



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



Evaluación de eficiencia de la harina de cáscara de plátano (*Musa spp*) utilizando un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba – San Martín

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

AUTORES:

Harley Smith Campos Pardo

Josué Jhonatan Porrás Becerra

ASESOR:

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

Código N° 6054317

Moyobamba – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



Evaluación de eficiencia de la harina de cáscara de plátano (*Musa spp*) utilizando un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba – San Martín

AUTORES:

Harley Smith Campos Pardo

Josué Jhonatan Porras Becerra

Sustentada y aprobada el día 12 de diciembre del 2018, por los siguientes jurados:

.....
Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna

Presidente

.....
Ing. M. Sc. Julio César De La Rosa Ríos

Secretaria

.....
Ing. M. Sc. Mirtha Felícita Valverde Vera

Miembro

.....
Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache

Asesor

Declaratoria de Autenticidad

Harley Smith Campos Pardo, con DNI N° 72754984 y **Josué Jhonatan Porras Becerra** con DNI N° 72245149 egresados de la Facultad de Ecología, Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada **Evaluación de eficiencia de la harina de cáscara de plátano (*Musa spp*) utilizando un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba - San Martín.**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. Hemos respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 12 de diciembre del 2018.



Bach. Harley Smith Campos Pardo

DNI N° 72754984



Bach. Josué Jhonatan Porras Becerra

DNI N° 72245149

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: Campos Pardo Harley Smith	
Código de alumno : 125202	Teléfono: 926 021 071
Correo electrónico : smith-5555@hotmail.com	DNI: 72754984

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: Ecología
Escuela Profesional de: Ingeniería Sanitaria.

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: "Evaluación de la eficiencia de la harina de cascara de platano (Musa spp) utilizando un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramay, distrito de Yantalo - Moyobamba - San Martín.
Año de publicación: 2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

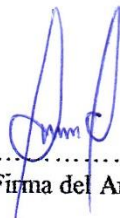
7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

17, 05, 2019



Firma del Responsable de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización **NO EXCLUSIVA** para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Perros Becerra Jesú Zhonatan		
Código de alumno :	125214	Teléfono:	951409164
Correo electrónico :	iperrospb@gmail.com	DNI:	72245149

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ecología
Escuela Profesional de:	Ingeniería Sanitaria

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Evaluación de eficiencia de la harina de cáscara de plátano (<i>Musa spp</i>) utilizando un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantalo - Moyobamba - San Martín
Año de publicación:	2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

17 / 05 / 2019



Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM - T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A mis padres, María Matilde Becerra Mera y Virgilio Porras Chuquipoma por su apoyo y ejemplo incondicional que me brindan; a mi hermano David Joel Porras Becerra y amigos por ser parte de mi vida.

Josué Jhonatan

En primer lugar, agradecer a Dios por darme la oportunidad de vivir, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudios.

A mis padres, Fernando Campos Rodríguez y María Elsa Pardo Esparraga por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica como en mi formación como persona de bien, por su incondicional apoyo en todo momento.

A mis amigos, Josué, Stánler, Luis, Gerson y Junior, por ser los amigos que siempre me alumbraron el camino y me hacían encontrarlo cada vez que sentía que lo perdía, por su apoyo incondicional, por su gran tolerancia, respeto y amistad hacia mi persona infinitamente gracias.

A todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto, que de manera directa o indirecta estuvieron presentes en el proceso de mi realización como persona y como futuro profesional.

Harley Smith.

Agradecimiento

A Dios por ser el dador de la vida y la sabiduría; a nuestros padres, hermanos y amigos que siempre nos brindan su apoyo; a nuestro asesor Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza por impartirnos sabios consejos y conocimientos en las aulas y en el desarrollo de la presente investigación; al Ing. Stánler Irigoín Vásquez por su amistad y asesoría brindada. También, a la Facultad de Ecología de la UNSM-T por facilitar el uso de los materiales y equipos del Laboratorio de Biología y Química.

Los autores

Índice general

	Pág.
Dedicatoria	vi
Agradecimiento.....	vii
Resumen.....	xii
Abstract	xiii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1. Antecedentes de la investigación	4
1.2. Marco teórico.....	6
1.3. Definición de términos	22
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	24
2.1. Materiales	24
2.2. Métodos.....	25
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
3.1. Resultados	33
3.2. Comprobación de la hipótesis	45
3.3. Discusiones.....	49
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS.....	60
Anexo A. Plano de ubicación del pozo de agua subterránea, Yantaló	61

Anexo B. Panel fotográfico de todo el trabajo de investigación realizado	62
Anexo C. Plano del filtro casero.....	65
Anexo D. Ficha técnica del material filtrante – Arena de Cuarzo 0.5 – 1.0 mm	66
Anexo E. Ficha técnica del material filtrante – Grava de Cuarzo ¼”.....	67
Anexo F. Ficha técnica del material filtrante – Grava de Cuarzo ½”.....	68
Anexo G. Carta solicitando laboratorio de la Facultad Ecología UNSM-T.....	69
Anexo H. Carta solicitando equipo fotómetro para analisis de laboratorio, de la Facultad Ecología UNSM-T	70

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica	11
Tabla 2. Composición química de la cáscara de plátano	13
Tabla 3. Elementos y compuestos orgánicos de la cascara plátano	22
Tabla 4. Diseño de los tratamientos	26
Tabla 5. Métodos de ensayo	27
Tabla 6. Dimensionamiento de filtros caseros de agua potable	33
Tabla 7. Alturas de los materiales filtrantes	34
Tabla 8. Cantidades adsorbidas de Hierro (Fe)	43
Tabla 9. Cantidades adsorbidas de Manganeseo (Mn)	43
Tabla 10. Pruebas de efectos inter-sujetos Fe	46
Tabla 11. Pruebas de efectos inter-sujetos Mn	46
Tabla 12. TUKEY para Fe (concentración)	47
Tabla 13. TUKEY para Fe (temperatura).....	47
Tabla 14. TUKEY Para Mn (concentración).....	47
Tabla 15. TUKEY para Mn (temperatura).....	48
Tabla 16. Pruebas de normalidad.....	48
Tabla 17. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error	49
Tabla 18. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error	49

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema general de la filtración descendente.	10
Figura 2. Proceso de adsorción.	15
Figura 3. Mecanismos de remoción de partículas en el filtro.	16
Figura 4. Esquema de la acción de los polímeros en un medio granular.	17
Figura 5. Proceso de retención metales pesados con harina cáscara de plátano.	18
Figura 6. Parámetros iniciales del agua de pozo subterránea.	35
Figura 7. Primer ensayo con 100 gramos de harina cáscara de plátano.	36
Figura 8. Segundo ensayo con 150 gramos de harina cáscara de plátano.	36
Figura 9. Tercer ensayo con 200 gramos de harina cáscara de plátano.	37
Figura 10. Cuarto ensayo con 250 gramos de harina cáscara de plátano.	37
Figura 11. Quinto ensayo con 300 gramos de harina cáscara de plátano.	38
Figura 12. Sexto ensayo con 350 gramos de harina cáscara de plátano.	39
Figura 13. Séptimo ensayo con 400 gramos de harina cáscara de plátano.	39
Figura 14. Octavo ensayo con 450 gramos de harina cáscara de plátano.	40
Figura 15. Resumen de resultados del Hierro (Fe).	41
Figura 16. Resumen de resultados del Manganeso (Mn).	42
Figura 17. Mejor tratamiento para adsorción de Hierro (Fe).	44
Figura 18. Mejor tratamiento para adsorción de Manganeso (Mn).	44

Resumen

Las familias que viven en lugares donde no hay un sistema de tratamiento de agua potable, consumen agua de pozos o manantiales, que presentan elevadas concentraciones de metales, tales como el hierro y manganeso. Ante esta problemática, el presente trabajo se ha enfocado en la búsqueda de una alternativa de solución a través del tratamiento físico del agua de pozo del barrio Miramayo, Yantaló - Moyobamba, que consiste en la adsorción de hierro y manganeso utilizando un filtro casero con arena, grava cuarzosa y harina de cáscara de plátano musa spp, mediante un proceso de filtración. Los elementos para el éxito de este proceso de filtración han sido determinar las concentraciones y temperaturas más eficientes de la harina de cáscara de plátano musa spp, luego de utilizarlo en un tratamiento por filtración. Según los resultados, se obtuvo una considerable disminución de la concentración de hierro y manganeso inicial presentes en el agua de pozo, las concentraciones evaluadas fueron de 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 y 450 g de harina cáscara de plátano musa spp a diferentes temperaturas de 90, 100, 110 y 120 °C. Las concentraciones más eficientes fueron para el hierro: a una C1 (200 g) y una temperatura (100 °C), se adsorbe hasta un 82.26 % de Fe, para el caso del manganeso: a una C1 (100 g) y una temperatura (90 °C), se adsorbe hasta un 89.1 % de Mn. Esto demuestra que se han disminuido significativamente los parámetros de Fe y Mn del agua de pozo después del tratamiento.

Palabras Clave: Filtro casero, cáscara de plátano, hierro, manganeso, adsorción.

Abstract

Families living in places where there is no drinking water treatment system consume water from wells or springs, which have high concentrations of metals such as iron and manganese. Faced with this problem, the present work has focused on the search for an alternative solution through the physical treatment of well-water in the Miramayo neighborhood of Yantaló, Moyobamba, which contains adsorbed iron and manganese, by means of a filtration process, using a homemade filter composed of sand, quartz-gravel and banana peel flour (*Musa spp*). The key to success in this filtration process had been in determining the most efficient concentrations and temperatures of the banana peel flour, then using it in a filtration treatment. According to the results, a considerable decrease in the initial concentration of iron and manganese present in the well-water was obtained. The evaluated concentrations were 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 and 450g of banana peel flour (*Musa spp*) at different temperatures of 90, 100, 110 and 120°C. The most efficient concentrations were for iron: at a C1 (200g) and temperature of 100°C, up to 82.26% of Fe is adsorbed; for manganese: at a C1 (100g) and a temperature of 90°C, up to 89.1% Mn is adsorbed. This shows that the Fe and Mn parameters of the well-water were significantly decreased after treatment.

Keywords: Homemade filter, banana peel, iron, manganese, adsorption.



Introducción

Hoy en día el abastecimiento de agua potable para consumo humano, es indispensable para la vida humana y cada vez se hace más difícil conseguirla en lugares alejados del territorio peruano. Todos los peruanos tenemos derecho al acceso de agua segura para el consumo humano, y en esto cada día se está trabajando para lograr el acceso universal al agua potable y saneamiento (RM N° 192-2018-VIVIENDA).

En la región San Martín, muchas personas consumen agua no apta para el consumo humano, debido a la contaminación de las fuentes y la falta de sistemas de tratamiento de agua potable en óptimas condiciones. Existen localidades y viviendas dispersas, que se ubican lejos de las concentraciones urbanas, las cuales no acceden a este recurso líquido (Padilla et. Al, 2014).

En algunos casos los pobladores consumen agua que se extrae del subsuelo, mediante pozos artesanales, se conoce que las aguas subterráneas son de mejor calidad en términos de turbiedad que las fuentes superficiales, sin embargo pueden contener hierro y manganeso, generando problemas de olor, color y sabor (Di Bernardo, et. Al, 2008). El hierro y el manganeso están asociados a problemas estéticos y operacionales; si no son removidos en los sistemas de tratamiento generan incrustaciones en las tuberías, manchas en la ropa y en los aparatos sanitarios, y contribuyen a la formación de Xiopelículas en las redes de distribución incrementando los riesgos microbiológicos (Petruševski, 2003).

En la región las aguas subterráneas, contienen elevada cantidad de hierro y manganeso, convirtiéndolas en no aptas para el consumo humano, debiéndose realizar un tratamiento previo para poder consumirla (Padilla et. Al, 2014).

De acuerdo a Mcfarland&Dozier (2010), las aguas subterráneas tienen mayores concentraciones de hierro ya que la materia orgánica del suelo absorbe el oxígeno disuelto del agua, normalmente las aguas con gran carga orgánica suelen tener más fierro produciéndose así asociaciones y complejos entre ellos cuya eliminación y potabilización puede ser problemática. “Las aguas de pozos contienen mayores concentraciones de Fe y Mn que las aguas superficiales, debido al bajo pH (alta concentración de CO₂) y al escaso contenido de oxígeno disuelto”.

De acuerdo a los análisis realizados en el laboratorio de Biología y Química de la Facultad de Ecología UNSM-T, los pobladores del barrio Miramayo - Yantaló, consumen agua de pozo ubicado en su sector, que contiene hierro y manganeso por encima de los límites

máximos permisibles del reglamento de la calidad del agua para consumo humano (DS N° 031-2010-SA).

Se formula el siguiente problema: ¿En qué medida es eficiente el uso de la harina de cáscara de plátano (*Musa spp*) utilizado en un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló - Moyobamba – San Martín?

La investigación se justifica, ya que la bioadsorción de metales pesados es una técnica de tratamiento de aguas contaminadas. Con el uso de residuos agroindustriales ha sido empleada como una alternativa para las tecnologías físico-químicas existentes, encargadas de descontaminar las aguas que contienen metales pesados. La adsorción en el proceso de bioadsorción es similar al de los adsorbentes principales aplicados en el tratamiento de las aguas residuales como alúmina, ciertas resinas orgánicas y carbón activado y también en el tratamiento de agua para consumo humano.

En la investigación, se tuvo como hipótesis, utilizando un filtro casero elaborado con harina de cáscara de plátano *Musa spp*, adsorbe eficientemente el hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba – San Martín.

El objetivo principal de la presente investigación fue evaluar la eficiencia de la harina de cáscara de plátano (*Musa spp*) utilizando un filtro casero, para adsorber el hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba – San Martín. La cual se logró mediante los objetivos específicos que son los siguientes: 1) Construir un filtro casero de grava, arena y harina de cáscara de plátano *Musa spp* (adsorbente) para adsorber el hierro y manganeso del agua; 2) Evaluar la eficiencia en diferentes concentraciones y temperaturas de la harina de cáscara de plátano (*Musa spp*) y 3) Determinar la cantidad de Hierro y Manganeso absorbidos por el filtro.

En el presente estudio sobre la evaluación de eficiencia de la harina de cáscara de plátano (*Musa spp*) utilizando un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, se evaluó un tratamiento alternativo utilizando un polímero natural y diseñando un filtro casero, para realizar un tratamiento físico y así poder adsorber el hierro y manganeso del agua de pozo que utiliza la población para el consumo humano. El estudio se realizó tomando muestras de agua del pozo artesanal ubicado en el barrio Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba, la parte experimental y análisis en el laboratorio de Biología y Química de la Facultad de Ecología UNSM-T.

La estructura de la tesis se compone de los siguientes capítulos: capítulo I, revisión bibliográfica, en la cual se revisó información e investigaciones realizadas anteriormente de las cuales se pudo apoyar la investigación; capítulo II, materiales y métodos, en los cuales se detalla los procedimientos realizados para la obtención del lecho filtrante con harina de cáscara de plátano *musa spp*, construcción del filtro casero y los análisis de las muestras tratadas para conocer la cantidad de hierro y manganeso adsorbidos por el filtro; capítulo III, resultados y discusión, en los cuales se muestra y explica los resultados, asimismo, se realiza la discusión de los resultados con respecto a anteriores investigaciones.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

1.1.1. A nivel internacional

Boniolo (2005), en su trabajo de investigación “**La biosorción de uranio en la cáscara del plátano**”, concluye que la cáscara de plátano demostró ser un biosorbente eficaz con grandes perspectivas de aplicación en una sola etapa de equilibrio de 40 minutos y utilizando la cáscara solución en relación de uranio / plátano 2: 0,050 (mL: g), elimina más del 50 % de UO^{2+} de 100 mg solución L de nitrato de uranio -1. El estudio de la variación en el pH indica que los factores de eliminación más altas se produjeron a pH 4. En el intervalo de concentración estudiado, 50-500 mg L-1. El aumento de la temperatura es desfavorable en el proceso de adsorción de uranio y la capacidad máxima de adsorción reducirá de 14 a 10 mg de uranio cuando se elevó de 30 a 50 °C. Las moléculas de carga negativa del polvo de banana atraen a las moléculas de los metales pesados, que tienen carga positiva. Si bien la limpia sólo en un 65%, el proceso puede repetirse tantas veces como sea necesario hasta que el agua esté completamente limpia.

Castro (2015), en su trabajo de investigación: “**Uso de la cáscara de banano (musa paradisiaca) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas**”. Donde el objetivo general fue evaluar la capacidad de bioadsorción de la harina de la cáscara de banano maduro (HCBM) para la eliminación de metales pesados y el porcentaje de remoción de dichos metales. Se variaron dos parámetros: el tamaño de partícula de la cáscara de banano (845 μ m, 400 μ m y 250 μ m) y la cantidad del polvo de cáscara de banano (10, 15 y 20 g/l). El estudio consistió en preparar soluciones con diferentes concentraciones de harina de cáscara de banano con tres diferentes tamaños de partícula, adicionando otras soluciones de 50 ppm de plomo (II) y 50 ppm de Cr (VI). De acuerdo con los resultados en esta investigación, se encontró que con la relación de 20 g/l, se obtuvieron los porcentajes mayores de remoción, los cuales fueron de 80 % Pb y 51,2 % del Cr, respectivamente, esto se explica ya que, en el caso del plomo, al aumentar la concentración de la cáscara de banano, aumenta la capacidad de adsorción y el tamaño de la partícula no influye significativamente en el proceso. En la adsorción de cromo existe una diferencia

significativa en el tamaño de la partícula; a mayor tamaño mayor adsorción; la concentración de la cáscara en este caso no es significativa. En conclusión, los resultados muestran un porcentaje máximo de bioadsorción de $80 \% \pm 1,75$ para el plomo (II) y $51,2 \% \pm 5,48$ para el cromo (VI). El tiempo de retención hidráulica para los dos metales en estudio fue de 48 horas.

Caballero (2012), en su trabajo de investigación: **“Evaluación del uso de la cáscara del banano (Musa AAA) Variedad Williams para la remoción de arsénico en el agua Para consumo humano”**, concluye que: El uso de medio filtrante de cáscara de banano (Musa AAA) variedad Williams, 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. La carrera del filtro con lecho de cáscara de banano (Musa AAA) variedad Williams es corto, aproximadamente 28 minutos. Así mismo 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.

1.1.2. A nivel nacional

Padilla, et. Al (2014), en su investigación: **“Comparación entre un proceso de filtración simple y múltiple para tratar agua subterránea con alto índice de fierro (Fe^{+2}) - Centro Poblado Alianza, San Martín, 2014”**. Donde las variables de estudio fueron: Tratamiento iónico simple, tratamiento iónico compuesto; como variable dependiente el índice de metales en agua subterránea. El tratamiento de filtración simple estuvo compuesto por un aluminosilicatos denominado zeolita además de diferentes arenas y gravas; el tratamiento de filtración compuesta estuvo constituido por un lecho filtrante de carbón activado, biopolímero natural, arenas y grava.

En conclusión, el tratamiento iónico simple permitió alcanzar un pH 6.8 - 6.9 y la disminución de la concentración de fierro (Fe^{+2}) 0-0.06 mg/L en el agua; con el tratamiento iónico compuesto se logró un pH 7-7.1 y valores de 0-0.01 mg/L en la concentración de fierro (Fe^{+2}), no obstante, las propiedades organolépticas cambiaron debido al biopolímero natural que usado para la filtración compuesta.

De acuerdo al análisis de ANOVA, los resultados entre pre-prueba y post-prueba, presentan un nivel de significancia mayor a 0.05, indicando que existe una diferencia significativa entre ambos. Se concluye que ambos tratamientos de filtración iónica fueron efectivos; sin embargo, el tratamiento con filtración compuesta logró estabilizar el pH y disminuir la

concentración de hierro (Fe^{+2}) con mayor eficiencia, por otro lado, las propiedades organolépticas del agua se vieron alteradas.

1.2. Marco teórico

1.2.1. Calidad de las aguas subterráneas

La presencia de hierro y manganeso, es atribuible a la solución de rocas y minerales, principalmente óxidos que contienen estos metales. El hierro se encuentra en los minerales con silicatos de las rocas ígneas, así como en varios otros óxidos. El manganeso se encuentra menos en las rocas ígneas, aunque los compuestos de manganeso son más solubles. La solución de los minerales que contienen estos metales en el agua se atribuye a la acción del dióxido de carbono (CO_2), el cual se presume que se genera por la descomposición bacteriana de la materia orgánica que se filtra por el suelo en condiciones anaeróbicas produciendo formas de Fe^{+2} y Mn^{+2} (Fair, et al, 1984). La transformación a sustancias insolubles se produce cuando se extrae el agua subterránea de los pozos, y ésta llega a la superficie donde está expuesta al aire, creando un ambiente de oxidación, liberando el CO_2 y el H_2S . Las formas de hierro y manganeso solubles, se transforman a formas estables de estos metales que son insolubles (Fe^{+3} y Mn^{+3}) y eventualmente precipitan (Fair et. Al, 1984).

Las aguas de pozos contienen mayores concentraciones de hierro y manganeso que las aguas superficiales, debido al bajo pH, a la alta concentración de CO_2 y al escaso contenido de oxígeno disuelto (Campo, 2001).

1.2.2. Hierro

El Hierro es el cuarto elemento más abundante en la tierra y es un constituyente normal del organismo humano (forma parte de la hemoglobina) y diariamente los humanos necesitamos entre 10 y 50 mg/día, los cuales son absorbidos en su mayoría por el duodeno y el tracto superior del yeyuno. La absorción en el cuerpo humano depende de cada individuo y el exceso es expulsado en las heces, la exfoliación de las células de la piel, la orina y el sudor. Por lo general, sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales. La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. También

puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua (Sobsey, 2002).

Las sales solubles de hierro son, por lo general, ferrosas (Fe^{+2}) y la especie más frecuente es el bicarbonato ferroso $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Este metal en solución contribuye con el desarrollo de microorganismos que pueden formar depósitos molestos de óxido férrico en la red de distribución. Por consideraciones de sabor y debido a que los tratamientos convencionales pueden eliminar el hierro en estado férrico, pero no el hierro soluble Fe^{+2} , las guías de calidad de la WHO, 2004, recomiendan que en las aguas destinadas al consumo humano no se sobrepase 0.3 mg/L de hierro.

Las aguas subterráneas exhiben concentraciones de hierro algo superiores a las de las aguas superficiales y casi siempre en forma Fe^{+2} , por su relativo déficit en oxígeno. De acuerdo con Ioannis, 2004, las especies de hierro tienen la habilidad para ser oxidadas o reducidas y por lo tanto de ser precipitadas o disueltas. El área superficial de las fases sólidas de Fe [(II, III), hidróxidos] y sus reacciones químicas facilitan la adsorción de diversos solutos, lo cual es una de las causas de la interdependencia del ciclo del hierro con el de muchos otros elementos, sobre todo con los metales pesados. Una vez oxidado el Fe^{+3} será hidrolizado para formar óxidos y oxihidróxidos (Ioannis, 2004). Cuando no existe un sistema de tratamiento para fuentes subterráneas con hierro es común que se presente procesos biológicos por la presencia de la aireación natural, la cual es aprovechada por ciertas bacterias que transforman el hierro, y favorecen el crecimiento de las ferrobacterias.

1.2.3. Manganeseo

Es uno de los más importantes metales en la tierra debido a su alta difusión en la naturaleza. Es el quinto elemento más abundante en la superficie de la tierra y el segundo elemento de transición más abundante después del hierro existiendo en siete estados redox diferentes; en la naturaleza es muy común encontrarlo en estado de oxidación II, III ó IV (Asís, 1992). La oxidación del Mn^{+2} es, sin embargo, sensitiva al pH y si es alto, la oxidación inorgánica procede más rápido. La habilidad de los óxidos de Mn para adsorber cationes es elevada, es decir que si la oxidación del Mn^{+2} ocurre, existe la posibilidad de que otros metales como el Co, Cu, etc., sean removidos por adsorción a las superficies (Asís, 1992). El manganeseo en el agua puede estar disuelto, como coloide o asociado a materias orgánicas que lo estabilizan fuertemente, dificultando su eliminación. En las aguas subterráneas se encuentran como Mn^{+2} disuelto bajo condiciones anaerobias (Avendaño, 2004). En agua

potable pequeñas cantidades de manganeso (≤ 0.2 mg/l) propician la vida de bacterias manganésicas en la red de distribución. En aguas bien oxigenadas no presenta alta concentración pues los compuestos allí existentes (Mn^{+4} , Mn^{+6}) son relativamente poco solubles, las sales de Mn^{+2} si tienen mayor solubilidad comparadas con el Mn^{+4} y Mn^{+6} , pero en medios aireados se oxidan precipitando oxihidróxidos (AWWA, 2002).

El agua de los pozos en ocasiones presenta características físicas y químicas que no permiten su uso o consumo humano por la presencia de ciertos metales, tales como el hierro y el manganeso. Por esta razón, es necesario realizar un tratamiento al agua, para reducir los compuestos indeseables y hacer que cumpla con las normas establecidas para agua potable.

Generalmente el manganeso está presente junto al hierro, por esa razón la presencia de ambos hace más complicada su eliminación del agua, debido a que son solubles a diferentes pH.

En aguas subterráneas, el pH y el potencial redox puede ser tal que permiten altas concentraciones de hierro en solución, de este modo en aguas que contienen cantidades apreciables de hierro, exentas de oxígeno disuelto y con alto contenido de anhídrido carbónico, el hierro se encuentra presente bajo la forma divalente.

Es importante indicar que, aunque la presencia de grandes cantidades de manganeso en el agua puede ser considerada peligroso, ya que estudios recientes aún no confirmados han manifestado que el manganeso puede tener efectos neurotóxicos en los seres humanos. El consumo habitual de aguas con concentraciones elevadas de manganeso provoca trastornos encefálicos. No parece que posea incidencia carcinogénica.

El cuerpo humano logra absorber el manganeso en el intestino delgado, acabando la mayor parte en el hígado, de donde se reparte a diferentes partes del organismo. Alrededor de 10 mg de manganeso son almacenados principalmente en el hígado y los riñones (Valencia, 2008).

1.2.4. Filtración

El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables contenidos en el agua o que no fueron retenidos en procesos preliminares como la

coagulación, floculación y sedimentación de sistemas de tratamiento de ciclo completo (Arboleda, 2000).

El agua que entra a un filtro, contiene una variedad de partículas en suspensión. Su tamaño puede variar desde flóculos relativamente grandes de 1 mm de diámetro hasta coloides, bacterias y virus con tamaños inferiores a 10⁻³ mm. Todo este conjunto queda retenido en el lecho filtrante, preferiblemente adherido a la superficie de sus granos formando una película alrededor de ellos, cuya resistencia al esfuerzo cortante producido por la fuerza del arrastre del flujo, es función de la magnitud de las fuerzas que mantienen pegadas a las partículas de cada elemento del medio granular (Camp, 1964; Craft, 1966).

La filtración puede efectuarse con baja carga superficial (filtros lentos con una velocidad de filtración entre 0.15 y 0.3 m/h) o con alta carga superficial (filtros rápidos con una velocidad de filtración entre 5 y 15 m/h), en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro), o en medios granulares (gravas, arena, antracita, o combinados), con flujo ascendente o descendente y finalmente operar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante (Arboleda, 2000).

Por su parte Yao et al, 1971; Amirtharajah, 1972, afirman que el mejoramiento de la calidad del agua en las unidades de filtración se debe a procesos de naturaleza física, química y biológica, considerando en general dos mecanismos asociados a la filtración: El transporte de las partículas dentro de los poros y la adherencia a los granos del medio.

Mecanismos de la filtración

Tamizado o cernido

Las partículas que son muy grandes al pasar a través de los poros de los medios filtrantes son removidas por cernido o tamizado. Este mecanismo, principalmente tiene lugar en la superficie del lecho, donde la pérdida de carga está concentrada y es independiente de la tasa de filtración (Amirtharajah et. Al, 1972).

Transporte

Es clave para remover las partículas pequeñas que entran en los poros del filtro (Yao et. Al, 1971; Amirtharajah, 1971). En este mecanismo predomina la difusión, sedimentación, intercepción, inercia y acción hidrodinámica.

Difusión: resulta del movimiento Browniano y puede ser significativo solo para diámetros de partícula

Sedimentación: en este mecanismo las partículas suspendidas se separan de las líneas de flujo y les permite alcanzar los granos del medio filtrante. Es significativo para diámetros de partícula $>1\mu\text{m}$ (Yao et. Al, 1971) y juega un papel importante en la filtración debido al tamaño del área superficial en los granos disponible para la deposición. La densidad de las partículas y la temperatura son factores importantes en la sedimentación.

La interceptación: ocurre cuando el movimiento de las partículas a lo largo de las líneas de flujo están lo suficientemente cerca del colector para que ocurra el contacto (se estima una distancia <0.5 del diámetro de la partícula). La interceptación ha sido considerada como un mecanismo de transporte, pero, algunos investigadores lo consideran como una condición de frontera por la adherencia resultante de la difusión y la sedimentación (Amirtharajah, 1971).

Adherencia

La adherencia puede involucrar atracción electrostática, fuerzas de London-van der Waals o interacciones químicas superficiales. Sin embargo, sobre la base de la experiencia con filtración rápida, no es claro como las partículas se adhieren finalmente y como pueden ser removidas efectivamente por los filtros gruesos o los filtros lentos sin el uso de coagulantes químicos. La mayoría de las partículas, así como la de los granos de arena, están cargados negativamente alrededor de un rango de pH neutro y esto puede limitar el papel de las fuerzas Van der Waals, las cuales requieren que las partículas estén prácticamente en contacto con la superficie del grano o del material previamente depositado (Haarhoff y Cleasby, 1991; Fair et. Al, 1984). Ver figura 1, esquema de general de la filtración descendente.

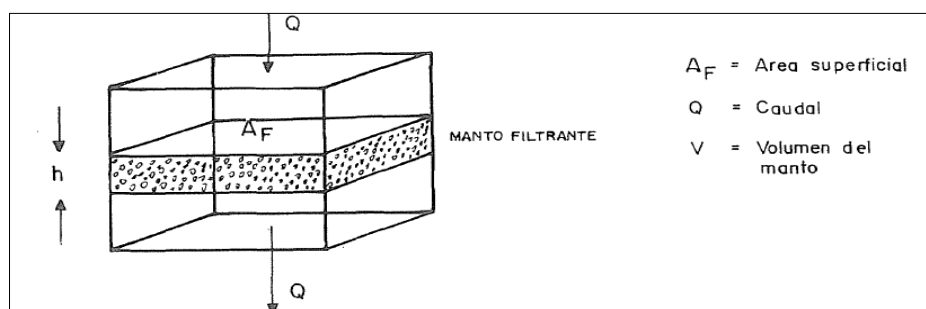


Figura 1. Esquema general de la filtración descendente. (Fuente: Arboleda, 2000).

1.2.5. Límites Máximos Permisibles

Son los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua. Establecidos y normado en el Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, Decreto Supremo N° 031-2010-SA., de la Dirección General de Salud Ambiental, Ministerio de Salud, Lima – Perú 2011.

A continuación, se presenta el Anexo II de los Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica del Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Ver tabla 1.

Tabla 1

Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Olor	---	Aceptable
Sabor	---	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad (25°C)	µmho/cm	1500
Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1000
Cloruros	mg Cl - L ⁻¹	250
Sulfatos	mg SO ₄ = L ⁻¹	250
Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
Amoniaco	mg N L ⁻¹	1.5
Hierro	mg Fe L ⁻¹	0.3
Manganeso	mg Mn L ⁻¹	0.4
Aluminio	mg Al L ⁻¹	0.2
Cobre	mg Cu L ⁻¹	2.0
Zinc	mg Zn L ⁻¹	3.0
Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: Decreto Supremo N° 031-2010-SA

1.2.6. Temperatura

La temperatura a la cual el proceso de bioadsorción tiene lugar influye tanto en la velocidad de bioadsorción como en el grado en que la bioadsorción se produce. La dependencia de la constante de equilibrio aparente de adsorción (KC) con la temperatura, puede describirse termodinámicamente mediante la ecuación que se describe a continuación (Van Ness & Abbott, 1997). Ver la siguiente fórmula.

$$\text{LnKc} = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$$

Donde ΔS° representa el cambio de entropía ($\text{J, mol}^{-1}, ^\circ\text{C}^{-1}$), ΔH° el calor de adsorción o cambio de entalpía (J, mol^{-1}), T la temperatura ($^\circ\text{C}$) y R la constante universal de los gases ideales ($\text{J, mol}^{-1}, ^\circ\text{C}^{-1}$). En los casos en que la adsorción es exotérmica, el calor de reacción es negativo ($\Delta H^\circ < 0$) y por tanto está favorecida a bajas temperaturas. En cambio, si la adsorción es endotérmica ($\Delta H^\circ > 0$), se ve favorecida a elevadas temperaturas (Van Ness & Abbott, 1997).

1.2.7. Remoción de hierro y manganeso

El hierro y el manganeso abundan en la corteza terrestre y se presentan en su forma natural en el agua subterránea y son constituyentes comunes de los drenajes ácidos de las minas y de las aguas residuales industriales. En los sistemas de distribución de agua, el hierro aparece como un producto de la corrosión. En limnología y oceanografía, el hierro y el manganeso son elementos esenciales en la nutrición de las plantas. Ni el hierro ni el manganeso son muy solubles en agua.

Por convención, los números romanos indican el estado de oxidación de un elemento, por ejemplo, el *Fe (III)*, se refiere a que todos los constituyentes que contienen hierro en el estado 3 de oxidación, Fe^{+++} se refiere en forma específica a ion de hierro férrico con una carga 3.

El óxido de hierro (*III*), es la causa del agua roja en los sistemas de distribución; los óxidos de manganeso originan el agua café o negra. Ambos hacen que el agua quede inservible para lavandería, teñido, la producción de papel y otros procesos de manufactura (Orellana, 2005).

1.2.8. Solubilidad del hierro y el manganeso

Dentro de la gama de pH de las aguas naturales, el hierro y el manganeso bivalentes solubles constan predominantemente de Fe^{++} , Mg^{++} , FeOH^+ y MnOH^+ . Dentro de los límites comunes de pH de 6 a 9, de las aguas que contienen carbonatos, su solubilidad en el estado bivalente de oxidación está generalmente gobernada por los productos de solubilidad de sus carbonatos, no de sus hidratos. En esta forma, el [FE (II)] o [Mn (II)] soluble máximo depende del pH y del contenido de bicarbonatos.

La solubilidad del Fe (III) en las aguas naturales está gobernada generalmente por la del hidróxido férrico, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ o la del hidróxido del óxido férrico, FeOOH . Para evaluarla, se deben considerar las constantes de formación de los complejos hidrozoo-férricos solubles, FeOH^{++} , FeOH_2 , $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{+++}$ y $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$, a la par que el producto de solubilidad del óxido férrico hidratada (Orellana, 2005).

1.2.9. Cáscara de plátano

Los principales componentes de la cáscara de plátano son: celulosa (25%), hemicelulosa (15%) y lignina (60%). La cáscara de plátano tiene una propiedad de adsorción. La cáscara molida tiene la capacidad para extraer iones de metales pesados del agua y de los parámetros que intervienen en este proceso. La adsorción de la cáscara de plátano se debe en gran parte a la lignina que son polímeros insolubles, además presenta un elevado peso molecular, que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos (cumarílico, coniferílico y sinapílico). El acoplamiento aleatorio de estos radicales da origen a una estructura tridimensional, polímero amorfo, característico de la lignina (Monsalve et. Al, 2006).

Generalidades de la cáscara de plátano

La cáscara de plátano es un compuesto lignocelulósico compuesta de: celulosa, hemicelulosa y lignina, pero su composición varía con el origen del material. La cáscara de plátano maduro es el material lignocelulósico, que representa alrededor del 40 % del peso total de la fruta (Monsalve et. Al, 2006). Ver tabla 2.

Tabla 2

Composición química de la cáscara de plátano

Componentes	Cáscara de plátano (% base seca)
Almidón	39.89
Humedad	89.1
Hemicelulosa	14.8
Celulosa	13.2
Lignina	14
Magnesio	0.16
Calcio	0.26
Cenizas	11.37

Fuente: (Monsalve et. Al, 2006).

Celulosa: es un homopolisacárido de cadenas largas sin ramificaciones de β -D-glucosa; se distingue del almidón por tener grupos $-CH_2OH$ alternando por arriba y por debajo del plano de la molécula. La ausencia de cadenas laterales permite a las moléculas de celulosa acercarse unas a otras para formar estructuras rígidas (Méndez, 2008).

Hemicelulosa: es un heteropolisacárido, formado por glucosa, xilosa, arabinosa, excluyendo la celulosa, constituyen las paredes celulares de las plantas y se pueden extraer mediante hidrólisis ácido o enzimática. Las hemicelulosas forman aproximadamente una tercera parte de los carbohidratos en las partes leñosas de las plantas.

Su estructura química consiste de cadenas largas con una gran variedad de pentosas, hexosas, y sus correspondientes ácidos urónicos (Tapia, 2003).

Pectina: son polímeros ácidos y neutros muy ramificados. Constituyen el 30 % de masa seca de la pared celular primaria de las células vegetales. Determinan la porosidad de la pared y, por tanto, el grado de disponibilidad de los sustratos de las enzimas implicadas en las modificaciones de la misma. Las pectinas, también, proporcionan superficies cargadas que regulan el pH y balance iónico (Tapia, 2003).

Lignina: La lignina es una macromolécula fenólica compleja, después de la celulosa la sustancia orgánica más abundante en las plantas es la lignina un polímero altamente planificado de los grupos fenilpropanoides que desempeña funciones tanto primarias como secundarias.

La lignina está formada generalmente por tres derivados fenilpropanoides diferentes: los alcoholes coniferílico, cumárico y sinapílico; sintetizados a partir de la fenilalanina a través de varios derivados del ácido sinánico. Los alcoholes fenilpropanoides se unen en un polímero por la acción de enzimas que generan intermediarios en forma de radicales libres. Las propiedades de las tres unidades manométricas en la lignina varían entre especies, órganos vegetales e incluso entre las capas de una pared celular (Tapia, 2003).

1.2.10. Bioadsorción

La bioadsorción es un proceso fisicoquímico que incluye los fenómenos de adsorción y absorción de moléculas e iones. Ver figura 2.

Este término es utilizado mayormente en la relación de la captación de metales que lleva a cabo una biomasa viva o muerta, a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Este proceso involucra una fase sólida (bioadsorbente) y una fase líquida (solvente, que es normalmente agua) que contiene las especies disueltas que van a ser sorbidas (sorbato, como por ejemplo los iones metálicos).

La bioadsorción ocurre cuando los cationes de los metales se unen por interacciones electrostáticas a los sitios aniónicos que se encuentran en los bioadsorbentes. Estos sitios que sirven como centros activos para la bioadsorción se encuentran ubicados en los grupos de los carboxilo, hidroxilo, amino, sulfónico, que forman parte de la estructura de la mayoría de los polímeros de origen natural (Tapia, 2002).

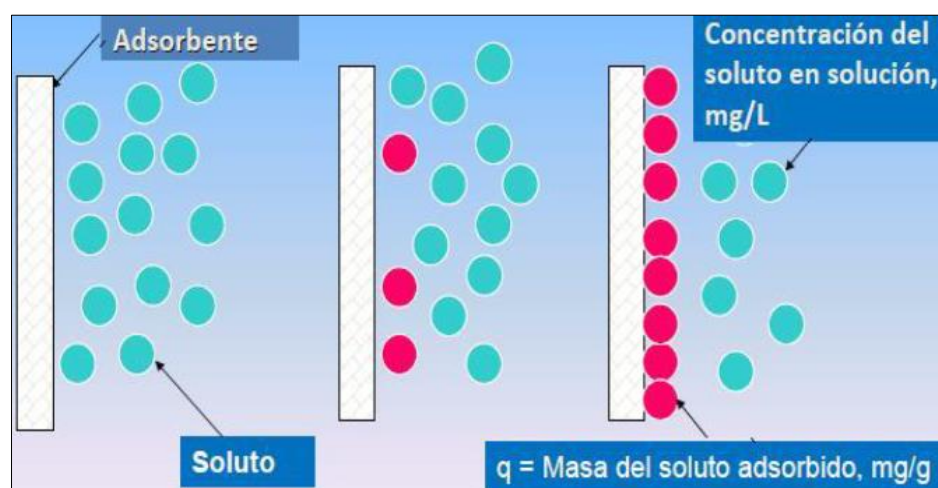


Figura 2. Proceso de adsorción. (Fuente: Tapia, 2002).

1.2.11. Adsorción

La adsorción es la acumulación de moléculas de soluto en la superficie de un sólido. Se distingue entre adsorción física o fisisorción, en la que la especie adsorbida mantiene su forma química original y en la que intervienen atracciones de tipo electrostático y fuerzas de van der Waals; y la adsorción de tipo químico o quimisorción, en la que la especie adsorbida cambia de forma química como consecuencia de su interacción con el sólido. En general, en la adsorción física, la velocidad del proceso global está controlada por las etapas de transferencia de materia, ya que la retención es casi instantánea porque únicamente depende de la frecuencia de colisión y de la orientación de las moléculas. En cambio, si la adsorción es de tipo químico, lo cual implica la formación de enlaces, la etapa de la reacción química puede ser lenta y llegar a controlar el proceso (Seader & Henley, 2006).

La adsorción física no es específica y las fuerzas de atracción entre el adsorbato y la superficie del sólido son relativamente débiles. Su energía de activación es menor que en la adsorción química. El aumento de la temperatura afecta negativamente a este tipo de adsorción.

La adsorción química es específica y las fuerzas de atracción son de mayor magnitud que en la adsorción física. Las moléculas adsorbidas químicamente están unidas a la superficie del adsorbente por fuerzas similares a las que mantienen unidos a los átomos en las moléculas (Seader & Henley, 2006).

La adherencia de que cada contacto resulte efectivo y produzca o no adhesión de la partícula al medio filtrante, podría pensarse que depende más que de mecanismos puramente físicos, de una serie de factores químicos y electroquímicos, la variación de los cuales induce modificaciones en el comportamiento de los filtros. Lo más importante de ellos y que vamos a considerar son las fuerzas de Van Der Waals, los efectos electrostáticos y el puente químico. Ver figura 3 y 4.

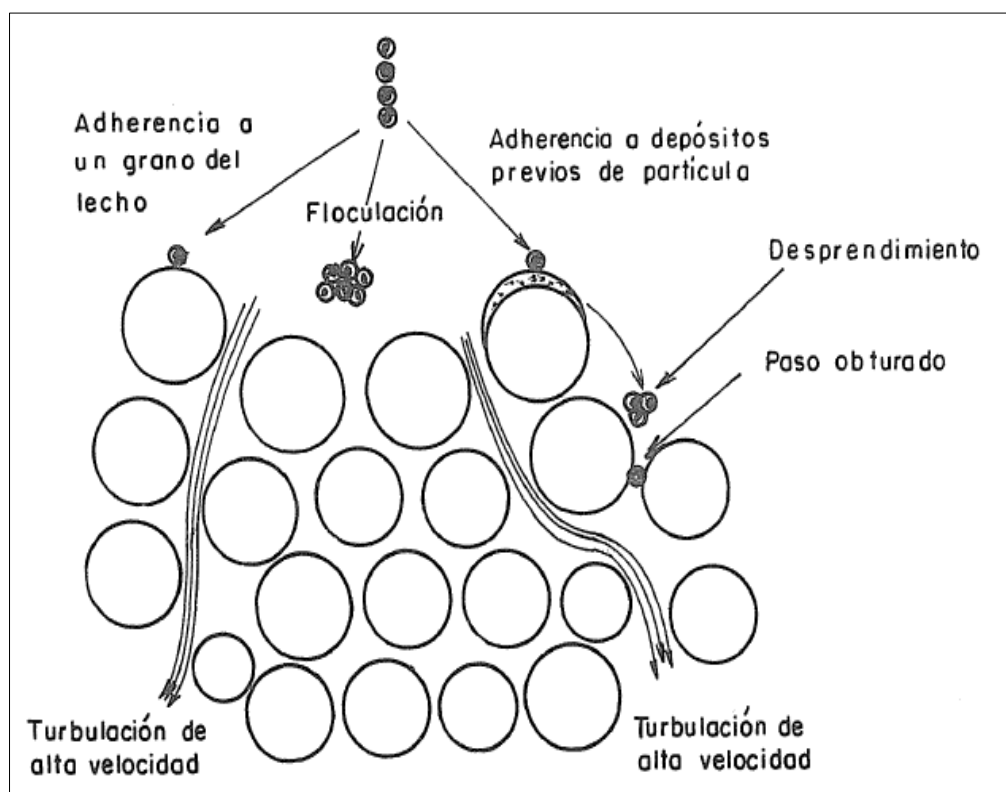


Figura 3. Mecanismos de remoción de partículas en el filtro. (Fuente: Arboleda, 2000).

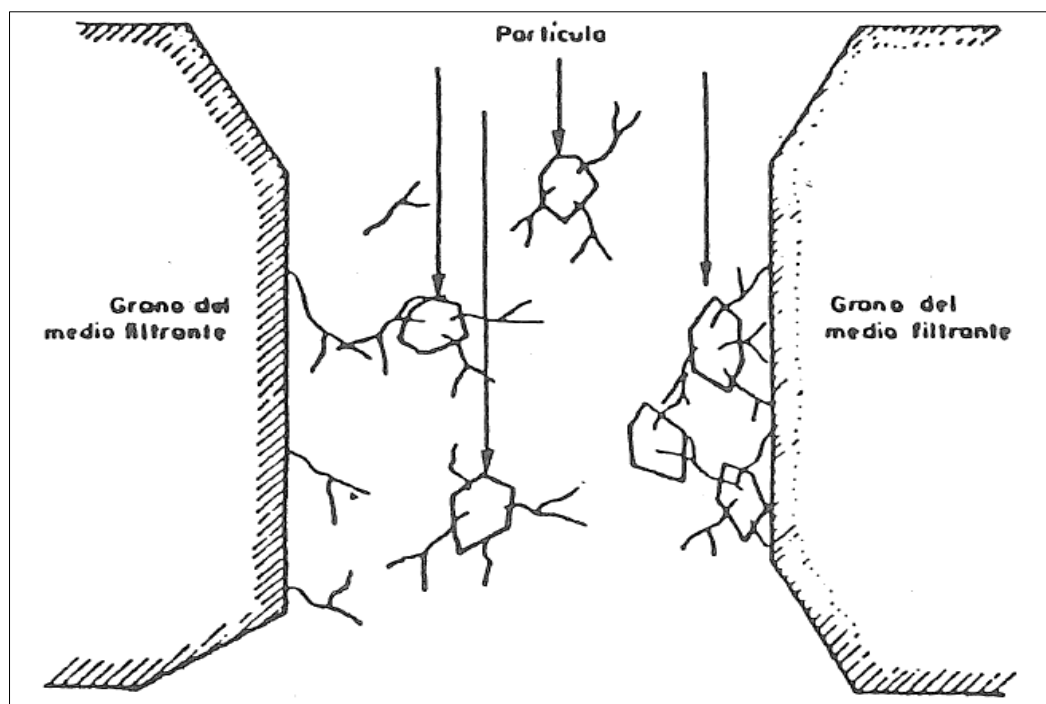


Figura 4. Esquema de la acción de los polímeros en un medio granular. (Fuente: (Arboleda, 2000).

1.2.12. Adsorción de metales utilizando lignina

La gran capacidad de adsorción de metales de la lignina se debe en parte a los fenoles y otros grupos funcionales presentes en su superficie, aunque no puede ser atribuida a un único grupo funcional, pero entre ellos existe uno que posee mayor afinidad con el ion metálico. También se debe a las fuerzas de atracción electrostática entre la superficie de la lignina y el ion metálico. Esta fuerza de enlace con la que los iones son adsorbidos es debida al tamaño del radio del ion que entre más grande, mayor será la fuerza con la que es retenido, esto se presenta porque existe una fuerza de repulsión electrostática de los iones metálicos con menor radio iónico con los sitios de unión de la lignina (Correa et. Al, 2012).

La harina de cáscara de plátano como bioadsorbente de metales

La capacidad de los residuos lignocelulósicos de adsorber iones de metales pesados, es de importancia para el desarrollo de una tecnología eficaz, limpia y barata para el tratamiento de las aguas residuales (Montanher et. Al, 2005).

Un gran número de residuos agrícolas de costo bajo han sido y son utilizados como adsorbentes para la eliminación de metales pesados, incluyendo el aserrín, la cáscara de coco, la fibra de coco, la cáscara de plátano, las cenizas volantes provenientes del bagazo, cáscara de naranja, el musgo y las cáscaras de nueces (Annadurai et. Al, 2002).

La mayoría de estos adsorbentes tiene una buena capacidad de adsorción en comparación con los carbonos activados e intercambiadores comerciales de iones; Pero, su uso en su forma original es limitado debido a la filtración de sustancias orgánicas en las soluciones.

Por lo tanto, se debe realizar investigaciones dirigidas a prevenir la filtración de sustancias orgánicas durante el proceso de adsorción sin afectar la capacidad de adsorción.

La cáscara de plátano, cuando se seca y muele, hasta obtener harina muy fina, tiene la capacidad de limpiar las aguas contaminadas con metales pesados de una manera eficaz y barata.

En la actualidad el método con mayor eficiencia para la descontaminación del agua con metales pesados (plomo, níquel, cromo, etc.), se realiza mediante carbón activado, un producto industrial adsorbente que retiene sobre su superficie, un porcentaje pequeño de estos metales; pero que también ofrece un costo alto para el medio ambiente.

En Brasil se aprovecha este desecho para la limpieza de uno de los principios básicos de la física-química: los polos opuestos, se atraen. En la cáscara de plátano existe un gran número de moléculas con carga negativa como carbonil, carboxil, sulfidril, fosfato e hidroxil. Estas moléculas tienen la capacidad de atracción sobre la carga positiva de los metales pesados (Annadurai et. Al, 2002).

Proceso de retención de metales pesados utilizando harina de cáscara de plátano como material bioadsorbente

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso de bioadsorción de metales pesados. Ver figura 5.

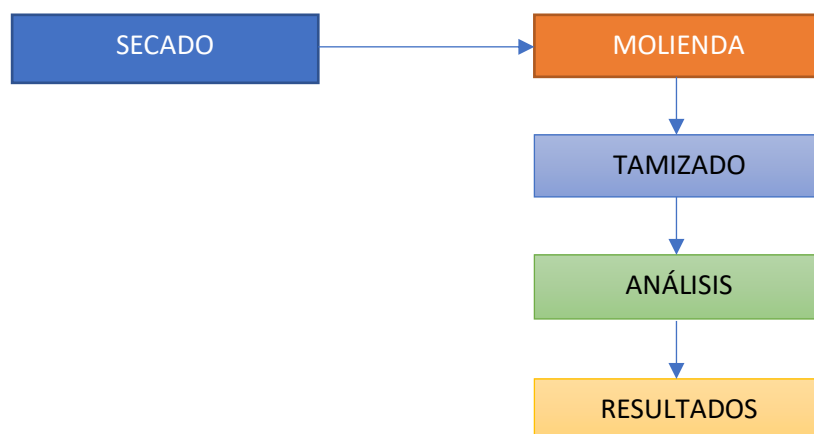


Figura 5. Proceso de retención metales pesados con harina cáscara de plátano. (Fuente: Renata et. Al, 2009).

Descripción del proceso

A continuación, se describe el proceso de bioadsorción de los metales pesados (Renata et. Al, 2009).

Secado: la cáscara molida de plátano, pueden ser secadas al ambiente o en secadores industriales a temperaturas de 105°C, hasta obtener peso constante.

Molienda: la cáscara obtenida en el pelado manual de plátano maduro para elaboración de puré o para consumo directo, se muele en molinos de tal manera que se obtenga harina soluble.

Tamizado: se pasa el material molido por un tamiz de tamaño de partícula conocida para asegurar que las partículas sean uniformes.

Retención: la harina fina obtenida de las etapas anteriores se añade al agua contaminada en concentraciones que pueden variar desde 1 a 5 g/L.

Análisis: en el laboratorio, se mide la concentración inicial de metales pesados y luego del proceso también se mide la concentración y se determina la eficiencia del proceso. Al ser la harina de cáscara de plátano maduro muy perecible y susceptible de contaminación por microorganismos solo se la puede utilizar una sola vez. Es decir, si se pudiera pasar esta agua varias veces más sería posible purificar el agua casi por completo.

En investigaciones similares se utilizó como contaminante uranio, pero afirman que el método también es eficaz con otros metales utilizados ampliamente en la industria como el cadmio, el plomo o el níquel.

Milena Boniolo, investigadora brasileña realizó el descubrimiento, como parte de su tesis doctoral y afirma que sólo en Sao Paulo se disponen a los residuos sólidos domiciliarios cerca de cuatro toneladas de cáscaras de plátano a la semana, solo en los restaurantes. Al poseer la cáscara de plátano un alto potencial como descontaminante, sería muy sencillo convencer tanto a las empresas de alimentos como a los propietarios de los restaurantes para que donaran sus residuos de plátanos.

La cáscara de plátano, además de ser un residuo barato y altamente disponible, tiene en su composición hidroxila y carboxila de pectina, elementos capaces de adsorber no sólo metales pesados sino también compuestos orgánicos (Renata et. Al, 2009).

Parámetros que influyen en el proceso de adsorción

Influencia del pH en la Adsorción

El pH de la solución es el factor más importante en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto distinto en ambos casos. Así, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1,5 y 4 (Volesky, 2003). Existen tres vías de influencia del pH en la adsorción del metal:

El sitio activo del descontaminante interacciona con el catión metálico y la superficie polar o cargada del adsorbente, en este caso los microporos del carbón varían de pH.

Cuando el grupo de unión del metal es débilmente ácido o básico, la disponibilidad del sitio libre depende del pH.

El logaritmo de la constante de disociación del ácido conjugado (pKa) podría ser uno de los parámetros clave para la determinación del pH óptimo para ocupar los sitios activos.

Las variaciones bruscas de pH, como los empleados para la regeneración del carbón activo, dañan la estructura del descontaminante carbón, creando pérdidas significativas de peso y el descenso en la capacidad de adsorción, son algunos de los efectos observados por diversos investigadores.

La formación de nuevas especies químicas del metal en solución depende del pH de la solución, ya que los metales en soluciones acuosas se encuentran como iones hidrolizados a pH bajos, especialmente aniones de metales de carga alta y tamaño pequeño (Volesky, 2003).

Tiempo de equilibrio en la adsorción

El proceso de adsorción del metal pesado se ha evaluado mediante la utilización de isothermas que describen el equilibrio del proceso. Los modelos de Langmuir y Freundlich son los más utilizados para describir con éxito el equilibrio de adsorción; cuando se trabaja con residuos lignocelulósicos.

Para eliminar metales pesados, la retención aumenta inicialmente de una manera lineal con la concentración en el equilibrio; esta retención está limitada por el número de sitios activos

y, por tanto, llega a alcanzarse una meseta, que no es más que aquel tiempo a partir del cual el adsorbente, por más que se mantenga en contacto con la solución, ya no produce más adsorción (Volesky, 2003).

Efecto de la dosis de adsorbente en la adsorción

La relación g/L de adsorbente es el factor que limita el proceso en el caso de metales como el plomo, es decir a mayor cantidad de adsorbente, obtiene una mayor adsorción (Volesky, 2003).

Caracterización fisicoquímica de la harina de cáscara de plátano

Para la caracterización del material adsorbente se realiza un pre tratamiento, con el fin de retirar las impurezas u otros compuestos que pudieran afectar el proceso de adsorción; es necesario someter la cáscara a un lavado, reducción del tamaño y secado.

Preparación del adsorbente a partir de la cáscara de plátano

Obtención de la cáscara de plátano

La cáscara de plátano, se recolecta en cantidad suficiente para luego ser sometido a las etapas que se describen a continuación, las cuales permiten la adecuación y el tratamiento de la cáscara, que posteriormente fue caracterizada.

Selección: se toma aquella cáscara en óptimo estado de madurez para evitar su descomposición pronta y garantizar una operación de secado con material en condiciones adecuadas. Se recolecta una muestra inicial de cáscara de plátano maduro, lo cual tiene un 15 % de rendimiento al elaborar la harina.

Limpieza: las cascaras, se someten a un lavado con abundante agua destilada a una temperatura de 50°C y agitación magnética durante 30 min, con el fin de eliminar impurezas y compuestos solubles tales como: taninos, látex, azúcar- reductora y residuos de pulpa.

Molienda: esta operación se realiza en un molino artesanal.

Secado: la masa pastosa resultante de la molienda es sometida al secado, utilizando la mufla, a una temperatura de 130°C en una operación continua, se espera obtener un producto seco con un 2,5 a 4 % de humedad; el cual a un 15 % de masa inicial.

Caracterización de la cáscara de plátano maduro

Una vez obtenida la harina de cáscara de plátano, se procederá a la caracterización de la misma. Esta caracterización consistirá en determinar los elementos y compuestos orgánicos presentes en la cáscara de plátano, para lo cual, se llevará a cabo diferentes métodos analíticos, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Elementos y compuestos orgánicos de la cascara plátano

Parámetros	Métodos
Carbono (%)	AOAC 949.14
Hidrogeno (%)	AOAC 949.14
Nitrógeno /%)	AOAC 984.13
Cenizas	Termo gravimetría
Grupos funcionales de la cascara de banano	Espectroscopia de infrarrojo

Fuente: Castro, 2014.

1.3. Definición de términos

Absorción

Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión (Tapia, 2002).

Adsorción

Fenómeno fisicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido (Seader & Henley, 2006).

Agua subterránea

Aguas que, dentro del ciclo hidrológico, se encuentran en la etapa de circulación o almacenadas debajo de la superficie del terreno y dentro del medio poroso, fracturas de las rocas u otras formaciones geológicas, que para su extracción y utilización se requiere la realización de obras específicas (Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural, 2018).

Agua de consumo humano

Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal (Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010).

Filtración

Es un proceso terminal que sirve para remover del agua los sólidos o materia coloidal más fina, que no alcanzó a ser removida en los procesos anteriores (Arboleda, 2000).

Límite Máximo Permisible (LMP)

Instrumento de gestión ambiental que regula la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010).

Metales pesados

Los metales se definen en base a sus propiedades físicas en el estado sólido como son: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica, propiedades mecánicas como fuerza y ductilidad. Otra definición más práctica, desde el punto de vista de la toxicidad, se basa en sus propiedades cuando están en solución: “metal es un elemento que bajo condiciones biológicas puede reaccionar perdiendo uno o más electrones para formar un catión” (Reyes et al, 2012).

Tratamiento de agua

Remoción por métodos naturales o artificiales de todas las materias objetables presentes en el agua, para alcanzar las metas especificadas en las normas de calidad de agua para consumo humano (Arboleda, 2000).

Musa spp

El género *Musa* spp, perteneciente a la familia Musaceae, ha experimentado evolución en el tiempo, existiendo aproximadamente 300 especies. No obstante, solamente alrededor de 20 son comercializadas, siendo las más comunes: *Musa Cavendish*, que comprende las variedades o tipos de banana y *Musa x paradisiaca* (Sin. *Musa x sapientum*), que engloba las variedades de plátano verdadero. *Musa x paradisiaca* es un híbrido resultante del cruce entre *Musa acuminata* como plátano silvestre comestible y *Musa balbicianana* como variedad no comestible (Polanco Zambrano, 2017).

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Los materiales y equipos utilizados para la construcción del filtro casero fueron los siguientes:

Envase de plástico 20 litros, utilizado para recolectar las muestras de agua de pozo antes del tratamiento y transportarlo al laboratorio.

Grifo de PVC, utilizado en el filtro casero para la salida de agua tratada.

Arena de cuarzo 0.5 – 1.0 mm seleccionada, utilizado en la construcción del filtro casero, proveida por la empresa FILTERMEDIA.

Grava de cuarzo ¼” seleccionada, utilizado en la construcción del filtro casero, proveida por la empresa FILTERMEDIA.

Grava de cuarzo ½” seleccionada, utilizado en la construcción del filtro casero, proveida por la empresa FILTERMEDIA.

Para la obtención de la harina de cáscara de plátano, se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

Molino mecánico marca CORONA, utilizado para moler manualmente las cáscaras de plátano secadas a temperatura de ambiente.

Estufa marca MEMMERT, utilizado para secar la harina de plátano en diferentes temperaturas antes de ser colocados como material filtrante en el filtro casero. El equipo utilizado es de propiedad de la UNSM-T y no acreditaba un certificado de calibración.

Balanza analítica marca NIMBUS modelo PGW 753i, utilizado para pesar las cantidades de harina de cáscara de plátano a ser utilizadas en el filtro casero. El equipo utilizado es de propiedad de la UNSM-T y no acreditaba un certificado de calibración.

En los análisis de laboratorio y otros, se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

GPS Garmin 650, utilizado para georreferenciar la ubicación del pozo de agua al inicio de la investigación.

Vasos de precipitado 100 mL marca Pyrex, utilizado para almacenar las muestras de agua antes y después de los análisis.

Reactivos para analizar Hierro (Almohadillas de polvo de reactivo de hierro FerroVer®, 10 ml, paq. 1000), utilizado para determinación de hierro mediante el método 1, 10-fenantrolina. Método aprobado por USEPA para informes de análisis de agua de lavado mediante el método 8008 de Hach. El método FerroVer recupera hierro ferroso y férrico totalmente soluble, así como compuestos de hierro complejos y varios.

Reactivos para analizar Manganeso (Almohadillas de buffer en polvo de citrato para manganeso, 25 ml, paq. 100), utilizado para realizar determinaciones de manganeso mediante el método de oxidación de peryodato. Aprobado por EPA para informes de análisis de aguas residuales (se requiere digestión). Método 8034 de Hach. Tamaño de la muestra: 25 ml. Paquete de 100 sobres de polvo.

Turbidímetro 100 IR marca TURBIQUANT, utilizado para determinar el valor en FTU (Formazine Turbidity Unit, siglas en inglés). Esta unidad es idéntica con unidad nefelométrica de turbiedad UNT cuyo parámetro es un indicador de eficiencia en el presente trabajo de investigación. El equipo utilizado es de propiedad de la UNSM-T y no acreditaba un certificado de calibración.

Colorímetro equipo DR 900 marca HACH, utilizado para medir parámetros como hierro y manganeso con mayor precisión durante los ensayos el cual tiene la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática (de un largo de onda particular) a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra. El equipo utilizado es de propiedad de la UNSM-T y no acreditaba un certificado de calibración.

Laptop Toshiba, Intel(R) Core(TM) i5-4510U CPU @ 2.00GHz 2.60 GHz, utilizado para el procesamiento de los resultados y la redacción del informe final de tesis.

2.2. Métodos

El tipo de investigación realizada es la aplicada y el nivel de investigación explicativo.

El diseño de investigación empleado fue el Diseño Bloques Completos al Azar (DBCA). Este diseño es el más común en la experimentación en bloques y se utiliza cuando las unidades experimentales pueden agruparse de una forma sustancialmente lógica. Ver tabla 4.

Tabla 4*Diseño de los tratamientos*

Bloques	Tratamientos			
	T ₁ (90°C)	T ₂ (100°C)	T ₃ (110°C)	T ₄ (120°C)
C1 (100 g)	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄
C2 (150 g)	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄
C3 (200 g)	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄
C4 (250 g)	Y ₄₁	Y ₄₂	Y ₄₃	Y ₄₄
C5 (300 g)	Y ₅₁	Y ₅₂	Y ₅₃	Y ₅₅
C6 (350 g)	Y ₆₁	Y ₆₂	Y ₆₃	Y ₆₄
C7 (400 g)	Y ₇₁	Y ₇₂	Y ₇₃	Y ₇₄
C8 (450 g)	Y ₈₁	Y ₈₂	Y ₈₃	Y ₈₄

C1, C2 ..., C8 = Concentración

T₁, T₂ ..., T₄ = Temperatura

$$Y_{ij} = \mu + t_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es la variable respuesta μ = La media poblacionalt_i = Efecto de i-ésimo tratamientoB_j = Efecto de j-ésimo bloque ε_{ij} = Efecto aleatorio, EE.**Población**

La población está conformada por el caudal de agua de pozo (0.23 L/s equivalente a 19.87 m³/día), con una dotación diaria (150 L/hab/día) que consumen los habitantes del barrio Miramayo del distrito de Yantaló, provincia de Moyobamba.

Muestra

Se utilizó 96 litros de agua del pozo del distrito de Yantaló distribuidos en 3 litros por cada grupo experimental (32 grupos).

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron, fueron los siguientes:

Observación sistemática: Permitió recabar información bibliográfica para complementar la caracterización del problema, reconocimiento del área de estudio para realizar apreciaciones de la muestra de estudio.

Fichaje: Esta técnica sirvió para la transcripción de teorías y contenidos relacionadas con el tema, objeto de investigación.

Muestreo: El tipo de muestreo fue el probabilístico mediante la selección de un único punto de recolección de agua de pozo, debido a que solo existe un pozo de agua en la zona de estudio.

Obtención de la harina de cáscara de plátano: Se obtuvo el material filtrante a base de harina de cáscara de plátano y otros materiales filtrantes seleccionados como complemento para el filtro casero.

Caracterización de la zona de estudio: Se realizó el aforo del caudal proveniente del pozo de agua subterránea, también se calculó los caudales de consumo de la población, para realizar el diseño y cálculo del dimensionamiento del filtro casero.

Ensayos de laboratorio: Técnica que permitió medir los parámetros de hierro, manganeso, temperatura y turbiedad, antes y después del experimento. Ver tabla 5.

Tablas: Se usaron para registrar los datos de campo y resultados obtenidos durante los ensayos de laboratorio.

Tabla 5

Métodos de ensayo

Ensayo	Unidad	Método de ensayo utilizado
Secado	°C	Estufa
Hierro	mg/L	8008 Almohadillas de polvo o AccuVac para FerroVer (fotometría equipo DR 900)
Manganeso	mg/L	Amohadillas de polvo 8034 Periodate Oxidation (fotometría equipo DR 900)
Turbiedad	NTU	Turbidímetro, Standard Methods for examination of Water and Wastewater AWWA, APHA, WEF 4500 HB (ED 21 2005).

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos utilizados, fueron los siguientes:

Cálculos de caudales y diseño del filtro

Se calculó el caudal del pozo de agua subterránea, también se calcularon los caudales de consumo de la población del barrio Miramayo para el dimensionamiento y diseño del filtro casero.

Obtención de la harina de cáscara de plátano

Primero se recolectó las cáscaras de plátano (*Musa spp*).

Luego estas cáscaras de plátano se secaron a temperatura ambiente.

Finalmente se procedió a la molienda de las cáscaras de plátano y se obtuvo el material filtrante en diferentes cantidades y temperaturas, pesadas y secadas en la balanza analítica y estufa respectivamente.

Análisis en laboratorio

Primero se recolectó la muestra de agua de pozo del barrio Miramayo y se trasladó al Laboratorio de Biología y Química de la Facultad Ecología UNSM-T.

Luego se analizaron las muestras antes y después de cada tratamiento.

Finalmente se compararon los resultados de las muestras obtenidas y analizadas, con los Límites máximos permisibles del D.S. N° 031-2010-SA Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.

Programas de ingeniería

Software Microsoft Excel 2016: Se utilizó para el cálculo de caudales de diseño, realizar histogramas y gráficas de los resultados.

Software AutoCAD 2016: Se utilizó para la representación gráfica del diseño del filtro casero.

Software estadístico IBM SPSS: Se utilizó para la comprobación de la hipótesis de investigación.

Para el diseño y construcción del filtro casero, se siguieron los siguientes procedimientos:

Aforo de caudal del pozo de agua

El aforo se realizó utilizando el método volumétrico, se emplea por lo general para caudales muy pequeños. Se utilizó un recipiente plástico (20 litros) para coleccionar el agua. El caudal resultó de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen. El resultado fue el siguiente:

$$V = 0.23 \text{ L/s}$$

$$V = 19.87 \text{ m}^3/\text{día}$$

Caudal de diseño

En el barrio Miramayo, existen 05 familias que consumen el agua del pozo subterráneo, cada familia cuenta con 04 personas en promedio. La población total es de 20 habitantes que consumen agua de dicho pozo.

Según la Resolución Ministerial N° 192-2018-VIVIENDA, la dotación de agua para la zona de selva en el ámbito rural es de 100 L/hab/día.

De los 100 L que consume cada habitante por día, 20 litros son para la preparación de los alimentos y bebidas.

El caudal de diseño se realizó para cada familia y utilizando la dotación de agua sólo para la preparación de alimentos y bebidas, ya que un filtro casero debe abastecer a toda una familia.

$$\text{Dotación} = 20 \text{ L/hab/día}$$

$$\text{Población} = 4 \text{ habitantes}$$

$$\text{Caudal Promedio (Qp)} = \text{Población} * \text{Dotación}$$

$$Qp = 4 \text{ habitantes} * 20 \text{ L/hab/día}$$

$$Qp = 80 \text{ L/día}$$

$$Qp = 3.33 \text{ L/hora}$$

El filtro se diseñó para cada familia que necesita 80 litros de agua tratada al día para la preparación de sus alimentos y bebidas, que es lo más primordial en casos de falta de agua.

Construcción del filtro casero

Se construyó el filtro casero en un envase circular de PVC con dimensiones de 0.30 m de diámetro, y 0.35 m de altura, los materiales filtrantes utilizados fueron diferentes cantidades

de harina de cáscara de plátano musa spp (100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 y 450 gramos) sometidos a temperaturas variables de 90, 100, 110 y 120 °C; arena cuarzosa (6.0 kg); grava cuarzosa ¼” (3.0 kg) y grava cuarzosa ½” (3.0 kg). En la salida del agua filtrada, se adaptó un grifo de PVC y un recipiente con el mismo material PVC para la recolección de las aguas filtradas.

Para la obtención la harina de cáscara de plátano musa spp, se procedió a recolectar los residuos (cáscara de plátano) de un taller de capacitación realizado en el Hogar Santa Isabel, pero lo recolectado no fue suficiente, así que procedimos a comprar 03 racimos de plátano.

Los procedimientos se describen a continuación:

Selección y pelado

Se seleccionó la cáscara en óptimo estado de madurez para evitar su descomposición pronta y garantizar una operación de secado del material en condiciones adecuadas. Se recolectó una muestra inicial de 20 kilogramos de cáscara de plátano maduro, el cual tuvo un 15 % de rendimiento al elaborar la harina de cáscara de plátano.

Trozado

Se desmenuzó las cáscaras manualmente en pedazos de trozos 10 – 15 cm² de superficie, esto con el fin de facilitar su manipulación en las etapas posteriores del secado y la molienda manual.

Secado

Una vez seleccionado y trozado las cáscaras de plátano, se procedió al secado de las mismas, en este caso se procedió a secar de manera natural, a temperatura de ambiente durante dos meses.

Molienda

Se procedió a moler mecánicamente los pedazos de trozos de cáscara de plátano secos en un molino artesanal.

Los análisis de muestras de agua, se realizaron en el Laboratorio de Biología y Química de la Facultad Ecología UNSM-T, con la ayuda del asesor de tesis.

Se siguieron los siguientes procedimientos:

Secado de la harina de cáscara de plátano en una estufa de laboratorio con temperaturas variables de 90, 100, 110 y 120 °C.

Esterilización de los instrumentos: vaso de precipitado de 100 ml, vaso plástico, jarra de 2 litros, recipientes plásticos de 1 litro y pipetas graduales de 5 mL y 10 mL.

Preparación de los equipos: Estufa, Colorímetro DR 900, balanza analítica; así mismo los reactivos FerroZine para medir la cantidad de hierro, Periodate de Sodio y un buffer para medir la cantidad de manganeso.

Los análisis de las muestras de agua extraída de pozo del Barrió Miramayo, muestras de agua después de pasar por el filtro casero sin o con harina de cáscara de plátano, se realizaron con el equipo Colorímetro DR 900, el cual tiene un frasco de 10 mL para la medición de las muestras.

Para medir la cantidad de hierro, se agregó la muestra de agua 10 mL dentro del frasco utilizando las pipetas, luego para medir la cantidad de Hierro se agregó una unidad del reactivo FerroZine, se agito y se dejó reposar 1.0 min aproximadamente para poder poner el frasco dentro del Colorímetro DR 900, se programó el equipo para medir hierro y se colocó la muestra dentro, obteniendo la lectura del total de hierro presente en la muestra. En total se realizaron 32 pruebas.

Para medir la cantidad de Manganeso, se agregó la muestra de agua 10 mL dentro del frasco utilizando las pipetas, luego se agregó una unidad del reactivo Periodate de Sodio, se agito y se dejó reposar 1.0 min aproximadamente, pasado el minuto se agregó una unidad de buffer, se agito para luego colocar el frasco dentro del Colorímetro DR 900, se programó el equipo para medir Manganeso y pusimos la muestra dentro, obteniendo la lectura del total de manganeso presente en la muestra. En total se realizaron 32 pruebas.

Para determinar la cantidades adsorbidas de hierro y manganeso, después de los resultados obtenidos en el laboratorio, se procedió a comparar el resultado de la muestra inicial con los resultados finales después de los tratamientos.

También, se procedió a determinar el mejor tratamiento, para lo cual se determinó el mayor resultado de adsorción en ambos parámetros.

El procesamiento, análisis e interpretación de datos se realizó a través de la estadística descriptiva e inferencial mediante el software estadístico IBM SPSS.

Los datos son presentados mediante tablas y figuras estadísticas de todas las pruebas realizadas.

Se utilizó la estadística inferencial mediante la aplicación de la prueba estadística TUKEY para contrastar la hipótesis a un nivel de confianza de 95%.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Construcción del filtro casero de grava, arena y harina de cáscara de plátano *Musa spp* (adsorbente) para adsorber el hierro y manganeso del agua

Construcción del filtro casero

En la construcción del filtro casero, se tomó como referencia la investigación del diseño de filtro casero para tratamiento del agua de consumo humano en comunidades indígenas de Guatemala, Proceso de transferencia tecnológica Nicaragua – Guatemala. Ver tabla 6.

En el Perú no existe una normativa vigente sobre el diseño y construcción de filtro caseros de agua para consumo humano, la normativa existente para la zona rural de nuestro país es la RM N° 192-2018-VIVIENDA, la cual establece criterios técnicos y diseños de estructuras hidráulicas para el tratamiento del agua para consumo humano a nivel de pequeñas poblaciones menores a 2000 habitantes.

Tabla 6.

Dimensionamiento de filtros caseros de agua potable

Descripción	Unidades	Diámetros de recipientes (m)	
		0.20 -0.30	0.30 – 0.40
Área de filtración	m ²	0.020 – 0.071	0.071 – 0.13
Caudal de filtración real	L/h	2.0 – 4.0	4.0 – 25.0
Coronamiento (borde de seguridad)	m	0.03	0.03
Altura para recibir 3 litros	m	0.05	0.05
Arena fina 0.5 – 1.0 mm	m	0.1 - 0.30	0.30 – 0.40
Grava ¼”	m	0.05 – 0.10	0.05 – 0.10
Grava ½”	m	0.05 – 0.10	0.05 – 0.10

Fuente: Diseño de filtro casero para tratamiento del agua de consumo humano en comunidades indígenas de Guatemala, Proceso de transferencia tecnológica Nicaragua – Guatemala.

De la tabla anterior, se optó por elegir un recipiente circular comprendido entre los rangos de 0.20 a 0.30 m, ya que se adapta a la realidad de las familias del barrio Miramayo en cuanto a la dotación diaria que consumen.

En el siguiente cuadro se observa que se construyeron 8 tipos de filtros con diferentes cantidades de material filtrante, variando solo la harina de cáscara de plátano *Musa spp* (1.00 – 6.00 cm). Ver tabla 7 y Anexo C.

Tabla 7

Alturas de los materiales filtrantes

Filtros	Altura del material filtrante (cm)			
	harina cáscara de plátano	Arena cuarzosa 0.5 – 1.0 mm.	Grava cuarzosa ¼"	Grava cuarzosa ½"
1	1.00	12.00	6.00	6.00
2	1.50	12.00	6.00	6.00
3	2.00	12.00	6.00	6.00
4	2.50	12.00	6.00	6.00
5	3.00	12.00	6.00	6.00
6	3.50	12.00	6.00	6.00
7	4.50	12.00	6.00	6.00
8	6.00	12.00	6.00	6.00

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo B, se muestran algunas fotografías del filtro normal y con diferentes cantidades de harina de cáscara de plátano *Musa spp* sometidas a temperaturas variables descritas anteriormente.

También se ha representado en un plano la construcción del filtro casero. Ver Anexo C.

3.1.2. Evaluación de la eficiencia en diferentes concentraciones y temperaturas de la harina de cáscara de plátano (*Musa spp*)

Parámetros iniciales del pozo de agua subterránea en el barrio Miramayo, Yantaló – Moyobamba

Se ha tomado la muestra, de la cual se han medido los parámetros de hierro y manganeso, sin pasar por el filtro casero con lecho filtrante de harina de cáscara de plátano, para compararlo con los LMP de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA. Ver figura 6.

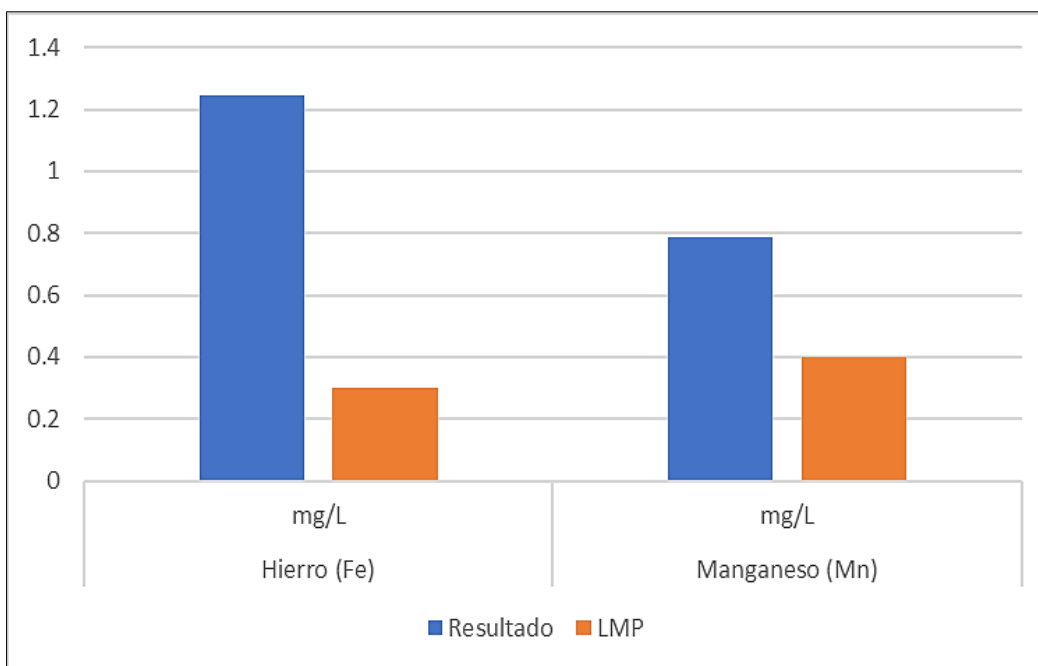


Figura 6. Parámetros iniciales del agua de pozo subterránea.

Interpretación:

El agua del pozo subterránea en el barrio Miramayo, Yantaló – Moyobamba, sin tratamiento ha demostrado superar los Límites Máximos Permisibles en lo se refiere al hierro y manganeso, establecidos en la normativa actual vigente D.S. N° 031-2010-SA. Reglamento de calidad de agua para consumo humano. En cuanto a los parámetros analizados, la muestra de agua tiene un valor de 1.246 mg/L de hierro (Fe), supera el LMP 0.3 mg/L de Fe que nos establece el D.S. N° 031-2010-SA; en lo que se refiere al parámetro de Manganeseo (Mn), se encuentra presente en el agua con un valor de 0.789 mg/L, superando el LMP 0.4 mg/L de Mn que nos establece el D.S. N° 031-2010-SA.

Para evaluar la eficiencia se ha usado un tratamiento físico de filtración a través de un filtro casero, para el cual se han realizado varios ensayos, variando la concentración o cantidad (100, 150, 200, 250, 250, 300, 350, 400 y 450 gr) del lecho filtrante de harina de cáscara plátano musa spp, y la temperatura (90, 100, 110 y 120 °C), hasta obtener la cantidad y temperatura óptima, como se muestra en los siguientes ensayos (figuras 11 al 18).

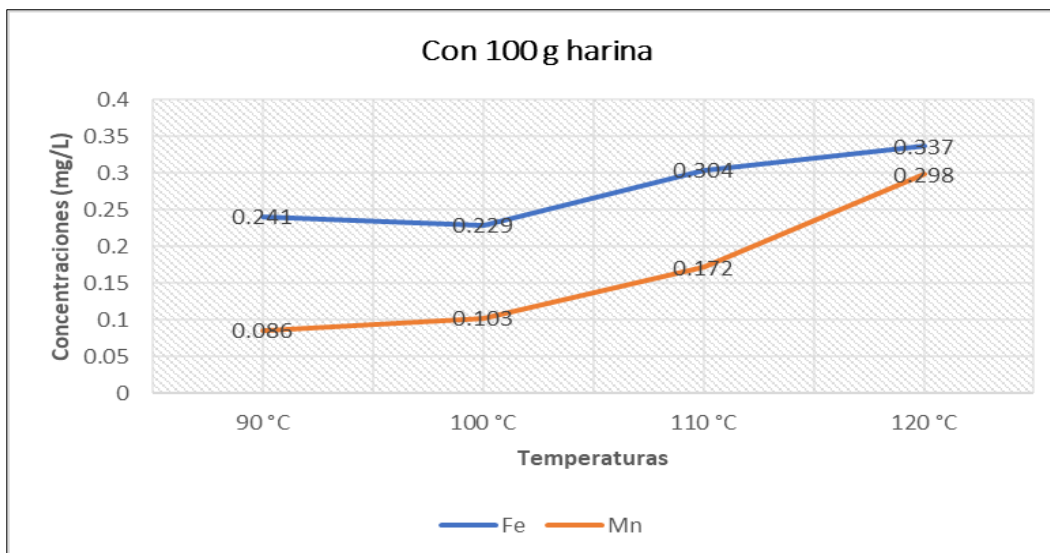


Figura 7. Primer ensayo con 100 gramos de harina cáscara de plátano.

Interpretación:

Se obtuvo resultados favorables en la adsorción de los parámetros de hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) del agua de pozo medidos inicialmente: a una temperatura de 90 °C la medición de Fe es 0.241 mg/L y Mn 0.086 mg/L; a 100°C la medición de Fe es 0.229 mg/L y Mn 0.103 mg/L; a 110°C la medición de Fe es 0.304 mg/L y Mn 0.172 mg/L; y a 120°C la medición de Fe es 0.337 mg/L y Mn 0.298 mg/L.

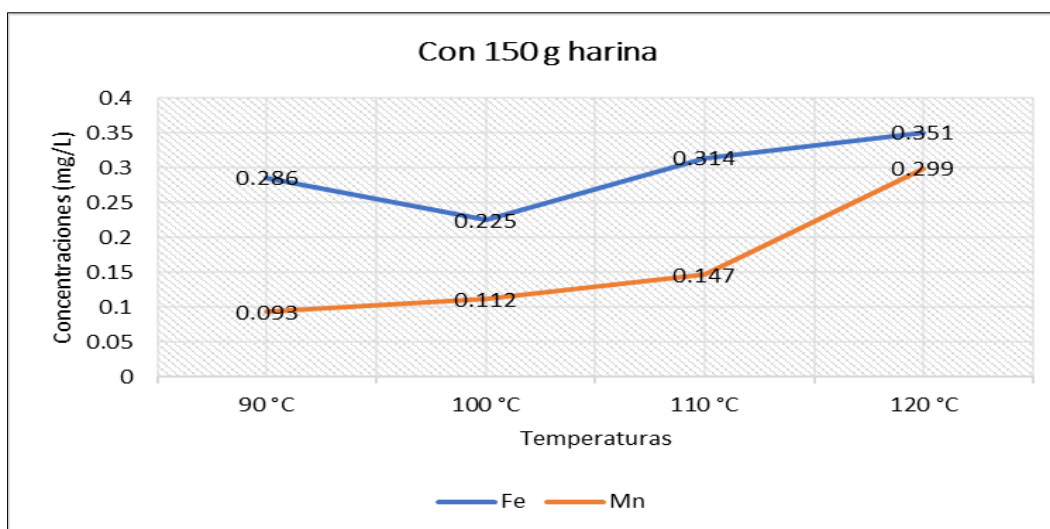


Figura 8. Segundo ensayo con 150 gramos de harina cáscara de plátano.

Interpretación:

Se obtuvo resultados favorables en la adsorción de los parámetros de hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) del agua de pozo medidos inicialmente: a una temperatura de 90 °C la

medición de Fe es 0.286 mg/L y Mn 0.093 mg/L; a 100°C la medición de Fe es 0.225 mg/L y Mn 0.112 mg/L; a 110°C la medición de Fe es 0.314 mg/L y Mn 0.147 mg/L; y a 120°C la medición de Fe es 0.351 mg/L y Mn 0.299 mg/L.

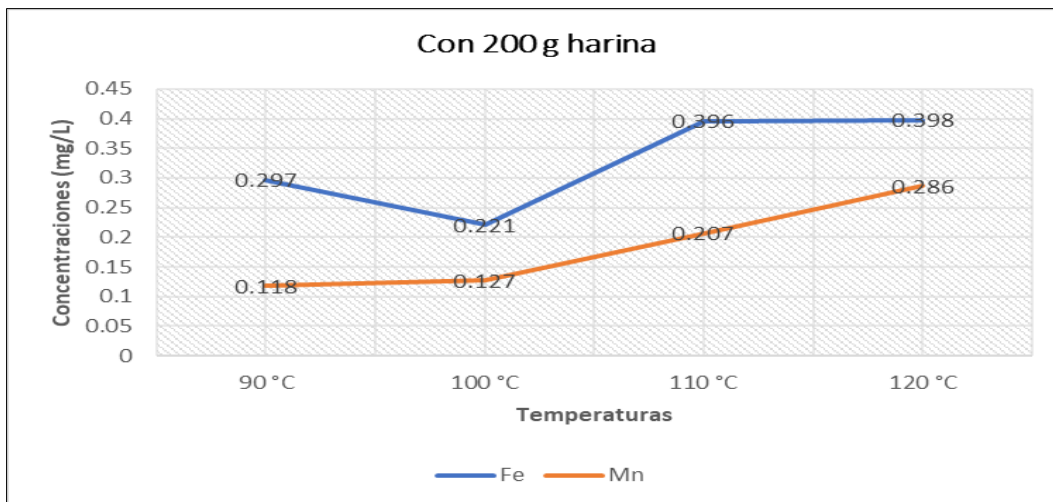


Figura 9. Tercer ensayo con 200 gramos de harina cáscara de plátano.

Interpretación:

Se obtuvo resultados favorables en la adsorción de los parámetros de hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) del agua de pozo medidos inicialmente: a una temperatura de 90 °C la medición de Fe es 0.297 mg/L y Mn 0.118 mg/L; a 100°C la medición de Fe es 0.221 mg/L y Mn 0.127 mg/L; a 110°C la medición de Fe es 0.396 mg/L y Mn 0.207 mg/L; y a 120°C la medición de Fe es 0.398 mg/L y Mn 0.286 mg/L.

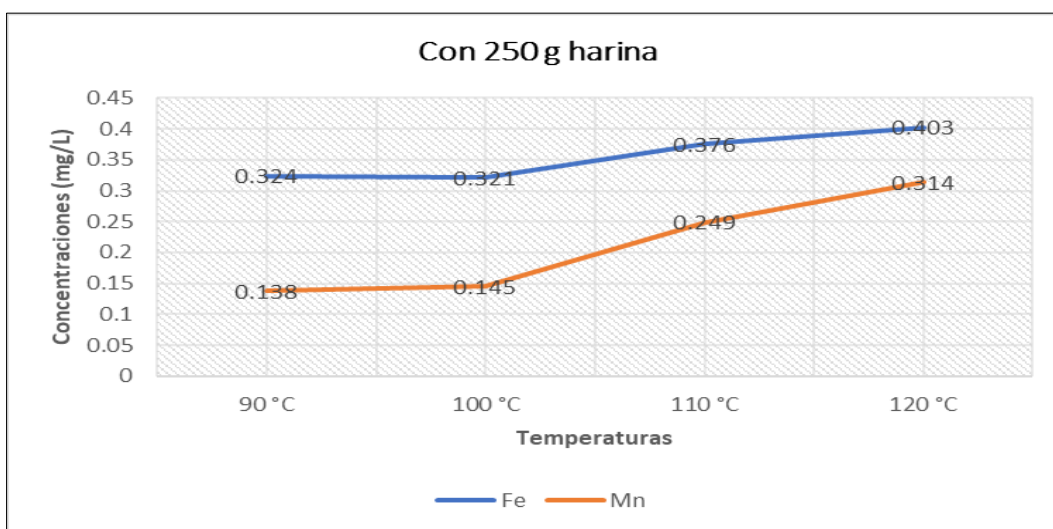


Figura 10. Cuarto ensayo con 250 gramos de harina cáscara de plátano.

Interpretación:

Se obtuvo resultados favorables en la adsorción de los parámetros de hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) del agua de pozo medidos inicialmente: a una temperatura de 90 °C la medición de Fe es 0.324 mg/L y Mn 0.1138 mg/L; a 100°C la medición de Fe es 0.321 mg/L y Mn 0.145 mg/L; a 110°C la medición de Fe es 0.376 mg/L y Mn 0.249 mg/L; y a 120°C la medición de Fe es 0.403 mg/L y Mn 0.314 mg/L.

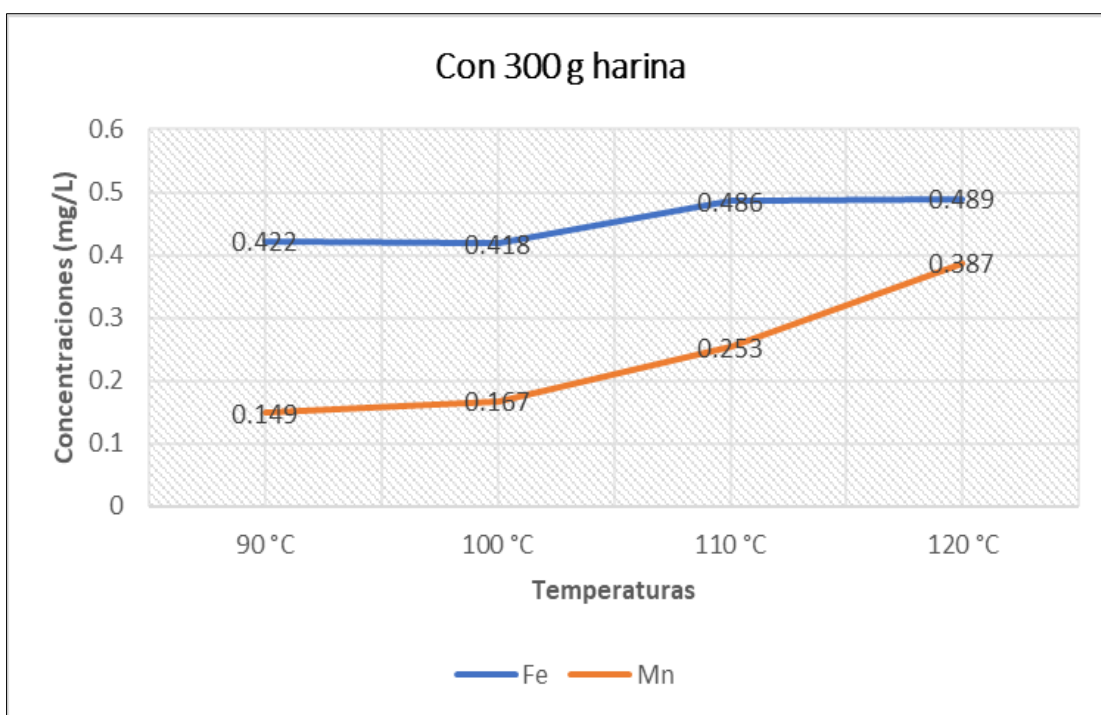


Figura 11. Quinto ensayo con 300 gramos de harina cáscara de plátano.

Interpretación:

Se obtuvo resultados favorables en la adsorción de los parámetros de hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) del agua de pozo medidos inicialmente: a una temperatura de 90 °C la medición de Fe es 0.422 mg/L y Mn 0.149 mg/L; a 100°C la medición de Fe es 0.418 mg/L y Mn 0.167 mg/L; a 110°C la medición de Fe es 0.486 mg/L y Mn 0.253 mg/L; y a 120°C la medición de Fe es 0.489 mg/L y Mn 0.387 mg/L.

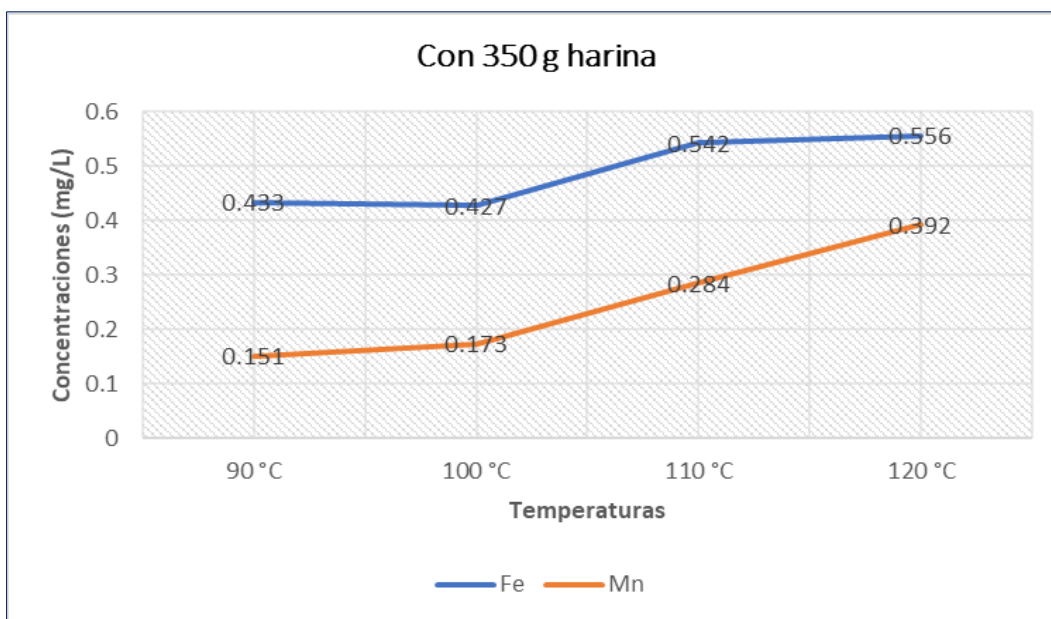


Figura 12. Sexto ensayo con 350 gramos de harina cáscara de plátano.

Interpretación:

Se obtuvo resultados favorables en la adsorción de los parámetros de hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) del agua de pozo medidos inicialmente: a una temperatura de 90 °C la medición de Fe es 0.433 mg/L y Mn 0.151 mg/L; a 100°C la medición de Fe es 0.427 mg/L y Mn 0.173 mg/L; a 110°C la medición de Fe es 0.542 mg/L y Mn 0.284 mg/L; y a 120°C la medición de Fe es 0.556 mg/L y Mn 0.392 mg/L.

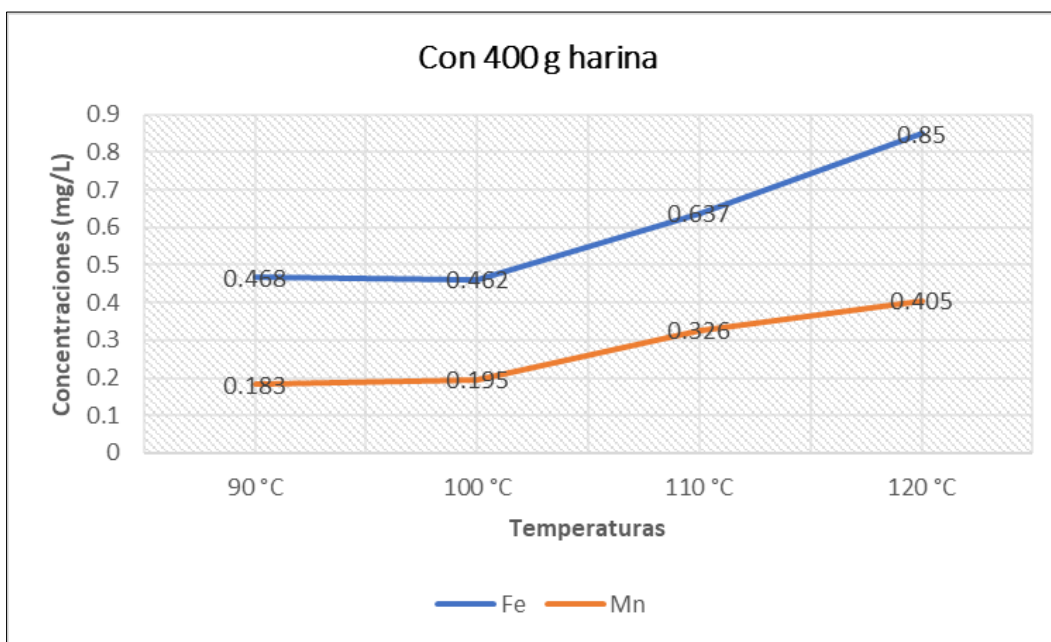


Figura 13. Séptimo ensayo con 400 gramos de harina cáscara de plátano.

Interpretación:

Se obtuvo resultados favorables en la adsorción de los parámetros de hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) del agua de pozo medidos inicialmente: a una temperatura de 90 °C la medición de Fe es 0.468 mg/L y Mn 0.183 mg/L; a 100°C la medición de Fe es 0.462 mg/L y Mn 0.195 mg/L; a 110°C la medición de Fe es 0.637 mg/L y Mn 0.326 mg/L; y a 120°C la medición de Fe es 0.85 mg/L y Mn 0.405 mg/L.

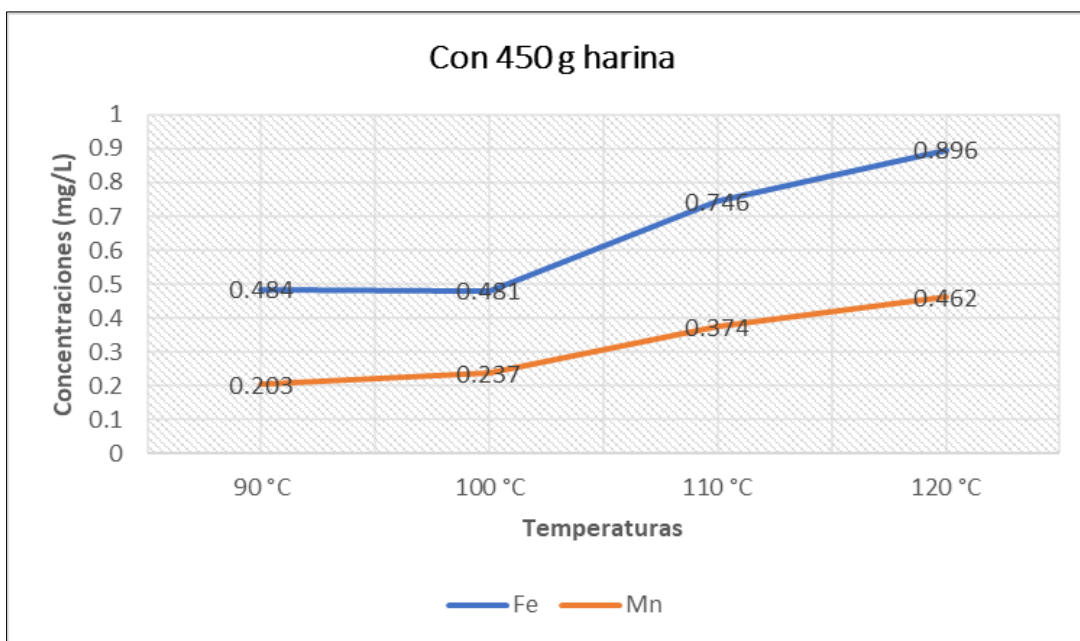


Figura 14. Octavo ensayo con 450 gramos de harina cáscara de plátano.

Interpretación:

Se obtuvo resultados favorables en la adsorción de los parámetros de hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) del agua de pozo medidos inicialmente: a una temperatura de 90 °C la medición de Fe es 0.484 mg/L y Mn 0.203 mg/L; a 100°C la medición de Fe es 0.481 mg/L y Mn 0.237 mg/L; a 110°C la medición de Fe es 0.746 mg/L y Mn 0.374 mg/L; y a 120°C la medición de Fe es 0.896 mg/L y Mn 0.462 mg/L.

Después de pasar por el filtro casero con harina de cáscara de plátano *Musa spp* a diferentes concentraciones y temperaturas, los resultados se resumen a continuación. Ver figura 7.

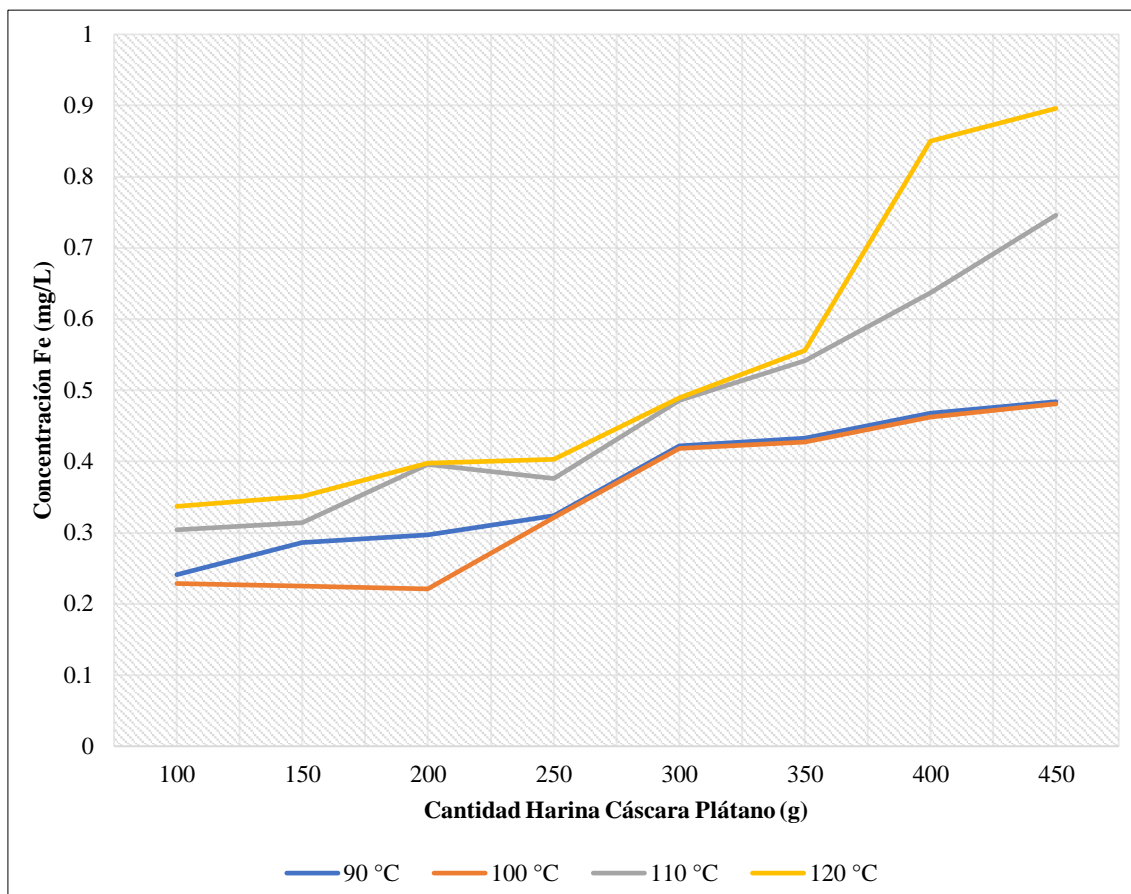


Figura 15. Resumen de resultados del Hierro (Fe).

Interpretación:

Realizado todos los ensayos con diferentes masas y temperaturas sometidas a la harina de cáscara de plátano *Musa spp*, para el parámetro de Hierro (Fe), se observa que a temperaturas de 90 °C, 110 °C y 120 °C, a mayor cantidad de lecho filtrante, menor es la adsorción; hasta los 100 °C y mayor cantidad de lecho filtrante hasta los 200 g, mayor es la adsorción, pero a partir de los 250 g, la adsorción es menor.

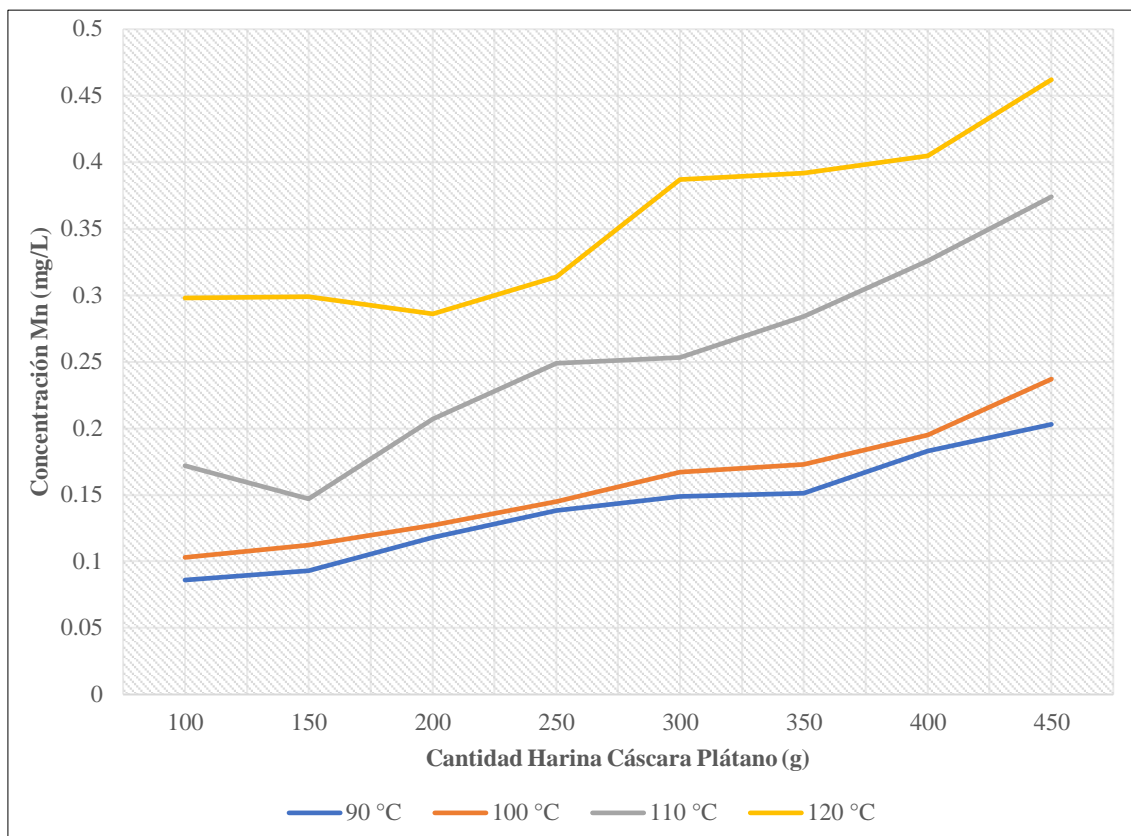


Figura 16. Resumen de resultados del Manganeso (Mn).

Interpretación:

Realizado todos los ensayos con diferentes masas y temperaturas sometidas a la harina de cáscara de plátano *Musa spp*, para el parámetro de Manganeso (Mn), se observa que, a temperaturas de 90 °C, 100 °C, 110 °C y 120 °C, a mayor cantidad de lecho filtrante, menor es la adsorción.

3.1.3. Determinación de la cantidad de Hierro y Manganeso adsorbidos por el filtro casero

Después de pasar por el filtro casero con harina de cáscara de plátano *musa spp*, a diferentes concentraciones y temperaturas, se resume, compara y se presenta las cantidades de hierro y manganeso adsorbidos con respecto al resultado inicial. Ver tablas 8 y 9.

Tabla 8*Cantidades adsorbidas de Hierro (Fe)*

Resultado Inicial Fe (mg/L)	Harina cáscara plátano (g)	Resultado Final Hierro en agua (mg/L)				Cantidades de Hierro adsorbidos en agua (mg/L)			
		Temperaturas °C							
		90	100	110	120	90	100	110	120
1.246	100	0.241	0.229	0.304	0.337	1.005	1.017	0.942	0.909
	150	0.286	0.225	0.314	0.351	0.96	1.021	0.932	0.895
	200	0.297	0.221	0.396	0.398	0.949	1.025	0.85	0.848
	250	0.324	0.321	0.376	0.403	0.922	0.925	0.87	0.843
	300	0.422	0.418	0.486	0.489	0.824	0.828	0.76	0.757
	350	0.433	0.427	0.542	0.556	0.813	0.819	0.704	0.69
	400	0.468	0.462	0.637	0.85	0.778	0.784	0.609	0.396
	450	0.484	0.481	0.746	0.896	0.762	0.765	0.5	0.35

Tabla 9*Cantidades adsorbidas de Manganeso (Mn)*

Resultado Inicial Mn (mg/L)	Harina cáscara plátano (g)	Resultado final Manganeso en agua (mg/L)				Cantidades de Manganeso adsorbidos en agua (mg/L)			
		Temperaturas °C							
		90	100	110	120	90	100	110	120
0.789	100	0.086	0.103	0.172	0.298	0.703	0.686	0.617	0.491
	150	0.093	0.112	0.147	0.299	0.696	0.677	0.642	0.49
	200	0.118	0.127	0.207	0.286	0.671	0.662	0.582	0.503
	250	0.138	0.145	0.249	0.314	0.651	0.644	0.54	0.475
	300	0.149	0.167	0.253	0.387	0.64	0.622	0.536	0.402
	350	0.151	0.173	0.284	0.392	0.638	0.616	0.505	0.397
	400	0.183	0.195	0.326	0.405	0.606	0.594	0.463	0.384
	450	0.203	0.237	0.374	0.462	0.586	0.552	0.415	0.327

Con los resultados anteriores, se determinó el mejor tratamiento para la adsorción de hierro y manganeso. Ver figuras 17 y 18.

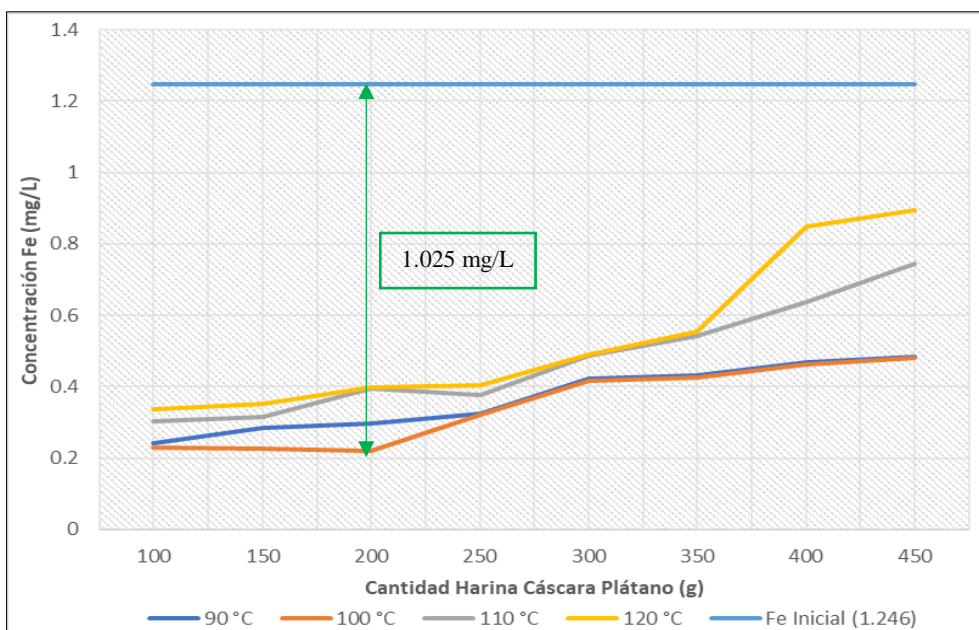


Figura 17. Mejor tratamiento para adsorción de Hierro (Fe).

Interpretación:

Se puede observar que el resultado de la medición del parámetro inicial de Hierro (Fe) es 1.246 mg/L. De los resultados obtenidos después de la aplicación del filtro casero con lecho filtrante de harina cáscara de plátano *Musa spp*, el mejor resultado (0.221 mg/L de Fe) es con 200 g y sometido a una temperatura de 100 °C. En el mejor resultado la cantidad adsorbida es 1.025 mg/L, esto representa un 82.26 % de adsorción del hierro presente en el agua tratada.

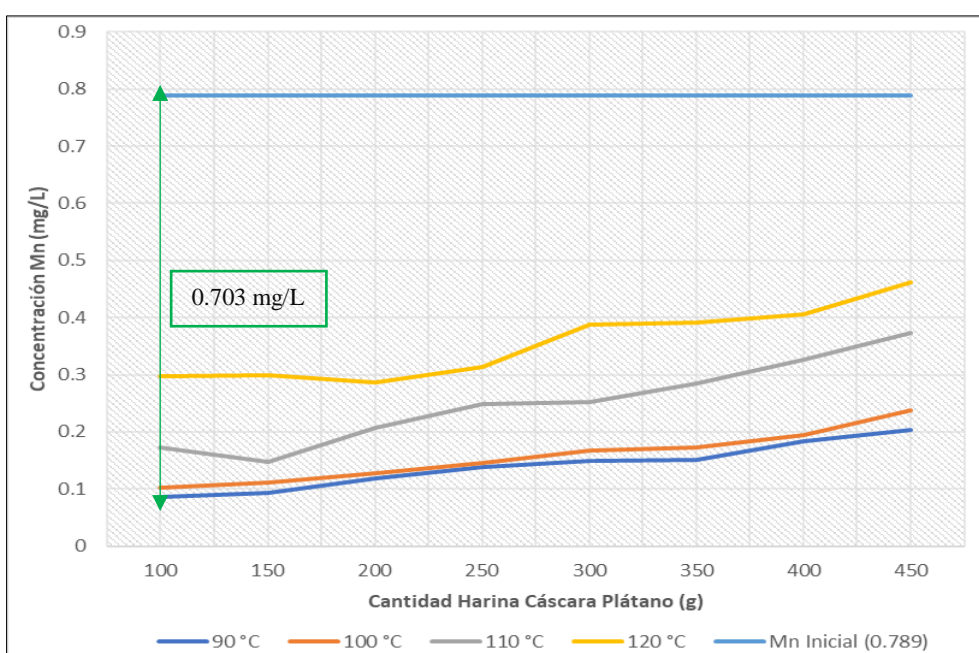


Figura 18. Mejor tratamiento para adsorción de Manganese (Mn).

Interpretación:

Se puede observar que el resultado de la medición del parámetro inicial de Manganeseo (Mn) es 0.789 mg/L. De los resultados obtenidos después de la aplicación del filtro casero con lecho filtrante de harina cáscara de plátano *Musa spp*, el mejor resultado (0.086 mg/L de Mn) es con 100 g y sometido a una temperatura de 90 °C. En el mejor resultado la cantidad adsorbida es 0.703 mg/L, esto representa un 89.1 % de adsorción del hierro presente en el agua tratada.

3.2. Comprobación de la hipótesis

La prueba estadística que se aplicó para validar los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, correspondientes a las concentraciones de Fe y Mn se realizó usando el diseño de bloques completamente aleatorios (DBCA) a través del software IBM SPSS.

3.2.1. Hipótesis estadística**Hipótesis nula (H_0):**

H_0 : “Utilizando un filtro casero elaborado con harina de cáscara de plátano *Musa spp*, no adsorbe eficientemente el hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba – San Martín”.

Hipótesis alterna (H_1):

H_1 : “Utilizando un filtro casero elaborado con harina de cáscara de plátano *Musa spp*, adsorbe eficientemente el hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba – San Martín”.

3.2.2. Pruebas estadísticas

Regla de decisión:

Si el Valor p (Sig) $\geq \alpha$ (0.05) se acepta la hipótesis nula (H_0).

Si el valor p (Sig) $< \alpha$ (0.05) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

ANOVA para Fe y Mn

Determinamos el mejor tratamiento, o la concentración y temperatura más eficiente con la cual permita cumplir con los LMP.

Significancia del modelo:

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8$ (Los tratamientos no varían)

$H_1: \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4 \neq \beta_5 \neq \beta_6 \neq \beta_7 \neq \beta_8$ (Los tratamientos al menos dos son diferentes)

Tabla 10

Pruebas de efectos inter-sujetos Fe

Variable dependiente: Fe						
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	
Modelo corregido	0.752	10	0.075	15.708	0.000	
Interceptación	5.969	1	5.969	1246.318	0.000	
Concentración	0.565	7	0.081	16.845	0.000	
Temperatura	0.188	3	0.063	13.056	0.000	
Error	0.101	21	0.005			
Total	6.821	32				
Total corregido	0.853	31				

Fuente: Software IBM SPSS.

Como Sig. = 0.000 < 0.05, se rechaza la H_0 , los tratamientos en bloques correspondiente al Fe varían al menos en 2, por lo tanto el modelo es significativo.

Tabla 11

Pruebas de efectos inter-sujetos Mn

Variable dependiente: Mn						
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	
Modelo corregido	0.323	10	0.032	75.221	0.000	
Interceptación	1.636	1	1.636	3814.230	0.000	
Concentración	0.087	7	0.012	28.920	0.000	
Temperatura	0.236	3	0.079	183.256	0.000	
Error	0.009	21	0.000			
Total	1.967	32				
Total corregido	0.332	31				

Fuente: Software IBM SPSS.

Como Sig. = 0.000 < 0.05, se rechaza la H_0 , los tratamientos en bloques correspondiente al Mn varían al menos en 2, por lo tanto el modelo es significativo.

TUKEY para Fe y Mn**Tabla 12***TUKEY para Fe (concentración)*

Concentración	N	Tukey				
		Subconjunto				
		1	2	3	4	5
C1	4	0.27775				
C2	4	0.29400	0.29400			
C3	4	0.32800	0.32800	0.32800		
C4	4	0.35600	0.35600	0.35600		
C5	4		0.45375	0.45375	0.45375	
C6	4			0.48950	0.48950	0.48950
C7	4				0.60425	0.60425
C8	4					0.65175

Fuente: Software IBM SPSS.

Tabla 13*TUKEY para Fe (temperatura)*

Temperatura	N	Tukey	
		Subconjunto	
		1	2
T2	8	0.34800	
T1	8	0.36938	
T3	8		0.47513
T4	8		0.53500

Fuente: Software IBM SPSS.

Conclusión: A una C1 (100 g) y a la T2 (100°C) se recomienda para obtener un tratamiento eficiente y cumplir con las concentraciones por debajo de los LMP.

Tabla 14*TUKEY Para Mn (concentración)*

Concentración	N	Tukey			
		Subconjunto			
		1	2	3	4
C2	4	0.16275			
C1	4	0.16475			
C3	4	0.18450			
C4	4	0.21150	0.21150		
C5	4		0.23900	0.23900	
C6	4		0.25000	0.25000	
C7	4			0.27725	0.27725
C8	4				0.31900

Fuente: Software IBM SPSS.

Tabla 15*TUKEY para Mn (temperatura)*

Temperatura	N	Tukey		
		Subconjunto		
		1	2	3
T1	8	0.14013		
T2	8	0.15738		
T3	8		0.25150	
T4	8			0.35538

Fuente: Software IBM SPSS.

Conclusión: A una C2 (150 g) y a la T1 (90°C) se recomienda para obtener un tratamiento eficiente y cumplir con las concentraciones por debajo de los LMP.

Validación del modelo**Diseño: Interceptación + concentración + temperatura**

Prueba de normalidad de errores - Shapiro-Wilk

H₀: Los residuales tienen una distribución normal.H₁: Los residuales no tienen una distribución normal.**Tabla 16***Pruebas de normalidad*

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Residuo para Fe	0.107	32	0.200	0.954	32	0.189
Residuo para Mn	0.127	32	0.200	0.966	32	0.403

Fuente: Software IBM SPSS.

El nivel de significancia Sig > α (0,189>0,05) (0,403>0,05) en ambos casos, entonces se acepta la H₀, es decir los residuales tienen una distribución normal.

Homogeneidad de varianzas

H₀: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2 = \sigma_7^2 = \sigma_8^2$ (varianzas son homogéneas)H₁: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \sigma_3^2 \neq \sigma_4^2 \neq \sigma_5^2 \neq \sigma_6^2 \neq \sigma_7^2 \neq \sigma_8^2$ (Varianzas no son homogéneas)

Tabla 17***Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error***

Variable dependiente: Mn			
F	df1	df2	Sig.
0.00	31	0	0.000

Fuente: Software IBM SPSS.

Tabla 18***Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error***

Variable dependiente: Fe			
F	df1	df2	Sig.
0.00	31	0	0.000

Fuente: Software IBM SPSS.

Por lo tanto se acepta la H_1 , es decir las varianzas no son homogéneas en ambos casos, dado que $\text{Sig.} < \alpha$ ($0.000 < 0.05$).

3.2.3. Conclusión de la hipótesis

A un nivel de significancia del 5%, existe evidencias estadísticas para afirmar que los resultados con diferentes concentraciones y temperaturas para hierro (Fe) y manganeso (Mn) presentan diferentes comportamientos, es decir, se ha obtenido una eficiencia frente a un diseño de bloques completamente aleatorios (DBCA) con respecto a los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Por lo tanto, este resultado nos permite declarar parcialmente verdadera nuestra hipótesis de investigación: *“Utilizando un filtro casero elaborado con harina de cáscara de plátano *musa spp*, adsorbe eficientemente el hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba – San Martín”*.

3.3. Discusiones

En su trabajo de investigación Boniolo (2005), demostró la biosorción de uranio, utilizando la cáscara del plátano molido en partículas pequeñas, la harina de cáscara de plátano demostró ser un biosorbente eficaz con grandes perspectivas de aplicación en una sola etapa de equilibrio de 40 minutos y utilizando la cáscara solución en relación de uranio / plátano 2: 0,050 (mL: g), elimina más del 50% de UO_2^{2+} de 100 mg solución L de nitrato de uranio. El aumento de la temperatura es desfavorable en el proceso de adsorción de uranio y la capacidad máxima de adsorción reducirá de 14 a 10 mg de uranio cuando se elevó de 30 a

50 °C. En la presente investigación, se utilizó cáscara de plátano molido y utilizado en un filtro casero como material filtrante para adsorber hierro y manganeso de agua destinada para consumo humano, los resultados fueron positivos y tienen relación con el estudio de Boniolo, en relación a las pruebas con aumento de temperatura, en nuestro caso se comprobó que a una temperatura de 100 °C de la harina de cáscara de plátano *Musa spp*, mayor es la eficiencia en la adsorción de los metales Hierro y manganeso para una concentración/cantidad de 200 g de harina de cáscara de plátano *Musa spp*, el aumento de la cantidad de harina de cáscara de plátano *Musa spp* es desfavorable en la adsorción de hierro y manganeso.

En su trabajo de investigación Castro (2015), “Uso de la cáscara de banano (*musa paradisiaca*) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas”. Se experimentó variando dos parámetros: el tamaño de partícula de la cáscara de banano (845 μm , 400 μm y 250 μm) y la cantidad del polvo de cáscara de banano (10, 15 y 20 g/L); de acuerdo con los resultados en dicha investigación, se encontró que con la relación de 20 g/L, se obtuvieron los porcentajes mayores de remoción, los cuales fueron de 80 % Pb del y 51,2 % del Cr, respectivamente. En el caso del plomo, al aumentar la concentración de la cáscara de banano, aumenta la capacidad de adsorción y el tamaño de la partícula no influye significativamente en el proceso, sin embargo en la adsorción del cromo a mayor tamaño mayor adsorción. En nuestro caso, trabajamos con 8 tipos de concentraciones 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 y 450 gr de harina de cáscara de plátano *musa spp*, y variamos la temperatura de la misma, con temperaturas de 90, 100, 110 y 120 °C. Coincidimos con Castro en relación a que con el aumento de la concentración de la harina de cáscara de plátano, mayor es la adsorción, pero en nuestro caso se cumple para el Hierro (Fe) hasta una concentración de 200 gr y una temperatura de 100 °C, a partir de los 250 gr y una temperatura mayor a los 110 °C, la eficiencia de adsorción es menor. Para el caso del Manganeso (Mn), la relación es inversamente proporcional, a menor cantidad de concentración harina cáscara de plátano y menor temperatura, mayor es la eficiencia de adsorción.

En su trabajo de investigación Caballero (2012), experimentó con el uso de la cáscara del banano (*Musa AAA*) variedad Williams la remoción de arsénico en el agua para consumo humano, concluye que el uso de un medio filtrante de cáscara de banano (*Musa AAA*) variedad Williams, es eficiente hasta en un 80% en muestras de agua con concentraciones

no mayores de 0.05 mg/L, así mismo absorbe 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. Coincidimos con la investigación de Caballero, con respecto al porcentaje de adsorción de los metales de hierro y manganeso presentes en agua de pozo para consumo humano, el porcentaje de adsorción del hierro fue de 82.26 % y del manganeso fue 89.1 %. También, coincidimos que con el uso frecuente del filtro casero con lecho filtrante de harina de cáscara de plátano *Musa spp*, en un tiempo de 15 días, no es posible volver a reutilizarlo debido a la saturación y la descomposición de la materia orgánica.

En la investigación de Padilla, et. Al (2014), compararon un proceso de filtración simple y múltiple para tratar agua subterránea con alto índice de fierro (Fe^{+2}). Los tratamientos fueron simple y compuesto. En la presente investigación, se ha diseñado un filtro casero con lecho de filtrante de harina de cáscara de plátano *Musa spp*, además, añadimos otros materiales filtrantes como son la arena y grava cuarzosa. Las conclusiones a las cuales llegaron Padilla, Leiva, y Flores, con respecto al tratamiento simple, es que permitió la disminución de la concentración de fierro (Fe^{+2}) 0-0.06 mg/L en el agua; con el tratamiento compuesto se logró valores de 0-0.01 mg/L en la concentración de fierro (Fe^{+2}). El tratamiento con filtración compuesta logró estabilizar el pH y disminuir la concentración de fierro (Fe^{+2}) con mayor eficiencia, por otro lado, las propiedades organolépticas del agua se vieron alteradas. En los resultados de esta investigación, coincidimos con la investigación de Padilla, Leiva, y Flores, el filtro diseñado si logró adsorber el hierro presente en el agua de pozo para consumo humano hasta en un 82.26 % (0.221 mg/L) y el manganeso hasta un 89.1 % (0.086 mg/L), sin embargo, debido a que la mayor composición de la harina de cáscara de plátano *musa spp* es orgánica, alteró las propiedades organolépticas de las muestras de agua.

CONCLUSIONES

Se logró construir un filtro casero con materiales filtrantes de arena cuarzosa con un diámetro de (0.5 – 1.0 mm) y un espesor de 0.12 m, grava cuarzosa con diámetros de ¼” con un espesor de 0.06 m, grava cuarzosa de ½” con un espesor de 0.06 m y harina de cáscara de plátano *Musa spp* con un espesor que varían desde los 0.00 a 0.06 m. Se construyó en un recipiente de PVC 20 L, con un diámetro de 0,3 m y una altura de 0,35 m, y un grifo de PVC para la salida del agua filtrada.

Las muestras de agua de pozo del barrio Miramayo, Yantaló – Moyobamba, antes de ser tratadas a través del filtro casero, fueron analizadas y se tuvo los siguientes resultados para los parámetros: Hierro: 1.246 mg/L de Fe y Manganeso: 0.789 mg/L de Mn. Se logró realizar diferentes pruebas de filtración, con cantidades variables de (100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 y 450 g de harina) sometidos a temperaturas variables (90, 100, 110 y 120 °C).

Los resultados muestran una mayor eficiencia en la adsorción del hierro en el siguiente caso: a una C1 (100 g) de harina de cáscara de plátano *Musa spp* y sometida a una T2 (100°C) se recomienda para obtener un tratamiento eficiente y cumplir con las concentraciones de Fe por debajo de los LMP (D.S N° 031-2010-SA) en agua para consumo humano. Para el caso del Manganeso: a una C2 (150 g) y a la T1 (90°C) se recomienda para obtener un tratamiento eficiente y cumplir con las concentraciones por debajo de los LMP (D.S N° 031-2010-SA) en agua para consumo humano.

El uso de un filtro casero con harina de cáscara de plátano *Musa spp*, si adsorbe eficientemente el hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló – Moyobamba – San Martín, dado que, al realizarse la comparación con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S N° 031-2010-SA, se obtuvieron concentraciones inferiores a 0.3 mg/L de Fe y 0.4 mg/L de Mn, por lo que queda validada y demostrada la efectividad del filtro casero en nuestra investigación.

Los resultados obtenidos utilizando un filtro casero con harina de cáscara de plátano *Musa spp*, arena y grava cuarzosa, fueron los esperados, logrando adsorber el 82.26 % de Fe y 89.1 % de Mn, en comparación con los parámetros de los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S N° 031-2010-SA, pero como la harina de cáscara de plátano es orgánico, la turbiedad de las muestras han superado los 5 UNT, la cual, para ser apta para consumo humano tendría que pasar por otro tratamiento.

RECOMENDACIONES

A la Municipalidad Distrital de Yantaló, brindar los servicios básicos como es el de acceder al servicio de agua potable a toda la población del barrio Miramayo, ya que la población de este barrio consume agua no apta para el consumo humano.

Para futuras investigaciones, experimentar con la harina de cáscara de plátano, la adsorción de otros metales pesados como el cromo, uranio, etc., en aguas residuales provenientes de diferentes tipos de industrias, para poder comprobar la efectividad en dichas aguas.

Éste filtro, puede ser empleado a una escala mayor, como parte del sistema de tratamiento de agua potable, para eso se debe implementar un sistema continuo con almacenamiento del agua antes y después del tratamiento.

Al público en general, diseñar y construir filtros caseros con diferentes materiales filtrantes, para adsorber el hierro y manganeso presentes en aguas subterráneas, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que consumen estas aguas.

A la UNSM – T, implementar en el laboratorio de Biología y Química un equipo Espectrofotómetro para realizar mejores ensayos y así obtener resultados óptimos y eficientes que garanticen una investigación más precisa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMIRTHARAJAH, Appiah. *Optimum expansion of sand filters during backwashing*. Unpublished phd thesis, State University of Science and Technology, Ames, Iowa, Iowa, 1971.
- AMIRTHARAJAH, A., CLEASBY, J. Predicting expansion of filters during backwashing. *Of the american water works association*. 1972, N°64, pp 52-59. ISSN 1551-8833.
- ANNADURAI, G., JUENG, R., & LEE, D. Adsorption of heavy metals from water using banana and orangepeels. *Water science and technology*, 2003, volumen 47, pp 185–190. ISSN 0273-1223.
- APHA, AWWA, WPCF. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Edición 17. Madrid, España: Editorial Díaz de Santos, S.A., 1992. ISBN 978-84-7978-031-9.
- ARBOLEDA, J. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Tomo I y II, 3ra edición. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, 2000. ISBN 978-958-41-0014-6.
- AVENDAÑO, N. *Remoción de hierro y manganeso*. Unidad de Vigilancia de la Salud y Ambiente. México. pp 1 – 4, 2004.
- AWWA. *Calidad y tratamiento del agua*. Tomo I, edición 5. España: McGraw-Hill Interamericana, 2002 ISBN 978-8448132101.
- AZÍZ, H., SMITH, P. The influence of ph and coarse media on manganese precipitation from water. *Water research*. 1992, vol 26, pp 853 – 855. ISSN 00431354.
- BONIOLO, M. Evaluación de la cascara de plátano para remover metales pesados. *Revista Fhola de Sao Paulo*. 2005, Universidad Federal de Sao Carlos, en Sao Paulo, Brazil. ISSN 2446-9394.
- CABALLERO ALVARADO, Vilma Margarita. *Evaluación del uso de la cascara de banano (Musa AAA) variedad Williams para la remoción de arsénico en el agua para consumo humano* [en línea]. Tesis para obtener el grado de magister de Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos, Guatemala 2012. [Consultado 14 de enero del 2017]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0417_MT.pdf

- CAMPO, J. *Agua subterránea recurso de vida*, CVC. Santiago de Cali, 2001.
- CAMP, T. Theory of water filtration. *Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles*. 1964, vol. 90, pp. 4-30. ISSN 0070063117.
- CASTRO PASTOR, Bismark. *Uso de la cáscara de banano (Musa paradisiaca) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas* [en línea]. Tesis para la obtención del título de magister en Impactos Ambientales. Universidad de Guayaquil, Ecuador, 2015. [Consultado 13 de enero del 2017]. Disponible en: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8641/1/Uso%20de%20cascara%20de%20banano_Dr.%20Castro.pdf
- CORREA, M., VELÁSQUEZ, J., & QUINTANA, G. Uncommon crop residues as Ni (II) and Cd(II) biosorbents. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2012, Volumen 51, N° 38, pp 12456-12462. ISSN 0888-5885.
- CRAFT, T. Review of rapid sand filtration theory. *Journal AWWA*. 1966, Atlanta, Georgia: 58 edición. ISSN 1551-8833.
- D.S. N° 031-2010-SA. *Reglamento de la calidad de agua para consumo humano*. Ministerio de salud. Dirección general de salud ambiental, Lima – Perú, 2011.
- DI BERNARDO, L., SABOGAL, L. *Selección de tecnologías de tratamiento de agua*. Volumen 1, 878 pag. Sao Carlos: Editora LDIBE LTDA, 2008. ISBN 978-85-62324-00-0.
- Estudio de análisis de calidad de agua. Realizado por la Micro Red de Salud del Distrito de Yantaló. Yantaló, Moyobamba, 2015.
- FAIR, G., GEYER, J., OKUN, D. *Water and waste water engineering*. 3rd edition. Editorail J.Wiley, 1984. ISBN 978-0-470-41192-6.
- HAARHOFF, J., CLEASBY, J. Biological and Physical mechanisms in slow sand filtration. chapter. *Filtration ASCE*. 1991, Paginas 34-98. ISSN 0733-9445.

- IOANNIS, A., ANASTASIOS, I. Biological treatment of Mn (II) and Fe (II) containing groundwater. *Water research*, 2004, volumen 38, paginas 1922-1932. ISSN 0043-1354.
- LUNA RODRÍGUEZ U. y otros. *Caracterización física y química de la cáscara de plátano, para la eliminación de hierro y manganeso en aguas provenientes de pozos profundos* [en línea]. Taller de investigación 2, instituto tecnológico de Tepic, México, 2013. [Consultado 13 de enero del 2017] Disponible en: http://www.academia.edu/13385751/CARACTERIZACION%20FISICA_Y_QUIMICA_DE_LA_CASCARA_DE_PLATANO_PARA_LA_ELIMINACION_DE_HIERRO_Y_MANGANESO_EN_AGUAS_PROVENIENTES_DE_POZOS_PROFUNDOS
- MCFARLAND, J, DOZIER, E. *Concentración de metales y minerales en las aguas subterráneas*. Barcelona, España. Editorial Cataluña, 2010.
- MÉNDEZ, K. Adsorción del cromo (VI) usando citrus sinensis como biomasa residual. *Biotechnology and Bioengineering*, 2008, volumen 67, página 1045-1054. ISSN 0006-3592.
- MONSALVE GIL, J., MEDINA DE PEREZ, V., RUIZ COLORADO, A. *Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y almidón de yuca* [en línea]. Grupo de bioprocesos-grupo de combustibles alternativos, universidad nacional de Colombia-sede Medellín Página 21-27, 2006. [Consultado 13 de enero del 2017]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v73n150/a02v73n150.pdf>
- MONTANHER, S., OLIVEIRA, E., ROLLENBERG, M. Removal of metal ions from aqueous solutions by sorption onto rice bran. *Journal of Hazardous Materials*. 2005 volumen 117, Páginas 89-254. ISSN 0304-3894.
- MUÑOZ CARPIO, J. *Bioadsorción de plomo (II) por cáscara de naranja "citrus cinensis" pretratada* [en línea]. Tesis de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú, 2007. [Consultado 12 de enero del 2017] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331669843_UNIVERSIDAD_NACIONAL_MAYOR_DE_SAN_MARCOS_FACULTAD_DE_QUIMICA_E_INGENIERIA

_QUIMICA_Biosorcion_de_plomo_II_por_cascara_de_naranja_citrus_cinensis_pret
ratada_TESIS_para_optar_el_Titulo_Profesional_de_Qui

NORMA TÉCNICA DE DISEÑO. *Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural*. R.M. N° 192-2018-VIVIENDA. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Lima – Perú, 2018.

ORELLANA, J, *Unidad temática N°6 Tratamientos de aguas* [en línea] .Universidad Tecnológica Nacional, Ingeniería Sanitaria, 2005. [Fecha de consulta 13 Enero 2017]. Disponible en:
https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf

PADILLA, B., LEIVA, D., FLORES, P. Comparación entre un proceso de filtración simple y múltiple para tratar agua subterránea con alto índice de hierro (fe+2) - Centro poblado Alianza, San Martín. *Ciencia Tecnología y Desarrollo*. 2014, volumen 1, número 2, Universidad peruana unión, Tarapoto-Perú, páginas 31 – 39. ISSN 2313-7991.

PETRUSEVSKI, B. Groundwater Resources & Treatment. *Research and technology*. 2003, volume 57, Pág. 5 – 20. ISSN 0003-7214.

PIÑA SOBERANIS, M., RIVERA HUERTA, M., RAMÍREZ GONZÁLES, A. *Remoción de Hierro y Manganeso en fuentes subterráneas de abastecimiento de agua potable mediante un proceso de adsorción-oxidación en continuo* [en línea]. Instituto Mexicano de tecnología del agua-Mexico, páginas 1 –9, 2005. [Fecha de consulta 13 Enero 2017]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/007.pdf>

POLANCO, Z. Plátano (*Musa spp*), cuidados de la planta. Propiedades del plátano [en línea]. *Paradise Sphynx*. 2017. [Fecha de consulta 12 Enero 2017] ISSN 2529-895X. Disponible en:
<https://naturaleza.paradise-sphynx.com/plantas/tipos-de-frutas/platano-musa.htm>

RENATA, S. And others. Banana Peel Applied to the Solid Phase Extraction of Copper and Lead from River Water [en línea]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2011, Volumen 50, número 6, pp 3446–3451 [Fecha de consulta 13 Enero 2017]. ISSN 0888-5885. DOI: 10.1021/ie101499e. Disponible en:
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie101499e>

- REYES NAVARRETE, M. y otros. *Metales pesados: importancia y análisis* [en línea]. Volumen 4, número 1. Repositorio del instituto politécnico nacional - Mexico: Editorial Vidsupra, páginas 22-25, 2012. [Fecha de consulta 12 Enero 2017]. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/8815>
- ROCHA, G. Tecnología para purificar agua contaminada con metales pesados y potencialmente tóxicos como plomo, cobre y cadmio. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2006, Universidad del Estado de São Paulo, Botucatu, Brazil. ISSN 0888-5885.
- SEADER, J., HENLEY, E. *Separation process principles*. 2da Edición. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006. ISBN 9780471464808.
- SOBSEY, M. *Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply* [en línea]. Ginebra: OMS, 2002. [Fecha de consulta 13 Enero 2017]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/67319>
- TAPIA, N. *Adsorción y Biosorción, mecanismo y principales modelos para describir el fenómeno de biosorción*, Proyecto Palma PUCP, Pag 35-50, 2002.
- TAPIA, N. Biosorbente de Pb (II) por cáscara de naranja, citrus sinensis, modificada. *Revista química*. volumen 5, número 2, página 48-53, 2003.
- Trabajo de Investigación, *diseño de filtro casero para tratamiento del agua de consumo humano en comunidades indígenas de Guatemala, proceso de transferencia tecnológica* [en línea]. Realizado por el Ministerio de Salud Pública de la República de Guatemala. Guatemala. Nicaragua – Guatemala 2002. [Fecha de consulta 13 Enero 2017]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsapi/e/paises/guatemala/filtro.pdf>
- VALENCIA ESPINOZA, C. *Química del Hierro y Manganeso en el Agua, Métodos de Remoción* [en línea]. Monografía previa a la obtención del título de ingeniero civil. Universidad de Cuenca-Ecuador, 2008. [Fecha de consulta 12 Enero 2017] Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/754/1/ti881.pdf>

VAN NESS, H., and others. *Introduction to chemical engineering thermodynamics* [en línea]. Eighth edition. New York: McGraw-Hill Education, 2018. [Fecha de consulta 13 Enero 2017]. ISBN 9781259696527. Disponible en:
https://www.academia.edu/37581875/INTRODUCTION_TO_CHEMICAL_ENGINEERING_THERMODYNAMICS

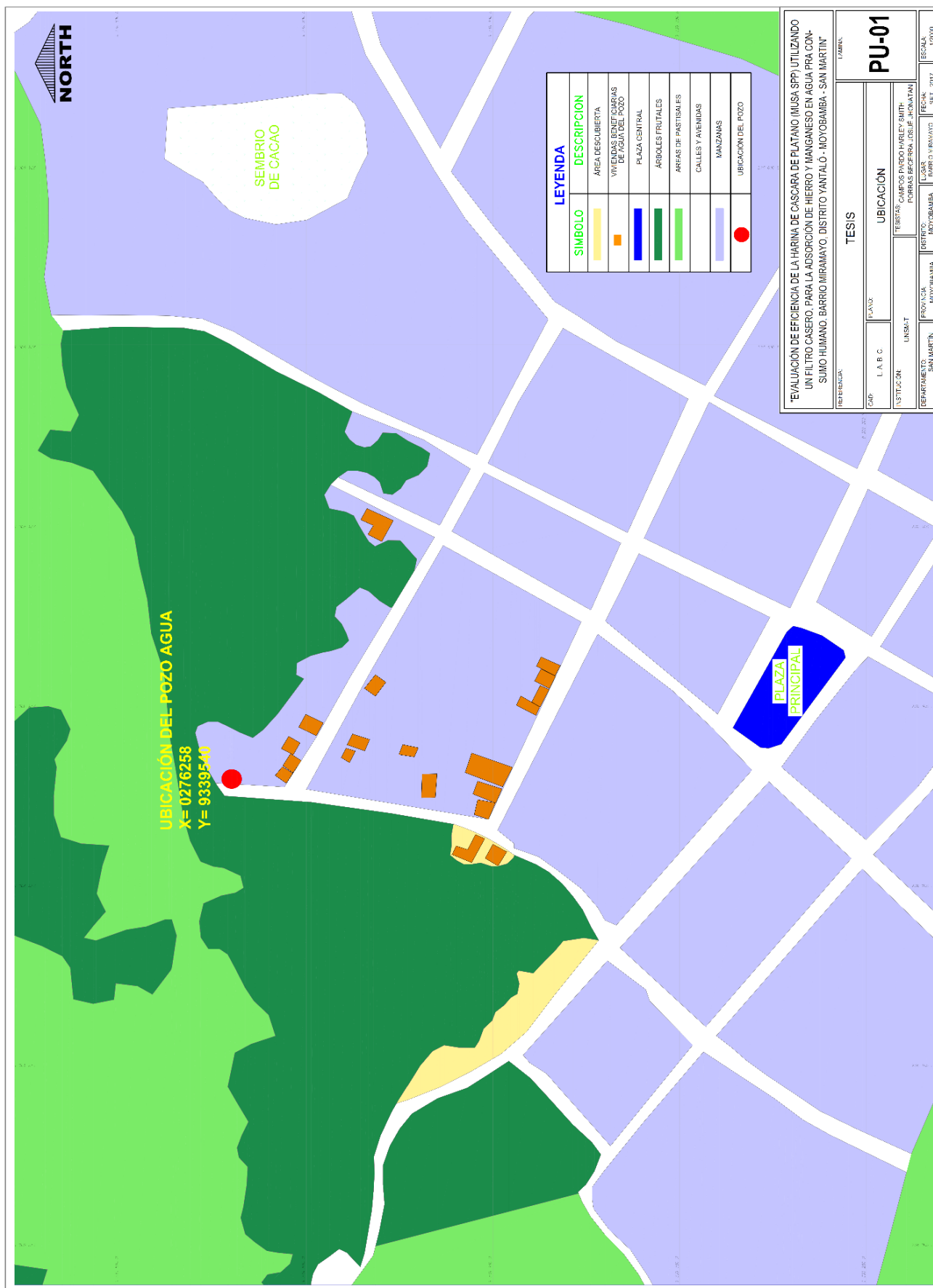
VOLESKY, B. *Biosorption: Application aspects – Process modeling tolos, Hydrometallurgy* 71(1-2), Págs. 179-190, 2003.

World Health Organization. *Guidelines for drinking water quality*. Third edition. World Health Organization 2004. IBSN 9241546387.

YAO, K., HABIBIAN, T., OMELIA, C. Water and waste water filtration: concepts and applications. *Environ. Sci. Technol.* 1975, Edition 5, número11: pp1105 -1971. DOI: 10.1021/es60058a005.

ANEXOS

Anexo A. Plano de ubicación del pozo de agua subterránea, Yantaló



Anexo B. Panel fotográfico de todo el trabajo de investigación realizado

Fotografía 1. Pelado cáscaras de plátano.



Fotografía 2. Trozado cáscaras de plátano.



Fotografía 3. Secado cáscara de plátano.



Fotografía 4. Molienda de las cáscaras.



Fotografía 5. Pozo de agua subterránea barrio Miramayo.



Fotografía 6. Harina cáscara de plátano *musa spp.*



Fotografía 7. Material filtrante seleccionado.



Fotografía 8. Filtro casero.



Fotografía 9. Recolección de las muestras de agua de pozo.



Fotografía 10. Pruebas en laboratorio.

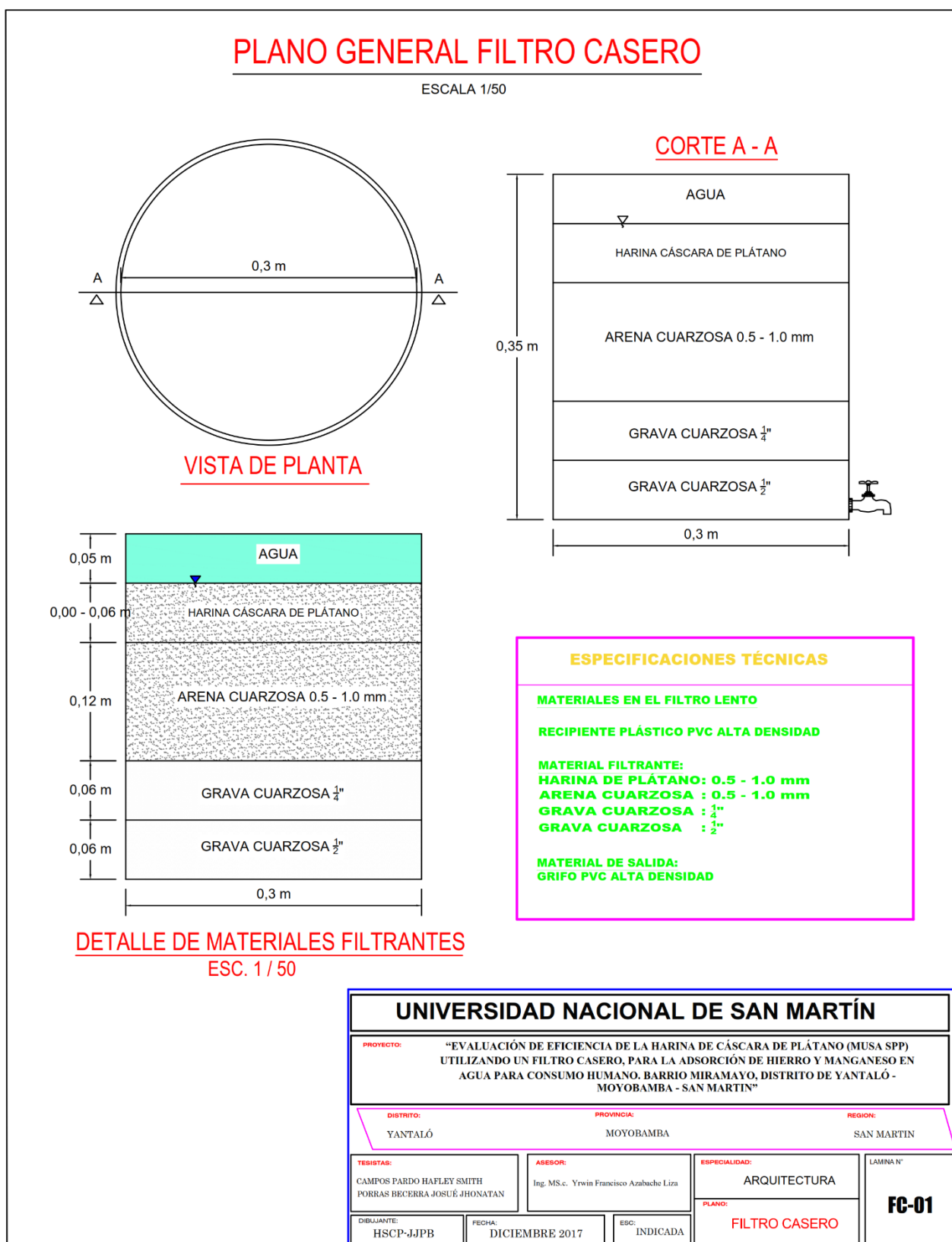


Fotografía 11. Equipo Colorímetro DR 900.



Fotografía 12. Análisis de las muestras tratadas de Fe y Mn.

Anexo C. Plano del filtro casero



Anexo D. Ficha técnica del material filtrante – Arena de Cuarzo 0.5 – 1.0 mm

 <p>FILTERMEDIA Medios Filtrantes para Agua</p>	FICHA TECNICA	COD : MSS-COM-F-04 VER : 02 FECHA : 20.01.17
---	----------------------	---

FICHA TECNICA DEL PRODUCTO
Dpto. Técnico
ARENAS PARA FILTRAR AGUA

Producto : ARENA DE CUARZO 0.5 – 1.0 mm

Especificaciones Físico-Químicas:

Granulometría:

- Dureza : 7 (Escala de Mohs)
- Peso Específico > 2.60
- Solubilidad en HCL al 40%, durante 24 horas < 1.9%
- Oxido de Sílice : SiO₂ 99.2 – 99.7%
- Oxido de Hierro : Fe₂O₃ < 0.15%
- Materia Orgánica = No Contiene.
- Materia laminar (micas) = No Contiene.
- Sulfatos = No Contiene.
- Color = Beige
- Porosidad : 40 – 44%
- Coeficiente de Esfericidad : 0.70 – 0.80
- Tamaño Mínimo = 0.50 mm
- Tamaño Máximo = 1.00 mm
- Coeficiente de Uniformidad < 1.50
- Densidad Aparente : 1.45 TM/M³

Presentación:

- Envasado en sacos de polipropileno laminado de 40 Kg.

Anexo E. Ficha técnica del material filtrante – Grava de Cuarzo 1/4”

	FICHA TECNICA	COD : MSS-COM-F-04 VER : 02 FECHA : 20.01.17
---	----------------------	---

FICHA TECNICA DEL PRODUCTO Dpto. Técnico

Producto : **GRAVA DE CUARZO 1/4”**

Especificaciones Físico-Químicas:

Granulometría:

➤ Dureza	: 7 (Escala de Mohs)
➤ Peso Específico	= 2.7
➤ Solubilidad en HCL al 40%, durante 24 horas	< 3.0%
➤ Carbonatos	< 0.02%
➤ Oxido de Silico	: SiO ₂ 99.2 – 99.7%
➤ Oxido de Hierro	: Fe ₂ O ₃ < 0.15%
➤ Materia Orgánica	= No Contiene.
➤ Materia Extraña	= No Contiene.
➤ Materia Laminar (micas)	= No Contiene.
➤ Sulfatos	= No Contiene.
➤ Color	= Blanco.
➤ Medida Nominal	: 0.25 pulgada.
➤ Tamaño Mínimo	: 0.12 pulgada.
➤ Tamaño Máximo	: 0.37 pulgada.
➤ Geometría	: Asimétrica.
➤ Origen del Material	: Cantera.
➤ Control de Calidad Final	: Envasado.
➤ Densidad aparente	1.34 TM/M ³

Presentación:

- Envasado en sacos de polipropileno laminado de 40 Kg.

Foto del producto:



Anexo F. Ficha técnica del material filtrante – Grava de Cuarzo 1/2”

	FICHA TECNICA	COD : MSS-COM-F-04 VER : 02 FECHA : 20.01.17
---	----------------------	---

FICHA TECNICA DEL PRODUCTO
Dpto. Técnico

Producto : **GRAVA DE CUARZO 1/2”**

Especificaciones Físico-Químicas:

Granulometría:

- Dureza : 7 (Escala de Mohs)
- Peso Específico = 2.7
- Solubilidad en HCL al 40%, durante 24 horas < 3.0%
- Carbonatos < 0.02%
- Oxido de Silico : SiO₂ 99.2 – 99.7%
- Oxido de Fierro : Fe₂O₃ < 0.15%
- Materia Orgánica = No Contiene.
- Materia Laminar (micas) = No Contiene.
- Sulfatos = No Contiene.
- Color = Blanco.
- Medida Nominal : 0.50 pulgada.
- Tamaño Mínimo : 0.37 pulgada.
- Tamaño Máximo : 0.75 pulgada.
- Geometría : Asimétrica.
- Densidad aparente 1.31 TM/M³

Presentación:

- Envasado en sacos de polipropileno laminado de 25 Kg. c/uno.

Foto del producto:



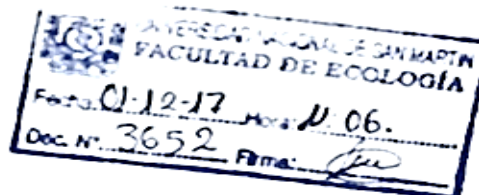
Anexo G. Carta solicitando laboratorio de la Facultad Ecología UNSM-T

"Año del buen servicio al ciudadano"

Moyobamba 01 de diciembre del 2017

CARTA N° 001-2017/HSCP-JJPB

Sr. Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna
Decano (e) de la Facultad de Ecología



SOLICITO: AUTORIZACIÓN PARA INGRESAR A LA FACULTAD DE ECOLOGIA.

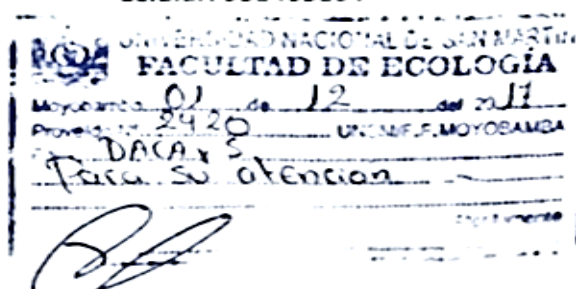
Yo, **Harley Smith Campos Pardo**, con Código N° 125202, y **Josué Jhonatan Porras Becerra**, con Código N° 125214; egresados de la escuela profesional de Ingeniería Sanitaria, saludamos su digna labor que realiza a favor de la ciudadanía estudiantil de la facultad de Ecología, la cual dignamente representa; y estoy seguro que lo hace con la eficiencia que le caracteriza.

El motivo de la presente es para solicitar autorización para poder ingresar a la facultad por motivos de realizar análisis de laboratorio (hierro y manganeso) el día **Domingo 03 de Diciembre**, fundamentales para mi proyecto de tesis titulado "Evaluación de eficiencia de la harina de cáscara de plátano (*Musa spp*) utilizando un filtro casero, para la adsorción de hierro y manganeso en agua para consumo humano, barrio Miramayo, distrito de Yantaló - Moyobamba - San Martín".

Por lo que pido ordene a quien corresponda autorizar dicho permiso, sin más que expresar me despido agradeciendo de antemano la atención a mi solicitud.

Harley Smith Campos Pardo
Código: 125202
Celular: 926021071

Josué Jhonatan Porras Becerra
Código: 125214
Celular: 951405164



Anexo H. Carta solicitando equipo fotómetro para analisis de laboratorio, de la Facultad Ecología UNSM-T

"Año del buen servicio al ciudadano"

Moyobamba 29 de noviembre del 2017

SOLICITO: Equipo Fotómetro

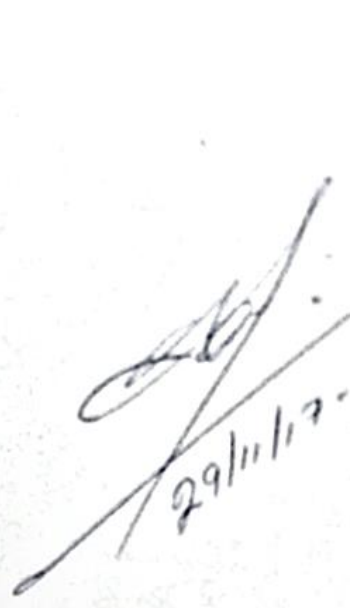
Señor: Ing. Gerardo Cáceres Bardales.
Encargado del laboratorio de Ing. Ambiental.

PRESENTE: Harley Smith Campos Pardo.

Es grato dirigirme a usted para saludarle cordialmente y manifestar las muestras de mi especial consideración y a la vez solicitar el equipo fotómetro para poder realizar análisis de hierro y manganeso, que son necesarios para mi tesis, el día 03 de diciembre del presente.

Reiterándole las muestras de mi especial consideración, me suscribo de usted.

Muy agradecido:



Harley Smith Campos Pardo
DNI: 72754984
Código: 125202