

Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto (*Moringa oleífera* Lam.) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano

Hernández-Sánchez, ML.
Estudiante Tesista

Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
Correo electrónico: mlore_ck@hotmail.com

Ventura-Bolaños, GB
Estudiante Tesista

Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
Correo electrónico: gventura0209@gmail.com

Bonilla de Torres, BL
Docente Director

Departamento de Química Agrícola
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
Correo electrónico: lorenab_torres@hotmail.com

Rivas-Zamora, HC
Estudiante Tesista

Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
Correo electrónico: helen.zamora@outlook.com

Carranza-Estrada, FA
Docente Director

Departamento de Química Agrícola
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
Correo electrónico: facekd@yahoo.es

Palacios, DJ
Docente Director

Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente
Universidad de El Salvador
Correo electrónico: adejota@gmail.com

Resumen

El presente estudio se desarrolló en el laboratorio de química agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en el periodo de junio 2016 a abril 2017.

Para evaluar la efectividad de la semilla de *Moringa oleifera* Lam. en la remoción de arsénico y plomo, a nivel de laboratorio se prepararon muestras de agua con una concentración aproximada de 1.00 mg/l de arsénico (27 repeticiones) y 1.00 mg/l de plomo (27 repeticiones), a las cuales se le adicionaron tres dosis: 0.25, 0.50 y 1.00 g de harina de semillas de *Moringa oleifera* Lam. por cada litro de muestra de agua preparada. Para la obtención de la harina, las semillas se secaron y posteriormente se trituraron, luego se pasaron por un tamiz de 0.5 mm y se obtuvo un polvo fino homogéneo, similar al de una harina, y tres tiempos de reacción: 1, 2 y 3 horas. Una vez transcurrido el tiempo de reacción, se procedió a filtrar el agua tratada, utilizando un filtro casero para remover los flóculos formados posterior al tratamiento. El filtro casero fue elaborado con: frascos plásticos de grado alimenticio que constaba con capas de: grava y algodón de 6 cm cada una.

Se determinó la concentración de los metales en las muestras de agua, antes y después de los tratamientos, calculando el porcentaje de remoción de dichos metales y comparando los resultados obtenidos con la normativa para agua potable NSO 13.07.01:08 (As 0.01 mg/l y Pb 0.01 mg/l).

El análisis de las variables en estudio se rigió por el Diseño Factorial, utilizando el Programa Estadístico InfoStat 2014-E y el Software IBM PASS SPSS 22 Statistics, a un nivel de confianza del 95%. Los factores en estudio fueron: dosis de harina de semilla de *Moringa oleifera* Lam.: 0.25, 0.50 y 1.00 g y tiempo de remoción: 1, 2 y 3 horas; las variables dependientes fueron: porcentaje de remoción de arsénico y porcentaje de remoción de plomo expresadas en porcentaje (%). En el estudio se concluye que la harina a partir de semillas de *Moringa oleifera* Lam. es efectiva en la remoción de metales pesados, para el caso del arsénico el porcentaje de remoción más alto fue de 82.11% (1.00 g en 1 hora) y para el plomo el porcentaje de remoción más alto fue de 99.90% (0.50 g en 3 horas y 1.00 g en 2 y 3 horas).

A pesar de haber removido más del 80% de arsénico, concentración inicial de 1.025 mg/l, no se cumplió con los valores establecidos por la normativa NSO 13.07.01:08 (0.01 mg/l As) para agua potable, obteniendo una concentración final (0.183 mg/l); en el caso del plomo las concentraciones removidas arriba del 98%, cumplieron con los límites máximos exigidos por normativa para agua potable NSO 13.07.01:08 (0.01 mg/l Pb), e incluso presentaron valores inferiores al máximo permitido por dicha norma.

Palabras clave: *Moringa, oleifera*, arsénico, plomo, agua, consumo, bioadsorción, metales, pesados.

Abstract

The present study was developed in the chemistry agricultural laboratory of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, from June 2016 to April 2017.

To evaluate the effectiveness of *Moringa oleifera* Lam. In the removal of arsenic and lead, at the laboratory level samples of water were prepared with a concentration of approximately 1.00 mg/l of arsenic (27 replicates) and 1.00 mg/l of lead (27 replicates), to which were added Three doses: 0.25, 0.50 and 1.00 g of *Moringa oleifera* Lam. seed meal per liter of prepared water sample. To obtain the flour, the seeds were dried and then crushed, then passed through a 0.5 mm sieve and a fine flour-like homogeneous powder was obtained and three reaction times: 1, 2 and 3 hours. After the reaction time had elapsed, the treated water was filtered, using a home filter to remove the flocs formed after the treatment. The homemade filter was made with: plastic bottles of alimentary grade that consisted of layers of: gravel and cotton of 6 cm each.

The concentration of the metals in the water samples, before and after the treatments, was determined by calculating the percentage of removal of these metals and comparing the results obtained with the regulations for drinking water NSO 13.07.01: 08 (As 0.01 mg/l and Pb 0.01 mg/l).

The analysis of the variables under study was governed by the Factorial Design, using the InfoStat 2014-E Statistical Program and the IBM PASS SPSS 22 Statistics Software, at a 95% confidence level. The factors studied were: *Moringa oleifera* Lam. Seed dose: 0.25, 0.50 and 1.00 g and removal time: 1, 2 and 3 hours; The dependent variables were: percentage of removal of arsenic and percent removal of lead expressed in percentage (%). The study concludes that the flour from *Moringa oleifera* Lam. Is effective in the removal of heavy metals. In the case of arsenic, the highest removal rate was 82.11% (1.00 g in 1 hour) and for lead the highest removal percentage was 99.90% (0.50 g in 3 Hours and 1.00 g in 2 and 3 hours).

In spite of having removed more than 80% of arsenic, initial concentration of 1,025 mg/l, the values established by the NSO regulation 13.07.01: 08 (0.01 mg/l As) for drinking water were not met, obtaining a concentration Final (0.183 mg/l); In the case of lead, the concentrations removed above 98%, complied with the maximum limits required by regulations for drinking water NSO 13.07.01: 08 (0.01 mg/l Pb), and even presented values lower than the maximum allowed by said standard.

Key words: *Moringa, oleifera* Lam., arsenic, lead, drinking water, bioadsorption, heavy metals.

Introducción

El agua es un elemento fundamental y determinante para la vida. La escasez y el uso abusivo del agua dulce plantean una creciente y seria amenaza para el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. Además, la contaminación de las aguas por metales pesados procedentes de los vertidos de efluentes residuales, industriales y agrícolas se ha convertido en un problema ambiental a nivel mundial. (Blanco 2008).

En la actualidad, el agua recibe contaminaciones originadas por diversas fuentes, entre las que destacan: suelo contaminado, lodos residuales, industria, fertilizantes químicos y plaguicidas empleados en agricultura; aunado a esto la actividad volcánica alta en el país permite la presencia común de metales pesados en algunos mantos acuíferos y en ríos; la presencia de metales pesados en el agua puede causar un efecto tóxico a quien la consume (Carranza 2015).

Entre los metales pesados, el plomo (Pb) es ampliamente usado en la producción de acero, hierro, baterías y pinturas; el arsénico (As) se asocia a actividades de vulcanismo terciario y cuaternario. Estos metales pueden ser encontrados en aguas naturales en la forma más reducida como Pb (II) y As (III) y son gradualmente oxidados a la forma insoluble como Pb (III) y As (V) generando problemas relacionados con la calidad del agua, tales como turbidez y sabor metálico, entre otros. Adicionalmente, estos metales en concentraciones elevadas son considerados como tóxicos para la salud humana, afectando el cerebro, sistema nervioso, y piel. Por lo tanto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha fijado límites específicos de plomo y arsénico en aguas de consumo humano de 0.01 mg/l (Blanco 2008).

Actualmente, el principal tratamiento químico utilizado para el agua con alta turbiedad en El Salvador es el coagulante sintético de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) que representa altos costos para las plantas potabilizadoras urbanas y es inaccesible en sistemas rurales. El uso de sulfato de aluminio para el tratamiento del agua resulta en grandes cantidades de lodos producidos durante el tratamiento y un alto nivel de aluminio que permanece en el agua tratada. Esto puede presentar un problema de salud ya que se ha demostrado que la ingesta de grandes cantidades de sales de aluminio está relacionada con la enfermedad de Alzheimer (SNET 2006).

Por otra parte, los estudios comparativos de la *Moringa oleífera* Lam y el sulfato de aluminio para el tratamiento de agua demuestran que es una alternativa viable como coagulante para el tratamiento de agua potable en

países en vías de desarrollo. Una de las ventajas de la *Moringa oleífera* Lam es, que no se necesita controlar el pH a diferencia de los tratamientos con sulfato de aluminio, además es de bajo costo y de fácil acceso para familias que viven en zonas rurales pobres (Gómez 2010).

Hoy en día, existen tratamientos convencionales para la remoción de iones de plomo y arsénico basados principalmente en: filtración por membrana, intercambio iónico, adsorción, precipitación química, coagulación-floculación. Estos procesos son costosos e ineficientes, especialmente cuando la concentración de los metales es muy baja. Recientemente, la bioadsorción ha sido propuesta como un procedimiento de tratamiento alternativo. Entre las ventajas que presenta, en comparación con las técnicas convencionales son: bajo costo, alta eficiencia, minimización de productos químicos y lodos biológicos, no requieren nutrientes adicionales, regeneración de los biosorbentes y posibilidad de recuperación de metales (Das 2010, citado por Tejada *et al.* 2014).

La investigación tiene como finalidad “evaluar la efectividad de las semillas de Teberinto, *M. oleífera* como método para la remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano”, brindando alternativas sencillas, económicas y fáciles para descontaminar el agua a la cual tienen acceso los habitantes del sector rural.

Materiales y Métodos

Ubicación, Duración y Unidades Experimentales

Esta Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto (*Moringa oleífera* Lam.) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano, se desarrolló en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en el periodo comprendido de junio 2016 a abril 2017.

En el estudio las unidades experimentales fueron las muestras de agua de un litro que contenían 1.0 mg/l de arsénico (3 repeticiones por tratamiento) y 1.00 mg/l de plomo (3 repeticiones por tratamiento), bajo dos factores de estudio, siendo el factor “a” las dosis de harina de semillas de *M. oleífera* (0.25, 0.50 y 1.00 g/l de agua) y el factor “b” los tiempos de remoción de dichos metales (1, 2 y 3 horas), y la interacción entre ellos (dosis – tiempo).

Metodología de campo

a) Recolección de vainas de *M. oleífera*.

Se recolectó la cantidad de vainas (con madurez fisiológica) necesarias para completar aproximadamente 1,000 g de semillas del árbol de *M. oleífera*.

La recolección tuvo lugar en el Municipio de Aguilares del departamento de San Salvador con georreferencia de: 13°56'32.1"N y 89°11'30.9"O, a una altura aproximada de 299 msnm.

b) Elaboración de filtros caseros (Fig. 1).

Los materiales utilizados para la elaboración de los filtros caseros fueron los siguientes:

- Frascos plásticos de bebidas carbonatadas transparentes, cuyo material de fabricación sea a partir de PET (Tereftalato de polietileno) de 2.5 litros de capacidad.
- Algodón natural
- Grava de río

El procedimiento para la construcción del filtro se realizó de la siguiente manera: se tomó el recipiente plástico transparente previamente lavado con agua del grifo y enjuagado con agua destilada y bidestilada. Luego se cortó por la parte superior a una altura de 25.0 cm de la boca a la base, creando una especie de embudo, colocando la boca del recipiente plástico con su tapón hacia abajo.

Posteriormente, se rellenó el interior del recipiente plástico con una capa de algodón de 6.0 cm, a esta capa se le adicionaron pequeñas cantidades de agua destilada para que quedara bien comprimido. Después se colocó en la parte superior una capa de 6.0 cm de grava lavada, con la intención de proveer soporte al algodón y garantizar que este no se moviera al momento de filtrar. Además de retener los sólidos suspendidos en esta zona.

Como soporte para el filtro y para la recolección de la muestra filtrada, se utilizó otro frasco plástico y se cortó hasta el hombro del mismo aproximadamente 15.0 cm de altura.

Finalmente se colocó el filtro encima del recipiente contenedor. Al recipiente contenedor se le perforó un agujero con la ayuda de una varilla metálica (acero inoxidable) caliente, aproximadamente 3.0 cm por debajo del corte realizado, para evitar que se generará vacío al momento de filtrar.

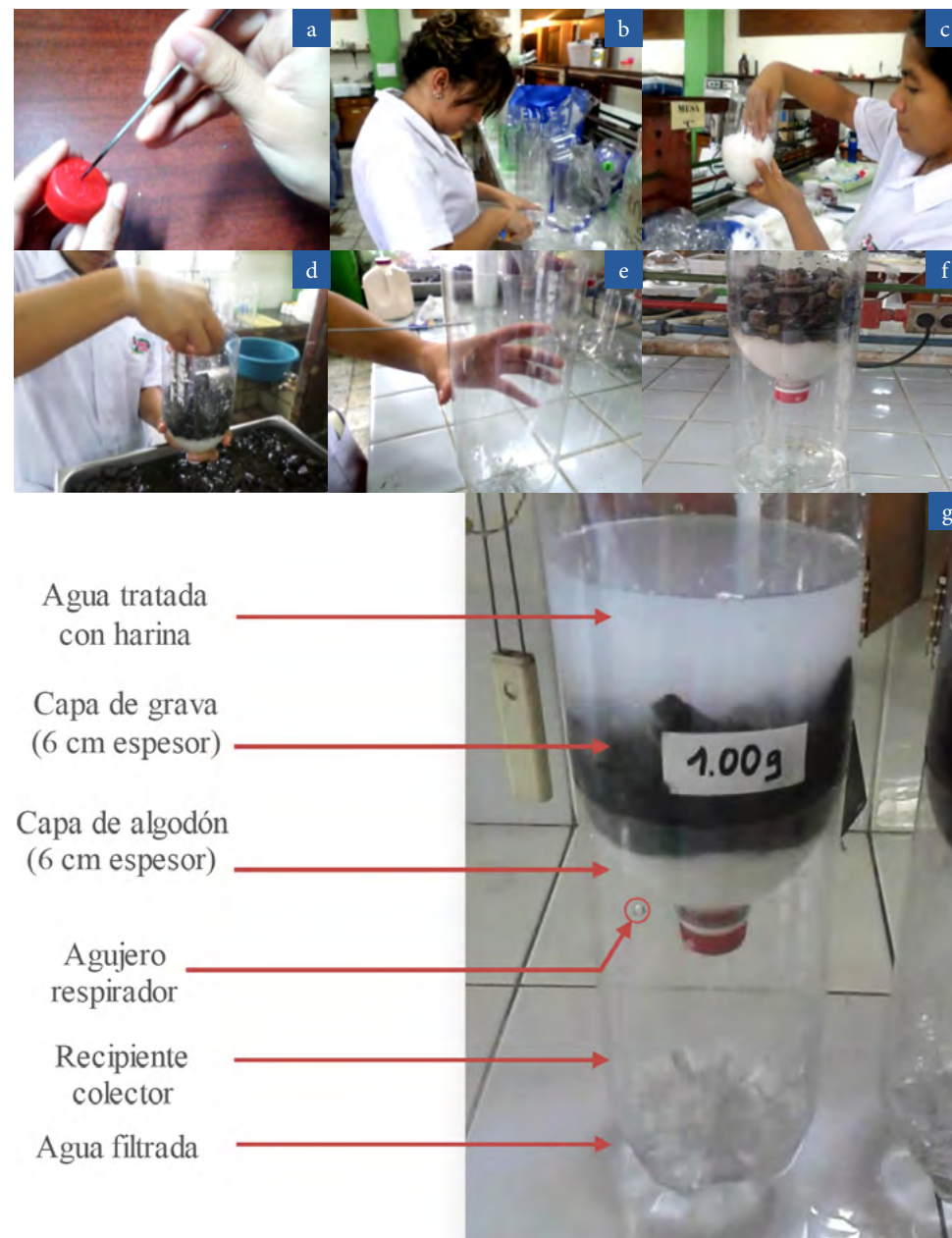


Figura 1. Construcción del filtro casero. a) Perforación del tapón; b) Recorte de los recipientes plásticos; c) Colocación de capa de algodón; d) Colocación de capa de grava; e) Perforación del recipiente contenedor; f) Filtro casero elaborado; g) Filtro con carga de prueba de agua y harina.

Metodología de laboratorio

Procesamiento de la semilla de *M. oleífera* como bioadsorbente

Se recolectaron 2,000 g aproximados de vainas, de las cuales se obtuvieron 812.38 g de semillas con testa de *M. oleífera* con un rendimiento de 627.37 g de harina.

Las semillas de *M. oleífera* se secaron y posteriormente se trituraron, se pasaron por un tamiz de 0.5 mm y se obtuvo un polvo fino homogéneo, similar al de una harina.

La harina se almacenó en bolsas de sello hermético y posterior se guardó en un desecador para su conservación. (Fig. 2).

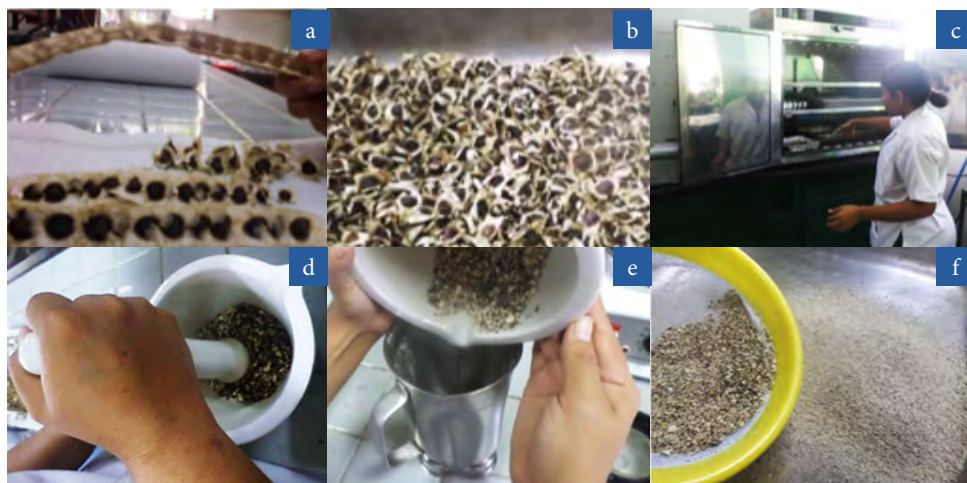


Figura 2. Procesamiento de la semilla de *M. oleífera* como bioadsorbente. a) Extracción de las semillas de la vaina; b) Semillas con testa; c) Secado de las semillas; d) Triturando semillas; e) Semillas pulverizadas; f) Tamizado de la harina.

Preparación de muestras

Se prepararon dos muestras con 40.0 litros de agua cada una, la primera con una concentración aproximada de 1.0 mg/l de arsénico utilizando como fuente de arsénico, el arsenito de sodio (NaAsO_2). La segunda muestra con una concentración aproximada de 1.0 mg/l de plomo utilizando como fuente de plomo, el nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$).

Las muestras de agua enriquecidas con los metales As y Pb, se dosificaron a frascos plásticos limpios y secos de 1.0 litro, que fueron las muestras utilizadas para evaluar cada uno de los tratamientos en estudio.

Preparación de los tratamientos

Se prepararon los respectivos tratamientos de la siguiente forma:

- Se adicionaron dosis de 0.25 g, 0.50 g y 1.00 g de harina de *M. oleífera* (bioadsorbente) a los frascos con muestras de un litro de agua preparadas con As y Pb, luego se agitaron constante durante un minuto, para evitar la formación de grumos. Se dejaron reposar en tiempos de 1 hora, 2 horas y 3 horas, para lograr la sedimentación de los flóculos (grumo de materia orgánica) formados (Cuadro 1).
- Transcurrido el tiempo de reposo, se procedió a filtrar (filtro casero) con el propósito de remover los flóculos formados posterior al tratamiento.
- Finalmente, se realizó el proceso de digestión (método que se usa para reducir interferencias debido a la presencia de materia orgánica y convertir los metales a una forma en que se puedan analizar) de las muestras filtradas y se depositaron en viales, para su conservación se almacenaron en refrigeración.

Cuadro 1. Distribución de tratamientos y repeticiones.

Tratamientos	Replicas	Dosis: 0.25 g/l			Dosis: 0.50 g/l			Dosis: 1.00 g/l		
		Tiempo			Tiempo			Tiempo		
		1 H	2 H	3 H	1 H	2 H	3 H	1 H	2 H	3 H
	R ₁	D ₁ T ₁	D ₁ T ₂	D ₁ T ₃	D ₂ T ₁	D ₂ T ₂	D ₂ T ₃	D ₃ T ₁	D ₃ T ₂	D ₃ T ₃
	R ₂	D ₁ T ₁	D ₁ T ₂	D ₁ T ₃	D ₂ T ₁	D ₂ T ₂	D ₂ T ₃	D ₃ T ₁	D ₃ T ₂	D ₃ T ₃
	R ₃	D ₁ T ₁	D ₁ T ₂	D ₁ T ₃	D ₂ T ₁	D ₂ T ₂	D ₂ T ₃	D ₃ T ₁	D ₃ T ₂	D ₃ T ₃

Análisis de laboratorio

Los análisis de las muestras se realizaron por el método de espectrofotometría de absorción atómica, con un aparato modelo AA-, marca Shimadzu, utilizando para la determinación de arsénico la metodología de espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros y para la cuantificación de plomo por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.

Este análisis se utilizó para medir la concentración de los metales antes y después del tratamiento con el objetivo de verificar la efectividad de las semillas de *Moringa oleífera* en la remoción de dichos metales.

Metodología estadística

Las variables independientes o factores en estudio fueron:

- Dosis de harina de semilla de *M. oleífera*: 0.25, 0.50 y 1.00 g/l
- Tiempo de remoción: 1, 2 y 3 horas

Las variables dependientes o respuesta fueron:

- Porcentaje de remoción de arsénico
- Porcentaje de remoción de plomo

El efecto de tres dosis de harina de semilla de *M. oleífera* y de tres tiempos de remoción fue evaluado por medio de un diseño factorial de tres por tres, dando lugar a nueve tratamientos, se realizaron tres réplicas por tratamiento, con un total de 27 observaciones. Los tratamientos se conformaron de la siguiente manera: (Cuadro 2).

Cuadro 2. Distribución de los tratamientos (dosis – tiempo).

N° Tratamientos	Dosis (g)	Tiempo (H)
1	0.25	1.00
2		2.00
3		3.00
4	0.50	1.00
5		2.00
6		3.00
7	1.00	1.00
8		2.00
9		3.00

El análisis de las variables en estudio se rigió por el Diseño Factorial, cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + FA + FB + A \times B + \varepsilon$$

Dónde:

- μ = Representa la media de los factores
- FA = Representa al factor Dosis
- FB = Representa al factor Tiempo
- $A \times B$ = Representa la interacción entre Dosis y Tiempo
- ε = Representa el margen de error del 5% (Gutiérrez y De la Vara 2008).

Para analizar estadísticamente los resultados obtenidos se utilizó el Programa Estadístico InfoStat 2014-E y el Software IBM PASS SPSS 22 Statistics a un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0.05$).

Inicialmente se determinó si el conjunto de datos cumplía con los supuestos del Análisis de la Varianza (ANVA) mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilks, para los análisis de remoción de As y Pb. A los datos que cumplieron con el supuesto de normalidad se les aplicó un análisis de varianza paramétrico, y para comparar si existían diferencias entre las dosis y tiempo de remoción se utilizó la Prueba de Duncan. A los datos que no cumplieron con el supuesto, se les aplicó un análisis de varianza no paramétrico, utilizando la Prueba de Kruskal-Wallis, y para determinar la existencia de diferencia entre factores se aplicó la prueba de comparación de pares.

Resultados y Discusión

Fase Pre-tratamiento: Se determinó la concentración inicial de arsénico y plomo presente en las muestras de agua antes del tratamiento, obteniendo los resultados reflejados en el Cuadro 3:

A pesar de no ser muestras de agua provenientes de ríos contaminados se adecuaron a una concentración mayor 88% en arsénico y 31.07% en plomo, ya que las concentraciones encontradas en los ríos de El Salvador, en un estudio realizado por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (2006) el valor más alto reportado para el contaminante arsénico en agua de río fue de 0.1230 mg/l encontrado en el río Jiboa; mientras que para plomo se reporta el valor más alto en el río Acahuapa, con una concentración de 0.667 mg/l de plomo.

Cuadro 3. Concentración inicial de As y Pb en agua pre-tratamiento.

Concentración inicial muestras de agua		n	Desviación estándar	
Arsénico (As)	Plomo (Pb)		Arsénico (As)	Plomo (Pb)
1.025 mg/l	0.9676mg/l	27	0.0184	0.0016

Fase de post-tratamiento arsénico

A partir de los resultados obtenidos se determinó la remoción final de arsénico, obteniendo los resultados que se muestra en el cuadro 4:

El análisis de varianza para arsénico indica que el modelo estadístico se ajustó correctamente, al igual que para los factores de dosis, tiempo y la interacción entre ellos, aceptando la hipótesis alterna que tanto la dosis como el tiempo por individual, así como su interacción si influyeron en la remoción de arsénico, a un nivel de confianza del 95%.

Cuadro 4. Análisis de varianza paramétrico para As.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.18	8	0.02	35.50	<0.0001
Dosis (g)	0.12	2	0.06	91.86	<0.0001
Tiempo (H)	0.04	2	0.02	30.14	<0.0001
Dosis (g)*Tiempo (H)	0.03	4	0.01	10.00	0.0002
Error	0.01	18	0.00065		

Remoción porcentual de Arsénico

La remoción de arsénico (Fig. 2) experimentó un rango de remoción entre 60.98% a 82.11%, respecto a la concentración inicial obtenida; siendo el tratamiento de 1.00 g – 1 hora el de mayor remoción con un porcentaje de 82.11%. A pesar que este tratamiento presenta una mayor remoción, la diferencia entre tratamientos es mínima, por lo el tratamiento de mejor respuesta es de 0.50 g y 3 horas.

Los resultados obtenidos se comparan con estudios realizados por Vásquez (2016) en la remoción de arsénico en agua para consumo a partir de dosis de hojas de *M. oleífera* (0.25, 0.50 y 0.75 g), donde obtuvo resultados estadísticamente similares en la efectividad de bioadsorción del arsénico, removiendo en promedio hasta un 89% la cantidad inicial en el agua contaminada.

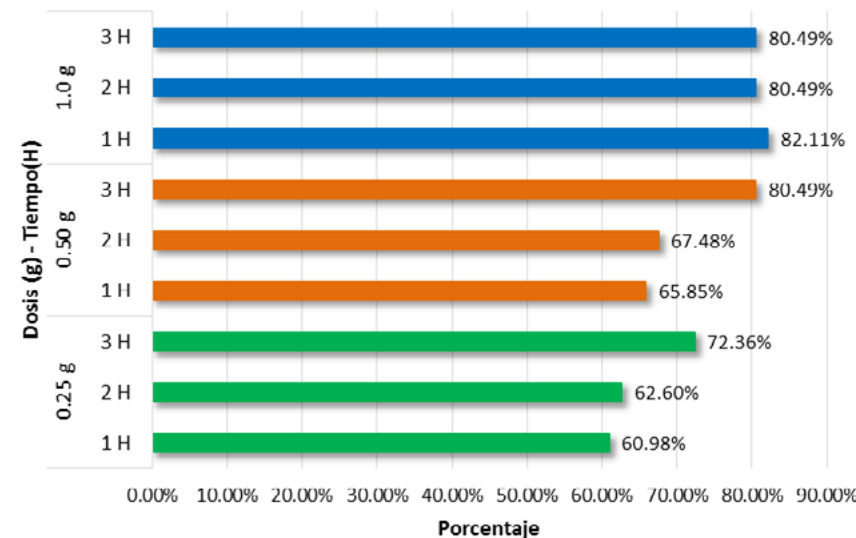


Figura 2. Remoción porcentual arsénico (%).

Resultados de arsénico comparados con normativa NSO 13.07.01:08 para agua potable

En la figura 3 se observa detalladamente el comportamiento de las medias de los tratamientos, respecto a la concentración exigida por normativa.

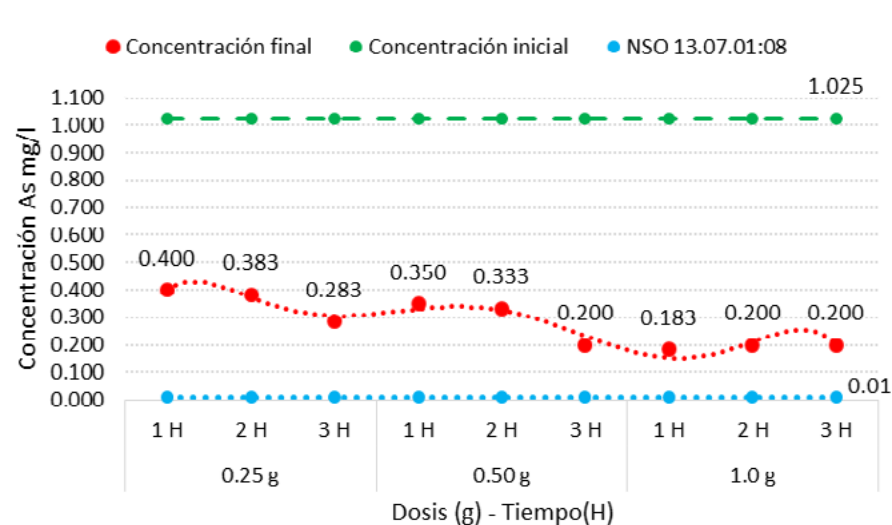


Figura 3. Comparación de la remoción de arsénico según normativa para agua potable.

Esta comparación al igual que en los valores porcentuales, el tratamiento de 1.00 g – 1 hora fue el de mayor remoción con concentración final más baja (0.183 mg/l) respecto al resto de tratamientos; sin embargo no logró cumplir con los requerimientos de normativa.

Comparaciones estadísticas entre tratamientos de arsénico

A continuación se expresa gráficamente el comportamiento estadístico de los tratamientos de arsénico determinando la existencia o no de las diferencias entre tratamientos:

La figura 4 refleja el comportamiento de las medias de los tratamientos, donde indica que el tiempo y la dosis presentan un efecto significativo a un nivel de confiabilidad del 95% sobre la remoción del arsénico, este efecto se presenta de forma inversamente proporcional, ya que a medida se aumenta la dosis, el tiempo de contacto disminuye para obtener una mayor remoción, en cambio al disminuir la dosis, el tiempo de aumentarse para obtener mayor remoción. Por lo que en la presente investigación se define que el tratamiento ideal recomendado para lograr los resultados deseados es de 0.50 g y 3 horas.

Similares resultados obtuvo Vásquez (2016) en su investigación sobre bioadsorción de arsénico utilizando la hoja de *M. oleifera*, consiguió que todos los tratamientos fueron estadísticamente similares en efectividad en la bioadsorción de arsénico. Sin embargo, observó una tendencia de reducción de arsénico en el agua al incrementar la dosis de polvo de hoja.

Fase de post-tratamiento plomo

A partir de los resultados obtenidos se determinó la remoción final de plomo, obteniendo los resultados que se muestran en el cuadro 5.

El análisis de varianza no paramétrico para plomo indica que el modelo estadístico se ajustó correctamente, y a pesar que sus medias presentan efectos similares en todos los tratamientos, se acepta la hipótesis alterna que indica que existen diferencias significativas a un nivel de confianza del 95%.

Remoción porcentual de plomo

En el caso del plomo las concentraciones se removieron arriba del 98%, cumpliendo los límites máximos exigidos por normativa para agua potable NSO 13.07.01:08, e incluso se presentaron valores inferiores al máximo permitido por dicha norma, según se detalla en la figura 5.

La remoción de plomo expresó un rango de remoción entre el 98% y el 99.90% comparados con los valores iniciales; a pesar que las diferencias entre tratamientos es mínima, los que obtuvieron mejores resultados fueron

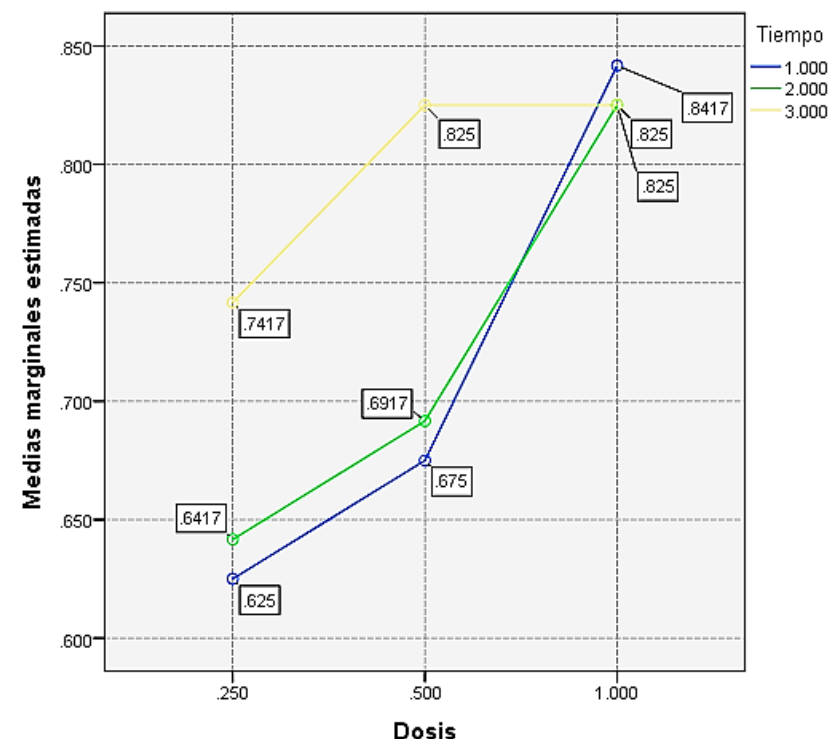


Figura 4. Efecto dosis-tiempo en la remoción de arsénico.

Cuadro 5. Análisis de varianza no paramétrico para Pb.

Variable	Dosis (g)	Tiempo (H)	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Remoción final	0.25	1.00	3	0.96	0.01000	0.96	19.29	0.0089
	0.25	2.00	3	0.96	0.00120	0.96		
	0.25	3.00	3	0.96	0.00120	0.96		
	0.50	1.00	3	0.96	0.00100	0.96		
	0.50	2.00	3	0.96	0.00058	0.96		
	0.50	3.00	3	0.97	0.00000	0.97		
	1.00	1.00	3	0.96	0.00058	0.96		
	1.00	2.00	3	0.97	0.00000	0.97		
	1.00	3.00	3	0.97	0.00000	0.97		

el tratamiento de 0.50 g – 3 horas y los tratamientos de 1.00 g para 2 y 3 horas, removiendo hasta un total de 99.90%.

En un estudio realizado en semillas de *M. oleífera* para la eliminación de iones de manganeso a partir de soluciones acuosas, se determinó que las semillas de *M. oleífera* son muy eficientes en la eliminación de iones de manganeso a partir de suministros de agua potable que tienen niveles de este metal por encima de los límites legales. Las eficiencias de extracción del metal fueron mayores que 95% a partir de muestras de agua (Marqués *et al.* 2013).

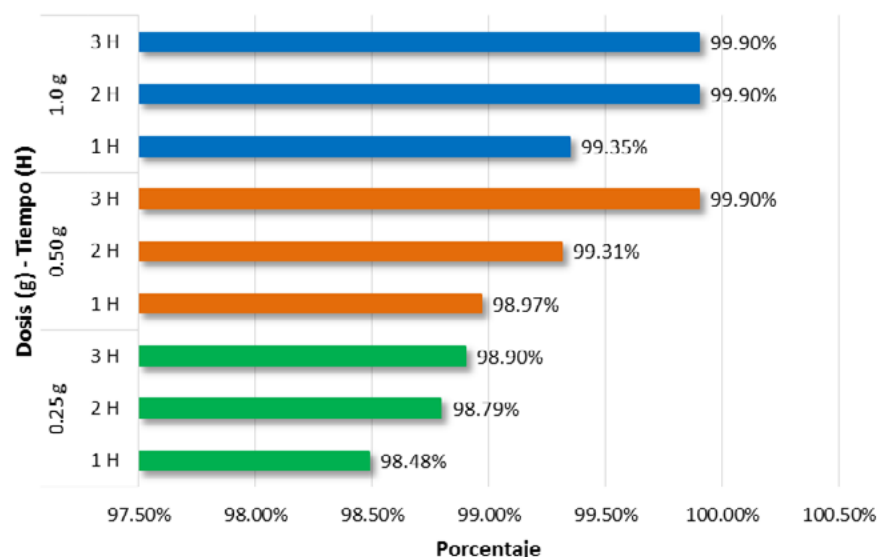


Figura 5. Remoción porcentual de plomo (%).

Resultados de plomo comparados con normativa NSO 13.07.01:08 para agua potable

Al comparar la remoción de los metales con los valores exigidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable NSO 13.07.01:08 (CONACYT 2009), se obtuvieron los siguientes resultados:

El arsénico a pesar de haber removido más del 80%, no obtuvo valores similares o cercanos a los exigidos por la normativa NSO 13.07.01:08 para agua potable. En el cuadro 6 se detallan los resultados de medias obtenidas en los tratamientos.

Cuadro 6. Comparación de resultados de plomo con valores exigidos por normativa NSO 13.07.01:08.

Dosis	Tiempo (H)	NSO 13.07.01:08 Arsénico	Concentración inicial	Concentración final
0.25	1	0.01 mg/l	0.9676 mg/l	0.015
	2			0.012
	3			0.011
0.50	1			0.010
	2			0.007
	3			0.001
1.00	1			0.006
	2			0.001
	3			0.001

Las medias de los tratamientos de 0.50 g y 1.00 g para los tres tiempos indican que cumplen con la concentración exigida por normativa, lo que hace más confiable el uso de dichos tratamientos para el agua de consumo.

En la figura 6 se describe dicho comportamiento, en donde la concentración inicial se redujo incluso por debajo del límite exigido.

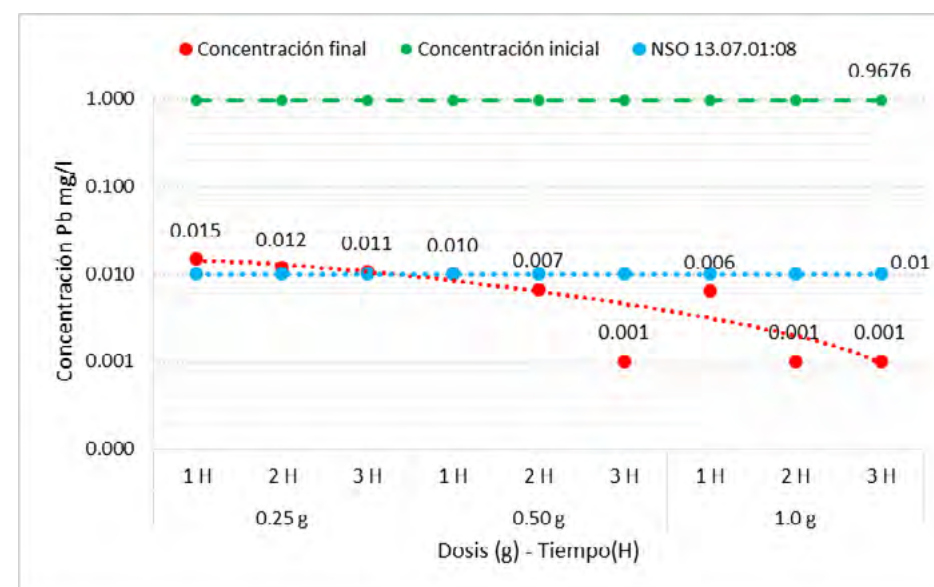


Figura 6. Comparación de la remoción de plomo según normativa para agua potable.

Recientemente, la bioadsorción ha sido propuesta como un procedimiento de tratamiento alternativo en la remoción de metales pesados en sistemas acuosos. En este sentido, los estudios de investigación en torno al Teberinto se han centrado en estudiar su potencial para resolver esta problemática medioambiental (Rodríguez *et al.* 2015), y sobre todo ofrecer alternativas económicas, efectivas y seguras en la obtención de agua de calidad incluso en lugares que no se tiene el acceso a agua potabilizada.

Dentro de las ventajas de la bioadsorción encontramos que pueden ser aplicados tanto en soluciones individuales como en sistemas comunitarios; la operación y el mantenimiento son más sencillos, ya que no se requiere adicionar químicos, junto con el hecho de que pueden ser modificados para incrementar la eficiencia (Acuña *et al.* 2016).

Para el plomo todos los tratamientos evaluados resultaron positivos; la diferencia de remoción entre tratamientos es mínima.

Comparaciones estadísticas entre tratamientos de plomo

En la Figura 7 se observa que tanto las dosis como el tiempo influyen significativamente sobre la remoción de plomo a un nivel de confianza del 95%, dicha influencia es directamente proporcional, ya que a medida se incrementa la dosis, el tiempo de contacto para remoción aumenta, sin embargo la tendencia en la gráfica indica que se alcanza un pico máximo de remoción en dosis de 0.50 g y 3 horas, a pesar de seguir incrementando la dosis, la remoción se mantendrá constante y no seguirá removiendo más concentración de metal, por eso se determina como tratamiento ideal para la remoción de plomo 0.50 g – 3 horas en comparación con los demás tratamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Rodríguez *et al.* (2015), se evidencia el potencial bioadsorbente de las cápsulas de *M.oleifera* en la remoción de Mn (II) en sistemas acuosos bajo las condiciones experimentales usadas de 25 ml de solución de 4 mg/l Mn (II) y 0.25 g de cápsulas de *Moringa* natural, tratadas hidrotérmicamente y con NaOH 0.1 mol/l. El porcentaje óptimo de remoción fue alcanzado a los 5 min (79%, 97% y 98% respectivamente).

Por tanto, con estas investigaciones queda demostrado que los tratamientos de agua utilizando las partes como semillas y las hojas del árbol de *Moringa oleifera* Lam. incrementa la capacidad de adsorción de especies metálicas. Además, el empleo de este bioadsorbente de metales pesados ofrece un proceso de bajo costo, fácil adquisición, eficiente en tiempo, amigable al ambiente y a pH relativamente neutros.

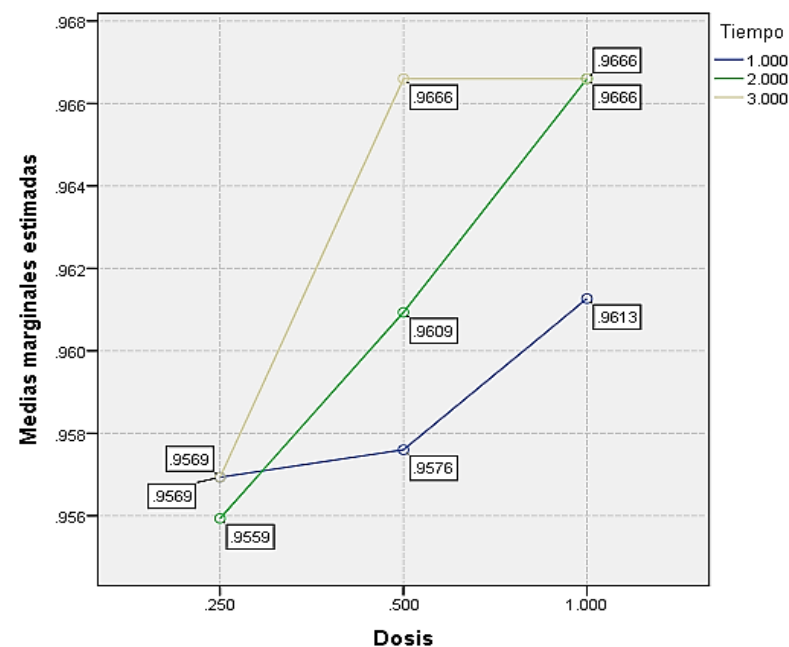


Figura 7. Efecto dosis-tiempo en la remoción de plomo.

Conclusiones

Las concentraciones de arsénico se redujeron hasta en un 82.11% a partir de la concentración inicial, mientras que las de plomo se redujeron hasta en un 99.90%; lo anterior es debido al proceso de adsorción que permite la captación activa o pasiva de los iones metálicos.

Los efectos dosis y tiempo presentan diferencias significativas sobre la remoción de arsénico, indican un comportamiento inversamente proporcional, a medida se incrementa la dosis, el tiempo de contacto se reduce y viceversa.

Para la remoción de plomo, los efectos presentan diferencias significativas con un comportamiento directamente proporcional, ya que a medida se incrementa la dosis, el tiempo de contacto aumenta.

Al comparar los resultados de remoción de arsénico con los valores exigidos por normativa para agua potable NSO 13.07.01:08 se determinó que no cumplen con dichos valores, pues el rango de concentración final de arsénico (0.18 – 0.40 mg/l) es superior a los límites máximos permisibles para agua potable (0.01 mg/l).

Comparando los resultados obtenidos en plomo con la normativa para agua potable NSO 13.07.01:08 se determinó que todos los tratamientos lograron remover la concentración de plomo a niveles iguales o inferiores a los exigidos por dicha normativa.

Recomendaciones

Se recomienda como tratamiento ideal la dosis de 0.50 g con tiempo de 3 horas, pues los resultados indican que este tratamiento se mantiene estable y garantiza obtener resultados más confiables al momento de su aplicación.

El método de remoción de metales pesados en agua destinada al consumo humano usando como bioadsorbente la semilla de *Moringa oleífera* Lam. aquí evaluado, constituye únicamente un proceso de tratamiento físico-químico del agua, por lo que es necesario aplicar algún método de desinfección ya sea: ebullición, cloración, desinfección solar, entre otros, ya que el método evaluado constituye un tratamiento físico-químico, con el objetivo de garantizar la eliminación de organismos patógenos.

Después de utilizado el filtro este se debe desarmar y volver a lavar bien, con parte del agua tratada, tanto el envase como la grava, y remplazar el algodón ya que este acumula las partículas de harina de semilla de *M. oleífera* y tiende a generar mal olor pasadas 24 horas.

El agua tratada debe ser consumida en un periodo no mayor a 24 horas, pues por las proteínas y demás componentes presentes en la semilla de Teberinto, el agua tiende a descomponerse, generando mal olor.

Bibliografía

Acuña, A.; Araya, A.; Romero, L. 2016. Selección teórica de absorbentes potenciales naturales de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano en Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 29(3):23-34.

Blanco, A. 2008. Estudio de los niveles de Plomo, Cadmio y Arsénico en aguas de la provincia de Salamanca. Salamanca, ES. p. 4-6

Carranza, F. 2015. Evaluación de dos tecnologías artesanales para la remoción de plomo y arsénico en agua para consumo humano. Tesis M. Sc. San Salvador, SV, UES. 112 p.

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, SV). 2009. Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07. 01:08 Agua, Agua Potable (en línea). Consultado 29 abr. 2017. Disponible en http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/normas/NORMA_AGUA_POTABLE_2_a.pdf

Gómez, K. 2010. Eficiencia del coagulante de la semilla de *Moringa oleífera* en el tratamiento de agua con baja turbidez. Tesis Ing. en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana el Zamorano. 20 p.

Marqués, T.; Alves, V.; Coelho, L.; Coelho, N. 2013. Assessment of the use of *Moringa oleífera* seeds for removal of Manganese Ions from Aqueous systems. *BioResources* 8(2):2738-2751.

Rodríguez, M.; Flores, S.; Rangel, M.; Cubillán, L.; Argotte, A. 2015. Estudio de la remoción de manganeso (II) a partir de sistemas acuosos usando cápsulas de *Moringa oleífera* como bioadsorbente. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 46:424-433.

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SV). 2006. Informe Final Diagnóstico Nacional de la Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales de El Salvador. Contrato MARN-BID-1209/OC-ES No.60/2006 (en línea). Consultado 26 nov. 2016. Disponible en <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00246/doc00246-contenido.pdf>

Tejada, C.; Villabona, Á.; Garcés, L. 2014. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. Cartagena, CO. Editorial Tecno lógicas. Vol. 18. p. 109-123

Vásquez, F. 2016. Biosorción de arsénico por hojas de *Moringa*, Tesis Ing. Procesos ambientales. Torreón, MX, UAAAN. 51 p.