

**CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS GENERADOS EN EL ENSAYO DE
JARRAS, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MORINGA COMO COAGULANTE
EN AGUAS CON ALTO CONTENIDO DE COLOR.**

**JHON JAIRO CUASAPUD MOLINA
NUBIA JHINELA FLÓREZ CADENA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2016**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS GENERADOS DEL ENSAYO DE
JARRAS, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MORINGA COMO COAGULANTE
EN AGUAS CON ALTO CONTENIDO DE COLOR.**

**JHON JAIRO CUASAPUD MOLINA.
NUBIA JHINELA FLOREZ CADENA.**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Asesor
ROBERTO SALAZAR CANO
Ingeniero Civil. Mg. en Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Docente Titular Universidad de Nariño**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2016**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Noviembre de 2016.

RESUMEN

Ante la necesidad de proteger las fuentes de agua dulce y reducir la producción de contaminantes provenientes del uso de sales de aluminio durante el proceso de potabilización, se desarrolla este trabajo de grado, el cual presenta la caracterización de los lodos generados en el Ensayo de Jarras, mediante la utilización de moringa como coagulante y la comparación de los distintos parámetros con datos de caracterización de lodos en los que se ha empleado sulfato de aluminio o policloruro de aluminio.

En el documento, se detalla la determinación del tamaño de la muestra, la obtención del lodo con coagulante de moringa, su almacenamiento y medición de los parámetros correspondientes a la caracterización.

Posteriormente, se realiza un análisis y comparación de los resultados del lodo de moringa, frente a datos obtenidos de investigaciones previas en las que se empleó sales de Aluminio como coagulante.

Finalmente, se propone un conjunto de alternativas de disposición para el lodo de moringa, de acuerdo a sus características.

ABSTRACT

In view of the need to protect fresh water sources and reduce the production of pollutants from the use of aluminum salts during the water treatment process, this grade work is developed, which presents the characterization of the sludge generated in the Jar Test, Through the use of moringa as a coagulant and the comparison of the different parameters with data characterizing sludge in which aluminum sulphate or aluminum polychloride has been used.

The document details the determination of the size of the sample, the preparation of the sludge with moringa coagulant, its storage and measurement of the parameters corresponding to the characterization.

Subsequently, an analysis and comparison of moringa sludge results, compared to data obtained from previous research in which aluminum salts were used as coagulant.

Finally, a set of disposal alternatives for moringa sludge is proposed, according to its characteristics.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO.....	18
1.1 TRATAMIENTO CONVENCIONAL DEL AGUA.....	18
1.2 PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS	20
1.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS	21
1.3.1 Características fisicoquímicas.....	22
1.3.2 Características microbiológicas.....	24
1.3.3 Bromatología.....	25
2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	28
2.1 PRIMERA FASE.....	28
2.1.1 Extracción del coagulante de moringa:	28
2.2 SEGUNDA FASE	29
2.2.1 Obtención del lodo.	29
2.2.2 Muestreo.	30
2.2.3 Almacenamiento.	31
2.3 TERCERA FASE.....	32
2.3.1 Caracterización de los lodos de moringa y policloruro de aluminio (PAC).	32
2.4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS PARA LA VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS	34
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS	37
3.1 CARACTERIZACIÓN FISICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA.....	37
3.2 COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS LODOS	39
3.3 NORMAS VIGENTES DE VERTIMIENTOS PUNTUALES	45

4.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS LODOS DE MORINGA Y LOS LODOS DE PAC	52
4.1	LODO DE MORINGA.....	52
4.1.1	Ventajas:	52
4.1.2	Desventajas:	52
4.2	LODO DE POLICLORURO DE ALUMINIO.....	53
4.2.1	Ventajas:	53
4.2.2	Desventajas:	53
5.	PROCESO DE MANEJO PARA EL LODO DE MORINGA	54
6.	DISPOSICIÓN FINAL PARA EL LODO DE MORINGA	56
6.1	ALTERNATIVAS DE USO.....	56
6.1.1	Aprovechamiento en la agricultura.....	56
6.1.2	Fuente de energía.....	57
6.1.3	Elaboración de elementos de mampostería.....	58
7.	CONCLUSIONES.....	59
8.	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFIA.....	62
	ANEXOS.....	62

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama del proceso de potabilización mediante tratamiento convencional.....	19
Figura 2. Diagrama de tratamiento de lodos.....	21
Figura 3. Ensayo de Jarras, obtención del lodo de moringa.	30
Figura 4. Torre de sedimentación.	30
Figura 5. Succión muestra de lodo de moringa.....	31
Figura 6. Almacenamiento lodo de moringa.....	32

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros estadísticos para la validación de los resultados en el lodo de moringa	35
Tabla 2. Caracterización de lodo producido en el Ensayo de Jarras con moringa	37
Tabla 3. Caracterización del lodo producido en el Ensayo de Jarras con PAC.	38
Tabla 4. Bromatología de las muestras del lodo de moringa y de policloruro de aluminio (PAC)	39
Tabla 5. Comparación de los resultados de lodos de moringa con investigaciones previas de caracterización de lodos	43
Tabla 6. Valores límites de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en vertimientos puntuales	47
Tabla 7. Selección del tratamiento del lodo según su concentración.	54
Tabla 8. Concentración del lodo de moringa	55

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Valor límite máximo de DBO5 en ARnD, resolución 631 del 2015.....	50
Gráfica 2. Valor límite máximo de DQO en ARnD, resolución 631 del 2015.....	50
Gráfica 3. Valor límite máximo de aluminio en ARnD tratamiento y disposición de residuos, resolución 631 del 2015.....	51

ANEXOS

Pág.

Anexo A. Valores máximos admisibles en vertimientos puntuales de la resolución 631 del 2015.....	19
Anexo B. Valores máximos admisibles en vertimientos de otros países.....	21
Anexo C.. Caracterización de lodos de otras investigaciones.	30

GLOSARIO

Afluentes: a instancias de la hidrología se denomina como afluente a aquel río secundario que desemboca en otro considerado como principal. O sea, el afluente no desemboca en un mar sino que lo hace en un río que dispone de una importancia mayor. Ambos se unen en un lugar que se llama confluencia.

Agua cruda: es el nombre que recibe el agua que no ha recibido ningún tratamiento, También se llama así toda agua que entra en las plantas de tratamiento.

Anaerobia: que es capaz de vivir o desarrollarse en un medio sin oxígeno.

ARD: aguas residuales domesticas

ARnD: aguas residuales no domesticas

Bioacumulación: hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo, de metales (u otras sustancias persistentes) en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua).

Biogás: gas producido por la descomposición de materia orgánica.

Bromatología: esta ciencia permite conocer la composición de nutrientes de un compuesto.

Compostaje: materia orgánica procedente de residuos agrícolas y de la jardinería tratados para acelerar su descomposición y ser utilizados como fertilizante.

Estabilización de lodos: tiene por objeto reducir la presencia de patógenos; eliminar los olores desagradables; y, reducir o eliminar su potencial de putrefacción.

Fertilizante: sustancia que mejora la calidad de la tierra y facilita el crecimiento de las plantas

Lixiviado: son líquidos que se forman como resultado de pasar o “percolarse” a través de un sólido. El líquido va arrastrando distintas partículas de los sólidos que atraviesa

Metales pesados: los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para el ser humano.

Microbiología: parte de la biología que estudia los microorganismos u organismos microscópicos.

Potabilización: la potabilización es un proceso que se lleva a cabo sobre cualquier agua para transformarla en agua potable y de esta manera hacerla absolutamente apta para el consumo humano. La potabilización, mayormente, se realiza sobre aguas originadas en manantiales naturales y en aguas subterráneas.

Vertimiento: descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o suelo, de elementos, de sustancias o compuesto en un medio líquido

INTRODUCCIÓN

Los procesos convencionales de tratamiento y potabilización del agua permiten remover impurezas de origen mineral tales como arena, arcilla, entre otros y también materiales orgánicos en los que se incluyen microorganismos, entre ellos virus y bacterias coliformes que ocasionan grandes estragos a la salud. Tal proceso requiere de intervenciones físicas y químicas, lo cual conlleva a la utilización de sustancias que ayudan a la optimización y realización de dichos procesos¹.

Recientemente se han llevado a cabo investigaciones centradas a la sustitución de coagulantes de origen mineral como el sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, por otros de origen orgánico, este es el caso de la moringa que promete ser una especie vegetal amigable con el medio ambiente con una eficiencia comparable a los coagulantes habitualmente usados.

Independientemente del tipo de sustancias empleado en el proceso de potabilización, al final se producen residuos conformados por todas las impurezas extraídas del agua y remanentes de las sustancias utilizadas en la potabilización, lo que hace de este subproducto un elemento impredecible y por lo tanto, un riesgo inminente considerando que estos se vierten directamente en los ríos, proceso que se lleva a cabo por gran parte de las empresas de acueducto del país.

Si bien existe el decreto 631 del 2015, donde se establecen los valores máximos permisibles para vertimientos, es preciso decir que pocas son las entidades que se rigen por esta normativa; respecto a los lodos producidos durante el proceso de potabilización se sabe que pueden convertirse en un riesgo ambiental considerable o pueden ser también fuente de recursos en la fabricación de fertilizantes y compuestos útiles en algún campo.

Es entonces de suma importancia conocer la composición de estos materiales para clasificarlos y de esta manera generar criterios más concretos respecto a su disposición.

JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se ha observado una creciente preocupación por el medio ambiente, principalmente por las fuentes de agua potable, las cuales día a día se muestran con niveles de contaminación más altos, sin embargo, es preocupante el

¹ CASERO, David. Potabilización del agua. Master en ingeniería medio ambiental y gestión del agua. España: EOI, Escuela de negocios, 2007.

hecho de que aun sabiendo el estado de las fuentes, los cauces son usados como sumideros de los desechos que se producen continuamente.

Las plantas de tratamiento realizan labores óptimas de producción de agua potable, lamentablemente producen también decenas de toneladas de lodos residuales de los procesos de potabilización que en la mayoría de casos encuentran su último destino en los ríos y afluentes².

Es bien sabido que los lodos producidos durante el proceso de potabilización del agua poseen grandes cantidades de contaminantes dispuesto en una mezcla de compuestos que a su vez, generan estragos en la ecología y en la salud misma de los seres humanos y criaturas que se solventan con las aguas en las que se vierten dichos materiales.

Actualmente en Colombia, las plantas de potabilización no poseen políticas ni normativas específicas respecto a la disposición de los lodos, y pese a que existen investigaciones acerca de la composición y caracterización de estos, no se muestra gran preocupación por los efectos actuales y hacia futuro en el medio ambiente, solamente un número muy reducido de estas entidades le dan un tratamiento aceptable a estos desechos, por ejemplo su uso en recuperación de suelos y coberturas en rellenos sanitarios.

Por otra parte, algunos esfuerzos por encontrar sustancias más amigables para el medio ambiente y que sean eficientes en el proceso de potabilización, han señalado a la Moringa como una planta que además de tener múltiples usos nutricionales, resulta muy adecuada al ser usada como coagulante; si bien parece ser una alternativa bastante ecológica y funcional, aún existen interrogantes respecto a los desechos generados al final del proceso de potabilización ya que es probable que por su origen orgánico, el lodo generado podría ser una gran fuente de recursos empleados en la industria de fertilizantes o tenga la posibilidad de descomponerse rápidamente sin generar contaminación excesiva en su disposición final.

La caracterización y comparación entre los lodos convencionales y los lodos a base de Moringa como coagulante, es muy importante para determinar la viabilidad del reemplazo del sulfato de Aluminio y de otras sales metálicas por sustancias más ecológicas, además, la caracterización de los lodos producidos con el uso de Moringa pueden generar criterios sólidos para darle a los desechos una mejor disposición.

² LIMÓN MACÍAS, Juan. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?: Problemática en el manejo y disposición de lodos. Guadalajara, México, 2013. Trabajo de grado.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Caracterizar los lodos generados en el Ensayo de Jarras, mediante la utilización de moringa como coagulante en aguas con alto contenido de color.

Objetivos específicos:

- Caracterizar mediante ensayos de laboratorio el lodo producido en el Ensayo de Jarras al utilizar moringa como coagulante.
- Realizar una comparación entre la composición del lodo obtenido del Ensayo de Jarras con moringa frente a los datos existentes de investigaciones previas en las que se ha utilizado sulfato o policloruro de aluminio como coagulante.
- Analizar los resultados obtenidos en el laboratorio
- Proponer un conjunto de alternativas para darle una correcta disposición a los lodos de moringa de acuerdo a las características obtenidas en los ensayos de laboratorio.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 TRATAMIENTO CONVENCIONAL DEL AGUA

“El agua cruda posee gran variedad de materiales y elementos provenientes bien sea del contacto con minerales presentes en las rocas o el suelo, así como también por el vertimiento de aguas residuales de industrias o cualquier otro tipo de actividad desarrollada por el hombre”³.

Por otra parte, el agua tiene contacto frecuente con materia orgánica aportada por la vegetación que rodea a las fuentes, además de la presencia de otros contaminantes generados por las heces de los animales.

“Todo lo anterior representa un contenido significativo de materiales en cuya mayoría causan afecciones en la salud entre los que se hallan una gran variedad de metales pesados, bacterias, virus y propiedades físicas que le dan al agua características desagradables”⁴

Actualmente se cuenta con procesos de potabilización que ayudados de la tecnología adecuada y dependiendo de las características de la fuente permiten llevar el agua cruda a un estado apto para su uso en múltiples actividades, principalmente para el consumo humano; no obstante, “el desarrollo de estas actividades produce la generación de residuos o lodos en los que se concentran todos los contaminantes extraídos del agua que al no tener una correcta disposición, pueden generar graves problemas en la salud y en el medio ambiente”¹.

El proceso convencional de tratamiento del agua consiste inicialmente en pre tratar el agua dependiendo de la alcalinidad y la presencia de ciertos metales, la adición de cal y oxidantes se hace de acuerdo con las características del agua, posteriormente, se agrega coagulante en dosis óptimas determinadas con anterioridad en el agua que pueden ser sales de aluminio, hierro o polímeros cuya función es aglomerar las partículas para facilitar su sedimentación; esta acción requiere de mezcla rápida por lo que el coagulante se vierte en un dispositivo coagulador¹.

Una vez completado lo anterior, el agua pasa a un proceso de floculación en

³ COLOMBIA.DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título C:Manejo de lodos.Bogotá:2000.115H

⁴ ROMERO, Karla. Contaminación por materiales pesados.Cochabamba. Rev. Científica Ciencia Medica.2009.

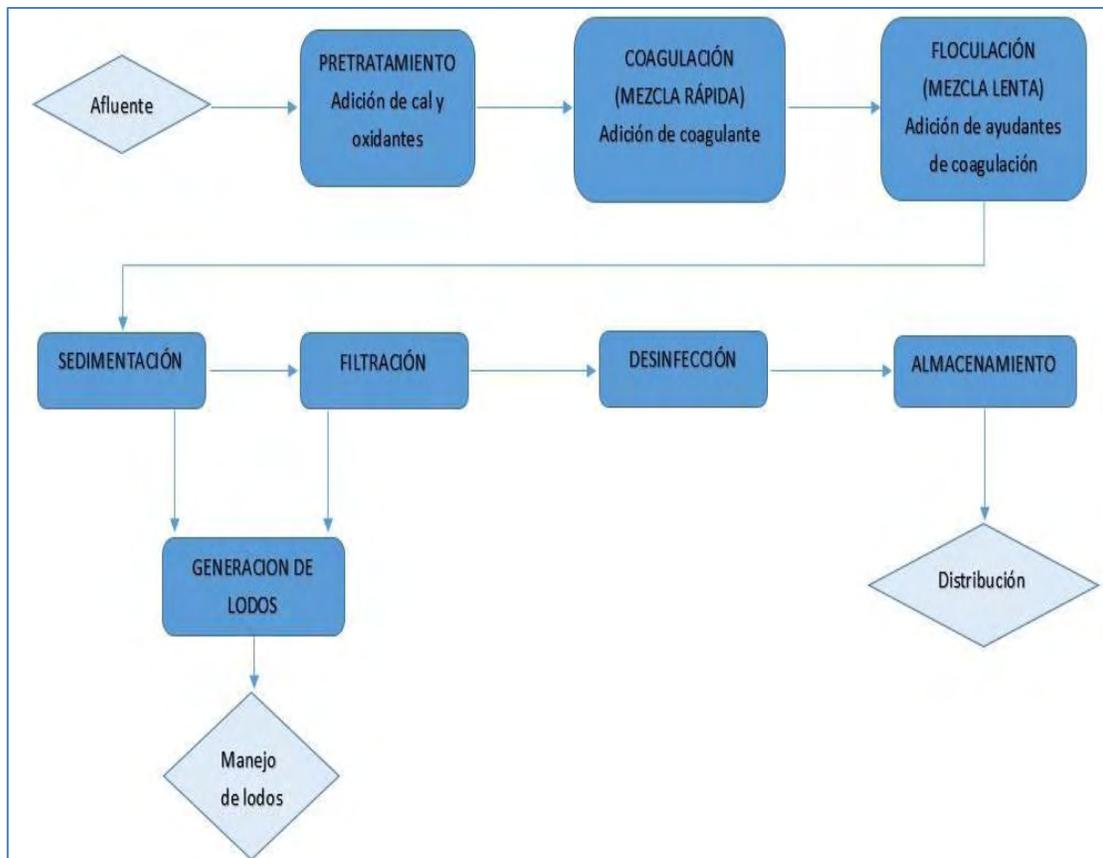
donde se realiza una mezcla lenta para lo cual existen varias posibilidades de estructuras tales como floculadores Alabama, floculadores de tabiques, entre otros.

Posteriormente, el agua pasa al sedimentador en donde se decantan las partículas en forma de flocs, después pasa a ser filtrada y desinfectada para ser almacenada y distribuida.

Es en los procesos de sedimentación y filtración en donde se generan los residuos o lodos.

Algunas plantas de tratamiento poseen procesos para disponer de los lodos de tal manera que estos no impliquen riesgos ambientales al ser vertidos en los afluentes. Estos procesos vinculan comúnmente el espesamiento, la deshidratación y en ciertos casos la reutilización de estos aprovechando sus cualidades. (Ver Figura 1)

Figura 1. Diagrama del proceso de potabilización mediante tratamiento convencional



1.2 PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS

Algunas plantas de tratamiento cuentan con sistemas que permiten llevar el lodo producido en el proceso de potabilización a un estado manejable y de esta forma, disponer de ellos bien sea recuperando Aluminio, usándolo como agregado fino para mezclas de concreto o ladrillos, así como también, su utilización en recuperación y fertilización de suelos, entre otros⁵.

El proceso de tratamiento de lodos consiste principalmente en extraer toda el agua posible de la fracción sólida que lo compone para lo cual este pasa a través de las siguientes fases:

Espesamiento: consiste en aumentar la concentración del lodo, lo cual reduce su volumen y facilita la deshidratación y transporte.

“Este proceso generalmente se realiza en el mismo sedimentador de la planta empleando la gravedad, sin embargo, existen maquinarias que facilitan este proceso y que son indispensables en el espesamiento de lodos que tienden a pudrirse”⁶.

Deshidratación: consiste en separar el agua de los sólidos empleando medios naturales o mecánicos.

Al hablar de métodos naturales se tiene el secado al aire libre, el cual permite la sedimentación de las partículas, o también, los lechos de arena, los cuales poseen drenes.

Entre los métodos de deshidratación mecánica se tienen la centrifugación, la filtración a presión, filtros al vacío, filtros prensa, entre otros; cuya escogencia depende de las características del lodo.

En algunos casos, antes de deshidratar los lodos es necesario emplear determinados productos químicos y procesos para recuperar ciertos materiales y optimizar la deshidratación en lo que se conoce como acondicionamiento.

Disposición final: consiste en transportar y aplicar la torta en determinados campos dependiendo de las características que posea.

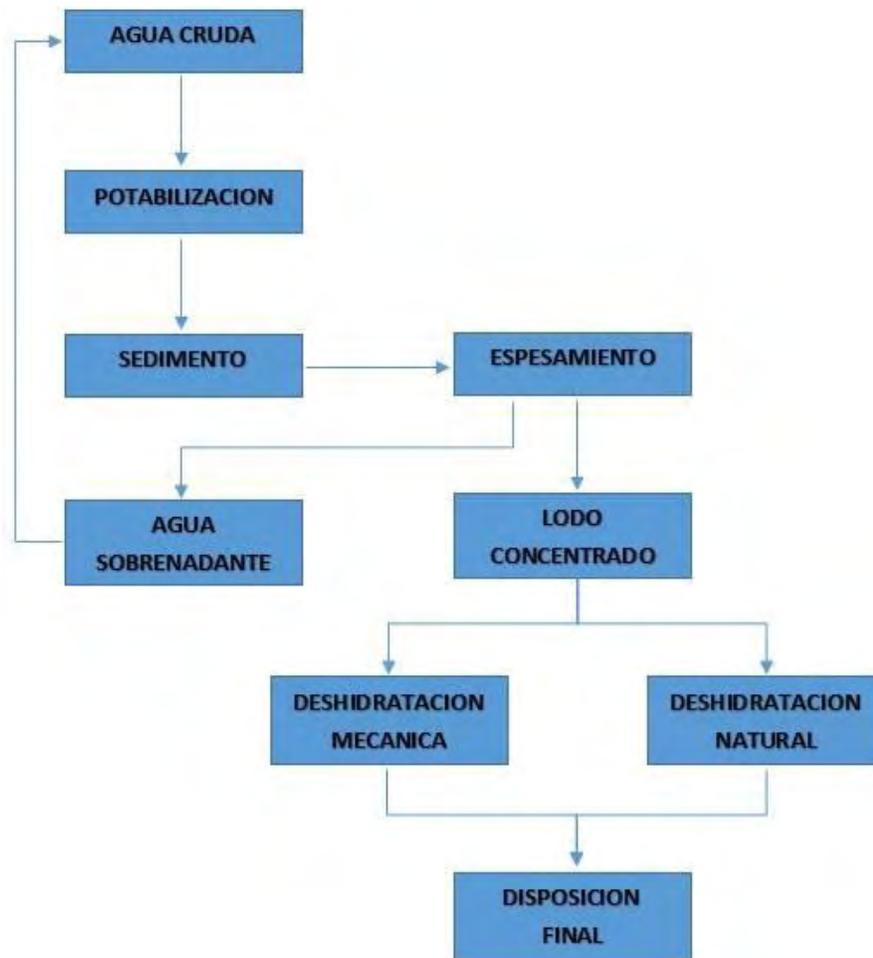
Algunas opciones de disposición son la recuperación de suelos, rellenos

⁵ GARCIA MORA, Ana. Caracterización fisicoquímica y evaluación de potenciales estrategias de valorización de los lodos generados en el proceso de potabilización desarrollada por EMPOPASTO S.A. E.S.P: caracterización fisicoquímica de las muestras de lodo. Pasto 2014.

⁶ TORRES, Eduardo. Reutilización de aguas y lodos residuales. Universidad politécnica de Madrid. 2014.

sanitarios, agregado fino para ciertos elementos de mampostería tras incinerarlos, su empleo en la fertilización de plantas comestibles tras un proceso de compostaje, etc. (Ver Figura 2)

Figura 2. Diagrama de tratamiento de lodos



1.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS

El agua cruda contiene muchos contaminantes como metales, bacterias, virus, entre otros; que se encuentran naturalmente o también por la acción de determinadas actividades industriales o animales y que al ser consumidos directamente pueden presentar problemas que alteran la fisiología y generan intoxicación.

Los metales pesados poseen una densidad por lo menos cinco veces mayor a la

del agua, entre ellos se encuentran el zinc (Zn), el hierro (Fe), el plomo (Pb), el manganeso (Mn), entre otros (GRANDA Maricela, *et al*, 2013).

Algunos metales pesados se encuentran de forma natural en el agua y el suelo debido al contacto con diversos minerales, y algunos de ellos son indispensables en los procesos naturales del organismo, sin embargo, el exceso de estos genera problemas en la salud, más aun cuando se sabe que estos producen bioacumulación. (Granda, *et al*, 2013).

Por otra parte, todos estos elementos se concentran en el lodo al final del proceso de potabilización del agua, por tal razón se midieron parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

1.3.1 Características fisicoquímicas. Para realizar la caracterización fisicoquímica se tuvieron en cuenta los parámetros que se mencionan a continuación junto con el método de determinación.

- **PH**

Es un coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa; el PH neutro es 7: si el número es mayor, la solución, es básica, y si es menor, es ácida; para su medición se utilizó el PH-metro.

- **Sólidos totales**

Son un grupo de partículas que incluye a los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables en agua, su determinación consiste en evaporar toda el agua presente en un volumen determinado de lodo y eliminar la humedad residual en la muestra para poder obtener un peso antes y después de este proceso, siendo este peso la cantidad de solidos totales.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación; El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos. La información obtenida de DBO es la de la materia orgánica biodegradable que se encuentra presente en la muestra de lodo, su determinación se realizó por medio del método respirométrico.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación Y pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica. Su determinación se realizó bajo la Estándar Métodos edición No 225220-D mediante la técnica de colorimetría.

- **Determinación del contenido de zinc**

El zinc se presenta naturalmente en el agua, puesto que esta está en contacto continuo con minerales que lo contienen.

Por otra parte, el zinc puede llegar al agua por medio de descargas de aguas residuales provenientes de industrias y también por los compuestos que se desprenden de los neumáticos de los autos en las carreteras que a su vez son transportadas por las lluvias a los afluentes.

La importancia de la determinación del contenido de zinc radica en que si bien en su estado elemental no es considerado tóxico, puede hallarse en reacción con otros compuestos altamente tóxicos.

El contenido de zinc se determina mediante espectrofotometría mediante los procedimientos de la Estándar Métodos edición No17-3500 con la técnica de espectrofotometría⁷.

- **Plomo**

El plomo se encuentra naturalmente en el agua en cantidades muy pequeñas, no obstante, este es un elemento muy tóxico para la salud y la actividad vegetal. Las concentraciones de plomo en el agua también pueden provenir de sistemas viejos de circulación en los que se empleaba tuberías que contenían este tipo de elementos.

El contenido de plomo se realizó mediante espectrofotometría a partir de los procedimientos de la Estándar Métodos edición No17-3500 Pb-B.

- **Hierro**

El hierro es esencial para la salud, sin embargo, altas concentraciones de este elemento en el agua pueden provocar un olor y sabor desagradable, además de

⁷ APHA, AWWA, WCF. Métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. 1992.17 edición.

generar manchas en diversos materiales.

La determinación de este elemento se hizo mediante un método basado en colorimetría a partir del procedimiento de la Hach 2000 método 8008, Método FerroVer.

- **Cobre**

El cobre es un metal que puede hallarse de forma natural en el agua dado su contacto con minerales que lo contienen. Las concentraciones altas en el agua pueden causar bioacumulación y traer ciertos problemas de salud.

La determinación de este metal se realizó por espectrofotometría mediante la Estándar Métodos Edición No 17-3500 Cu.

- **Aluminio**

El aluminio es un metal que genera bioacumulación y acarrea varios problemas ambientales y en la salud, su determinación es muy importante, puesto que hoy en día este metal es muy empleado en el tratamiento del agua.

La determinación se realizó por espectrofotometría mediante la Estándar Métodos Edición No 17-3555⁷.

1.3.2 Características microbiológicas. La mayor parte de contaminación microbiológica se debe principalmente a los desechos humanos o animales contenidos en las heces.

La determinación de este tipo de organismos en el agua se realiza con filtración por membrana.

- **Coliformes totales**

Los coliformes son un grupo de bacterias que pueden ocasionar enfermedades patógenas en los seres humanos, provienen del intestino de seres de sangre caliente y por lo tanto se transfieren al medio en las heces.

Su determinación se realizó mediante filtración por membranas siguiendo los procedimientos de la Estándar Métodos. Edición 22-922 con la técnica FILT.

- **Echerichia Coli**

Es una especie particular de los Coliformes y es una de las más comunes y dañinas encontradas en el agua.

La determinación de este microorganismo se realizó mediante filtrado por membrana, Según la Estándar Métodos Edición No 22-9222-B

- **Mesófilos**

El término mesófilos hace referencia a los microorganismos sin importar su clasificación, que se desarrollan preferentemente a temperaturas de 15 a 30 grados centígrados.

Esta medida reporta el grado de contaminación microbiana total del agua o medio analizado.

La medición de este parámetro se realizó por filtrado con membrana según la Estándar Métodos.

1.3.3 Bromatología. La bromatología es un estudio dirigido principalmente a la determinación de nutrientes, toxicidad, estándares de higiene y calidad en los alimentos⁸

Por otra parte, los lodos de moringa objeto del análisis, pueden ser ricos en nutrientes útiles para su aplicación en suelos agrícolas y forestales⁹, es por ello, que el análisis de bromatología puede adaptarse a las muestras de lodo, indicando las proporciones de compuestos aprovechables, así como también los posibles riesgos de su aplicación.

A continuación, se menciona los parámetros analizados mediante bromatología en las muestras de lodo de moringa junto a la técnica de determinación empleada.

- **Nitrógeno**

El nitrógeno presente en el suelo es el que se encarga de aumentar el contenido de proteínas en él, este puede venir del estiércol de los animales, de las hojas de plantas marchitas, restos de alimentos descompuestos o de fertilizantes comerciales. El nitrógeno se determina por el método de kjeldahl con la técnica titulométrica.

- **Fósforo**

Los compuestos del fósforo intervienen en funciones vitales para los seres vivos, su presencia en el suelo es muy importante para el crecimiento de las plantas

⁸ ORELLANA, Leny Bromatología. [Diapositivas]. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia. 2013.

⁹ PEREZ, Eduardo. Evaluación de los lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco. México: INCI Caracas, 2007.

ya que ayuda a la formación de sus raíces. Se determina por oxidación húmeda, colorimetría.

- **Azufre**

La mayor parte del azufre en los suelos se encuentra en la materia orgánica del suelo. La presencia de azufre en el suelo es valiosa ya que sin una cantidad suficiente de azufre las plantas no pueden usar el nitrógeno ni otros nutrientes presentes en el suelo.

Este se determina por oxidación húmeda, turbidimetría.

- **Calcio**

Es esencial para el cuerpo humano y se puede encontrar de forma natural en el agua, pero el exceso genera deformaciones en los huesos.

Este se determina por oxidación húmeda, EAA, mediante la técnica de espectrofotometría.

- **Magnesio**

Se encuentra de forma natural en el agua, plantas y animales y es un nutriente importante ya que ayuda a la planta a la formación del átomo de clorofila; pese a que no se conoce casos de envenenamiento con este elemento, su exceso puede generar vómito y afecciones psicológicas

Este se determina por oxidación húmeda, EAA, mediante la técnica de espectrofotometría.

- **Potasio**

Es utilizado por el organismo para estabilizar la presión arterial y para equilibrar los fluidos corporales, para las plantas es difícil obtenerlo por eso tomaran tanto como puedan.

Este se determina por oxidación húmeda, EAA; con la técnica de espectrofotometría.

- **Manganeso**

Es considerado esencial para el ser humano ya que se encuentra en tejidos y órganos de este, en las plantas ayuda a los procesos biológicos.

Este se determina por oxidación húmeda, EAA, mediante la técnica de espectrofotometría.

- **Carbono orgánico oxidable**

Es un componente esencial para las plantas. La determinación se realizó por el método de walkley back, mediante la técnica colorimétrica.

2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología empleada para la caracterización del lodo se compone de tres fases principales.

La primera fase describe el proceso de extracción del coagulante a partir de las semillas de moringa oleífera.

La segunda, describe el proceso mediante el cual se generaron dos tipos de lodos empleando coagulante de Moringa y Policloruro de Aluminio, respectivamente, también se detalla la serie de pasos para la extracción y almacenaje de estos para su análisis.

La tercera, consta del proceso de caracterización de los dos tipos de lodos a partir de la medición de determinados parámetros físicos, químicos y microbiológicos, además, se incluye un análisis bromatológico para determinar los componentes aprovechables de los lodos.

Posteriormente, se muestra el análisis estadístico con el que se da validez a la investigación teniendo en cuenta el número de muestras requerido y la medición del coeficiente de variabilidad.

2.1 PRIMERA FASE

2.1.1 Extracción del coagulante de moringa:

- **Materiales:** sal común, agua destilada, semillas de moringa oleífera
- **Instrumentos de laboratorio:** beaker de 1 litro, balón aforado de 1 litro, plancha de agitación, bomba de vacío, kitasato, embudo, papel filtro, mortero.

Para obtener el coagulante se utilizó sal común y semillas de moringa, a las cuales se les quita la cascara para facilitar el proceso y se maceran con el mortero hasta obtener partículas finas, posteriormente, con la ayuda de un Beaker de 1l y la plancha de agitación se mezcla agua destilada con 50 gr de sal hasta obtener una solución homogénea y se agregan 25 gr de moringa agitando por un periodo de 45 minutos, luego se trasvasa a un balón aforado de 1l y se deja reposar durante 15 horas a una temperatura de 4°C.

Transcurrido el tiempo, toda la mezcla se vierte en un embudo con un filtro hacia un kitasato conectado a la bomba de vacío, posteriormente, la solución se vierte en un embudo separador de fases en el que se deja reposar aproximadamente 40 min hasta que se pueda distinguir una capa de aceite y se abre la llave del embudo dejando pasar el coagulante de moringa y reteniendo la capa de aceite para filtrar nuevamente.

2.2 SEGUNDA FASE

2.2.1 Obtención del lodo. Inicialmente la muestra fue obtenida a partir de múltiples pruebas en el Ensayo de Jarras empleando coagulante de Moringa Oleífera en la dosis óptima, sin embargo, al observar que el proceso de sedimentación se prolongaba por más de dos horas, se optó por realizar las pruebas en cantidades de agua de 60 litros en tanques de 100 litros de capacidad, mediante un proceso manual y con los mismos tiempos de mezcla rápida y mezcla lenta, esto con el fin de obtener una mayor cantidad de lodo con un tiempo más prolongado de sedimentación.

Para verificar la efectividad del proceso manual, se midieron los parámetros de color y turbiedad antes de cada ensayo e inmediatamente finalizado el tiempo de sedimentación, con lo que se obtuvo resultados muy similares con las pruebas en el Ensayo de Jarras, y posteriormente, se depositó la mezcla en una torre de sedimentación de 60 litros de capacidad.

Para tener mayores referencias, se obtuvo también lodos empleando Policloruro de Aluminio mediante el mismo proceso, sin embargo, fue necesaria la adición de cal para aumentar la alcalinidad del agua, permitiendo así que el PAC reaccione debidamente. (Ver Figura 3 - 4)

Figura 3. Ensayo de Jarras, obtención del lodo de moringa.



Figura 4. Torre de sedimentación.

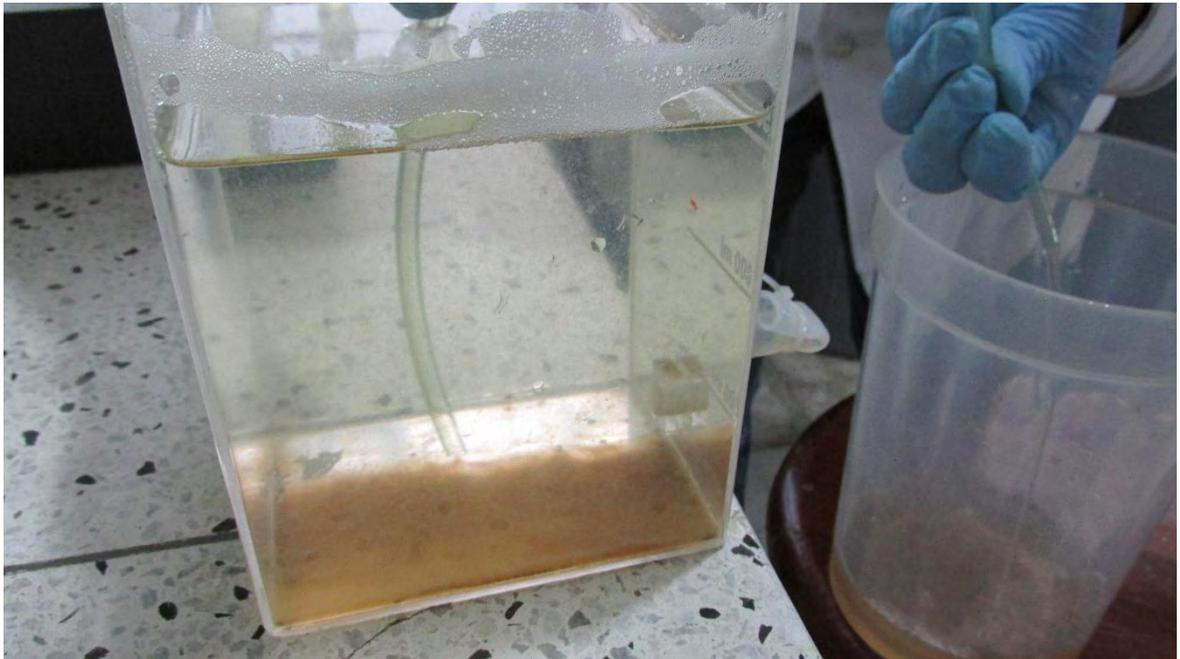


2.2.2 Muestreo. Para extraer el lodo de las Jarras se ejerció succión sobre el material sedimentado, el cual se depositó en recipientes más pequeños y se dejó sedimentar nuevamente para extraer el agua superficial hasta obtener una muestra homogénea sin asentamientos, como se puede apreciar en la figura 5.

Para extraer el lodo de la torre de sedimentación, esta cuenta con válvulas a distintos niveles, lo cual permitió extraer el agua superficial sin generar turbulencia y se extrajo el contenido restante en recipientes más pequeños para dejar sedimentar y extraer el agua superficial.

Una vez obtenida la muestra, se homogeneizó mediante agitación y se envasó en recipientes de dos litros. (Ver Figura 5)

Figura 5. Succión muestra de lodo de moringa.



2.2.3 Almacenamiento. Las muestras se mantuvieron refrigeradas en recipientes plásticos de dos litros de capacidad hasta un máximo de siete días por sugerencia del personal de laboratorios especializados, tiempo en el cual se mantienen las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del lodo. (Ver Figura 6)

Figura 6. Almacenamiento lodo de moringa



2.3 TERCERA FASE

2.3.1 Caracterización de los lodos de moringa y policloruro de aluminio (PAC). El lodo resultante del proceso de potabilización concentra las partículas de los distintos tipos de contaminantes del agua, entre los que se encuentran sólidos inorgánicos como metales, arena, minerales, etc. Así como también materiales orgánicos como algas, restos de vegetación y microorganismos, entre otros.

Como se puede apreciar, la composición de los residuos contiene una alta gama de agentes, por lo que es necesario contar con la medición de los parámetros mínimos para ejecutar una óptima caracterización.

Los parámetros analizados en las muestras de lodo de Moringa y PAC se seleccionaron en base a la resolución 631 del 2015, teniendo en cuenta la tabla del artículo 5 de los valores máximos admisibles en vertimientos puntuales de ARD y ARnD (Tabla 9, Anexo 1) y la tabla del artículo 14 para vertimientos puntuales de tratamiento y disposición de residuos (Anexo A).

Por otra parte, se tuvo en cuenta los parámetros de la caracterización realizada a muestras de lodo en la investigación de EMPOPASTO, de igual forma, se adoptó el método de almacenamiento⁵.

A continuación, se muestra un listado de los parámetros medidos en las muestras de lodo de moringa y PAC, con su respectiva norma.

Parámetros físico- químicos:

- PH método PH-metro
- Alcalinidad método titulación con ácido sulfúrico
- Conductividad: método conductímetro
- Concentración: método ecuación C.13.1 del capítulo C de la norma RAS 2000
- Salinidad: método conductímetro
- Solidos totales disueltos: método colorímetro
- Sólidos sedimentables: método cono imhoff
- Solidos suspendidos: método colorímetro
- Solidos totales: método evaporación y pesaje
- Zinc: Estándar métodos edición No 17 3500 Zn-B
- Plomo: Estándar métodos edición No 17 3500 Pb-B
- Hierro: hach 2000 métodos 8008, método FerroVer
- Cobre: Estándar métodos edición No 17 3500 Cu-B
- Demanda química de oxígeno (DQO): Estándar métodos edición No 22 5220-D
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Estándar métodos, método respiro métrico.

Parámetros microbiológicos:

- Coliformes totales: Estándar métodos edición 22 9222-B
- Echerichia Coli: Estándar Métodos edición No 22 9222-D
- Mesófilos: Estándar Métodos edición 22 No 22 9222

Parámetros de bromatología:

- Carbono orgánico oxidable: método Walkley Back, colorimetría
- Nitrógeno: método Kjeldahl
- Calcio: método oxidación húmeda EAA
- Fosforo: método oxidación húmeda, colorimetría
- Magnesio: método oxidación húmeda, EAA
- Potasio: método oxidación húmeda, EAA
- Azufre: método oxidación húmeda, Turbidimetría
- Manganeso: método oxidación húmeda, EAA

2.4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS PARA LA VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

El primer análisis estadístico se llevó a cabo, empleando la ecuación de distribución binomial [1], y un nivel de confianza del 80% para determinar el número de muestras requerido.

$$n = \frac{z^2 pq}{e^2} \quad [1]$$

Donde n: número de muestras

Z: 1.28 para un nivel de confiabilidad del 80%

E: error admitido 20%

P y q: 0.5 por desconocer el parámetro.

Reemplazando los valores en la ecuación [1] tenemos:

$$n = \frac{1.28^2 * 0.5 * 0.5}{0.20^2} = 10.24$$

n= diez muestras

De lo anterior se obtuvo que se deben tomar 10 muestras.

Después de realizar la caracterización de ocho muestras de lodo de moringa, se realizó un segundo análisis estadístico en el que se evaluó la varianza (σ^2), la desviación estándar (σ) y el coeficiente de variabilidad (C_v), para determinar si es necesario tomar las dos muestras faltantes de acuerdo con lo requerido según la ecuación [1], o si las muestras analizadas presentan un rango de variación aceptable para fines de la investigación.

De esta forma, la varianza permite conocer la media de las desviaciones cuadráticas en una variable, a su vez, la raíz de este parámetro indica la desviación estándar, cuyo valor representa la medida del grado de dispersión de los datos.

Por otra parte, el coeficiente de variación mide la variabilidad con respecto a la media, este valor se determina dividiendo la desviación estándar entre la media.

En la tabla 1, se indica el análisis estadístico para cada uno de los parámetros de la caracterización. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros estadísticos para la validación de los resultados en el lodo de moringa

PARAMETRO	MEDIA	VARIANZA	DESV. ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION	COEFICIENTE DE VARIACION (%)
PARAMETROS FISICOQUIMICOS					
PH	6,89	0,0015	0,0385	0,0056	0,5594
ALCALINIDAD	15,00	-	-	-	-
CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	664,38	1,1250	1,0607	0,0016	0,1596
CONCENTRACION (gr/l)	37,25	0,0005	0,0222	0,0006	0,0595
SALINIDAD (%)	0,30	-	-	-	-
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (mg/l)	323,63	0,5536	0,7440	0,0023	0,2299
SOLIDOS SEDIMENTABLES (mg/l,h)	1,23	0,0107	0,1035	0,0845	8,4498
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)	426,50	2,8571	1,6903	0,0040	0,3963
SOLIDOS TOTALES (gr/l)	1,10	0,0005	0,0214	0,0195	1,9494
DBO5 (mg/l)	147,50	0,8571	0,9258	0,0063	0,6277
DQO (mg O2/l)	307,38	56,8393	7,5392	0,0245	2,4528
ZINC (mg Zn/l)	0,89	0,0016	0,0395	0,0443	4,4319
PLOMO (mg Pb/l)	-	-	-	-	-
HIERRO (mg Fe+3/l)	7,59	0,1213	0,3482	0,0459	4,5893
COBRE (mg Cu/l)	-	-	-	-	-
ALUMINIO (mg Al/l)	0,34	0,0015	0,0392	0,1147	11,4709
PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS					
COLIFORMES TOTALES (UFC/100ml)	245562,50	10388392,9	3223,1030	0,0131	1,3125
ECHERICHIA COLI (UFC/100ml)	940,00	4857,14286	69,6932	0,0741	7,4142
MESOFILOS (UFC/100ml)	207875,00	247553571	15733,8352	0,0757	7,5689

Como se puede apreciar en la tabla 1, el coeficiente de variación para los parámetros de caracterización es menor a 10%; teniendo en cuenta esto, se

puede decir que los resultados obtenidos en las 8 muestras de lodo de moringa ensayadas, son homogéneos, y poseen un grado de exactitud aceptable, por lo que no es necesario tomar las 2 muestras restantes para el análisis.

Por otra parte, el coeficiente de variación en las mediciones de Aluminio corresponde al 11% aproximadamente, sin embargo, todos los valores de este parámetro del lodo de moringa se mantienen debajo de los máximos admisibles en vertimientos.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA

En la tabla 2, se indica ocho resultados de los parámetros evaluados para cada una de las muestras.

Tabla 2. Caracterización de lodo producido en el Ensayo de Jarras con moringa

LODOS MORINGA								
PARAMETROS FÍSICOQUÍMICOS								
ENSAYO	1	2	3	4	5	6	7	8
PH	6,92	6,87	6,89	6,85	6,84	6,96	6,89	6,90
ALCALINIDAD	15	15	15	15	15	15	15	15
CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	664	663	663	666	665	665	664	665
CONCENTRACION DE SÓLIDOS (gr/l)	37,26	37,27	37,25	37,23	37,26	37,21	37,26	37,25
SALINIDAD (%)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (mg/l)	323	323	324	325	324	323	324	323
SOLIDOS SEDIMENTABLES (mg/l,h)	1,10	1,30	1,30	1,30	1,10	1,30	1,10	1,30
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)	428	424	425	428	428	425	428	426
SOLIDOS TOTALES (gr/l)	1,10	1,10	1,13	1,06	1,10	1,10	1,06	1,10
DBO5 (mg/l)	148	148	148	146	148	148	146	148
DQO (mg O2/l)	300	310	298	298	315	310	312	316
ZINC (mg Zn/l)	0,84	0,84	0,90	0,90	0,85	0,92	0,94	0,92
PLOMO (mg Pb/l)	<0,45	<0,45	<0,45	<0,45	<0,45	<0,45	<0,45	<0,45
HIERRO (mg Fe+3/l)	7,60	8,40	7,40	7,60	7,40	7,30	7,60	7,40
COBRE (mg Cu/l)	<0,077	<0,077	<0,077	<0,077	<0,077	<0,077	<0,077	<0,077
ALUMINIO (mg l/l)	0,38	0,32	0,28	0,38	0,38	0,29	0,35	0,33

Tabla 2. (Continuación).

PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS								
COLIFORMES TOTALES (UFC/100ml)	242.000	245.000	248.500	245.000	243.000	242.000	250.000	249.000
ECHERICHIA COLI (UFC/100ml)	850	870	1000	1050	940	950	880	980
MESOFILOS (UFC/100ml)	190.000	210.000	198.000	225.000	230.000	200.000	220.000	190.000

En la tabla 3 se indica los resultados de la caracterización de los lodos de PAC.

Tabla 3. Caracterización del lodo producido en el Ensayo de Jarras con PAC.

LODOS POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)	
PARAMETROS FISICOQUÍMICOS	
ENSAYO	1
PH	7,06
ALCALINIDAD	21,5
CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	143,6
CONCENTRACION DE SÓLIDOS (gr/l)	35,1
SALINIDAD (%)	0,1
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (mg/l)	70
SOLIDOS SEDIMENTABLES (ml/l,h)	32
SOLIDOS SUSPENDIDOS(mg/l)	487
SOLIDOS TOTALES (gr/l)	1,13
DBO5 (mg/l)	84
DQO (mg O2/l)	185
ZINC(mg Zn/l)	0,90
PLOMO(mg Pb/l)	0,50
HIERRO(mg Fe+3/l)	10
COBRE(mg Cu/l)	<0,077

Aluminio (mg/l).	10,50
PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS	
COLIFORMES TOTALES (UFC/100ml)	310.000
ECHERICHIA COLI (UFC/100ml)	800
MESOFILOS (UFC/100ml)	162.000

En la tabla 4, se muestran los valores del análisis de Bromatología realizados a muestras de lodo con moringa y PAC.

Tabla 4. Bromatología de las muestras del lodo de moringa y de policloruro de aluminio (PAC)

BROMATOLOGIA		
ENSAYOS REALIZADOS	LODO MORINGA	LODO PAC
CARBONO ORGANICO OXIDABLE (g/L)	3,6	0,5
NITRÓGENO (g/L)	0,33	0,04
CALCIO (mg/L)	8,15	127
FÓSFORO (mg/L)	21,1	4,31
MAGNESIO (mg/L)	11,6	42,2
POTASIO (mg/L)	5,9	3,53
AZUFRE (mg/L)	39,4	4,45
MANGANESO (mg/L)	4,38	3,64

3.2 COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS LODOS

Para la comparación de los parámetros de los lodos de moringa oleífera y PAC, se tomaron inicialmente los valores consignados en las columnas 2 y 3 de la tabla 5, correspondientes a los análisis realizados para esta investigación, empleando la misma muestra de agua.

Inicialmente, se observa que el PH de las muestras de lodo de moringa es 2.5% menor respecto a la muestra de lodo de PAC, observándose una gran cercanía entre estos valores, sin embargo, el lodo de moringa conservó el PH de la muestra de agua.

Al comparar los valores de alcalinidad, se tiene que el valor del lodo de moringa es menor al de PAC en un 43%, esto se debe a la adición de cal para facilitar la reacción del PAC en el agua.

Al observar la carga de DQO en los dos tipos de lodos, se puede apreciar una diferencia significativa correspondiente al 39,81% mayor en el lodo de moringa respecto al de PAC, evidenciando un mayor número de reacciones oxidativas.

Varias investigaciones han demostrado que la moringa oleífera posee propiedades bactericidas cuya acción consisten en la inhibición del crecimiento de determinadas especies de microorganismos mediante extractos provenientes de las hojas y otras partes de la planta¹⁰

La carga de DBO5 en el lodo de moringa es 43.05% mayor respecto al lodo de PAC, indicando así, una mayor presencia de materia orgánica.

Según la investigación de Mahamadou Abdoul, 2013; el empleo de moringa oleífera en el proceso de coagulación incrementa la concentración de carbono orgánico en el agua, hecho que se refleja en la comparación de resultados de las columnas 2 y 3 de la tabla 5.

El contenido de aluminio en el lodo de moringa representa menos del 1% en relación al lodo de PAC, siendo esta una de las características más notables, puesto que de acuerdo a los valores de la tabla 5, se puede afirmar que en efecto, el tipo de coagulante es determinante en el contenido de este metal.

Si bien, el lodo de moringa contiene una mínima proporción de aluminio, esta no representa mayor riesgo, tal como se puede apreciar en la tabla 6.

El contenido de zinc y cobre mantienen diferencias mínimas no mayores al 1,2% entre los dos tipos de lodo, mientras que el hierro es 32% mayor en el lodo de PAC respecto al lodo de moringa.

En general, respecto al contenido de metales pesados, ambos tipos de lodos se mantienen muy cercanos, por lo que se puede afirmar que las características del agua son las que determinan la presencia de estos elementos en este caso.

Al observar los parámetros microbiológicos, el lodo de moringa posee mayor cantidad de microorganismos, teniendo 14,89% colonias de E. coli y 22,07% más de mesófilos respecto al lodo de PAC, lo cual demuestra la eficiencia del coagulante de moringa para aglutinar los microorganismos de la misma forma que

¹⁰ CASERES, A. Pharmacological properties of M. Oleíera preliminary screening for antimicrobial activity. J. ethnopharmacology. 1991.

las partículas coloidales en suspensión de una forma más eficiente, dicho proceso se lleva a cabo generando una ruptura violenta y súbita en la membrana celular, permitiendo la atracción de las cargas positivas y negativas de cada microorganismo.

Respecto a los parámetros de bromatología se tiene que el lodo de moringa posee mayores proporciones de nutrientes, inicialmente se tiene que el contenido de carbono oxidable es 7 veces mayor respecto al lodo de PAC; así mismo, el contenido de nitrógeno es 8 veces mayor y el fósforo 5 veces mayor.

Como se había mencionado antes, el empleo de moringa como coagulante aumenta la cantidad de carbono y materiales orgánicos, lo cual se aprecia en la tabla 5.

Elementos como el potasio, magnesio, manganeso y azufre, se manifiestan en valores superiores al 20% respecto al lodo de PAC.

El calcio contenido en el lodo de moringa representa el 6% del calcio contenido en el lodo de PAC, esto se debe a que se adiciona cal a las muestras tratadas con PAC para facilitar la reacción del coagulante.

En una segunda parte del análisis se compararon los parámetros del lodo de moringa con los valores consignados en las columnas 4 y 5 de la tabla 6, correspondientes a la caracterización de lodos realizada por EMPOPASTO.

La investigación de Ana María García, Pedro Bravo Caicedo y Alejandro Galeano, en cooperación con “EMPOPASTO” (García, *et al*, 2014), se llevó a cabo tomando muestras de lodo directamente de los sedimentadores de las plantas de El Centenario (PLC) y Mijitayo (PLM), empleando Policloruro de Aluminio como coagulante.

Se encontró inicialmente que el valor de DQO en las muestras de PLC y PLM es 25 y 28 veces mayor que en las muestras del lodo de moringa respectivamente, como se aprecia en la tabla 5, lo cual sugiere un contenido mucho mayor de materiales orgánicos.

Por otra parte, el aluminio sigue presentándose en una proporción mínima en el lodo de moringa respecto a los lodos de PAC, siendo 41 veces menor que en las mediciones de las plantas PLC y PLM, lo cual confirma la relación entre el contenido de aluminio con el coagulante empleado.

En cuanto a la bromatología, se observa que los valores de nitrógeno, calcio, fósforo, magnesio, potasio, azufre y manganeso, considerados como nutrientes, se presentan en cantidades mínimas en los lodos de las plantas PLC y PLM respecto al lodo de moringa, el cual los sobrepasa en más del 100%.

Cabe aclarar que en esta segunda parte del análisis solo se puede estimar las diferencias en los datos, ya que el muestreo se realizó bajo condiciones y temporadas muy diferentes, sin embargo valores como el PH y el aluminio son muy cercanos en todas las caracterizaciones.

En una fase adicional, se realizó una comparación entre los lodos de moringa con la investigación “tratabilidad de los lodos producidos en la potabilización del agua” (Sandoval, et al), en la planta Los Berros en México empleando sulfato de aluminio y la investigación “caracterización físico química y microbiológica de lodos residuales de la planta potabilizadora Gualeguaychú entre ríos” en Argentina, usando también sulfato de aluminio¹¹

En este caso, los aspectos más sobresalientes son el contenido de aluminio, el cual se halla mucho más allá del 100% sobre el lodo de moringa y un valor de PH similar en todos los tipos de lodo.

Hay que resaltar que en este caso además de poseer condiciones diferentes de muestreo y análisis, también pertenecen a fuentes de agua completamente distintas, sin embargo, permite estimar el efecto del tipo de coagulante.

La tabla 5, es un cuadro comparativo en el que se muestran los parámetros de la caracterización del lodo de PAC y Moringa de fuente propia, enfrentado con los valores de caracterización de las investigaciones antes mencionadas. (Ver Tabla 5)

¹¹ YUGDAR, Daiana. Caracterización físicoquímica y microbiológica de los lodos residuales de la planta potabilizadora Gualeguaychu Entre ríos, Argentina: Resultados. Entre ríos. 2000

Tabla 5. Comparación de los resultados de lodos de moringa con investigaciones previas de caracterización de lodos

ENSAYOS REALIZADOS	LODOS CON COAGULANTE DE MORINGA (FUENTE PROPIA)	LODOS CON POLICLORURO DE ALUMINIO (FUENTE PROPIA)	LODOS DE LA INVESTIGACION DE EMPOPASTO CON PAC (LODOS CENTENARIO)	LODOS DE LA INVESTIGACION DE EMPOPASTO CON PAC (LODOS MIJITAYO)	LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE GUALEGUAYCHU, ENTRE RIOS- ARGENTINA EMPLEANDO SULFATO DE ALUMINIO	CARACTERIZACION DEL LODO PRODUCIDO EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE LOS BERROS –MEXICO, EMPLEANDO SULFATO DE ALUMINIO
PARAMETROS FISICOQUIMICOS						
PH	6,89	7,06	-	-	4,5 - 7,5	7,14
ALCALINIDAD	15	21,5	-	-	-	-
CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	664,37	143,6	-	-	-	-
SALINIDAD (%)	0,30	0,1	-	-	-	-
CONCENTRAIÓN (mg/l)	323,62	70	-	-	-	-
SOLIDOS SEDIMENTABLES (mg/l,h)	1,22	32	-	-	2 – 400	-
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)	426,50	487	-	-	3.240 -24.800	-
SOLIDOS TOTALES (Gr/l)	1,09	1,13	-	-	7,59 - 26,56	0,92
DBO5 (mg/l)	147,50	84	-	-	11,90 -39,70	-
DQO (mg O2/l)	307,37	185	7.975	8.558	371 -1.562	-

Tabla 5. (Continuación).

ZINC (mg Zn/l)	0,89	0,9	0,01	0,0088	-	<0,1
PLOMO (mg Pb/l)	<0,45	0,5	0,0014	0,0012	-	0,16
HIERRO (mg Fe+3/l)	7,58	10	3,86	3,56	120 -417	12,550
COBRE (mg Cu/l)	<0,077	<0,077	0,0075	0,0052	-	<0,1
ALUMINIO (mg Al/l)	0,31	10,50	12,87	12,27	1.034- 4.705	79,5
PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS						
COLIFORMES TOTALES (UFC/100ml)	245.562,5	310.00	-	-	62- 2.400	-
ECHERICHIA COLI (UFC/100ml)	940	800	-	-	3 -620	-
MESOFILOS (UFC/100ml)	207.875	162.000	-	-	32-164	-
BROMATOLOGIA						
CARBONO ORGANICO OXIDABLE (g/L)	3,6	0,50	-	-	-	-
NITRÓGENO (g/L)	0,33	0,04	0,0024	0,0017	-	-
CALCIO (mg/L)	8,15	127	0,79	1,02	-	16,5
FÓSFORO (mg/L)	21,10	4,31	0,15	0,24	-	-
MAGNESIO (mg/L)	11,60	42,20	0,31	0,27	-	6,39
POTASIO (mg/L)	5,90	3,53	0,38	0,28	-	3,93
AZUFRE (mg/L)	39,40	4,45	0,02	0,02	-	-
MANGANESO (mg/L)	4,38	3,64	0,09	0,06	-	2,78

3.3 NORMAS VIGENTES DE VERTIMIENTOS PUNTUALES

Actualmente, no existen políticas bien definidas respecto a la disposición de residuos producidos en el proceso de potabilización, no obstante, hay un documento en el que se especifican los valores máximos admisibles de los parámetros que deben tener los residuos clasificados en aguas residuales domésticas (ARD), aguas residuales no domésticas (ARnD) y otros tipos de clasificaciones dependiendo del origen.

La resolución 631 del 17 de Marzo del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, contiene una serie de tablas en las que se muestran los requisitos mínimos con los que debe contar un residuo para ser vertido en cuerpos de agua superficiales.

Se escogieron dos tablas de la resolución, las cuales tienen un mayor grado de aproximación a las condiciones de los lodos de moringa y PAC, para realizar una comparación.

La primera tabla, se encuentra en el artículo 8 del capítulo 5 de la resolución, la cual se titula “parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas (ARD) y de las aguas residuales (ARD-ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a los cuerpos de agua superficiales”. La segunda tabla, se titula “parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – ARnD” de las actividades asociadas con servicios y otras actividades, ubicada en el artículo 14 de la resolución.

Si bien las características de los lodos de la potabilización del agua poseen condiciones distintas a las de las aguas residuales, comparten una gran similitud en los parámetros requeridos para su evaluación, por lo que es posible determinar la factibilidad o no factibilidad de disponer de ellos vertiéndolos directamente en fuentes de agua superficiales, esto bajo la premisa de que muchas plantas de potabilización acuden a esta práctica sin contemplar el impacto generado.

Del decreto 3930 del 2010, **capítulo VII** de la obtención de los permisos de vertimiento y planes de cumplimiento, **Artículo 41. Requerimiento de permiso de vertimiento.** Toda persona natural o jurídica cuya actividad o servicio genere vertimientos a las aguas superficiales, marinas, o al suelo, deberá solicitar y tramitar ante la autoridad ambiental competente, el respectivo permiso de vertimientos.

En general, en el capítulo VII se encuentran todos los requisitos y acciones que se deben seguir para generar el permiso de vertimiento, así como también para la renovación y requerimientos de cumplimiento que este debe tener.

El artículo 59, sanciones, el incumplimiento de los términos, condiciones y obligaciones previstos en el permiso de vertimiento, Plan de Cumplimiento o Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, dará lugar a la imposición de las medidas preventivas y sancionatorias, siguiendo el procedimiento previsto en la Ley 1333 de 2009 o la norma que la adicione, modifique o sustituya. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2010)

La ley 1333 de 2009, plantea una serie de sanciones para las cuales se hace una previa revisión de la infracción ambiental y se determina su gravedad, dependiendo de esto se dicta una medida preventiva o una sanción más fuerte que va desde un llamado de atención hasta la suma de 5000 salarios .

En la tabla 6, se muestra los valores límites máximos para vertimientos en Colombia, Perú y Ecuador, las celdas que aparecen de color rojo indican los parámetros que no se cumplen respecto a la normativa colombiana y las celdas que están de color amarillo son las que no cumplen respecto a la normativa de Perú y Ecuador. (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Valores límites de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en vertimientos puntuales

ENSAYOS REALIZADOS	LODOS CON COAGULANTE DE MORINGA	LODOS CON POLICLORURO DE ALUMINIO	RES 631 -2015 VALORES LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES EN LOS VERTIMIENTOS DE ARD Y ARnD		RES 631 -2015 VALORES LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES EN LOS VERTIMIENTOS ARnD PARA TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE RESÍDUOS	VALORES MAXIMOS ADMISIBLES DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS (PERU)	TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACION AMBIENTAL SECUNDARIA DEL ECUADOR, LIMITES DE DESCARGAS A CUERPOS DE AGUA DULCE
			ARD	ARnD			
PARAMETROS FISICOQUIMICOS							
PH	6,89	7,06	6 - 9.	6 - 9.	6 - 9.	6 - 9.	-
ALCALINIDAD	15	21,50	-	-	-	-	-
CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	664,37	143,60	-	-	-	-	-
SALINIDAD (%)	0,30	0,10	-	-	-	-	-
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (mg/l)	323,62	70	-	-	-	-	-
SOLIDOS SEDIMENTABLES (mg/l,h)	1,22	32	5	5	5	8,5	-
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)	426,50	487	90	70	400	500	130
SOLIDOS TOTALES (Gr/l)	1,09	1,13	-	-	-	-	1.600
DBO5 (mg/l)	147,50	84	90	70	800	500	100
DQO (mg O2/l)	307,37	185	180	150	2.000	1.000	200
ZINC (mg Zn/l)	0,89	0,90	3,00	3,00	3,00	10,00	5,00

Tabla 6. (Continuación).

PLOMO (mg Pb/l)	<0,45	0,50	0,50	0,50	0,20	0,50	0,20
HIERRO (mg Fe+3/l)	7,58	10	-	-	-	-	10,00
COBRE (mg Cu/l)	<0,077	<0,077	1	1	1	3	1
ALUMINIO (mg Al/l)	0,34	10,50	-	-	3	10	5
PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS							
COLIFORMES TOTALES (UFC/100ml)	245.562,50	310.000	-	-	-	-	-
ECHERICHIA COLI (UFC/100ml)	940	800	-	-	-	-	10.000
MESOFILOS (UFC/100ml)	207.875	162.000	-	-	-	-	-
BROMATOLOGIA							
CARBONO ORGANICO OXIDABLE (g/L)	3,60	0,50	-	-	-	-	-
NITRÓGENO (g/L)	0,33	0,04	-	-	-	-	0,05
CALCIO (mg/L)	8,15	127	-	-	-	-	-
FÓSFORO (mg/L)	21,10	4,31	-	-	-	-	10
MAGNESIO (mg/L)	11,60	42,20	-	-	-	-	-
POTASIO (mg/L)	5,90	3,53	-	-	-	-	-
AZUFRE (mg/L)	39,40	4,45	-	-	-	-	-
MANGANESO (mg/L)	4,38	3,64	-	-	-	4	2

Como se puede observar en la tabla 5, el lodo de moringa cumple la mayoría de los parámetros para ser vertido directamente en cuerpos de agua superficial, sin embargo, esta posibilidad se descarta por la tabla de **“valores límites máximos permisibles en los vertimientos de ARD Y ARnD”** de la resolución 631 del 2015, en la que se sobrepasa el valor máximo admisible de DBO5 y DQO, descartando la factibilidad de descargarlo directamente, puesto que las sustancias que producen estos dos factores, se conforman principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas; por lo que su descomposición biológica puede agotar el oxígeno en el agua de la fuente receptora (HIDRITEC, 2016).

De igual forma, el lodo de PAC también sobrepasa los valores de DQO y metales pesados, además de un valor excesivo de Aluminio.

Por otra parte, la tabla **“valores límites máximos permisibles en los vertimientos ARnD para tratamiento y disposición de residuos”** de la resolución 631 del 2015, se muestra más blanda respecto al valor máximo admisible de DBO5 y DQO, con lo que el lodo de moringa podría ser vertido sin ningún problema en cuerpos de agua superficial.

Al observar las normas de otros países, se tiene **“valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domesticas”** del Perú (Perú, Ministerio de Vivienda, construcción y Saneamiento, 2009), que es más flexible respecto al contenido de DBO5, DQO, aluminio y zinc; permitiendo contenidos más altos en los vertimientos puntuales.

También se tiene el documento **“texto unificado de la legislación ambiental secundaria del ecuador, límites de descargas a cuerpos de agua dulce”** (Ecuador, Secretaría del Agua, 2003), muestra valores de DBO5 y DQO similares a los de la primera columna de la resolución 631 en la tabla 5, descartando el vertimiento del lodo a los afluentes de agua superficial.

Si bien, según la mayoría de normas permitiría el vertido de los lodos de moringa directamente en cuerpos de agua superficial, es preciso atenerse a lo más crítico, en este caso los valores máximos permisibles mostrados en la columna 2 de la resolución 631 del 2015 en la tabla 5, evitando vertimientos para reducir al máximo el impacto ambiental.

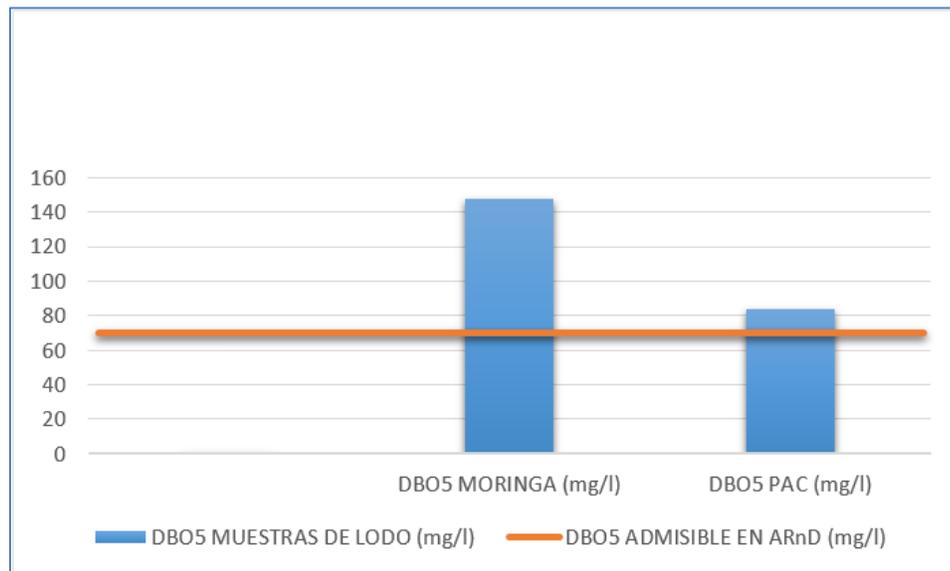
Respecto al contenido de Nitrógeno, Fosforo y Potasio, no se mencionan valores tope en las normas Colombianas, no obstante, estos elementos pese a ser elementos nutritivos esenciales, al depositarse en medios acuáticos generan efectos adversos, tales como la eutrofización y contaminación de aguas subterráneas⁶

Al contemplar el Texto unificado de la legislación ambiental del Ecuador, se observa que el lodo de moringa se excede en el valor del fósforo, se mantiene

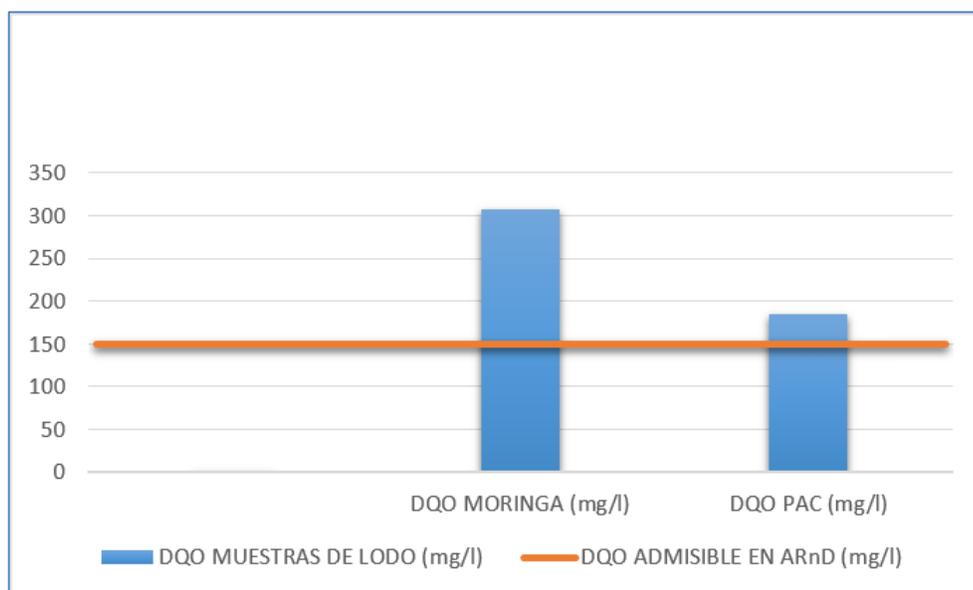
abajo en el valor del nitrógeno y no existe ningún control sobre el valor del potasio; esto sugiere que aunque la norma colombiana no se manifieste respecto a estos tres parámetros en particular, existen criterios sólidos con los que se concluye que no es recomendable verter estos lodos bajo dichas condiciones.

En las gráficas 1,2 y 3 se hace claridad en el análisis de resultados para DBO5, DQO y aluminio respecto a la resolución 631 del 2015 de vertimientos máximos permisibles. (Ver Graficas 1 - 3)

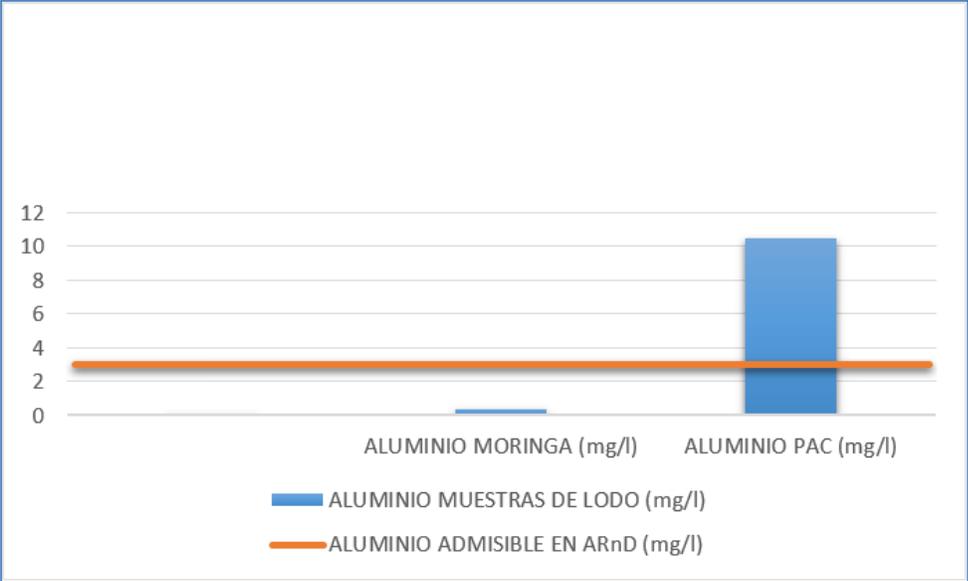
Gráfica 1. Valor límite máximo de DBO5 en ARnD, resolución 631 del 2015



Gráfica 2. Valor límite máximo de DQO en ARnD, resolución 631 del 2015



Gráfica 3. Valor límite máximo de aluminio en ARnD tratamiento y disposición de residuos, resolución 631 del 2015



4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS LODOS DE MORINGA Y LOS LODOS DE PAC

Las ventajas y desventajas nombradas están basadas en observaciones producto de esta investigación.

4.1 LODO DE MORINGA

4.1.1 Ventajas:

- Posee un mayor contenido de materia orgánica respecto al lodo con Policloruro de Aluminio, lo cual le da un gran valor en usos agrícolas y forestales.
- Los componentes residuales del coagulante de Moringa que se depositan en el lodo durante el proceso de sedimentación, son de origen orgánico, por lo que se convierten en materia aprovechable.
- El aluminio presente en el lodo de moringa es insignificante y su medida está muy por debajo de la máxima permitida por la normativa que regula este tipo de residuos.
- Por ser un lodo de origen orgánico, este no es nocivo para la salud de los seres vivos, puesto que no contiene grandes cantidades de materiales dañinos, principalmente de aluminio el cual se presume causa afecciones mentales y daños en determinados órganos de los seres vivos (LENNTECH, 2009).
- No genera gran contaminación, ayudando así con el cuidado del medio ambiente.

4.1.2 Desventajas:

- Se descompone muy rápido y genera un olor desagradable, por lo que puede ser necesaria una mayor frecuencia en la evacuación del lodo de los sedimentadores, al igual que el lavado de filtros.
- No es recomendable que el lodo de Moringa tenga contacto prolongado con el agua tratada, por lo que puede requerirse la adición de un espesador externo al sistema.
- Se requiere un mayor tiempo para que el lodo de moringa se sedimente por completo, además, los flocs no poseen mucha resistencia, por lo que el lodo es muy susceptible a reflotar con movimientos relativamente fuertes en el agua.

4.2 LODO DE POLICLORURO DE ALUMINIO

4.2.1 Ventajas:

- Puede almacenarse por un tiempo prolongado sin que este desprenda olores desagradables en el agua tratada.
- Los flocs que componen el lodo poseen cadenas más fuertes por lo que no se reflotan fácilmente; así mismo la extracción del lodo es más fácil empleando cualquier método.
- El coagulante empleado posee una acción residual en el lodo lo cual facilita el espesamiento sin necesidad de acondicionadores.
- Dada su composición en su mayoría inorgánica, estos residuos se prestan para la elaboración de ciertos materiales de construcción.

4.2.2 Desventajas:

- El Aluminio residual del coagulante pasa a formar parte del lodo, por lo que requiere de especial cuidado.
- Generalmente, los residuos del coagulante en el lodo no son materia aprovechable, puesto que su presencia implica daños ambientales, y si bien existen procesos que permiten reciclar componentes como el Aluminio o ciertos metales; estos resultan ser tediosos y costosos².
- El valor obtenido en el ensayo de aluminio supera el valor máximo permisible de vertimiento según la resolución 631 del 2015.

5. PROCESO DE MANEJO PARA EL LODO DE MORINGA

En el capítulo C.13 del Título C del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable (RAS 2000), se mencionan los criterios mínimos para dar un manejo adecuado a los lodos producidos durante la sedimentación y filtración del proceso de potabilización del agua.

Inicialmente, se describe el procedimiento para obtener la concentración del lodo, cuya medida permite elegir el tratamiento más adecuado de acuerdo con la tabla C.13.1 de la norma. (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Selección del tratamiento del lodo según su concentración.

Tipo de lodo	Concentración de sólidos (%)
Proceso de sedimentación	0.5 - 2
Agua de lavado de filtros	50 - 1000 ^a
Proceso de ablandamiento con soda y cal	2 - 15
Espesado gravitacional	
Sedimentos de coagulación y lavado	2 - 20 (típico : 2 - 4)
Agua de lavado de filtros	Mayor a 4
Lodos de cal	15 - 30
Filtración al vacío	
Lodos de coagulación	10 - 20
Ablandamiento con cal (>85% de contenido de CaCO ₃)	50 - 70
Ablandamiento con cal (alto contenido de Mg(OH) ₂)	20 - 25
Filtración a presión	
Lodos de coagulación	30 - 45
Lodos de cal	55 - 70
Centrífugas	
Lodos de coagulación	10 - 20
Lodos de cal y aluminio	15 - 40
Lodos de cal	30 - 70
Camas de secado	
Lodos de coagulación	15 - 30
Lodos de cal	50 - 70
Lagunas	
Lodos de coagulación	7 - 15
Lodos de cal	50 - 60

^a Concentración dada en mg/l

Fuente. Norma RAS 2000.

Para determinar la concentración del lodo se siguió el proceso descrito en numeral C.13.3.1.1 de la norma RAS, el cual consiste en tomar el peso de una capsula vacía previamente desecada y posteriormente verter en ella un volumen conocido

de la muestra de lodo decantado con anterioridad por un periodo de 4 a 6 horas, con lo que después de evaporar el agua por completo, se desecara y se pesara de nuevo la capsula (RAS, 2000).

La diferencia de los pesos de la capsula en gramos, se divide entre el volumen total de la muestra, de esta manera se obtuvo la concentración.

En total, se ensayaron 8 muestras del lodo de Moringa. (Ver Tabla 8)

Tabla 8. Concentración del lodo de moringa

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	PROMEDIO
CONCENTRACION (g/L)	37,267	37,278	37,250	37,232	37,265	37,210	37,266	37,250	37,252
CONCENTRACION (%)	3,7267	3,7278	3,725	3,7232	3,7265	3,721	3,7266	3,725	3,725

De acuerdo con el promedio de la concentración en porcentaje del lodo de Moringa se tiene que el tratamiento más adecuado es el espesamiento gravitacional.

La norma recomienda acondicionar el lodo para facilitar el proceso de deshidratación, así mismo, propone el uso de cal, cloruro férrico, sulfato ferroso o polímeros como opciones de acondicionadores para facilitar el proceso de floculación.

Por otra parte, el lodo con Moringa tiende a descomponerse rápidamente durante el almacenamiento, generando olores desagradables, por lo que la mejor opción de acondicionamiento es la adición de cal en pequeñas proporciones, ya que esta puede controlar el olor, además de ofrecer una acción desinfectante (RAS, 2000).

La cal también facilita la pérdida de humedad del lodo y permite su aplicación en terrenos destinados a agricultura o rellenos sanitarios (ANFACAL, 2013).

Una desventaja de emplear cal como acondicionador en el lodo de Moringa es que este tiene un PH que no sobrepasa las 7 unidades tal como se muestra en la tabla 2, por lo que la cantidad de cal debería agregarse en proporciones controladas y vigilando que la alcalinidad no aumente drásticamente; además, la cal aumenta la cantidad de lodo que debe disponerse.

6. DISPOSICIÓN FINAL PARA EL LODO DE MORINGA

6.1 ALTERNATIVAS DE USO

Como ya se ha mencionado, el lodo de Moringa posee una mayor concentración de compuestos orgánicos y bajas cantidades de materiales tóxicos, por lo que puede emplearse en varios campos, algunas alternativas se mencionan a continuación

6.1.1 Aprovechamiento en la agricultura. La adición de biosólidos al suelo permite mejorar su textura y su capacidad de absorción de agua, lo cual favorece el crecimiento de las raíces y genera mayor resistencia a la sequía (Limón Macías, 2013).

Por otra parte, la adición de biosólidos a los suelos puede reducir de un 15 a un 50% del fertilizante aplicado y permite obtener la misma producción.

El lodo de Moringa posee buenas proporciones de Fosforo, Nitrógeno y Carbono, además de otros componentes útiles en el desarrollo de la capa vegetal, además, el contenido de materiales tóxicos tales como metales pesados, se presentan en cantidades muy bajas en comparación con los límites máximos que se consignan en la resolución 631 del 2015, lo cual hace posible su incorporación directa al suelo después de una debida estabilización para reducir la actividad microbiana y bactericida.

Para facilitar la absorción de los componentes del lodo en el suelo, se puede optar por el compostaje, el cual es un proceso relativamente fácil que descompone la materia orgánica a través de un proceso biooxidativo, en el que intervienen varios microorganismos que requieren humedad y temperatura controladas, para transformarla en materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxicidad y que no genere consecuencias negativas⁶.

En la investigación de Torres (2014), se menciona varios tipos de compostaje, tales como:

- Apilamiento estático, que requiere de constante aireación y es recomendable en áreas pequeñas.
- Apilamiento con volteo, que permite un constante movimiento para generar una mayor aireación. Requiere un manejo simple y se mantiene un mayor control sobre la temperatura y la humedad.

- Sistemas cerrados que permiten una mayor velocidad en el proceso, no obstante, requieren mayor inversión.

En general, la adición del lodo en el suelo, resulta muy benéfico, especialmente en suelos ácidos¹²

Por otra parte, se recomienda mantener un PH del suelo entre 5,5 a 7,5 para reducir al mínimo el lixiviado de metales y aumentar el crecimiento de las cosechas²

6.1.2 Fuente de energía. En su investigación, (Limón Macías, 2013) menciona que una de las opciones más eficientes para estabilizar los lodos es la digestión anaerobia, la cual consiste en destruir la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno.

El reactor anaerobio debe ser cerrado para evitar el contacto con el aire, la materia orgánica se convierte en ácidos volátiles que generan gas metano y dióxido de carbono. En el proceso intervienen varios tipos de bacterias para producir la fermentación, las cuales se clasifican en un primer grupo, que son las bacterias formadoras de ácidos; y un segundo grupo, que son las bacterias formadoras de metano (Galvis, 2013).

Entre sus principales ventajas se encuentra una buena inactivación de patógenos, una reducción significativa en la masa de sólidos a disponer, los sólidos restantes son totalmente aptos para la agricultura, etc.

Por otra parte, el empleo de este método de estabilización, acarrea grandes inconvenientes, principalmente por los altos costos que representa y la complejidad de las operaciones necesarias, y personal calificado.

Al hablar del lodo como posible generador de energía, se hace referencia al aprovechamiento del gas metano generado en el proceso de digestión anaerobia, el cual, al ser debidamente manejado, puede suplir entre un 50% hasta el 100% de la energía necesaria para la operación.

El gas metano también puede ser aprovechado en un sistema de cogeneración, generando energía térmica y electricidad al mismo tiempo.

En su investigación, Limón Macías (2013), describe el proceso de cogeneración de energía que consiste en emplear el gas metano para alimentar un motor-generador para producir electricidad, por otra parte, el agua que se descarga del

¹² ANFACAL. Estabilización con cal de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Aditivos para el proceso de composteo. 2013.

motor a una temperatura de 70 a 82° C, junto con el gas de escape caliente del motor proporcionan el calor necesario para la digestión anaerobia del reactor, mediante un intercambiador de calor.

El lodo de Moringa al contener gran cantidad de materia orgánica puede producir buenas proporciones de gas metano, lo cual permitiría mitigar los costos de operación del tratamiento al implementar un sistema óptimo de cogeneración.

6.1.3 Elaboración de elementos de mampostería. El uso de residuos del proceso de potabilización en la elaboración de determinados componentes de mampostería requiere la incineración del material para eliminar la materia orgánica, por lo que el lodo de moringa no sería un buen candidato en esta actividad, no obstante, puede prestarse a esta opción en última instancia (García, *et al*, 2014).

7. CONCLUSIONES

En promedio, el lodo de moringa contiene 0.34 mg/l de aluminio frente a 10.50 mg/l presentes en el lodo de PAC, con lo que se puede afirmar que el contenido de este elemento está estrechamente relacionado con el tipo de coagulante empleado.

El aluminio presente en el lodo de moringa se debe a la composición natural del agua, sin embargo la cantidad es mínima comparada con los valores máximos admisibles de la resolución 631 del 2015.

El lodo de moringa contiene mínimas cantidades de metales pesados, cuyos valores son ligeramente menores a los del lodo de PAC, lo cual sugiere que la presencia de estos elementos se debe principalmente a la composición natural del agua o a una contaminación por agentes externos al uso del coagulante.

Dada la baja concentración de metales pesados en el lodo de moringa, al ser dispuestos en afluentes superficiales, estos no generarían bioacumulación, puesto que la fuente estaría en capacidad de dispersar y mitigar los efectos de dichos elementos, no obstante, debido a la presencia de otros contaminantes, esta práctica no es recomendable.

En promedio el valor de DQO en el lodo de moringa es de 307,37 mg/l, frente a 185 mg/l presentes en el lodo de PAC, lo cual hace notable una mayor cantidad de compuestos orgánicos; por otra parte, los valores de bromatología muestran que el lodo de moringa ofrece una mayor concentración de nitrógeno, fósforo y potasio; por lo que se puede aplicar a suelos con funciones agrícolas y forestales.

El lodo de moringa tiende a descomponerse muy rápido, generando olores desagradables en el agua tratada, lo cual hace necesaria una evacuación más frecuente de los sedimentos, y ser estabilizado con cal para contrarrestar dichos efectos.

La descomposición más rápida del lodo de moringa puede verse como una ventaja, ya que esto permite una mayor eficiencia en los procesos de tratamiento y asimilación por parte del suelo.

El uso de cal como estabilizante puede ampliar los beneficios del lodo, principalmente en su disposición en suelos ácidos.

El lodo de moringa requiere menos procesos para su disposición, por lo tanto, no requiere estructuras complejas, lo cual podría reflejarse económicamente.

Según la resolución 631 del 2015 y la legislación adjunta de Ecuador frente a vertimientos puntuales, por sus características el lodo de moringa no puede disponerse directamente en fuentes de agua superficiales, ya que su carga de DBO5 de 147,50 mg/l y DQO de 307,37 mg/l, sobrepasan los valores máximos admisibles, lo cual significaría una carga contaminante difícil de equilibrar por el afluente.

Frente a los graves problemas ambientales, es importante tomar conciencia de la problemática que generan algunos de los actuales métodos empleados en la potabilización del agua, principalmente en el uso de productos que se convierten en sustancias nocivas al finalizar su función, por lo que es urgente explorar nuevas alternativas a soluciones integrales que permitan asegurar una debida potabilización y una generación y disposición responsable de los residuos.

8. RECOMENDACIONES

Evitar que la muestra este expuesta por mucho tiempo a la luz solar, puesto que se generan olores desagradables, es recomendable implementar un espesador externo, que garantice aislar el lodo de la luz solar y del agua tratada, y así mismo facilitar el proceso y la extracción. Las muestras se contaminan con mucha facilidad, variando significativamente los resultados, por lo que se recomienda una buena práctica de las normas y procedimientos de laboratorio. Si el sistema de tratamiento con coagulante de moringa se llegara a implementar se recomienda hacer limpieza de filtros y sedimentadores con más frecuencia, ya que se pueden producir olores desagradables en el agua tratada.

Observar las ventajas que ofrece el lodo de moringa ya que es mucho mayor el aprovechamiento de su contenido orgánico principalmente para fines agrícolas y forestales.

BIBLIOGRAFIA

ANFACAL. Estabilización con cal de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Aditivos para el proceso de composteo. 2013. Disponible en línea en: <http://anfocal.org/media/Biblioteca_Digital/Usos_Ecologicos/Tratamiento_de_Lodos/ESTABILIZACION_CON_CAL_DE_LODOS_PROVENIENTES_DE_PLANTAS_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES.pdf>.

APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. 1992. 17 Edición. Disponible en línea en: <<http://www.translatorscafe.com/cafe/file/?id=73622>>

CÁCERES, A. *et al.* Pharmacological properties of *M. oleífera*. Preliminary screening for antimicrobial activity. *J. Ethnopharmacology*. 1991.

CACERO, David. Potabilización del agua. Máster en ingeniería medioambiental y gestión del agua. España: EOI, Escuela de negocios, 2007.

COLOMBIA.DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título C del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: Manejo de lodos. Bogotá: 2000. 115 h. (RAS 2000). Disponible en línea en: <http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/5._Sistemas_de_potabilizacion.pdf>.

ECUADOR, SECRETARIA DEL AGUA. Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente. Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce: Quito: 2015. 25 h. Disponible en línea en:<<http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/Reforma%20Anexo%2028%20feb%202014%20FINAL.pdf>>.

GARCIA MORA, Ana, et al. Caracterización fisicoquímica y evaluación de potenciales estrategias de valorización de los lodos generados en el proceso de potabilización desarrollado por EMPOPASTO S.A. E.S.P: Caracterización fisicoquímica de las muestras de lodo. Pasto, 2014. 35 ,37h. Trabajo de grado (Química). Universidad de Nariño.

GRANDA, Maricela & SALGADO Andrea. Contaminación del agua por metales pesados [diapositivas]. Escuela de ciencias químicas. Facultad de ciencias. Chimborazo. 2013. 15 diapositivas. Online.

HIDRITEC, Tratamiento de aguas residuales y disminución de DQO. 2016. Disponible en línea en: <<http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo>>.

LENNTECH, Aluminio en el agua. 2009. Disponible en línea en: <<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>>

LIMÓN MACÍAS Juan. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?: Problemática en el manejo y disposición de lodos. Guadalajara, México, 2013. Trabajo de grado (Especialidad ingeniería química). Disponible en línea en: < http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf>.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Artículo 8 y Artículo 14. Bogotá, 2015. Disponible en línea en: <http://corponor.gov.co/control_calidad/RESOLUCION%20MINAMBIENTE%20NACIONAL%20631%20DE%202015.pdf>.

ORELLANA, Leny. Bromatología. [Diapositivas]. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia. 2013. 11 Diapositivas. Online

PÉREZ, Eduardo. Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México: INCI Caracas, 2007.

PERU, MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO. Valores máximos admisibles de las descargas de agua residuales no domésticas: Lima: 2009. Disponible en línea en:<<http://www.sedapal.com.pe/documents/10154/fedf8405-1bc2-428e-9d8d-a1c2ad009f53>>.

ROMERO, Karla. Contaminación por metales pesados. Cochabamba. Rev. Científica Ciencia Médica. 2009. ISSN 2077-3323.

SUÁREZ M; Entenza, J.M.. Expression of a plantderived peptide harboring water-cleaning and antimicrobial activities. Biotechnol. Bioeng. 2003.

SANDOVAL YUVAL, Luciano, et al. Tratabilidad de los lodos producidos en la potabilización del agua: Resultados y discusión. Los berros, México. 8 h. Disponible en línea en:<<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/peru/mexapa045.pdf>>.

TORRES, Eduardo. Reutilización de aguas y lodos residuales. Universidad politécnica de Madrid. 2014. Disponible en línea en <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:XeP31ELbWcQJ:www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>>

YUGDAR, Daiana. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos residuales de la planta potabilizadora Gualeguaychú Entre Ríos, Argentina: Resultados. Entre Ríos. 200.

ANEXOS

Anexo A. Valores máximos admisibles en vertimientos puntuales de la resolución 631 del 2015.

Valores máximos admisibles en vertimientos puntuales del artículo 5

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD,	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD,
		Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARND DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 625,00 Kg/día Y MENOR O IGUAL A 3.000,00 Kg/día DBO ₅	Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARND DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 3.000,00 Kg/día DBO ₅
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	180,00	150,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	90,00	70,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	90,00	70,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	10,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L		Análisis y Reporte
Fenoles Totales	mg/L		Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L		Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones			
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L	0,50	0,50
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Metales y Metaloides			
Aluminio (Al)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,10
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50
Hierro (Fe)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Mercurio (Hg)	mg/L	0,02	0,02
Níquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50
Plata (Ag)	mg/L		Análisis y Reporte
Plomo (Pb)	mg/L	0,50	0,50
Otros Parámetros para Análisis y Reporte			
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Valores máximos admisibles en vertimientos puntuales del artículo 14.

PARAMETRO	UNIDADES	GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	RECICLAJE DE MATERIALES PLÁSTICOS Y SIMILARES	RECICLAJE DE TAMBORES
Generales					
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200,00	2.000,00	500,00	1.000,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	150,00	800,00	200,00	600,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	400,00	200,00	150,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00	1,00	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	50,00	20,00	20,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L		Análisis y Reporte		
Fenoles	mg/L	0,20	0,20	0,20	0,20
Formaldehído	mg/L			Análisis y Reporte	
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos					
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00	10,00	10,00	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo					
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Ortofosfatos (PO ₄ ³⁻)	mg/L		Análisis y Reporte		
Compuestos de Nitrógeno					
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L		Análisis y Reporte		
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L		Análisis y Reporte		
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L		Análisis y Reporte		
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones					
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L		0,50	1,00	1,00
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	250,00	500,00		Análisis y Reporte
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250,00	600,00		Análisis y Reporte
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L		Análisis y Reporte		
Metales y Metaloides					
Aluminio (Al)	mg/L		3,00		
Arsénico (As)	mg/L	0,50	0,10		0,10

PARÁMETRO	UNIDADES	GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	RECICLAJE DE MATERIALES PLÁSTICOS Y SIMILARES	RECICLAJE DE TAMBORES
Bario (Ba)	mg/L		2,00		
Berilio (Be)	mg/L		Análisis y Reporte		
Boro (B)	mg/L		Análisis y Reporte		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,05	0,10	0,10
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00	3,00	3,00
Cobalto (Co)	mg/L		Análisis y Reporte		
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00	1,00	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50	0,50	0,50
Estaño (Sn)	mg/L		Análisis y Reporte	2,00	2,00
Hierro (Fe)	mg/L	1,00		3,00	3,00
Litio (Li)	mg/L		Análisis y Reporte		
Manganeso (Mn)	mg/L		Análisis y Reporte		
Mercurio (Hg)	mg/L	0,005	0,01	0,02	0,02
Molibdeno (Mo)	mg/L		Análisis y Reporte		
Níquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50	0,50	0,50
Plata (Ag)	mg/L			0,20	0,20
Plomo (Pb)	mg/L	0,50	0,20	0,20	0,20
Selenio (Se)	mg/L		0,20		
Vanadio (V)	mg/L		1,00		
Otros Parámetros para Análisis y Reporte					
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálrica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Anexo B. Valores máximos admisibles en vertimientos de otros países.

Valores máximos admisibles en vertimientos puntuales en Ecuador

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Est. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	10000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Valores máximos admisibles en vertimientos puntuales en Perú

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	DBO5	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T)	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	A y G	100

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Niquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	500
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amónico	mg/L	NH ⁺⁴	80
pH ⁽²⁾		pH	6-9
Sólidos Sedimentables ⁽²⁾	mL/L/h	S.S.	8.5
Temperatura ⁽²⁾	°C	T	<35

Anexo C. Caracterización de lodos de otras investigaciones

Caracterización lodos de la planta Gualeguaychú (Argentina)

Parámetro	Resultado
pH	4,5 - 7,5
Densidad (mg/L)	1,004 - 1,034
Humedad (%)	97,9 - 99,2
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	11,9 - 39,7
DQO (mg O ₂ /L)	371 - 1.562
S Sed en 10 min(ml/L)	5-980
S Sed en 2hs (ml/L)	2-800
ST (mg/L)	7.596 - 26.560
SS (mg/L)	3.240 - 24.800
SS (%ST)	42,7 - 93,4
SF (mg/L)	3.964 - 21.623
SV (mg/L)	3.632 - 4.937
SV (%ST)	18,6 - 47,8
Sulfatos (ppm)	199 - 262
Hierro total (ppm)	120 - 417
Aluminio (ppm)	1.034 - 4.705
Mic. Aerobios Mesófilos (UFC/ml)	32 - 154
Bac. Coliformes Totales (NMP/100ml)	62 - 2400
Bac. Coliformes Fecales (NMP/100ml)	<3 - 620
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia

Caracterización de los lodos de la planta Los Berros (México)

Metal (mg/L)	Agua Cruda	Lodo Homogéneo	Solución Ácida	Agua Tratada
Antimonio	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Aluminio	1.68	79.50	485.00	0.23
Arsénico	< 0.1	0.77	4.06	< 0.1
Bario	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Berilio	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Cadmio	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Calcio	17.45	16.50	39.60	12.90
Cobalto	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Cobre	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Cromo	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Hierro	0.63	12.55	1.95	< 0.1
Magnesio	5.61	6.39	9.70	5.99
Manganeso	0.11	2.78	2.44	< 0.1
Molibdeno	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Níquel	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Plata	0.14	0.12	< 0.1	< 0.1
Plomo	< 0.1	0.16	0.67	< 0.1
Potasio	3.30	3.93	5.64	3.48
Selenio	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Sodio	11.14	10.20	16.80	12.20
Talio	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Vanadio	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Zinc	< 0.1	< 0.1	0.25	< 0.1