



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos, ERIS

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA CÁSCARA DEL BANANO (MUSA AAA)
VARIEDAD WILLIAMS PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA
PARA CONSUMO HUMANO**

Ingeniera Vilma Margarita Caballero Alvarado

Asesorado por el Ing. Msc. Ing. Félix Douglas Aguilar Carrera

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA CÁSCARA DEL BANANO (MUSA AAA)
VARIEDAD WILLIAMS PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA
PARA CONSUMO HUMANO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA SANITARIA

POR

INGENIERA VILMA MARGARITA CABALLERO ALVARADO

ASESORADO POR EL INGENIERO MSC. FELIX DOUGLAS AGUILAR
CARRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRÍA (MAGISTER SCIENTIFICAE) EN INGENIERÍA SANITARIA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS**

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Félix Aguilar Carrera
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Gil
EXAMINADOR	Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA CÁSCARA DEL BANANO (MUSA AAA)
VARIEDAD WILLIAMS PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA
PARA CONSUMO HUMANO**

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS, el 07 de noviembre de 2011



Ingeniera Vilma Margarita Caballero Alvarado

Guatemala 23 de octubre de 2012

Msc. Ing. Adán Pocasangre

Coordinador de Maestría en Ingeniería Sanitaria

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

Facultad de Ingeniería, USAC

Respetuosamente le comunico que he revisado, en mi calidad de Asesor el documento titulado:

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA CÁSCARA DEL BANANO (MUSA AAA) VARIEDAD WILLIAMS PARA LA
REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA PARA CONSUMO HUMANO**

Elaborado por la Ingeniera Vilma Margarita Caballero Alvarado, como parte de su Estudio Especial, y requisito para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería Sanitaria; y me permito informarle mi satisfacción con su contenido y por tanto le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo,

Atentamente,



Ing. Msc. Félix Aguilar Carrera

Asesor del Estudio

Guatemala 19 de Noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos
ERIS

Edificio ERIS
Área de Prefabricados
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel, (502) 2418 8000
Ext. 86121, 86239
(502) 2418 9140

Señores

Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetuosamente les comunico que he revisado, en mi calidad de coordinador de la maestría de Ingeniería Sanitaria, el trabajo de Estudio Especial titulado **"Evaluación del uso de la Cáscara de Banano (Musa AAA) Variedad Williams para la remoción de Arsénico en el Agua para Consumo Humano"**, presentado por la estudiante Ingeniera Civil Vilma Margarita Caballero Alvarado.

Les manifiesto que la estudiante cumplió con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes

Atentamente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. Ing. Adán E. Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

Guatemala 21 de noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos
ERIS


Edificio ERIS
Área de Prefabricados
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel, (502) 2418 8000
Ext. 86121, 86239
(502) 2418 9140

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS – después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesionales siguientes: Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos, MSc. Ing. Félix Aguilar Carrera y MSc. Ing. Joram Gil, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Aura Mayorga Salguero, Colegiado 2702, al trabajo de la estudiante Ingeniera Vilma Margarita Caballero Alvarado, titulado **EVALUACIÓN DEL USO DE CÁSCARA DE BANANO (MUSA AAA) VARIEDAD WILLIAMS PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA PARA CONSUMO HUMANO**. En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los 21 días del mes de noviembre de 2012

IMPRIMASE

"D Y ENSEÑAD A TODOS"



MSc/Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS A:

Dios Todopoderoso

Por permitirme cumplir esta meta; por darme lo necesario espiritual y materialmente, para poder estar en un país extranjero lejos de mi familia.

La Virgen María

Mi madre del cielo, por ser mi guía y mi compañera siempre.

Mis padres y hermano

Sin su apoyo jamás habría podido culminar este logro, gracias por darme todo, esto es por ustedes y para ustedes, los quiero.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	IX
OBJETIVOS / HIPÓTESIS.....	XI
ANTECEDENTES	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
JUSTIFICACIÓN	XVII
ALCANCES Y LIMITACIONES	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. El arsénico	1
1.2. Remoción de arsénico.....	3
2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.1. Desarrollo de prototipo de filtro domiciliario con lecho filtrante de cáscara de banana	5
2.1.1. Determinación del estrato del filtro	6
2.2. Determinación de la eficiencia de remoción de arsénico	6
2.2.1. Número de ensayos.....	7
2.2.2. Preparación del medio filtrante y de las muestras de agua.....	8

2.3.	Factibilidad técnica y económica de la implementación de un filtro domiciliar con medio filtrante de cáscara de banano	9
2.4.	Análisis de resultados	9
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
3.1.	Desarrollo de prototipo de filtro domiciliar con lecho filtrante de cáscara de banano	11
3.2.	Determinación de la eficiencia de remoción de arsénico del medio filtrante de cáscara de banano.....	14
3.2.1.	Resultados de la investigación	15
3.3.	Factibilidad técnica y económica de la implementación de un filtro domiciliar con medio filtrante de cáscara de banano	26
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	29
	CONCLUSIONES.....	31
	RECOMENDACIONES	33
	BIBLIOGRAFÍA.....	35

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de acuíferos con contenido de As	XVII
2.	Curva para determinación de número N de muestras	7
3.	Propuesta de filtro.....	12
4.	Tiempo eficiencia primer ensayo	16
5.	Tiempo eficiencia segundo ensayo.....	17
6.	Tiempo eficiencia tercer ensayo	18
7.	Tiempo eficiencia cuarto ensayo.....	19
8.	Tiempo eficiencia quinto ensayo.....	21
9.	Tiempo eficiencia sexto ensayo	23
10.	Eficiencia séptimo ensayo	24
11.	Promedio de ensayos realizados	25

TABLAS

I.	Resultados de las pruebas	12
II.	Pruebas de estratificación del medio filtrante	13
III.	Resultados primer ensayo	16
IV.	Resultados segundo ensayo	17
V.	Resultados tercer ensayo	18
VI.	Resultados cuarto ensayo	19

VII.	Resultados quinto ensayo	20
VIII.	Resultados sexto ensayo	22
IX.	Resultados séptimo ensayo	24
X.	Promedio de ensayos	25
XI.	Costo de construcción del filtro de cáscara de banano	26
XII.	Inversión versus ventajas y desventajas del filtro	27

GLOSARIO

Arsénico	Elemento de la tabla periódica cuyo símbolo es As, se encuentra en el quinto grupo principal; pertenece a los metaloides.
Eficiencia	Se refiere a la capacidad para lograr un fin.
Lecho filtrante	Medio a través del cual se hace pasar el agua para cambiar o mejorar alguna propiedad o característica.
Metaloides	Clasificación de algunos elementos de la tabla periódica que poseen propiedades que están entre los metales y los no metales.
Método colorimétrico	Método el cual se basa en la identificación de un determinado elemento o compuesto a través de reacciones químicas que generan un color específico.
Muestra	Es una parte extraída de un universo o conjunto, por métodos que permiten considerarla representativa del mismo.

Musa AAA

Nombre técnico para designar al banano. Musa se refiere al género, y AAA designa al tipo de fruto.

Musáceas

Familia de plantas monocotiledóneas conocidas por sus frutos, banano.

RESUMEN

La investigación está orientada a encontrar una alternativa viable y de fácil producción para la remoción del arsénico en el agua para consumo humano.

La idea surge por un artículo publicado en la revista “Industrial & Engineering Chemistry Research” en la que se indicaba que las pieles de banano son útiles removiendo los metales que la industria deja en sus aguas residuales. Este estudio fue desarrollado en una universidad de Brasil, obteniendo resultados positivos; y creando la inquietud acerca de si sería posible usar este medio filtrante para remover arsénico del agua contaminada por origen geotermal en El Salvador, y así llevarla a los niveles requeridos por la norma salvadoreña para agua potable.

Se pretende evaluar la eficiencia de la piel de banano como medio filtrante para poder desarrollar un filtro que sea de fácil construcción y por tanto reproducible a nivel domiciliario. Se realizaron pruebas a muestras de agua fabricadas en el laboratorio con una concentración de arsénico de 0.05 mg/l, tal como lo establece el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria – CEPIS para fuentes de agua para potabilización, para comprobar y medir la eficiencia del medio filtrante, obteniendo resultados satisfactorios, de hasta un 80% de remoción.

El filtro presentó un tiempo de retención de aproximadamente 28 minutos y aportó coloración al agua; por lo que no se recomienda su uso a nivel domiciliario; sin embargo, puede quedar a consideración su uso en casos de emergencia.

INTRODUCCIÓN

La eliminación del arsénico en agua para consumo humano es un problema a nivel mundial; muchas personas están expuestas a este elemento sin saberlo; ya que el mismo no aporta ni color ni sabor al agua y puede estar disuelto en ella debido a la meteorización de rocas volcánicas.

En Latinoamérica son muchos los países que han reportado este problema en el agua. El área centroamericana y específicamente El Salvador no están exentos de esta problemática debido a que el país presenta una gran actividad geotermal y volcánica. Por tanto, esta investigación está orientada a encontrar una alternativa técnicamente viable y de fácil producción para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano, evaluando en laboratorio la eficiencia de la piel de Musáceas, de una variedad específica, desecándolas y construyendo con ellas un filtro que pueda ser reproducible a nivel domiciliario, en caso los resultados fueran satisfactorios.

La eficiencia del medio filtrante se evaluará por medio de muestras de agua con una concentración inicial de As específica, fabricadas en el laboratorio; las cuales se harán pasar por el filtro y después medir el nivel de As que presentan luego de ser filtradas, posteriormente, con estos datos, verificar si la hipótesis planteada en esta investigación es válida.

OBJETIVOS

General

Comprobar la eficiencia de la cáscara de banano (Musa AAA variedad Williams) para la remoción de arsénico en el agua para consumo humano a nivel domiciliario, a través de su uso como medio filtrante.

Específicos

1. Desarrollar un prototipo de filtro domiciliario con lecho filtrante de cáscara de banano.
2. Determinar la eficiencia de remoción de arsénico producida por el medio filtrante de cáscara de banano (Musa AAA variedad Williams).
3. Establecer la factibilidad técnica y económica de la implementación de un filtro domiciliario con medio filtrante de cáscara de banano (Musa AAA Variedad Williams)

HIPÓTESIS

Mediante la utilización de un filtro domiciliar con lecho filtrante de cáscara de banano (musa AAA variedad Williams), es posible la remoción de arsénico en agua con concentraciones no mayores a 0.05 mg/l para que cumpla con la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:04.

ANTECEDENTES

Un estudio reciente publicado en la revista *Industrial & Engineering Chemistry Research*, indica que las cáscaras de banano son útiles removiendo los metales que la industria deja en sus aguas residuales y que además lo hacen de forma más segura.

Un grupo de investigadores brasileños desarrolló un filtro para metales pesados que utiliza como base cáscaras de esta fruta. La tecnología para purificar agua contaminada con metales pesados y potencialmente tóxicos como plomo, cobre y cadmio fue desarrollada por científicos de la Universidad del Estado de São Paulo (Unesp) en la ciudad de Botucatu, encabezados por el Ing. Gustavo Castro.

En el estudio, el equipo desecó y molió las pieles de los bananos para luego verter el polvo resultante en frascos de agua que contenían distintas concentraciones conocidas de metales. Además, los científicos construyeron filtros con mondas de banano y tamizaron agua con ellos; concluyendo que se pueden preparar filtros dejando secar las cáscaras, para luego moler y tamizar los restos, utilizando el polvo obtenido para fabricar dicho filtro.

Estas cáscaras contienen gran cantidad de iones negativos que atrapan los cationes de metales pesados que pueden encontrarse en líquidos residuales de muchas empresas (por ej. las curtiembres arrojan mucho cromo al agua), teniendo rendimiento óptimo en soluciones ácidas (pH=3).

Debido a que es 100% orgánico y biodegradable, esto significa una forma mucho más segura de eliminar estos compuestos, y además, lo hace con un nivel de rendimiento mayor a los métodos tradicionales.¹

Como parte de los estudios especiales de investigación desarrollados en la ERIS, pudo determinarse que existen pocas investigaciones sobre la remoción de arsénico; sin embargo, si existen antecedentes, como el estudio especial realizado por el Ing. Eduardo Francisco Smith, en el cual se confirma que el arsénico puede ser removido a través de medios filtrantes como el óxido de hierro.

El filtro de agua es un implemento muy utilizado en los lugares donde el agua potable es escasa y la calidad del agua de nacientes, quebradas o ríos no es óptima para consumo humano; por tanto luego de comprobar la eficiencia de la cáscara de banano (musa AAA), se propondrá un filtro que pueda ser reproducido domiciliarmente.

¹ BOLETÍN EL COMERCIO. *Pieles de plátano lo último en remoción de metales pesados*. [En línea]. España, 2011 <http://maikelnai.elcomercio.es/2011/03/16/pieles-de-platano-lo-ultimo-en-eliminacion-de-metales-pesados/>. [Consulta: septiembre de 2012].

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Breve descripción de la situación problemática mundial

La contaminación del agua con arsénico, es un fenómeno que ocurre de manera natural, y acarrea un gran riesgo para la salud. La presencia de este elemento es un tema de gran interés en países como Argentina, Chile, Brasil, Perú, Bolivia, México, Tailandia, Bangladesh, China, India y Estados Unidos, en los cuales se han producido serios casos de contaminación². El consumo prolongado de agua rica en arsénico es peligroso para la salud.

En poblaciones que ingieren agua potable contaminada por este elemento se han observado patologías de la piel, pulmonares, neurológicas o vasculares, además de varios tipos de cáncer. Los parámetros de la Organización Mundial de la Salud indican que 10 partes por billón (ppb) de arsénico en suministros de agua es un límite seguro. Sin embargo, casi 140 millones de personas consumen agua que supera este umbral y 57 millones están expuestos a niveles de más de 50 ppb.³

² BOCANEGRA, Olga, Emilia Bocanegra y Amílcar Álvarez. *Arsénico en aguas subterráneas: Su impacto en la salud. Groundwater and human development – 2002.P.21*

³ EL MUNDO.ES – España, 2007. Arsénico en el agua, un riesgo para 140 millones de personas [En línea]: <http://www.elmundo.es/elmundosalud/2007/08/30/biociencia/1188467875.html>

El arsénico en El Salvador

A través de diversos estudios como los realizados por Dina L. López del departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Ohio, y otros por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Renovables de El Salvador, se ha podido determinar que existen concentraciones de arsénico en aguas superficiales y subterráneas, cuyo origen se basa principalmente en la geología y la actividad geotermal en el país.

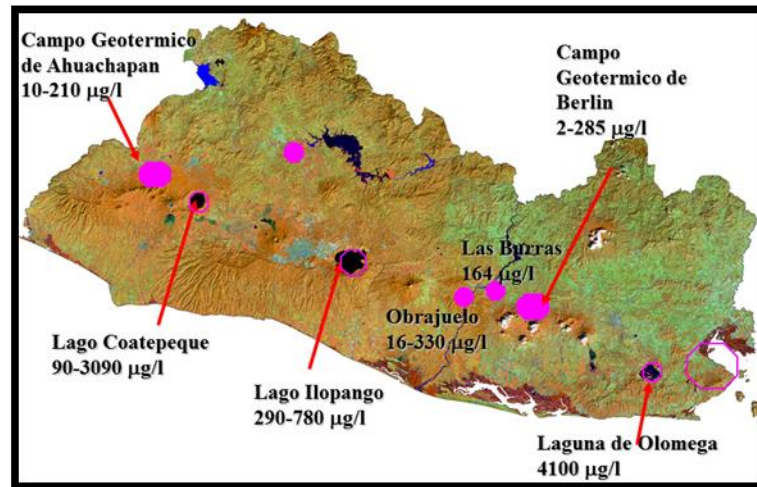
En 2008, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador llevó a cabo una investigación sobre la contaminación de los tres acuíferos importantes Zapotitán - Opico, Apanchacal, en Santa Ana, y el Río Grande de San Miguel. Para estos tres acuíferos, los valores medios rondaban 6 ± 8 mg/ lt.⁴ La figura No. 1 muestra los principales acuíferos contaminados con arsénico y su correspondiente concentración.

La Secretaría Nacional de Estudios Territoriales (SNET) realizó en 2007 una consultoría sobre la calidad de las aguas superficiales del país, en la cual se determinó que el 55% de las muestras recolectadas (62 de 114 muestras) presentaban contenido de Arsénico⁵.

⁴ One Century of Arsenic exposure in Latinamerica: A review of history and occurrence from 14 countries. El Selvier. Science of the total environment Stoten 1271

⁵ Resumen Ejecutivo Consultoría Calidad de Aguas Superficiales en El Salvador. Disponible en <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00246/doc00246-contenido.pdf>

Figura 1. **Ubicación de acuíferos con contenido de As**



Fuente: One Century of Arsenic exposure in latinamerican: A review of history and occurrence from 14 countries. El Selvier. Science of the total environment Stoten 1271. Consulta: septiembre de 2012.

Es claro pues que la contaminación con As es un hecho preocupante que afecta la población salvadoreña, sobre todo en comunidades rurales donde en muchos casos el agua de consumo proviene de pozos.

De ahí surge la pregunta: ¿Es posible utilizar un filtro domiciliar con lecho filtrante de cáscara de banano para remover As del agua para consumo humano, para que cumpla con la norma salvadoreña de agua potable?

JUSTIFICACIÓN

El Salvador es un país con bastante actividad volcánica, abundantes manifestaciones geotermales y con una densidad de población de 332.24 hab/km² que demanda agua para su consumo; tan sólo el 75.9 % de la población tiene acceso a agua potable⁶.

Como anteriormente se menciona en este documento, existen estudios que comprueban la presencia de arsénico en los acuíferos de El Salvador, alrededor de los cuales existen asentamientos humanos; esto sumado a la falta de cobertura de agua potable, constituye un enorme riesgo para la población no servida ya que esta hace uso de cualquier fuente de agua, sin que exista un control de los niveles de arsénico para autorizar su uso como potable.

Este estudio propone encontrar un método de fácil aplicación para la remoción de arsénico en el agua.

⁶ DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, EL SALVADOR. Cobertura y Acceso a los servicios básicos.2002 [En línea]: http://www.digestyc.gob.sv/DigestycWeb/Public_MECOVI/Determinacion%20decobertura98-02.pdf

ALCANCES Y LIMITACIONES

La investigación se enfocó en comprobar a nivel de laboratorio, la eficiencia de la piel de musa de una variedad específica para la remoción de arsénico en el agua para consumo humano y así poder proponer un filtro domiciliar reproducible que utilice este medio filtrante.

La investigación se sentó sobre las siguientes bases:

a) Selección del medio filtrante

El banano es uno de los alimentos mayormente cultivados alrededor del mundo; existen más de 500 variedades de banano, pero es el subgrupo Cavendish el que más se cultiva. Dentro de este subgrupo los clones de Valery, Gran Enano y Williams, son los que más se destacan debido a sus características e importancia en el comercio mundial, su adaptación climática, su alta resistencia de los fuertes vientos y una alta productividad.

En el caso específico de El Salvador, el país produce pequeñas cantidades de banano; ciertamente las tierras donde se realizan los cultivos son fincas familiares en zonas como: San Vicente, Chalatenango y Ahuachapán. Su producción no cubre las expectativas del mercado. La mayoría de los bananos son importados de países como Guatemala y Honduras⁷.

⁷ ARIAS FRANCÉS, María Pilar, Karen Navarrete Gómez y Yanira Romero Brizuela. *Plan de desarrollo de producto para la harina de banano*. Tesis de Grado. Facultad de Economía. Universidad Dr. José Matías Delgado, El Salvador. P.17.

En estos países, la variedad Williams es una de las más cultivadas y fáciles de encontrar, empresas como Gallitec en Honduras y Banasa en Guatemala, cultivan esta variedad y la distribuyen en tiendas populares; por tal razón se ha elegido esta variedad para el desarrollo de la presente investigación.

b) Concentración de arsénico en las muestras de agua

Para poder evaluar la eficiencia del medio filtrante seleccionado se usarán muestras de agua fabricadas en laboratorio con concentraciones de 0.05 mg/lit, basándose en la sugerencia de CEPIS en su Tratamiento de Agua para Consumo Humano, capítulo 1: Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. La forma de fabricación de las muestras se explica más adelante en este documento.

c) Método para la determinación de arsénico en las muestras de agua

Esta investigación será financiada con fondos propios, por lo que se busca un método de determinación de arsénico, económicamente accesible. Por tal razón se ha escogido un método colorimétrico, ya que se considera adecuado porque proporciona resultados rápidos y fiables en el análisis de arsénico en el agua, extractos de suelo, productos farmacéuticos, muestras biológicas y alimentos líquidos; presentando además la ventaja de ser económico y de fácil aplicación, apegándose a las necesidades de este estudio.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. El arsénico

El arsénico pertenece al grupo del nitrógeno (N, P, As, Sb, Bi) y es definido frecuentemente como un metaloide; aunque para describir su comportamiento químico en el suelo se puede considerar como un elemento no metálico que forma enlaces covalentes o se encuentra como especie aniónica. El arsénico puede existir en los estados de oxidación -3, -1, 0, 3 y 5. En el suelo, las formas más habituales son 3 (arsenito) y 5 (arseniato). Aparentemente, existe una similitud entre la química del arsénico y la del fósforo, en cuanto que ambos forman normalmente oxaniones (arseniato y fosfato) en los suelos.

El arsénico es el vigésimo elemento más abundante en la corteza terrestre. Normalmente se encuentra disuelto en el agua superficial y el agua subterránea en orden de magnitud de microgramos por el litro ($\mu\text{g/L}$). Es un elemento altamente tóxico, pero cuando está disuelto en agua es descolorido, inodoro e insípido y no puede ser detectado fácilmente.

En general, el tratamiento de agua potable está orientado a remover color, turbiedad y microorganismos de origen fecal. Esta remoción se logra a través de una combinación adecuada de procesos de coagulación-floculación-sedimentación-filtración y desinfección. Pero cuando se desea remover elementos químicos del agua, como el arsénico, es necesario recurrir a métodos más complejos.

El arsénico es un metaloide que se encuentra en forma natural en el planeta tierra y es usado comercial e industrialmente en la elaboración de diferentes productos, tales como aditivos para preservar madera y alimentos. A mayores concentraciones también es utilizado para la elaboración de plaguicidas. Las concentraciones de arsénico en aguas naturales usualmente son menores de 10 µg/L. Sin embargo, en zonas mineras pueden encontrarse concentraciones entre 0,2 y 1 g/L.

En el ambiente acuático las valencias más comunes del arsénico en el agua son +3 (arsenito) y +5 (arsenato), formando las especies hidrolizadas inorgánicas H_3AsO_3 , $H_2AsO_3^-$, $HAsO_2^{2-}$ y AsO_3^{3-} (valencia +3), H_3AsO_4 , $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$ y AsO_4^{3-} (valencia +5). El arsénico también se encuentra presente en menores concentraciones en forma orgánica. Se asume que la formación de estos compuestos proviene exclusivamente de la actividad de organismos vivos. Debido a que el arsénico se encuentra en el ambiente, el hombre se expone a este elemento al ingerir alimentos, al tomar agua o al inhalar aire. Dependiendo del nivel de arsénico ambiental, este puede afectar la salud del hombre.

Las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta e inhalación. El arsénico es acumulable en el organismo por exposición crónica y superados ciertos niveles de concentración puede ocasionar afecciones como alteraciones de la piel (relajamiento de los capilares cutáneos y la dilatación de los mismos), lesiones dérmicas (neoplasias de piel), vasculopatías periféricas ("enfermedad del pie negro"), además de enfermedades respiratorias; neurológicas (neuropatías periféricas), cardiovasculares y diversos tipos de cáncer (pulmón, riñón, hígado, vejiga y de piel).

Además, personas que ingieren de forma prolongada arsénico inorgánico, vía agua de bebida, pueden presentar hiperqueratosis palmo-plantar, cuya manifestación principal es la pigmentación de la piel y callosidades localizadas en las palmas de las manos y pies. La toxicidad del arsénico depende del estado de oxidación, la estructura química y la solubilidad en el medio biológico. La escala de toxicidad del arsénico decrece en el siguiente orden:

Arsina (H_3As) > As^{+3} inorg. > As^{+3} org. > As^{+5} inorg. > As^{+5} org.
> comp. arsenicales y As^0

1.2. Remoción de arsénico

Las tecnologías para la remoción de arsénico se basan en uno proceso fisicoquímico o en la combinación de varios. Los métodos más conocidos de tratamiento de agua para remover arsénico se clasifican en:

- Coagulación – filtración
- Alúmina activada
- Ósmosis inversa
- Intercambio iónico
- Nanofiltración
- Ablandamiento con cal

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la presente investigación se procederá según las siguientes consideraciones:

2.1. Desarrollo de prototipo de filtro domiciliar con lecho filtrante de cáscara de banano

Como primer punto de esta investigación se realizará el diseño del filtro, tomando en cuenta que de resultar válida la hipótesis planteada al inicio del documento, se necesitará que sea un dispositivo de fácil construcción y reproducción a nivel domiciliar; para tal fin se escogerán materiales accesibles y se realizarán pruebas para determinar tiempos de contacto y estratigrafía, considerando un dispositivo tipo “*batch*”; todo esto tomando en cuenta que se desea proponer un filtro para hogares donde no existe suministro de agua potable; como el abastecimiento es a través de pozos y/o fuentes superficiales que presentan concentraciones de arsénico, el filtro no será expuesto a un caudal constante, sino a un flujo y tasa variable.

Para tal fin, se realizarán ensayos para determinar la tasa de filtración más adecuada, que permita la mayor eficiencia en el menor tiempo de filtración, a través de la misma carga hidráulica inicial, midiendo la velocidad y tasa de filtración a través del aforo del caudal inicial ya conocido y tomando el tiempo de salida del mismo.

2.1.1. Determinación del estrato del filtro

Para comprobar la eficiencia de las cáscaras de banano (musa AAA) variedad Williams, para la remoción de arsénico, se implementó el uso de un filtro que pudiera ser reproducido domiciliarmente en caso de resultar eficiente; para su construcción se utilizará la piel de musa secada en mufla a una temperatura de 105 °C y triturada (utilizando un procesador casero), arena y grava; definiendo sus alturas a través de ensayos con diferentes espesores y midiendo los tiempos de carrera del filtro a fin de determinar el más conveniente. Se realizaron 3 pruebas utilizando tubería PVC de 2 pulgadas de diámetro, para confinar el medio filtrante.

2.2. Determinación de la eficiencia de remoción de arsénico

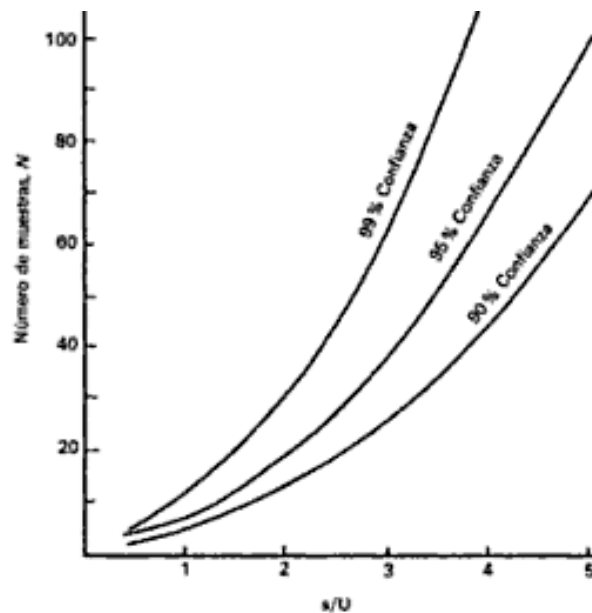
Para llevar a cabo la comprobación de la eficiencia del medio filtrante de cáscara de banano en la remoción de agua para consumo humano, se determinó la cantidad mínima de muestras de agua por cada carrera del filtro; esto se calculó para un nivel de confiabilidad del 95%, a través de la curva mostrada en la figura 2, que corresponde al método 1060B indicado en Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales de la Editorial Díaz de Santos; que presenta la siguiente ecuación:

$$N \geq \left(\frac{ts}{U}\right)^2 \quad (\text{Ec.1})$$

Para la cual se tomó una desviación estándar, s , de 0.020 y un nivel de confianza, U , de 0.015, obteniéndose para la relación s/U un valor de 1.33.

El resultado obtenido se interpoló en la curva para un nivel de confianza del 95%; se obtuvo que el número de muestras de agua necesarias, es aproximadamente 10.

Figura 2. **Curva para determinación de número N de muestras**



Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Editorial Díaz de Santos. p.42.

2.2.1. **Número de ensayos**

En esta investigación se llamará ensayo a cada carrera del filtro. Con el fin de realizar una evaluación con resultados confiables, se determinó el número de ensayos de la misma forma en que se calcula el número de muestras por ensayo, a través del método 1060B indicado en Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales de la Editorial Díaz de Santos; anteriormente mencionado en el apartado 2.3, Número de muestras por ensayo.

Utilizando la Ec.1 y la curva mostrada en la figura 3, para un nivel de confianza del 90%, se tiene como resultado 7 ensayos cuyos resultados se mostrarán posteriormente en este documento.

2.2.2. Preparación del medio filtrante y de las muestras de agua

Para esta investigación se ha escogido una variedad específica de banano, para evaluar su efectividad en la remoción de arsénico; dicha variedad es la “Williams”.

Las cáscaras de banano serán secadas en mufla a una temperatura de 105°C hasta que pierdan su humedad; este procedimiento puede realizarse exponiendo las pieles al sol, sin embargo en esta investigación se hará uso de la mufla con el fin de acortar el tiempo de secado. Posteriormente, se triturarán para reducir su tamaño y poderlas colocar dentro del filtro.

Las muestras de agua con contenido de arsénico se fabricarán en el laboratorio, con base en la recomendación citada por la OPS en los manuales de CEPIS, para el Tratamiento de Agua para Consumo Humano, capítulo 1: Aspectos Fisicoquímicos de la Calidad del Agua, cuyo valor es 0.05 mg/lit.

Para cada prueba se fabricarán 2 litros de agua, con el fin de obtener 10 muestras de 200 ml cada una. Estas muestras serán filtradas con la cáscara de banano y luego evaluadas con el método Merck colorimétrico, para determinar su contenido de arsénico después de ser filtradas.

2.3. Factibilidad técnica y económica de la implementación de un filtro domiciliario con medio filtrante de cáscara de banano

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de implementar la propuesta de filtro con medio filtrante de cáscara de banano, se preparará un presupuesto de los materiales que se utilizarán para la construcción del filtro, y una evaluación de las ventajas y desventajas que presente el mismo luego de realizarse los análisis que demuestren o no su eficiencia.

2.4. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos en el laboratorio serán tabulados por ensayo y graficados para visualizar el comportamiento del medio filtrante a través de su uso, viendo el porcentaje de arsénico removido en cada muestra; para poder de esta forma hacer una interpretación de dichos resultados y obtener las conclusiones de esta investigación. Se utilizarán gráficas de dispersión, promedios y gráficas de promedios.

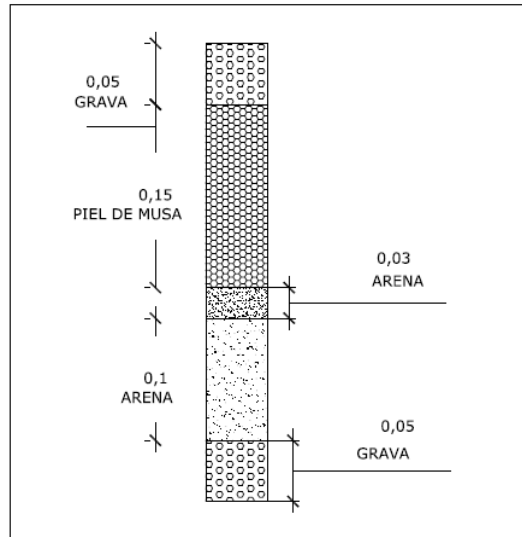
3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Desarrollo de prototipo de filtro domiciliario con lecho filtrante de cáscara de banano

Para definir la estructura más conveniente del filtro se realizaron 3 pruebas, para las cuales se determinó un caudal inicial el cual corresponde al volumen de la muestra a analizar; los resultados obtenidos y las diferentes estratigrafías analizadas se muestran en las tabla I y II, respectivamente; donde se puede apreciar que las pruebas 2 y 3 presentaron eficiencia en la remoción de As; sin embargo, fue la prueba No. 3 la que resultó más conveniente debido a la velocidad de filtración.

Por tanto, la propuesta del filtro elegida fue la que corresponde a la prueba No. 3; la capa superior que es la que tendrá el primer contacto con el agua, será la de cáscara de banano triturada con espesor de 15 cms, sobre la cual se colocó una capa delgada de grava, con el único propósito de evitar que las partículas del medio flotasen; posteriormente, una capa de 10 centímetros de arena, para confinar la cáscara de banano triturada, y finalmente, una capa de grava para facilitar la salida del agua filtrada (ver figura 3).

Figura 3. **Propuesta de filtro**



Fuente: elaboración propia.

Tabla I. **Resultados de las pruebas**

Parámetro	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Diámetro del filtro	2"	2"	2"
Área del filtro (m²)	0.00203	0.00203	0.00203
Volumen a filtrar (m³)	0.0002	0.0002	0.0002
Tiempo de filtrado (s)	>3600	2400	240
Caudal aforado (m³/s)	No se aforó	8.3333E-08	8.33333E-07
Velocidad de filtración (m/s)	n/a	4.112E-05	0.00041
Tasa de filtración (m/h)	n/a	73.03	730.28

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Pruebas de estratificación del medio filtrante

No. de prueba	Composición del filtro	Tiempo de carrera	As inicial mg/l	As final mg/l
1	Ascendente: 5 cm de grava 10 cm de arena gruesa 10 cm de arena fina 10 cm de carbón triturado 15 cm de cáscara de banano triturada 5 cm grava	>24 hrs	0.05	No se midió (el filtro se tapó)
2	Ascendente: 5 cm de grava 10 cm de arena gruesa 10 cm de arena fina 15 cm de cáscara de banano triturada 5 cm grava	40 min	0.05	0.01
3	Ascendente: 5 cm de grava 10 cm de arena gruesa 2.5 cm de arena fina 15 cm de cáscara de banano triturada 5 cm de grava	4 min	0.05	0.01

Fuente: elaboración propia.

3.2. Determinación de la eficiencia de remoción de arsénico del medio filtrante de cáscara de banano

Para preparar el medio filtrante las pieles se secaron en una mufla a 105°C y posteriormente se trituraron para hacer más pequeño su tamaño, y facilitar su disposición en el filtro; se ha hecho uso de una mufla para facilitar el secado de las pieles, pero esta operación puede realizarse exponiéndolas a los rayos solares.

Para poder comprobar la efectividad de la cáscara de banano para la remoción de arsénico en el agua para consumo humano, se prepararon muestras del mencionado líquido en el laboratorio, para luego ser filtradas y posteriormente evaluadas por el método colorimétrico para determinación de su contenido de As. Las muestras se prepararon a una concentración de 0.05 mg/lit, agregando al agua arsénico en concentración de 1000 ppm.

Las muestras de agua preparada fueron pasadas por el filtro, cronometrándose retención del filtro en cuatro minutos; tiempo después del cual se recolectaba la muestra filtrada para su posterior análisis. Cada muestra fue filtrada en forma independiente de la otra, colocando la siguiente en el filtro, hasta que el total de la anterior hubiera sido filtrado.

El mínimo de muestras tomadas como se determinó inicialmente fue de 10; sin embargo para poder tener un mejor dato de la eficiencia del medio filtrante, se realizaron ensayos hasta que el medio perdiera su capacidad de remoción del metal.

Se realizaron 7 carreras con el filtro, sustituyendo la piel de musa cada vez que perdía su capacidad de remoción de As, tal como se definió en la metodología a implementar.

El método de determinación de arsénico utilizado fue el colorimétrico, el cual funciona por adición de cinc y un ácido sólido al agua, liberando hidruro de arsénico, que reacciona con bromuro de mercurio contenido en una tira de ensayo, formando halogenuros pardoamarillos; la concentración de arsénico se determina semicuantitativamente por comparación visual de la zona de reacción de la tira de ensayo con las zonas de una escala colorimétrica.

Luego de obtener los datos en el laboratorio se digitaron y construyeron gráficas para observar el comportamiento del medio filtrante y calcular su eficiencia en la remoción de arsénico a través de su tiempo de uso. Los resultados obtenidos en esta investigación se exponen más adelante en este documento.

3.2.1. Resultados de la investigación

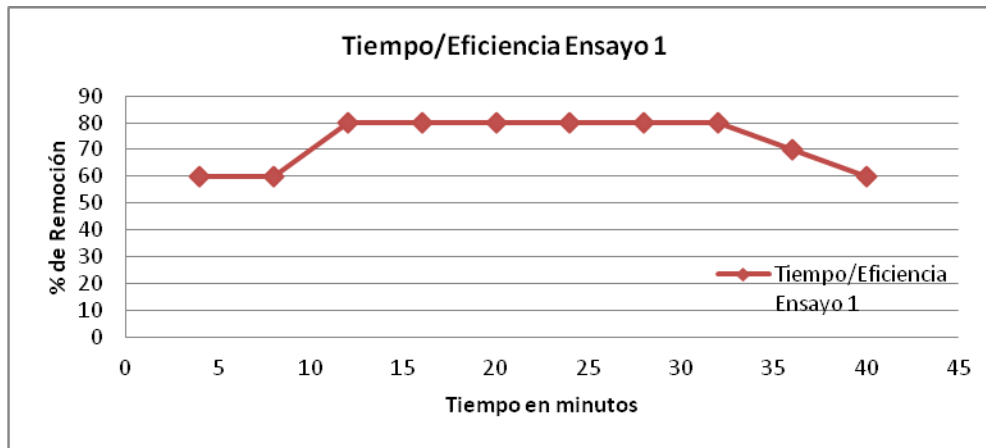
Se realizaron siete ensayos con medios nuevos cada uno; cronometrándose el tiempo de carrera, y midiendo el nivel de arsénico de la muestra luego de pasar por el filtro con una concentración inicial con 0.05 mg/l; los resultados se tabularon y graficaron como se muestra a continuación:

Tabla III. **Resultados primer ensayo**

Muestra	As inicial (mg/l)	As final (mg/l)	% remoción	t min
1	0.05	0.02	60	4
2	0.05	0.02	60	8
3	0.05	0.01	80	12
4	0.05	0.01	80	16
5	0.05	0.01	80	20
6	0.05	0.01	80	24
7	0.05	0.01	80	28
8	0.05	0.01	80	32
9	0.05	0.02	60	36
10	0.05	0.02	60	40

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Tiempo eficiencia primer ensayo**



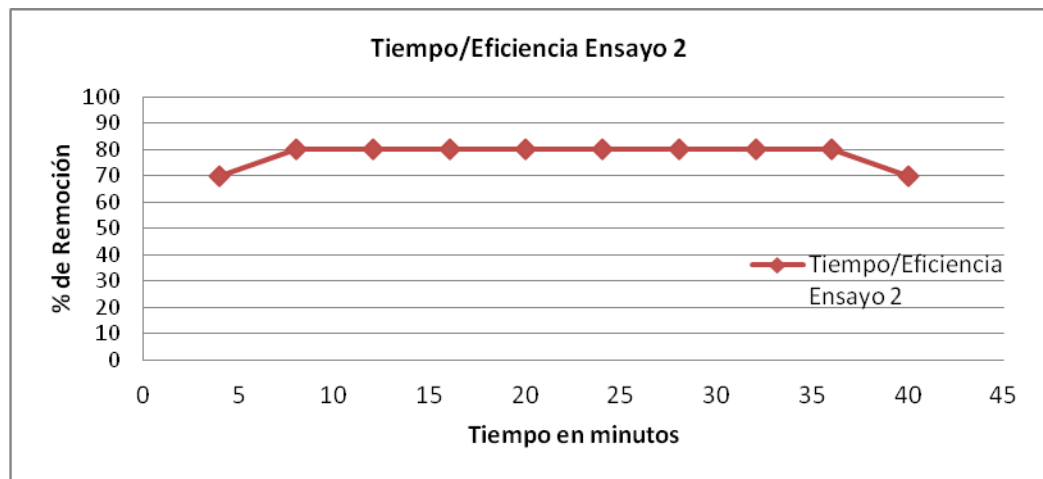
Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Resultados segundo ensayo**

Muestra	As inicial (mg/l)	As final (mg/l)	% remoción	t min
1	0.05	0.015	70	4
2	0.05	0.01	80	8
3	0.05	0.01	80	12
4	0.05	0.01	80	16
5	0.05	0.01	80	20
6	0.05	0.01	80	24
7	0.05	0.01	80	28
8	0.05	0.01	80	32
9	0.05	0.01	80	36
10	0.05	0.015	70	40

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Tiempo eficiencia segundo ensayo**



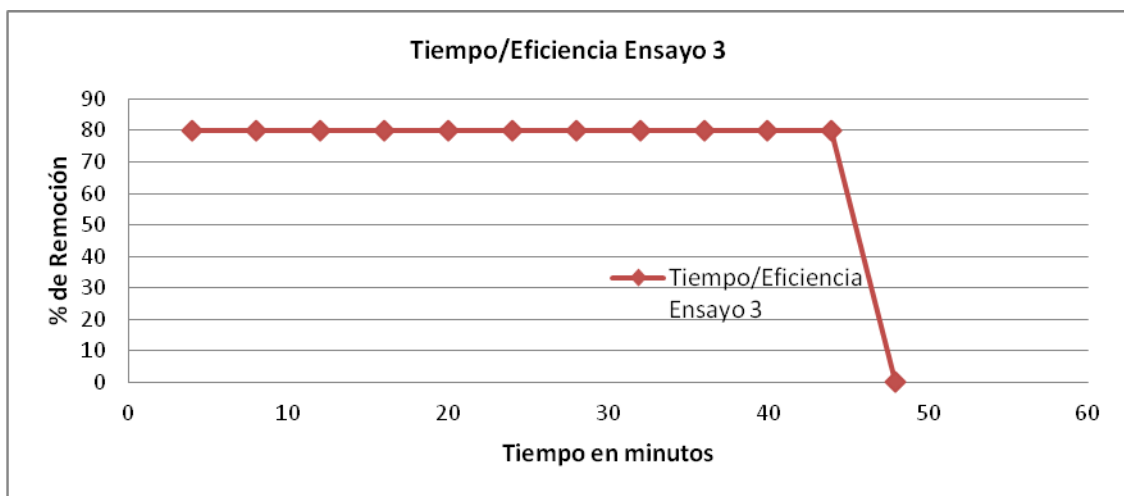
Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Resultados tercer ensayo**

Muestra	As inicial (mg/l)	As Final (mg/l)	% remoción	t min
1	0.05	0.01	80	4
2	0.05	0.01	80	8
3	0.05	0.01	80	12
4	0.05	0.01	80	16
5	0.05	0.01	80	20
6	0.05	0.01	80	24
7	0.05	0.01	80	28
8	0.05	0.01	80	32
9	0.05	0.01	80	36
10	0.05	0.01	80	40
11	0.05	0.01	80	44
12	0.05	0.05	0	48

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Tiempo eficiencia tercer ensayo**



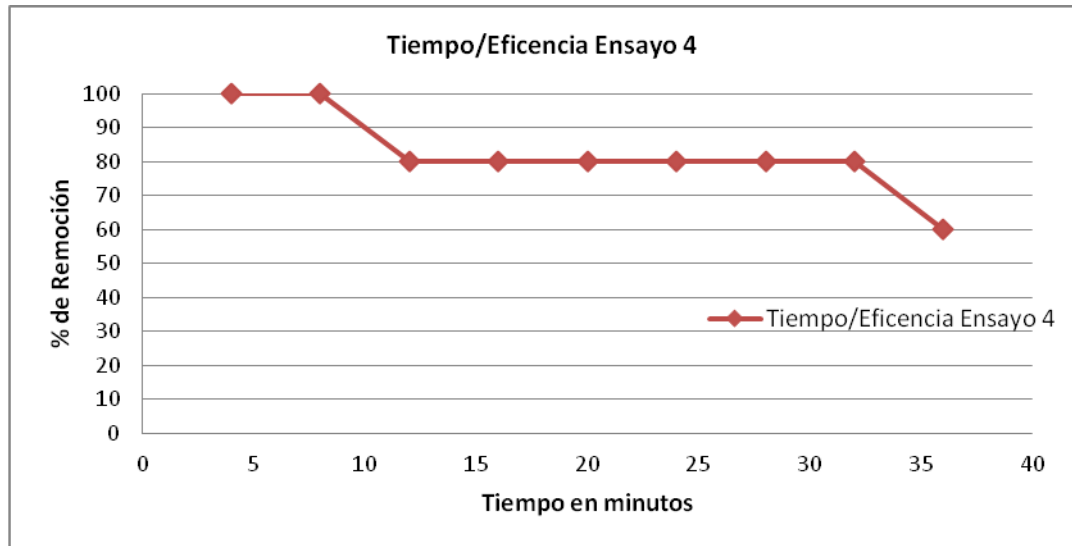
Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Resultados cuarto ensayo**

Muestra	As inicial (mg/l)	As final (mg/l)	% remoción	t min
1	0.05	0	100	4
2	0.05	0	100	8
3	0.05	0.01	80	12
4	0.05	0.01	80	16
5	0.05	0.01	80	20
6	0.05	0.01	80	24
7	0.05	0.01	80	28
8	0.05	0.01	80	32
9	0.05	0.02	60	36

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Tiempo eficiencia cuarto ensayo**



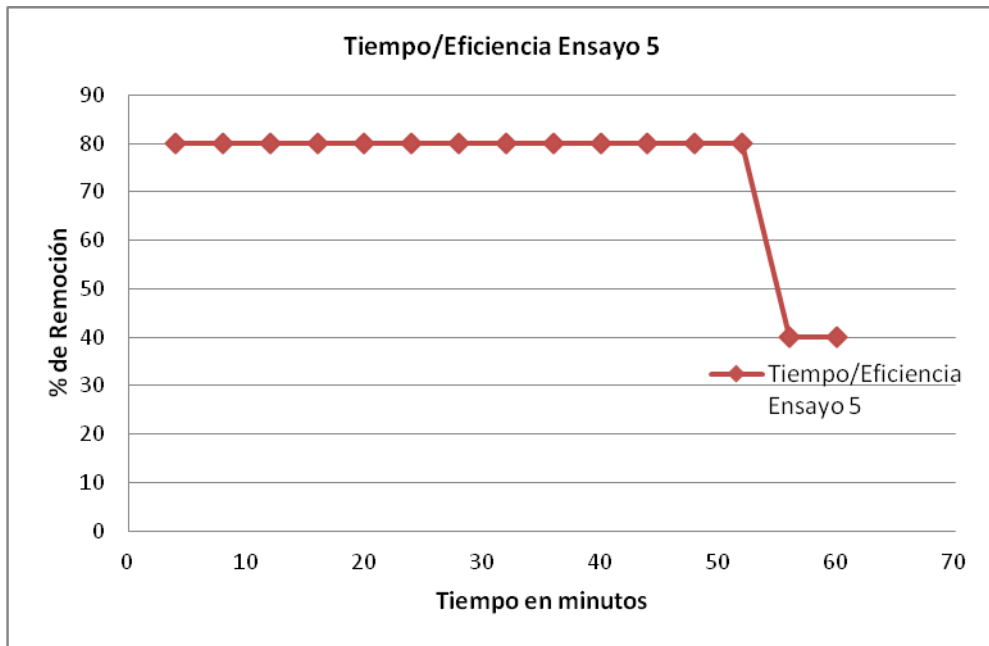
Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Resultados quinto ensayo**

Muestra	As inicial (mg/l)	As final (mg/l)	% remoción	t min
1	0.05	0.01	80	4
2	0.05	0.01	80	8
3	0.05	0.01	80	12
4	0.05	0.01	80	16
5	0.05	0.01	80	20
6	0.05	0.01	80	24
7	0.05	0.01	80	28
8	0.05	0.01	80	32
9	0.05	0.01	80	36
10	0.05	0.01	80	40
11	0.05	0.01	80	44
12	0.05	0.01	80	48
13	0.05	0.01	80	52
14	0.05	0.03	40	56
15	0.05	0.03	40	60

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Tiempo eficiencia quinto ensayo**



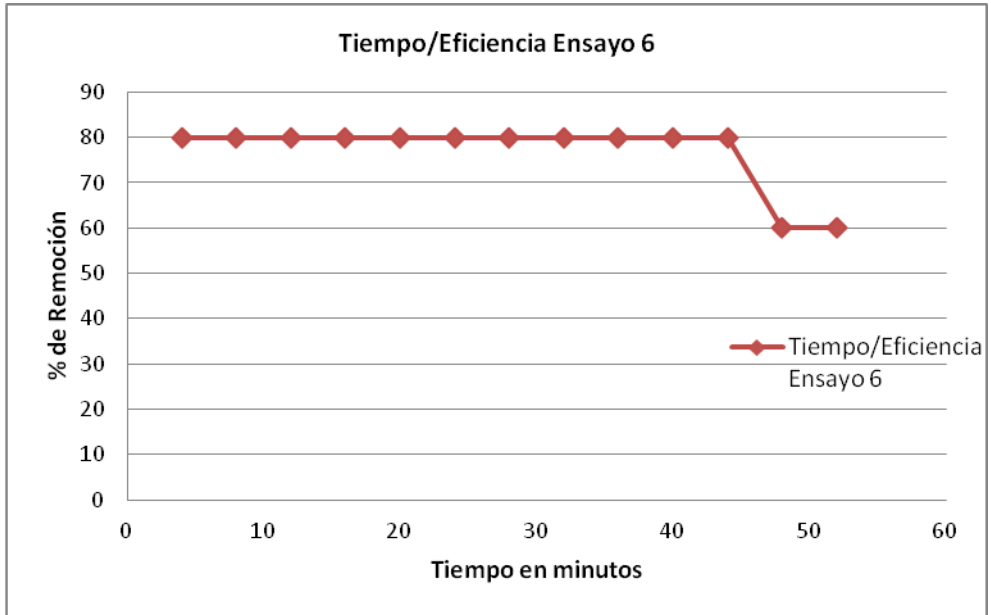
Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Resultados sexto ensayo**

Muestra	As inicial (mg/l)	As (mg/l)	% remoción	t min
1	0.05	0.01	80	4
2	0.05	0.01	80	8
3	0.05	0.01	80	12
4	0.05	0.01	80	16
5	0.05	0.01	80	20
6	0.05	0.01	80	24
7	0.05	0.01	80	28
8	0.05	0.01	80	32
9	0.05	0.01	80	36
10	0.05	0.01	80	40
11	0.05	0.01	80	44
12	0.05	0.02	60	48
13	0.05	0.02	60	52

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Tiempo eficiencia sexto ensayo**



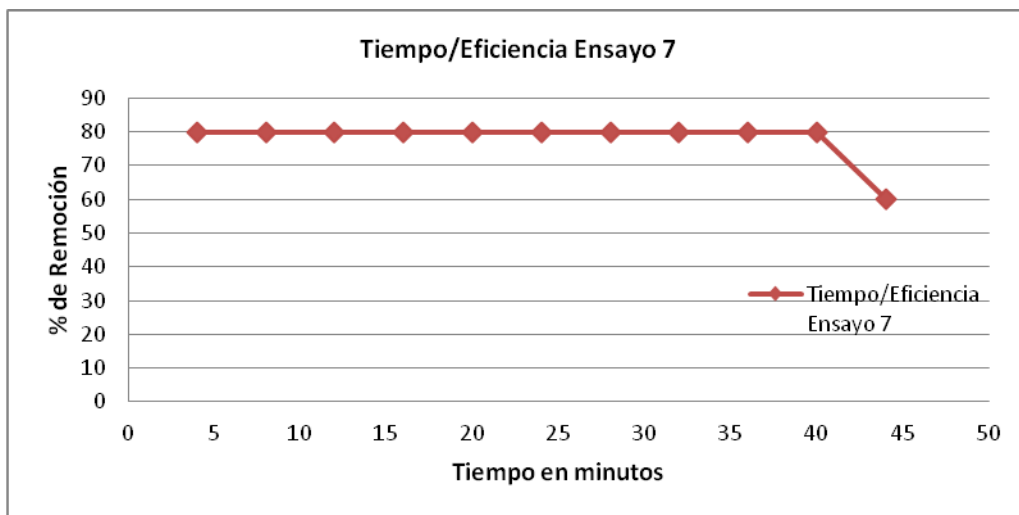
Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Resultados séptimo ensayo

Muestra	As inicial (mg/l)	As final (mg/l)	% remoción	t min
1	0.05	0.01	80	4
2	0.05	0.01	80	8
3	0.05	0.01	80	12
4	0.05	0.01	80	16
5	0.05	0.01	80	20
6	0.05	0.01	80	24
7	0.05	0.01	80	28
8	0.05	0.01	80	32
9	0.05	0.01	80	36
10	0.05	0.01	80	40
11	0.05	0.02	60	44

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Eficiencia séptimo ensayo



Fuente: elaboración propia.

Al procesar estos datos se obtuvieron los siguientes promedios:

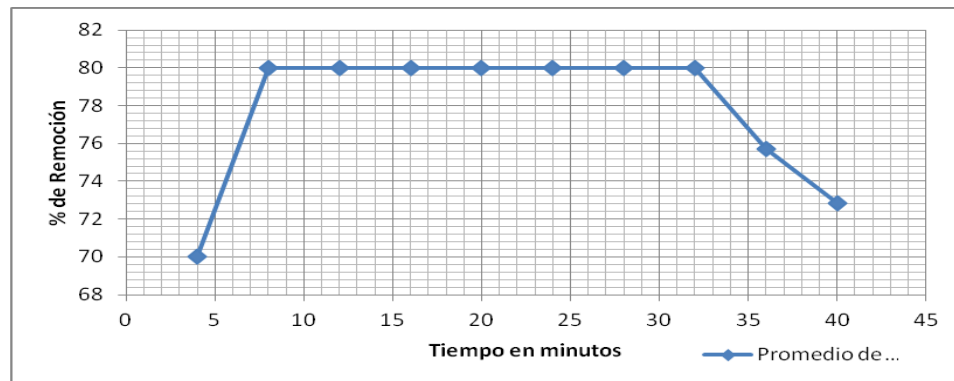
Tabla X. **Promedio de ensayos**

Muestra	As inicial (mg/l)	As final (mg/l)	% remoción	t min
1	0.05	0.015	70	4
2	0.05	0.010	80	8
3	0.05	0.010	80	12
4	0.05	0.010	80	16
5	0.05	0.010	80	20
6	0.05	0.010	80	24
7	0.05	0.010	80	28
8	0.05	0.010	80	32
9	0.05	0.012	76	36

Fuente: elaboración propia.

Los datos de esta tabla proporcionan la gráfica a continuación:

Figura 11. **Promedio de ensayos realizados**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Factibilidad técnica y económica de la implementación de un filtro domiciliario con medio filtrante de cáscara de banano

Para poder definir y comprender de mejor manera la factibilidad técnica y económica de reproducir el filtro de cáscara de banano desarrollado en esta investigación se realizó un presupuesto en el que se define el costo que implica construir una unidad.

Se realizó una comparación entre los beneficios o ventajas que proporciona el filtro versus sus desventajas.

a) Factibilidad económica

Tabla XI. Costo de construcción del filtro de cáscara de banano

Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.	Subtotal
Bananos	12	lb	\$ 0.16	\$ 1,92
Tubo PVC 2"	0.5	mt	\$ 1.92	0,96
Pegamento para PVC	0.1	c/u	\$ 4.49	\$ 0,45
Tapón hembra liso PVC 2"	1	c/u	\$ 0.64	\$ 0,64
Grava y arena	1	sg	\$ 0.13	\$ 0,13

Total	\$ 4,10
--------------	----------------

Fuente: elaboración propia.

b) Factibilidad técnica

Tabla XII. **Inversión versus ventajas y desventajas del filtro**

INVERSIÓN	VENTAJAS - DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">✓ La construcción de un filtro para remoción de As con piel de Musa AAA variedad Williams es técnicamente accesible, ya que no se requieren elementos de alto valor económico ni mayor dificultad constructiva.✓ El costo de construcción del filtro es de aproximadamente \$4.10✓ El tiempo de construcción del filtro es rápido.✓ Para una capa filtrante de 10 centímetros de espesor en un tubo de 2" de diámetro se necesitan entre 25 a 30 bananos.	<ul style="list-style-type: none">✓ El medio filtrante de piel de musa AAA variedad Williams demuestra una eficiencia de remoción de As de hasta un 80%✓ El medio filtrante aporta color al agua filtrada, lo cual afecta su calidad organoléptica.✓ El tiempo de uso en el cual el medio presenta la eficiencia requerida es corto (28 minutos)

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A través de las tablas y gráficas expuestas anteriormente se puede determinar lo siguiente:

- Las tablas de la III a la IX muestran la eficiencia del filtro a lo largo de su carrera, a través de las concentraciones medidas, luego de pasar las muestras de agua con concentración inicial definida por el filtro con lecho de cáscaras de banano; en dichas tablas se puede observar el número de muestra, su concentración inicial y final de arsénico, el porcentaje de remoción obtenido y el tiempo dentro de la carrera del filtro en el que fue tomada la muestra.
- Las figuras de la 4 a la 10 ilustran la relación tiempo eficiencia de la carrera del filtro a fin de poder observar si existe una tendencia en los diferentes ensayos, que indiquen el comportamiento del medio filtrante
- La tabla X y figura 11, muestran los promedios de los resultados tabulados y de las tendencias obtenidas en las gráficas de cada ensayo, a partir de la tabla X y su correspondiente gráfica, se parte para poder dar una mejor interpretación a los resultados de la investigación; obteniendo una curva representativa de todas las muestras.
- A través de los resultados de todos los ensayos, se puede ver que con el uso de medio filtrante de cáscara de banano (musa AAA) variedad Williams, es posible remover arsénico hasta en un 80% en muestras de agua con concentración no mayor de 0.05 mg/l, llevando dichas muestras

a niveles permitidos en la norma de ANDA, para agua para consumo humano.

- La gráfica de promedios nos muestra que entre los 8 y los 32 minutos de uso, el medio filtrante presenta su mayor eficiencia.
- La tabla X permite observar que el medio filtrante parece saturarse y perder su capacidad de remoción de arsénico luego de 32 minutos de uso.
- A través de los ensayos realizados, se pudo observar que el medio filtrante aporta color al agua, lo que causa problemas en el aspecto estético para el consumo del agua filtrada.
- Al observar los resultados tabulados de los siete ensayos realizados, se puede ver que el medio filtrante muestra resultados favorables inmediatos; lo que representa una excelente propiedad para ser aprovechada.
- Se pudo observar que el filtro no se colmató, sino que el medio filtrante perdió capacidad de remoción.

CONCLUSIONES

1. El uso de medio filtrante de cáscara de banano (Musa AAA) variedad Williams, para remoción de arsénico en agua para consumo humano, es eficiente hasta en un 80% en muestras de agua con concentraciones no mayores de 0.05 mg/l, para cumplir con la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:04.
2. La carrera del filtro con lecho de cáscara de banano (Musa AAA) variedad Williams es corto, aproximadamente 28 minutos; por lo cual no es recomendable como medio filtrante a nivel domiciliario.
3. La hipótesis planteada para este estudio se comprueba y se da por válida; sin embargo no se propone la cáscara de banano (Musa AAA) variedad Williams como medio filtrante de un filtro domiciliario debido al corto tiempo de carrera del filtro; lo cual representaría un alto costo de reposición del medio.
4. La cáscara de banano (Musa AAA) Williams, como medio filtrante, aporta color al agua, afectando su calidad organoléptica; haciendo que requiera un tratamiento adicional para remover el color.
5. Aun cuando la cáscara de banano (Musa AAA) variedad Williams, aporta color al agua al usarse como medio filtrante para remover arsénico, y de su corto tiempo de carrera, es posible considerarla como una opción en casos de emergencia.

6. La cáscara de banano (Musa AAA) variedad Williams parece absorber el arsénico disuelto en el agua, llegando a un nivel de saturación después del cual no es posible recuperar su propiedad absorbente, y debiendo descartar el medio filtrante.

RECOMENDACIONES

1. Es importante la capacidad que presenta la cáscara de banano (Musa AAA) variedad Williams, para remover el arsénico del agua, por lo que sería de beneficio ahondar en sus capacidades de remoción y estudiar otras formas de aplicación, puesto que es un material orgánico de fácil obtención en los países de la región.
2. Sería de beneficio estudiar la forma de remover el color que la cáscara de banano aporta al agua, para poder de esta forma proponer un filtro domiciliario para comunidades que no tienen acceso a agua potable.
3. Podría realizarse algún estudio que evalúe la eficiencia de la cáscara de banano para remover arsénico en el agua, con concentraciones mayores a 0.05 mg/lit, y buscar otras aplicaciones no sólo en el agua para consumo humano.
4. No se recomienda el uso de la cáscara de banano (Musa AAA) variedad Williams para la fabricación de filtros domiciliarios, puesto que su carrera es corta (28 minutos), y la cantidad de pieles que se necesitan para la construcción de cada filtro oscila entre las 25 a 30 unidades.

.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARIAS FRANCÉS, M. P., Navarrete Gómez, K. A., & Romero Brizuela, Y. (2005). *Plan de Desarrollo de Producto para la Harina de Banano*. El Salvador: Universidad Dr. José Matías Delgado, Facultad de Economía, 2005. 198 p.
2. CEPIS-OPS. *Manual de Tratamiento de agua para consumo Humano*. Lima: CEPIS, 2004. Capítulo 1. 55 p.
3. CUELLAR LEÓN, J. A., & Morales Gutierrez, M. E. (2005). Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento en banano musa AAA variedad Williams en la zona bananera departamento del Magdalena. Magdalena, Colombia: Universidad del Magdalena, Facultad de Ingeniería. *Digestyc*. (s.f.). [en línea]. Disponible en: www.digestyc.gob.sv/DigestycWeb/Public_MECOVI/Determinación%20decobertura98-02.pdf. [Consulta: marzo de 2012].
4. DIGESTYC. (s.f.). *Indicadores Demográficos* [en línea]. www.digestyc.gob.sv/DigestycWeb/Estad_Demograficas/infodemo.htm. [Consulta: marzo de 2012].
5. EL MUNDO. (s.f.). *Arsénico en el agua, un riesgo para 140 millones de personas* [en línea]. Disponible en: www.elmundo.es/elmundosalud/2007/08/30/biociencia/1188467875.html. [Consulta: abril de 2012].

6. INGENIERO AMBIENTAL. *Análisis de arsénico en aguas de consumo y su Remoción*. (s.f.). de Ingeniero Ambiental.[en línea]. Disponible en web: www.ingenieroambiental.com/informes/arsenicoestudio.htm. [Consulta: marzo de 2012].
7. MILIARIUM. (s.f.).*Toxicidad del arsénico* [en línea]. Disponible en: www.miliarium.com/monografias/arsenico/Toxicidad/Toxicidad.asp. [Consulta: marzo de 2012].
8. PERIÓDICO LA ESTRELLA. (s.f.). [en línea]. Disponible en: www.laestrella.com.pa/online/impreso/2011/03/28/las_bondades_de_la_cascara_del_banano.asp. [Consulta: abril de 2012].
9. SMITH MELÉNDEZ, E. F. *Remoción de arsénico en el agua a nivel de laboratorio usando como medio filtrante óxido de hierro*. Trabajo de graduación de maestría, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, 2007. 85 p