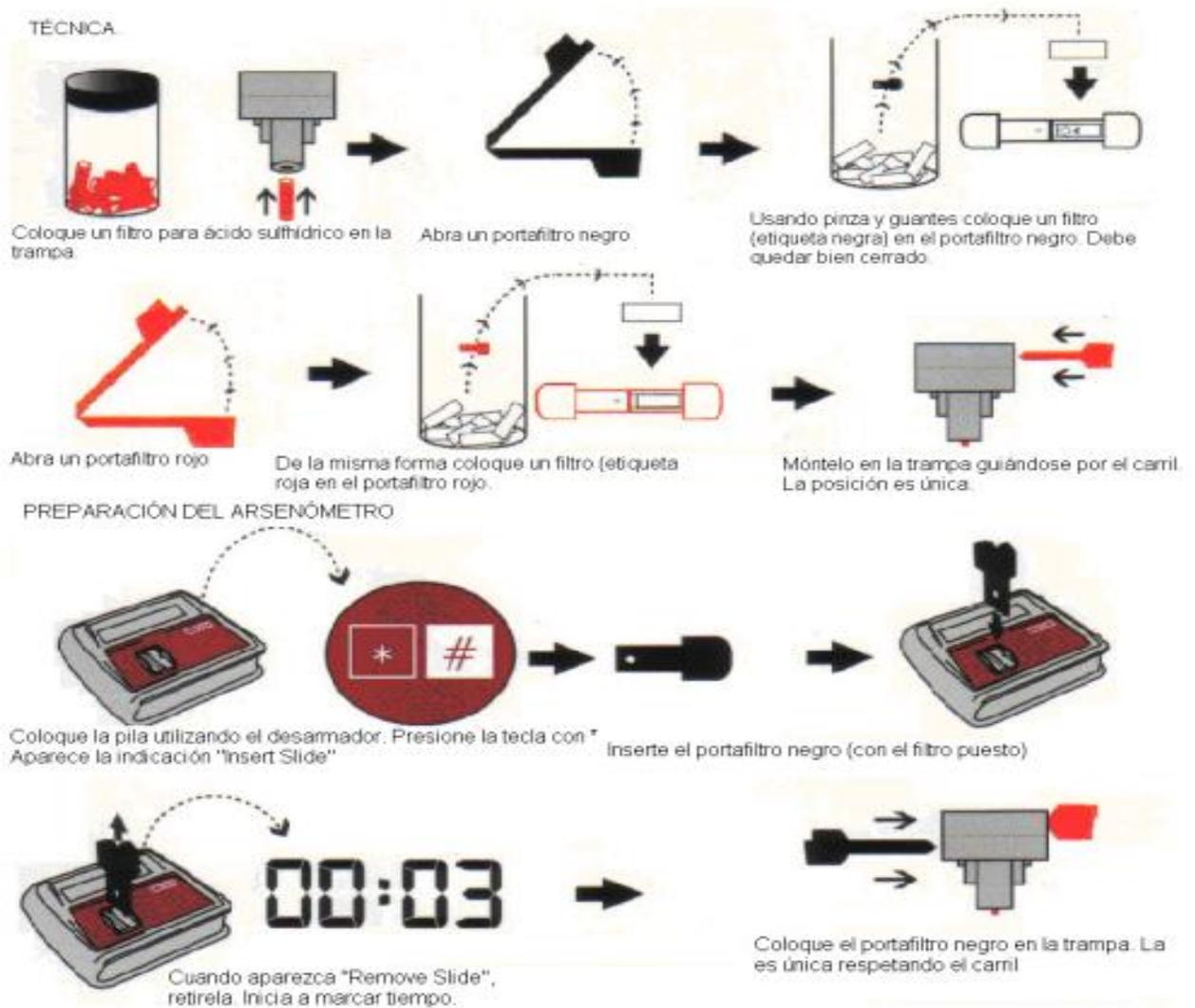


Figura 19. Técnica para la lectura.

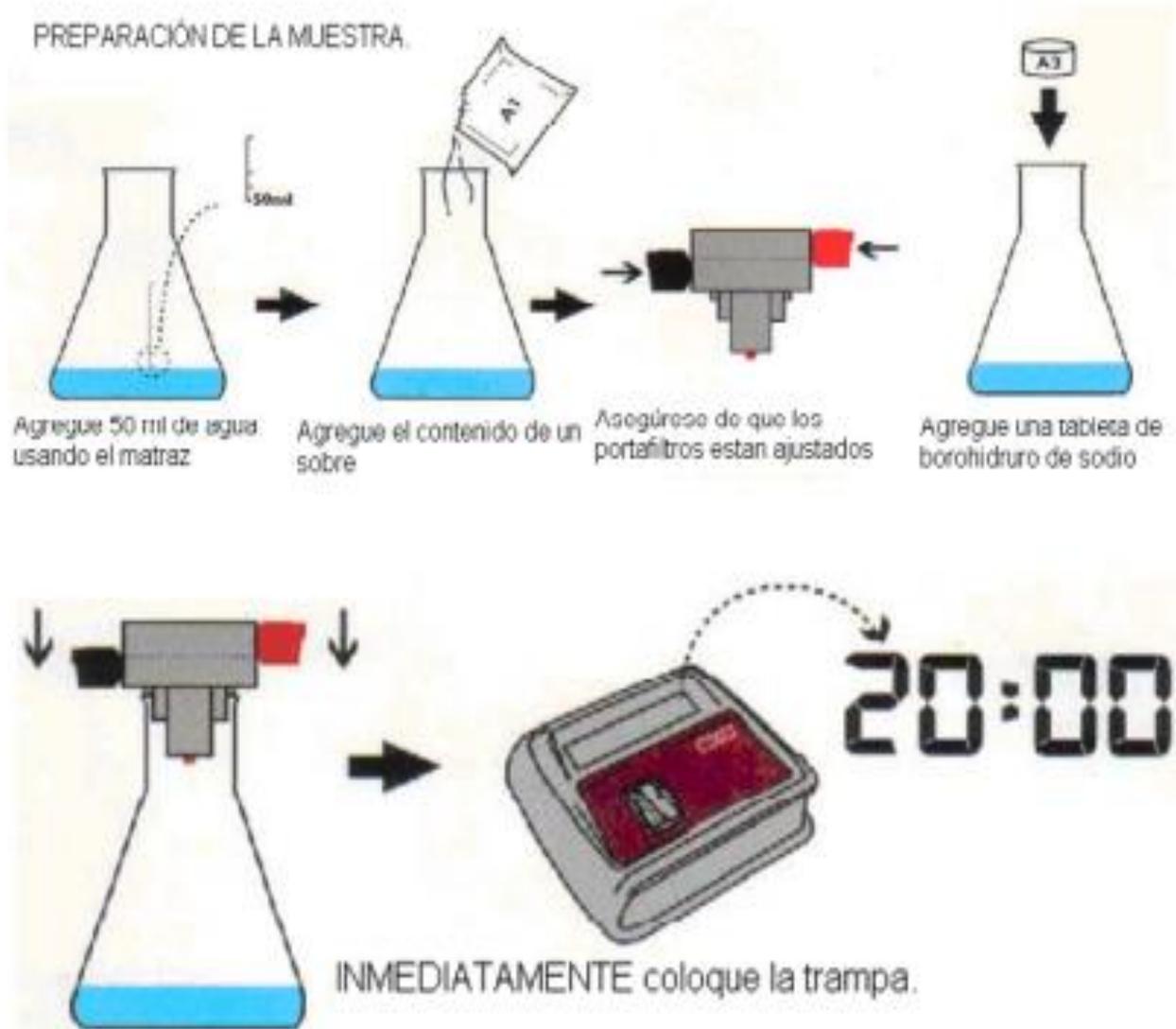


Figura 20. Preparación de muestra para la determinación de lectura

Resultados y Discusión

El análisis de varianza realizado detecto diferencia entre tratamientos Cuadro 4. En él se puede observar que todos los tratamientos con polvo de hoja de moringa tuvieron buenos resultados en la biosorción de arsénico. Todos fueron estadísticamente similares en efectividad en la biosorción de arsénico. Sin embargo, se observa una tendencia a disminuir la concentración de as en el agua al incrementar la dosis de hoja de polvo de moringa. La concentración de As en el agua disminuyo de 100 $\mu\text{g/L}$ a un promedio de 9.89 $\mu\text{g/L}$ en el agua tratada. Los tratamientos con polvo de hoja de moringa fueron similares con valores para las dosis de polvo de hoja de moringa de 0.25, 0.50 y 0.75 gr/L con una concentración de arsénico del agua tratada de 10.13, 9.81 y 9.75 $\mu\text{g/L}$ respectivamente.

Cuadro 4. Concentración de arsénico bajo los diferentes tratamientos de polvo de hoja de moringa. U.A.A.A.N., U.L.2016.

Tratamiento	Dosis gr Moringa/Lt	Concentración As $\mu\text{/Lt}$
1	0	100 a
2	0.25	10.1250 b
3	0.50	9.8125 b
4	0.75	9.7500 b

Como se puede apreciar los tratamientos con hoja de moringa para la biosorción de arsénico (As) fueron efectivos Cuadro 4. Estos tratamientos redujeron en promedio hasta un 89.0 % la cantidad de arsénico (As) presente en el agua contaminada.

Cualquiera de las dosis aplicadas de hoja de moringa en este estudio disminuyó la concentración de arsénico en el agua.

En un estudio realizado con cascara de cítricos residuos de manzana, cascara de naranja y de uva, los autores concluyen que la cascara de uva tiene la mayor capacidad de biosorción de Cadmio 1.20 meq/g seguida por las cascara de naranja y de limón sin embargo no se encontró una gran remoción de Arsénico (Patil y Schiewer, 2008).

Resultados de otros estudios muestran que la cascara de naranja puede ser utilizada como material biosorbente para la eliminación del cromo con una capacidad máxima de biosorción de 6.188 mg/g aproximadamente un 97% de remoción. Además, en otros estudios realizados sobre el Pb se reporta que a pH de 5 y 0.2 g de cascara de naranja se obtuvo una biosorción de Pb de 141.50 mg/g.

Otro estudio realizado para la remoción de cromo utilizando la planta llamada Chacay del cual se obtuvo carbón el cual fue tratado para su activación cubierto con quitosan se obtuvo un 94.83 % de remoción a un pH de 7 con 25 mg de biosorbente.

El uso del amaranto en combinación con ajonjolí, hojas de acelgas y espinacas influyeron en la remoción de metales pesados en baja cantidad ya que tanto 1 g como 10 g, dieron buenos resultados de remoción ((Mariana. y Martin., 2014).

Conclusiones

De acuerdo a las condiciones en las cuales se desarrolló el presente estudio y los resultados obtenidos se concluye:

El polvo de hoja de moringa es un buen biosorbente de arsénico por lo cual representa una alternativa con alto potencial para su remoción del agua.

Recomendación

Se recomienda continuar con este tipo de estudio en los cuales se consideren otras partes de la planta de moringa para la remoción de arsénico y otros metales pesados así como de otras variables relacionadas con la calidad del agua..

Bibliografía

Adrián., M. y O. Guerrero. 2009. "Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fl uoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma Chapala, México." *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 26: 143-161.

Alfaro, B. y J. Diego 2016. "Determinación de arsénico en agua potable del cantón del grecia." *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales* 17: 1-11.

Albores, A., B. Q. Vega, L. M. d. Razo y M. E. Cebrian 2012. "Arsenico." *Toxicologia Ambiental* 1-16.

Albores, A., M. E. Cebrián, I. Tellez y b. Valdez 1979. "Estudio comparativo de hidroarsenigismo cronico en dos comunidades rurales de la region lagunera de mexico " *bol of sund pamm* 86.

Alem, I. N. 2011a. "Modelo de intervención para el abatimiento de arsénico en aguas de consumo." *Centro de investigación y desarrollo en química*: 1-48.

Alem, I. N. 2011b. "Modelo de intervención para el abatimiento de arsénico en aguas de consumo." *Instituto Nacional de Tecnología Industrial*: 1-48.

Aragon, M. C. V. y M. T. A. Herrera 2014. "Retención de arsénico en humedales construidos con *eleocharis macrostachya* y *schoenoplectus americanus*." *Rev. int. contam. ambie.* 30: 143-148.

Anirudhan, T. S., L. Divya y J. Porvathy 2013. "Adsorción de arsénico del agua contaminada en fe amino funcionalizado coordinada poli (metacrilato de glicidilo) injertado de celulosa densificada tio2 ." *Chemical technology and biotechnology*.

Babak, Y. V., I. A. Melnik y V. V. Goncharu. 2014. "Eliminación de compuestos de arsénico de aguas naturales que utilizan un sistema híbrido (fotocatalisis ósmosis inversa)." *Journal of water chemistry and technology*. 36: 296-302.

Benítez, M. y Wilberth 2012. "Aprovechamiento poscosecha de la moringa." *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 13: 171-174.

Biswas, A., D. deb, A. Ghose, G. D. Laing, G. D. Neve, S. C. Santra y D. N. G. Mazumder. 2014. "El consumo de arsénico en la dieta y el arsénico orina en una población endémica; respuesta a la mejora de la calidad del agua potable en un estudio consecutivo de 2 años." *Environmental science and pollution research* 21: 609-619.

Blanes, P., M. C. Giménez y C. E. Herrera Ahuad 2011. "Arsénico y otros elementos traza en aguas subterráneas en la región central de la provincia del chaco ".

Bocanegra., O. C., E. M. Bocanegra. y A. A. Alvarez 2002 "Arsenico en aguas subterranas: su impacto en la salud." *GrounWater and Human Development.*: 1-7.

Bueno, D. M., L. d. C. S. Peña, L. M. D. Razo, C. A. G. Arias, I. M. M. Diaz, M. d. L. R. Marencio y A. E. R. Garcia 2012. "Presencia de arsénico y coliformes en agua potable del municipio de Tecuala, Nayarit, México." *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28: 127-135.

Campos, V. 2013a. "Purificación de arsénico del agua." *journal of the mexican chemical society* 47: 283-286.

Calderón Mólgora, C., Q. J. M. Laura, N. Segura Beltrán y C. Hernández Yañez 2012. "Remoción de arsénico mediante procesos de membrana." *Tecnología y ciencias del agua* 3: 37-51

Cárdenas., R. M. Z., L. G. Torres., F. J. A. Zúñiga., M. Á. E. Rodríguez. y J. C. P. Limas. 2011. "¿Arsénico en Nayarit?" Artículos de Divulgación: 2-6.

Castruita Avila, I., A. M. García Lara, J. E. Camporredondo Saucedo, C. F. Sifuentes Barrera y M. Garza García. 2011. Estudio cinético de la remoción de arsénico en un reactor electroquímico tipo filtro prensa. *Prospectiva* 9: 7-12.

Campos., V. M., J. Q. Kimse., A. L. Espinoza. y J. A. S. Mora. 2010. "Determinación de arsénico en abastecimientos de agua para consumo humano de la provincia de Cartago, Costa Rica." *Acta Médica Costarricense.*: 1-6.

Carrera., P. y F. Cirelli. 2004. "Niveles de arsénico y flúor en agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera (Pcia. de Córdoba, Argentina)."

Carro Pérez M.E. y Francisca F.M. (2013a). Arsenic entrapment in reactive columns of residual soils. *j. environ. eng – asce* 139, 788-795.

Costa, V. F. D., R. G. P. Leite, Mariangela, P. C. Mendonca, Fellipe, A. N. Jr y Hermínio 2015. "Mapeo geoquímico de arsénico en las aguas superficiales y sedimentos de corriente de la quadrilátero ferrífero , brasil." *Revista escola de minas* 68: 43-51.

Cipriani, H. N., L. E. Dias, M. D. Costa, N. V. Campos, A. A. Azevedo, R. J. Gomes, I. F. Fialho y S. P. M. Amezquita 2013. " Toxidez por Arsenico EM Acacia mangium WILLD. E Mimosa caesalpiniaefolia BENTH." *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 37: 1423-1430.

Curto, S. I., N. A. Mendiburo, R. Plastina y R. Boffi 2011. " Arsenico en acuíferos: influencia sobre la salud de la poblacion." *Sitio argentino de producción animal.*

Díaz, J. P. P., E. P. Cervantes, R. L. Cervantes y I. M. H. Torres 2016. "Metales pesados y calidad agronómica del agua residual tratada " *idesia (chile)* 34: 19-25.

Esparza, M. L. C. d. 2012a. "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* 20-24.

Esparza, M. L. C. d. 2012b. "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.*: 20-24.

FAO 2011. "Amenaza de arsénico en Bangladesh " *Departamento de Agricultura, Bioseguridad, Nutrición y Protección del Consumidor Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación* 1-2.

Francisca, F. M. y M. E. C. Pérez 2014. "Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación." *Revista internacional de contaminación* 30: 177-190

García, F. P., O. A. B. Ramírez, W. Scoot, J. C. G. Oyarzún y A. Z. Estrada 2006a. "Acumulación, toxicidad y teratogénesis provocada por presencia de arsénico en aguas en el pez cebra (danio rerio) " *revista aquatic.*: 72-85.

García-Nieto, E., L. Carrizales-Yañez, L. Juárez-Santacruz, E. G.-. Gallego, E. Hernández-Acosta, E. Briones-Corona y O. G. V. Cuecuecha. 2011. "Plomo y arsénico en la subcuenca del alto atoyac en tlaxcala, méxico " *revista chapingo serie ciencias forestales y del ambiente* 17: 7-17.

González., P., M. Jaimes. y V. Fernández. 2013. "Oxidación del arsénico regulada por un sistema bacteriano de dos componentes." *Revista bio ciencias* 3: 92-97.

Guerrero, M. A. O. 2009. "Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma Chapala, México." *Revista mexicana de ciencias geológicas* 26: 1-5.

Gleason, S. V. 2011. "Riesgo sanitario ambiental por la presencia de arsénico y fluoruros en los acuíferos de México." *Comisión Nacional del Agua*: 1-15.

Henke, L. 2011. "Tratamiento de Arsénico Inquietudes y Aplicaciones para los Sistemas de Pequeña y Muy Pequeña Escala." *Agua latinoamérica* 9: 1-5.

Hernández, A. L. B., D. A. Gutiérrez, O. J. D. Blas, M. S. Guervós y B. D. M. Manzano 1998. "Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca." *Revista de salud pública* 1: 53-65.

Hick a.s., Paczkowski m.g., Gadano a.b. y Carballo m.a. (2007). Biomarcadores de genotoxicidad en individuos expuestos al arsénico. *Lat. Am. J. Pharm.* 26, 691-699.

Huerta., M. d. L. R. y M. P. Soberanis. 2011. "Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre zeolita natural acondicionada." *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*: 1-11.

Komorowicz, I. y D. Barańkiewicz 2014. "Especiación de arsénico en el agua de alto rendimiento de la masa líquida de plasma / acoplado inductivamente espectrometría de validación - método y estimación de la incertidumbre." *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 28: 159-168.

Linquist, B. A., M. M. Anders, M. A. A., A. Borbe, R. L. Chaney, L. L. Nalley, E. F. F. D. Rosa y C. V. Kessel 2015. "La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso del agua y los niveles de arsénico del grano en los sistemas de arroz."

Mellado, C., V. Campos y M. A. Mondaca 2011. "Distribución de genes de resistencia a arsénico en bacterias aisladas de sedimentos con concentraciones variables del metaloide." *Gayana* 75: 131-137.

Mejía González, M. A., L. G. Hita, R. B. Gallardo, A. C. Benavides y P. S. Navarro 2014. "Mecanismos que liberan arsénico al agua subterránea de la comarca lagunera, estados de coahuila y durango, México." *Tecnología y ciencias del agua* 5: 71-82

Mejía Zamudio, F., J. L. Valenzuela-García, S. Aguayo-Salinas y D. Meza-Figueroa 2009. "Adsorción de arsénico en zeolita natural pretratada con óxidos de magnesio." *Rev. int. contam. ambient.* 25: 217- 227.

Méndez, M. y M. A. Armienta 2003. "Distribución de fase arsénico en desechos de la minería Zimapán, México." *Geofísica internacional* 42: 131-140.

Montoya, E. A. R., L. E. M. Hernández, M. P. L. Escareño y N. Balagurusamy 2015a. "Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos." *Terra Latinoamericana* 33.

Montoya, E. A. R., L. E. M. Hernández, M. P. L. Escareño y N. Balagurusamy 2015b. "Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos " *Terra Latinoamericana* 33: 103-118.

Navoni., J. y V. Olmos. 2013. "Arsénico: contaminante natural en agua de consumo humano." *Uba encrucijadas*: 40-45.

Ortega Guerrero, M. A. 2009. "Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala

de cuenca hidrológica tributaria de Lerma Chapala, México." *Revista mexicana de ciencias geológicas* 26: 143-161.

Ordáz, G. H., M. A. S. Castruita, L. C. A. G. Pico, R. A. A. Nuncio, M. F. Hernández y G. G. Cervantes 2013. "Comportamiento del arsénico en suelos de la región lagunera de Coahuila, México." *Terra Latinoamericana* 31: 295-303.

OMS 2006. "Mitigación de los efectos del arsénico presente en las aguas subterráneas " Consejo ejecutivo: 6-6.

Pellizzari, E. E., L. G. Marinich, S. A. Flores y C. M. Giménez 2015. "Degradación de arsénico por *Pseudomonas aeruginosa* para bioremediación de agua. Estudio preliminar." *Avances en Ciencias e Ingeniería* 6: 1-6

Pinto, V. S., B. Arriaza y V. Standen 2010. "Evaluación de la frecuencia de espina bífida oculta y su posible relación con el arsénico ambiental en una muestra prehispánica de la quebrada de Camarones, norte de Chile." *Revista Médica de Chile*: 461-469.

Rangel, E. A., L. E. Montañez Hernández, M. P. Luévanos Escareño y N. Balagurusamy 2015. "Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos " *Terra Latinoamericana* 33: 103-118.

Ramírez, O. A. B., F. P. García y C. A. G. Vidal 2004. "Bioacumulación y daños genotóxicos en pez cebra (*Danio rerio*) por arsénico en aguas de Zimapán, Hidalgo (México). Ensayos en cortos plazos " *Revista Acuática*, 62-70

Revuelta, C. C., J. Alvarez-Benedí, M. A. Benítez, P. M. Díez 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* 6.

Reyes-Gómez, V. M., M. T. Alarcón-Herrera, D. Núñez-López y R. Cruz-Medina 2010. "Dinámica del arsénico en el Valle de Tabalaopa-Aldama-El Cuervo, en Chihuahua, México " *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 6: 21-31.

Roy, P., N. K. Mondal, B. Das y K. Das 2013. "Contaminacion por arsenico en las aguas subterraneas de una modelizacion estadistica " *Journal of urban and environmental* 7: 24-29

Roy, P. K., A. Madumder, G. Banerjee, M. B. Roy, S. Pal y A. Mazumdar 2015 "Eliminacion dell arsenico del agua potable mediante el doble proceso de tratamiento." *Clean tech enviromental policy* 17: 1065-1076.

Sanz, N. A., M. P. Diez, A. A. D. Miguel, P. G. Rodríguez, M. M. Cortés y M. J. R. bernabeu 2001. "Nivel de arsénico en abastecimientos de agua de consumo de origen subterráneo en la comunidad de madrid." *Rev esp salud pública* 75.

Santander, M. y L. Valderrama 2015. "Flotación por Aire Disuelto de partículas adsorbentes de arsénico " *Ingenieria e Investigacion* 35: 36-42

Sulik, M. A., Oscar Escolero Fuentes, S. N. Mendoza y M. O. Guzmán 2015. "Distribución geográfica de arsénico en acuífero de los valles centrales de Oaxaca, México " *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36: 102-110.

Srivastava, S., K. R. Raj y A. Kardam 2013. "Descontaminación eficiente de arsénico en el agua con polvo de maíz modificado." *Environmental chemistry letters* 11: 47-513.

Suárez-Solá M.L., González-Delgado F.J., González- Weller D., Rubio-Armendáriz C. y Hardisson D.A. (2004). Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones

arsenicales. Cuad. Med. Forense 35, 5-14.

Silva G.S., Muñoz O.A., de la isla de Bauer M.L. E Infante g.s. (2002). Contaminación ambiental en la región de atlixco, puebla. terra 20, 243-251.

Tajernia, H., T. Ebadi, B. Nasernejad y M. Ghafori 2014 "La eliminación de arsénico del agua por bagazo de caña de azúcar ; es una aplicación de la metodología de superficie." Water a ir soil pollution.

Tovar, C. T., Á. V. Ortiz y L. G. Jaraba 2015. "Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico " Tecno Lógicas 18: 109-123. Ucar, C., M. B. Baskan y A. Pala 2013

Valles Aragón, M. C. y M. T. Alarcón Herrera 2014. "retención de arsénico en humedales construidos con *eleocharis macrostachya* y *schoenoplectus americanus*." revista internacional de contaminación ambiental 30: 143-148.

Villanueva., R. O. C. 2000. "Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana " Revista Latinoamericana de Microbiología 42: 131-143.

Wilberth, M. B. 2012. "Aprovechamiento poscosecha de la moringa (*Moringa(oleífera)*)." Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 13: 171-174.

Zamudio, F. M., J. L. V. García, S. A. Salinas y D. M. Figueroa 2009. "Adsorción de arsénico en zeolita natural pretratada con óxidos de magnesio." Rev. int. contam. ambient. 25: 217-227.

Zhang, H., Q. Yao, L. Shao y P. He. 2014. "Recuperación de trióxido de arsénico de

un lodo como residuos mediante lixiviación alcalina y precipitación con ácido."
Waste and biomass valorization. 5: 255-263.