

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EFICIENCIA DE LA Moringa Oleífera COMO COAGULANTE NATURAL
EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DEL AGUA RESIDUAL DOMÈSTICA
DEL EFLUENTE DEL UASB-CITRAR”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

MELENDEZ HUAROC, LESLIE LORENA

Villa El Salvador

2019

DEDICATORIA

A Dios por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional, consejos y paciencia en todo momento.

A mi hermanita por alegrar mis días y ser mi apoyo para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceras muestras de agradecimiento:

A mi familia por apoyarme, brindarme sus consejos, por el cariño y comprensión.

A mi asesor Alcides Garzón por orientarme y brindarme sus conocimientos para poder realizar este trabajo de investigación.

Al laboratorio de la facultad de ingeniería y gestión de la carrera de ingeniería ambiental por facilitarme el uso de materiales y equipos.

Al personal de laboratorio Sra. Jenny Benites y la Srta. Jocelyn Gallardo por su apoyo en todo el desarrollo del trabajo de investigación.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO	9
1.1.Descripción de la realidad problemática	9
1.2.Justificación del problema.....	9
1.3.Delimitación del proyecto	10
1.3.1. Teórica	10
1.3.2. Temporal	10
1.3.3. Espacial.....	10
1.4.Formulación del problema.....	12
1.4.1. Problema General	12
1.4.2. Problema Específico.....	12
1.5.Objetivos	12
1.5.1. Objetivo general	12
1.5.2. Objetivos Específicos	12
CAPITULO II: MARCO TEÒRICO	13
2.1.Antecedentes	13
2.2.Bases Teóricas	15
2.2.1. El Agua.....	15
2.2.2. Coloides	17
2.2.3. Propiedades de los coloides.....	18
2.2.4. Estabilidad y desestabilidad de los coloides.....	20
2.2.5. Carga eléctrica del coloide y doble capa	20
2.2.6. Coagulación	21
2.2.7. Floculación	27
2.2.8. Sedimentación.....	28
2.2.9. Test de jarras.....	28
2.2.10. Moringa Oleífera.....	29

2.2.11. Marco Legal.....	33
2.3. Definición de términos básicos	34
CAPITULO III: DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA	37
3.1. Metodología	37
3.1.1. Equipos y materiales e insumos químicos.....	37
3.1.2. Procedimiento.....	38
3.2. Resultados	42
3.2.1. Caracterización de las semillas de Moringa Oleífera.....	42
3.2.2. Características físico-químicas del agua residual domestica	42
3.2.3. Resultados del Biocoagulante Moringa Oleífera al 1% a 1 M de NaCl.....	43
3.2.4. Resultados del Biocoagulante Moringa Oleífera al 3% a 1 M de NaCl.....	49
3.2.5. Resultados del Biocoagulante Moringa Oleífera al 5% a 1 M de NaCl.....	55
3.2.6. Comparación de biocoagulantes de moringa oleífera con NaCl a 1 M a diferentes concentraciones.....	61
3.2.7. Comparación de eficiencias de remoción de turbidez entre diferentes especies naturales.....	61
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Facultad de Ingeniería y Gestión.	11
Figura 2. Ubicación del Centro de Investigación en tratamiento de aguas residuales y residuos peligrosos (CITRAR-UNI).....	11
Figura 3. Distribución de tamaño de partículas coloidales en el agua.....	17
Figura 4. Esquema de las capas eléctricas de un coloide	21
Figura 5. Esquema del proceso de coagulación de partículas coloidales	22
Figura 6. Fuerza de Van der Walls	23
Figura 7. Relación de remoción de turbidez (NTU) con remoción de turbidez (%) aplicando biocoagulante Moringa Oleífera al 1% a 1M de NaCl.	44
Figura 8. Comparación pH antes y después del tratamiento con moringa oleífera al 1% a 1M de NaCl.	45
Figura 9. Relación de remoción de color (pt/Co) con remoción de color(%) aplicando el biocoagulante moringa oleífera al 1% a 1 M de NaCl.....	48
Figura 10. Relación remoción de turbidez (NTU) con remoción de turbidez(%) aplicando biocoagulante Moringa Oleífera al 3% a 1 M de NaCl	50
Figura 11. Comparación del pH antes y después del tratamiento con moringa oleífera al 3% a 1 M de NaCl.....	51
Figura 12. Relación de remoción de color (pt/Co) con remoción de color (%) con biocoagulante moringa oleífera al 3% a 1 M de NaCl.	54
Figura 13. Relación de remoción de turbidez (NTU) con remoción de turbidez (%) aplicando biocoagulante Moringa Oleífera al 5% a 1 M NaCl	56
Figura 14. Comparación del pH antes y después del tratamiento con biocoagulante Moringa Oleífera al 5% a 1 M de NaCl.....	57
Figura 15. Relación de remoción de color(pt/Co) con remoción de color(%) con biocoagulante Moringa Oleífera al 5% a 1M NaCl.....	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de partículas coloidales hidrofóbicas e hidrofiliás	18
Tabla 2. Caracterización de la semilla de moringa oleífera	42
Tabla 3. Características físico-químicas del agua residual doméstica.....	42
Tabla 4. Resultados de remoción de color y turbidez aplicando el biocoagulante moringa oleífera al 1% a 1 M de NaCl.....	43
Tabla 5. Comparación de la temperatura antes y después del tratamiento con moringa Oleífera al 1% a 1M de NaCl.....	46
Tabla 6. Resultados de color antes y después de aplicado el tratamiento con moringa Oleífera al 1% a 1 M de NaCl.....	47
Tabla 7. Resultados de remoción de color y turbidez aplicando el biocoagulante moringa oleífera 3% a 1M de NaCl	49
Tabla 8. Comparación de la temperatura antes y después del tratamiento con Moringa Oleífera al 3% a 1 M de NaCl.....	52
Tabla 9. Resultados de color antes y después de aplicado el tratamiento con moringa Oleífera al 3% a 1 M de NaCl.....	53
Tabla 10. Resultados de remoción de color y turbidez aplicando el biocoagulante moringa oleífera al 5% a 1 M de NaCl.....	55
Tabla 11. Comparación de la temperatura antes y después del tratamiento con moringa Oleífera al 5% a 1M de NaCl.....	58
Tabla 12. Resultados de color antes y después de aplicado el tratamiento con moringa Oleífera al 5% a 1 M de NaCl.....	59
Tabla 13. Comparación entre diferentes concentraciones del biocoagulante moringa oleífera	61
Tabla 14. Comparación de eficiencia de remoción de turbidez entre coagulantes naturales.....	61

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Panel Fotográfico	68
Anexo 2: Flujograma de la parte experimental	76
Anexo 3: Cálculos	77
Anexo 4: Resultados de Laboratorio	81
Anexo 5: Normas Legales	82

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso primordial para la vida es ante ello que distintos países del mundo han tomado iniciativas para lograr que sea sostenible en el tiempo a través de su racionalidad en consumo y dando un tratamiento posterior a las aguas residuales domésticas e industriales.

El agua potable cumple con determinadas características fisicoquímicas como en turbidez, color, pH, entre otros, establecidos en la normativa peruana (ECA y LMP) para que sean aptas para el uso y consumo humano. La turbidez es un parámetro físico e indicador de calidad importante para una Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), puesto que el efluente debe de estar libre de sólidos en suspensión como la arcilla, limos, arenas, etc.

La coagulación-floculación es un tipo de tratamiento físico y químico que permite la remoción de turbidez mediante coagulantes químicos o naturales, los cuales permiten la desestabilización de las partículas coloidales y su posterior aglomeración facilitando de esta forma su remoción del agua residual.

Las plantas de tratamiento de nuestro país actualmente utilizan polímeros químicos como el sulfato de aluminio (alúmina), cloruro férrico y otras sales para el proceso de coagulación; sin embargo, estas sustancias químicas al quedar como residuo generan un problema a la salud puesto que afectan al sistema nervioso, asimismo, representa un problema de contaminación ya que este químico se encuentra presente en los lodos residuales.

Los coagulantes naturales representan una alternativa factible y saludable ya que no son tóxicos a la salud, son biodegradables y no contaminan el cuerpo receptor final.

La moringa oleífera es un coagulante natural que se ha ido estudiando por varios años demostrando su alta eficiencia de remoción de turbidez sobre distintas turbiedades (alta y baja). Es por ello que este trabajo busca comprobar la eficiencia que tiene este polímero orgánico aplicado en aguas de baja turbiedad como lo son las aguas residuales del efluente de un reactor UASB.

CAPÍTULO I: PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO

1.1. Descripción de la realidad problemática

Perú es uno de los países que tiene mayor disponibilidad de agua superficial a nivel mundial; sin embargo, su calidad es crítica en algunas partes del país, una de las causas principales es la falta de tratamiento de las aguas residuales, las cuales se caracterizan por tener altos valores de materia orgánica, nutrientes y microorganismos, que al ser vertidas a un cuerpo receptor generan la contaminación del medio acuático limitando el uso de este recurso natural para el consumo, riego y saneamiento.(ANA, 2013.p66)

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en nuestro país tienen mayormente dentro de sus procesos la coagulación, en donde se utilizan los coagulantes químicos o artificiales (sales de aluminio y de hierro) que representan una gran suma de dinero al año y asimismo representan un problema ambiental, debido a que dejan subproductos después de terminado su tratamiento, contaminando y dañando de esta forma la vida del cuerpo receptor final.

Ante esta problemática se ha buscado nuevas alternativas de tratamiento que no representen un daño ambiental, a la salud y asimismo sean económicamente factibles, como lo son los denominados “coagulantes verdes”, los cuales aprovechan las propiedades de distintos productos orgánicos para el proceso de coagulación. Las semillas de moringa son un claro ejemplo de biocoagulante puesto que aparte de tener muchos usos como lo es a nivel nutricional, medicinal y gastronómico, también es un potente purificador de aguas.

1.2. Justificación del problema

Actualmente nuestro país hace uso de los coagulantes convencionales como el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y el cloruro férrico ($FeCl_3$) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales, los cuales generan un posterior problema de contaminación sobre la calidad del agua afectando directa e indirectamente la biodiversidad acuática y de los ecosistemas. Es ante ello que países desarrollados y en desarrollo están buscando nuevas alternativas de tratamiento con los coagulantes naturales, puesto que representan una alternativa de tratamiento de bajo costo, sostenible y biodegradable en el tiempo.

La *moringa oleífera* es un coagulante natural que no ha sido tan estudiado en nuestro país, motivo por el cual se realiza este estudio **“Eficiencia de la *moringa oleífera* como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua residual doméstica del efluente del UASB-CITRAR”** y de esta forma complementar los estudios basados en el uso de este polímero orgánico aplicado en aguas con baja turbidez buscando conseguir la mayor remoción de partículas coloidales en la muestra de agua.

1.3. Delimitación del proyecto

1.3.1. Teórica

Este estudio tiene por objetivo demostrar la eficiencia que tiene las semillas de moringa oleífera como coagulante natural sobre aguas residuales domésticas a una determinada turbiedad. La muestra a tratar es obtenida del centro de investigación en tratamientos de aguas residuales y residuos peligrosos (CITRAR-UNI).

1.3.2. Temporal

El presente estudio se realizó durante los meses de Enero hasta Abril. Durante estos días se procedió con la recolección, procesamiento y caracterización de la semilla de Moringa oleífera, la extracción del aceite, la preparación de las tres soluciones madres y las pruebas de jarras.

1.3.3. Espacial

El presente estudio se realizó en los laboratorios de Química y Biología de la Facultad de Ingeniería y Gestión de la Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur (UNTELS) con muestras tomadas del efluente de CITRAR-UNI.



Figura 1. Ubicación de la Facultad de Ingeniería y Gestión.
Fuente: Google Earth (2019)



Figura 2. Ubicación del Centro de Investigación en tratamiento de aguas residuales y residuos peligrosos (CITRAR-UNI).
Fuente: Google Earth, 2019

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema General

- ¿Cuál será la eficiencia de la *Moringa Oleífera* para la reducción de turbidez de las aguas residuales domésticas?

1.4.2. Problema Específico

- ¿Cuál es la dosis óptima de la *Moringa Oleífera* y la concentración para la disminución de turbidez del agua residual doméstica?
- ¿Cuáles serán los valores de pH, temperatura, color antes y después del tratamiento?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Evaluar la eficiencia de reducción de turbiedad de la *Moringa Oleífera* como coagulante natural en aguas residuales domésticas del efluente de un reactor UASB.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la dosis apropiada del coagulante natural y la concentración para la disminución de la turbidez del agua residual doméstica.
- Determinar los valores de pH, temperatura, color antes y después del tratamiento.

CAPITULO II: MARCO TEÒRICO

2.1. Antecedentes

Mónica Bravo (2015) en su investigación “Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales” determinó la eficiencia de remoción de turbidez , sólidos totales ,DBO, DQO entre otros parámetros de distintos polímeros naturales como: la moringa oleífera ,Cassia obtusifolia,Jatropha curcas,Aesculus hyppocastanum y Quercus robur,Abelmoschus esculentus,Plantago mayor , etc. de las cuales se pudo inferir que son las semillas las más usadas para el proceso de coagulación logrando una eficiencia del 90% de eliminación de contaminantes.

Patrícia G.S. Lédo et al. (2009) realizó la investigación “Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleífera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad” en donde se buscó evaluar la eficiencia de remoción de turbiedad de la laguna de Jiqui ,para ello se realizaron pruebas en test de jarras y mediante la microelectroforesis se determinó el potencial zeta. La mejor eficiencia de remoción de turbiedad obtenida con sulfato de aluminio fue a un pH igual a 5 con dosificación de 15 mg/L logrando un 84% de remoción, mientras que en las variaciones de la dosificación de Moringa oleífera y su influencia sobre el potencial Zeta se determinó una eficiencia del 74% con una dosificación de 50 mg/L.

María Meza Leones et al. (2018) en la investigación “Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa Oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico” donde utilizó el test de jarras para simular el proceso de clarificación y obtuvo la capacidad de reducción de turbidez de cada coagulante. Utilizando el sulfato de aluminio se logró disminuir el 96% de la turbidez, por el otro lado utilizando la semilla de la Moringa Oleífera se logró disminuir el 64% del parámetro mencionado.

Edgar Aldana Rivera (2012) en su investigación “Uso del extracto de la semilla de moringa oleífera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano”. Evaluó al extracto de moringa oleífera como coagulante primario y ayudante de la coagulación para realizar una comparación con el sulfato de aluminio como coagulante en la misma muestra de

agua del Río Rímac. Se analizaron las dosis, dosificaciones y tiempo de sedimentación para ambos casos.

Los resultados demostraron que la moringa oleífera tiene potencial como coagulante natural reduciendo la turbidez a valores menores de 2 UNT, asimismo dio resultados positivos en la reducción de coliformes totales y fecales.

Tumbaco & Acebo (2018) en su estudio titulado "Eficiencia de biocoagulante a base de semilla de moringa oleífera para aplicación de tratamiento de agua usando como fuente de captación el río Guayas" en esta investigación se evaluó el poder coagulativo para 4 tipos de preparación del coagulante: M.O. con cascara +SLN; M.O. Sin Cascara + SLN Salina; M.O. Con Cascara y M.O. Sin Cascara. Se comprobó que mayor eficiencia se obtuvo con la moringa más la solución salina para la remoción de turbidez y color del agua, siendo 66.67 mg/L la mejor dosis establecida logrando una remoción del 100% de los parámetros fisicoquímicos mencionados.

Álvarez (2017) en su estudio titulado "Tratamiento de las aguas superficiales mediante el uso de semilla Moringa (Moringa Oleífera) como coagulante orgánico en la cuenca baja del río Chillón - Carabayllo 2017" se evaluó a la moringa oleífera como coagulante orgánico para la reducción de parámetros físicos y químicos de las aguas superficiales del río Chillón. En este trabajo se preparó inicialmente una solución patrón de 1000mg/L y a partir de este se utilizó en concentraciones (10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L, 30 mg/L, 40 mg/L). Los resultados iniciales obtenidos del agua fueron: 7,50 en pH; 580mg/L en SDT; 19,2°C en Temperatura y 589 UNT en Turbiedad, y los resultados finales: 7,54 en pH; 421mg/L en SDT; 19,1°C en Temperatura y 17,3 UNT en Turbiedad. Con una eficiencia 14,43% en S.D.T. y 97,06% en Turbiedad.

Urquía (2017) en su investigación "Eficiencia de la Opuntia Ficus-Indica frente a la Moringa Oleífera, en el tratamiento de aguas del Río Huaycoloro, SJL-2017" tuvo por objetivo evaluar la dosis óptima para estos dos biocoagulantes en donde se observó una reducción de los parámetros físico-químicos del Agua superficial del río Huaycoloro. La muestra de agua inicial del río presentaba valores de 560 NTU de turbidez, 303 g/L de sólidos disueltos y un pH de 7.64. La moringa oleífera logró

una remoción de turbidez de 6.21 NTU y 30,33 g/L de sólidos disueltos mientras que la Opuntia Ficus logró una reducción de turbidez de 14.68 y 34,33 de sólidos disueltos concluyéndose de esta forma la efectividad de la moringa frente al mucilago de la penca.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. El Agua

2.2.1.1. Definición

El Agua es un recurso natural que no tiene olor, sabor y color. Este recurso se encuentra en los ríos, mares, lagos, glaciares y casquetes polares ocupando el 70% de nuestro planeta.

El agua es un recurso renovable debido a su ciclo hidrobiológico natural; indispensable para la vida, ya que tanto el ser humano como otras especies necesitan de este recurso para su existencia; vulnerable debido a que puede deteriorarse si no se preserva y conserva sus propiedades y por último es estratégico para el desarrollo sostenible de la Nación (ANA, 2019).

2.2.1.2. Calidad del Agua

La calidad del agua, en términos generales, son las cualidades físicas, químicas y biológicas que caracterizan a este recurso para su uso o propósito final. Para lograr dicha calidad se han establecido normas que indican las medidas de valores máximos y mínimos que deben de cumplir con respecto a su destino final, es decir, dichas normas aplicaran con mayor rigurosidad cuando la fuente de agua implique un efecto directo sobre la salud humana o sobre el ambiente y será menos riguroso si se trata de aspectos distintos a lo mencionado .Aldana(2012) afirma que “Bajo estas condiciones podemos decir que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afecten su uso real o potencial”.

2.2.1.3. Características del agua

a. Características físicas

El agua posee propiedades físicas, es decir, son visibles a nuestros sentidos como a la vista, el olfato y el tacto. Estas características influirán directamente sobre las condiciones estéticas y aceptabilidad del agua (Aguilar, 2010).

Siendo las características físicas más importantes:

- Turbiedad
- Color
- Sabor
- Temperatura
- pH
- Sólidos solubles e insolubles

b. Características Químicas

El agua es un solvente universal debido a su propiedad de bipolaridad, puede disolver más sustancias de origen natural o industrial que cualquier otro líquido y contener cualquier elemento de la tabla periódica. Aguilar (2010) menciona que son pocos los elementos que representan una significancia para el tratamiento de aguas destinadas al consumo humano.

Siendo los parámetros químicos más importantes:

- Dureza
- Alcalinidad
- Salinidad
- Nitritos y nitratos
- Mercurio
- Hidrocarburos
- Fenoles
- Aluminio
- Cloruro
- Cobre
- Plomo
- Sulfatos

c. Características Biológicas

El agua es un medio donde existe la presencia de distintos microorganismos provenientes de forma natural o por la contaminación debido a un vertimiento industrial, asimismo constituye un medio en donde estos seres vivos realizan sus procesos metabólicos. Para que los microorganismos puedan multiplicarse necesitan de las condiciones adecuadas, como una temperatura templada y disponibilidad de materia orgánica; que dependerán de las características físicas y químicas que presente dicha fuente de agua.

2.2.2. Coloides

Se denomina coloide a todo material que por su tamaño de 10^{-4} a 10^{-5} micrómetros se mantiene en suspensión en el agua. Se clasifican de dos formas de acuerdo a su origen en orgánico como las macromoléculas vegetales e inorgánicas como los óxidos de hierro y manganeso. (Rigola, 1990)

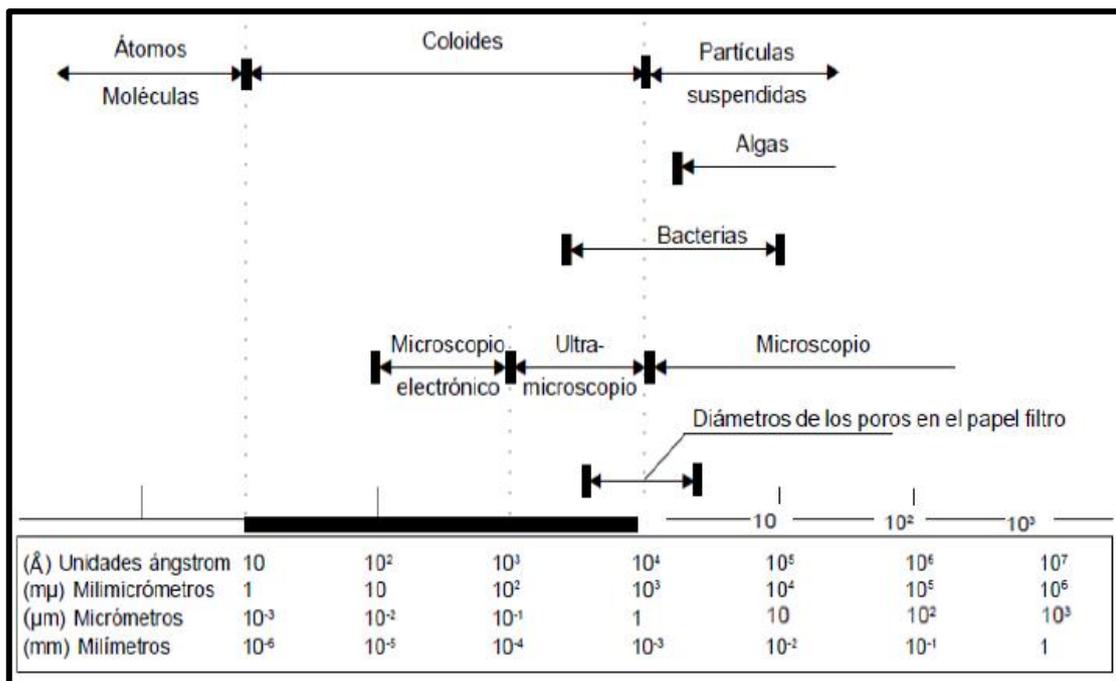


Figura 3. Distribución de tamaño de partículas coloidales en el agua

Fuente: Richter et al. (1984)

Vargas et al (como se citó en López, 2018) menciona que los coloides presentan una carga superficial negativa que impiden que estas se acerquen entre ellas,

generando su permanencia en el líquido que los rodea. Por este motivo, para que sean removidas es preciso la adición de una sustancia denominada “coagulante”.

2.2.2.1. Afinidad de las partículas coloidales por el agua

Los coloides son partículas de baja sedimentación y esto se debe a la afinidad que puede tener al medio dispersante (sustancia en donde las partículas coloidales están distribuidos) y ante ello se clasifican en hidrófobos (No miscible o baja afinidad en el agua) e hidrofílicos (miscible o alta afinidad en el agua). Una partícula hidrofílica o emulsores son generalmente de materia orgánica que se caracterizan por poseer moléculas polares que forman fácil y temporalmente enlaces con un solvente como lo es el agua logrando su dispersión en este medio, en cambio las partículas coloidales hidrofóbicas o suspensores (ejemplo la arcilla y óxidos metálicos) se definen mayormente como materia inorgánica que necesitan de un medio químico o físico para lograr su dispersión en el agua.

Tabla 1. Características de partículas coloidales hidrofóbicas e hidrofílicas

Características	Hidrofóbico	Hidrofílico
Tensión Superficial	Similar al medio	Menor que el medio
Viscosidad	Es muy similar a la fase dispersa sola	Mayor que la fase dispersa sola
Reacción a los electrolitos	Adición de pequeñas cantidades de electrolito pueden producir la agregación.	Se requiere la mayor cantidad de electrolito para producir la agregación.
Aplicación de un campo eléctrico	Las partículas migran en una dirección bajo la acción de un campo eléctrico.	Pueden migrar en ambas direcciones o no bajo la acción de un campo eléctrico
Ejemplos	Óxidos metálicos, sulfuros, plata, metales.	Proteínas, almidones, gomas, virus

Fuente: Aguilar, M. I et al (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación.

2.2.3. Propiedades de los coloides

Los coloides tienen cuatro tipos de propiedades que definen como es su comportamiento sobre el medio dispersante que es el solvente (agua). Estas propiedades son: cinética, ópticas, de superficie y electrocinéticas. (Aguilar, 2010)

2.2.3.1. Propiedad Cinética

Esta propiedad se define por el movimiento de las partículas coloidales en el agua. Se clasifican en tres: Movimiento Browniano, Difusión, Presión Osmótica.

2.2.3.1.1. Movimiento Browniano

Este tipo de movimiento se caracteriza por ser irregular, continuo y aleatorio la cual sigue una trayectoria en forma de “zigzag”. Este movimiento debe su nombre a su descubridor escocés, biólogo y botánico Robert Brown (1773-1858), el cual mientras observaba el polen con un microscopio vio diminutas partículas suspendidas en movimiento aleatorio. Cabe resaltar que este movimiento se debe a las colisiones que recibe la superficie de estas partículas por parte de las moléculas del fluido en donde se encuentra disperso.

2.2.3.1.2. Difusión

La difusión está basada en el movimiento browniano y se define como la dispersión al interior del solvente. Es importante resaltar que las partículas tendrán una velocidad de difusión que será inversamente proporcional a su volumen, es decir, mientras mayor tamaño tenga el coloide tendrá por ende una menor velocidad de difusión.

2.2.3.1.3. Presión Osmótica

Es un tipo de difusión y movimiento browniano en la cual las partículas coloidales son inhibidas en su difusión por una membrana semipermeable siendo las moléculas del solvente las que atraviesan dicha membrana y llegan a una zona de mayor concentración que la inicial. Cabe señalar, que la presión que ejerce el flujo del solvente se denomina presión osmótica.

2.2.3.2. Propiedad Óptica

2.2.3.2.1. Efecto Tyndall

El efecto Tyndall es un fenómeno físico que se basa en la visibilidad de los coloides durante la dispersión de la luz dentro de una disolución o gas. Por otro lado se denominara una disolución o gas verdadero cuando no presenta estos coloides, es decir, se observará una transparencia debido a que no existe la

presencia de las partículas coloidales que puedan absorber la luz y lograr su dispersión.

2.2.3.3. Propiedad de superficie

2.2.3.3.1. Adsorción

Los coloides tienen como una de sus características el poseer una gran superficie específica motivo por el cual la sedimentación debe estar influenciada por medios físicos y químicos (Aguilar, 2010).

2.2.4. Estabilidad y desestabilidad de los coloides

La estabilidad coloidal es la tendencia que tiene las partículas coloidales de mantenerse en suspensión. La estabilidad guarda una relación inversa con la coagulación, es decir, mientras mayor sea la estabilidad de la partícula menor será la unión de los núcleos de mayor tamaño complicando su sedimentación. (Aguilar, M.I et al, 2002).

Muñoz (citado por López, 2018) menciona que la estabilidad que tiene un coloide puede ser alterado por los electrolitos de un coagulante que al afectar la carga superficial forman un grupo de agregados que precipitaran por gravedad, removiendo la turbiedad, color y microorganismos presentes en el agua.

2.2.5. Carga eléctrica del coloide y doble capa

Las partículas coloidales, son las causantes de la turbiedad y del color del agua residual, por ello el proceso de tratamiento está encaminada a la remoción de estas partículas; estas poseen generalmente una carga eléctrica negativa ubicado sobre su superficie. Estas cargas denominadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos (Andia, 2000).

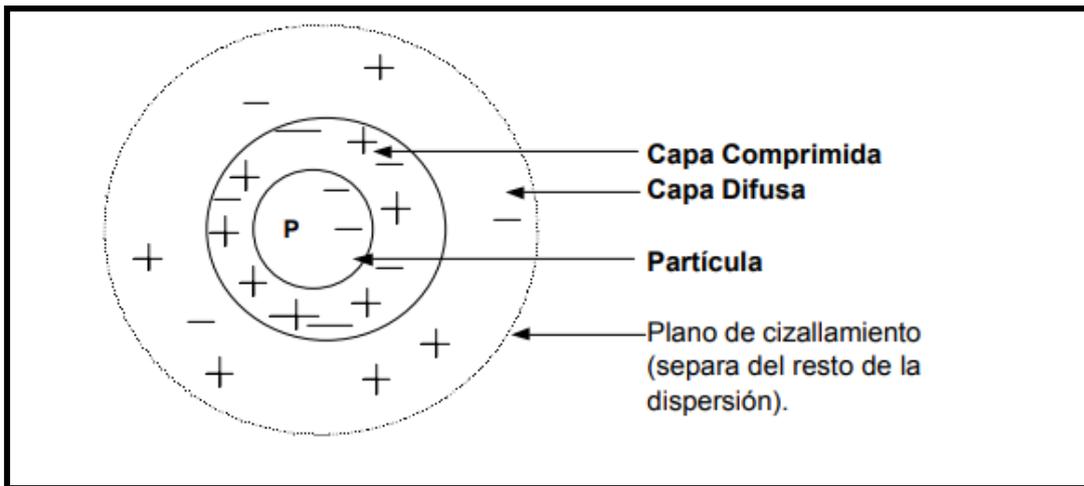


Figura 4. Esquema de las capas eléctricas de un coloide

Fuente: Andia (2000).

2.2.6. Coagulación

2.2.6.1. Definición

Es un proceso unitario que tiene por objetivo eliminar la fracción coloidal mediante la desestabilización química de las partículas coloidales a través de la neutralización de sus cargas eléctricas. Para lograr este proceso se hace uso de sustancias químicas como sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloruro férrico (FeCl_3), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), sulfato ferroso (FeSO_4), entre otros, los cuales provocan la formación de pequeños flóculos en el agua residual a tratar.

El término coágulo se refiere a las reacciones que ocurren al adicionar un reactivo químico (coagulante) en el agua, dando lugar a productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo. (Gómez, 2005)

Restrepo (2009) menciona que este proceso físico-químico se utiliza para:

- Remoción de la turbiedad orgánica e inorgánica.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de microorganismos.
- Eliminación de microalgas en general.

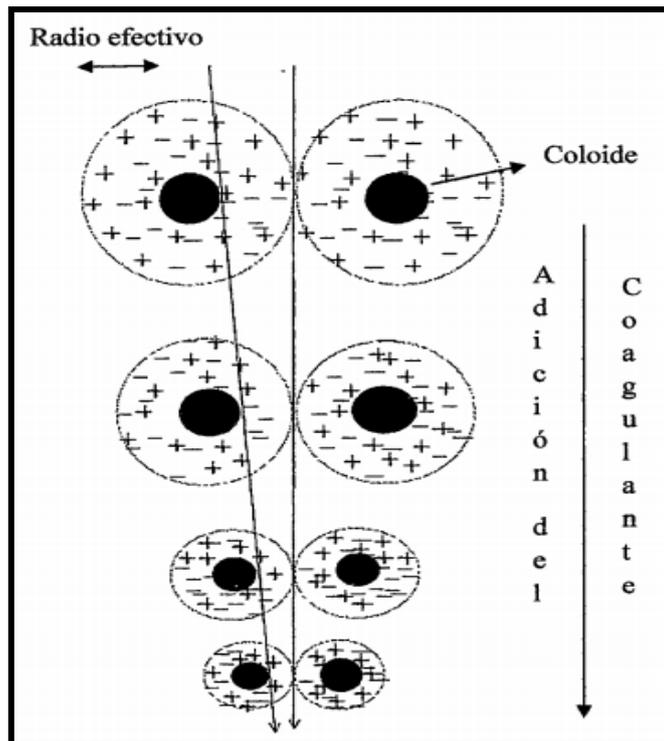


Figura 5. Esquema del proceso de coagulación de partículas coloidales
Fuente: Andia (2000).

2.2.6.2. Mecanismos de coagulación

2.2.6.2.1. Compresión de la doble capa

Este modelo físico de doble capa puede explicar el fenómeno de la desestabilización de una partícula coloidal por un coagulante ya sea de origen natural o químico. En la siguiente Figura se muestra el fenómeno de desestabilización: la curva de atracción de Van der Waals es estable mientras que la de repulsión eléctrica decrecerá si se incrementan en la solución los iones de carga opuesta. En consecuencia, si el potencial repulsivo disminuye, decrecerá también la curva resultante de interacción. Por consiguiente, las partículas se pueden aproximar lo suficiente para ser desestabilizadas por la energía atractiva de Van der Waals. (Andia, 2000)

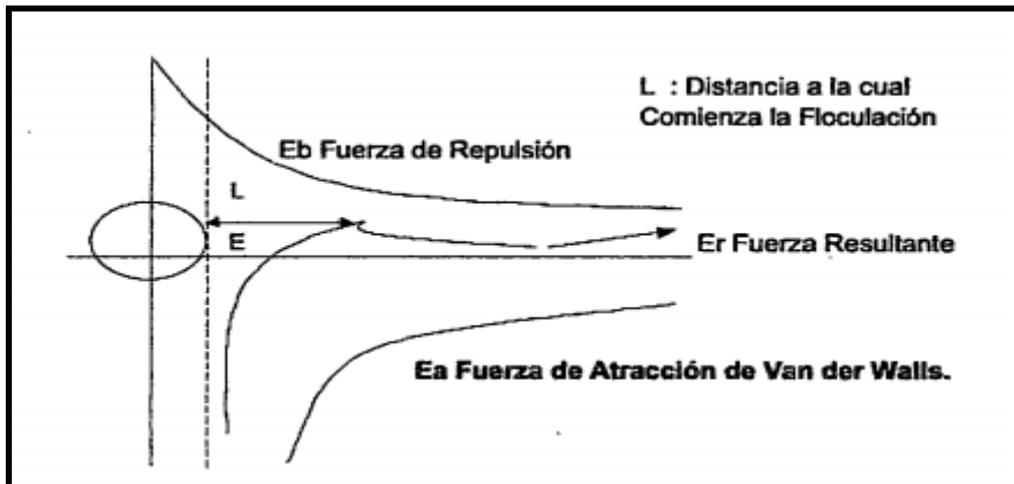


Figura 6.Fuerza de Van der Walls

Fuente: Andia (2000).

2.2.6.2.2. Adsorción

Se produce cuando el agua presenta una elevada concentración de las partículas en estado coloidal; al agregar el coagulante sobre el agua cruda los productos solubles de los coagulantes son adsorbidos por los coloides formando los flóculos casi instantáneamente. (Puentes & Gómez, 2005)

2.2.6.2.3. Barrido

Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña, en este caso las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación de precipitado de coagulante. (Puentes & Gómez, 2005)

2.2.6.3. Tipos de Coagulantes

Existen dos tipos de coagulantes:

- Coagulantes Metálicos (inorgánicos)
- Coagulantes Naturales (orgánicos)

2.2.6.3.1. Coagulantes Metálicos

Los principales coagulantes metálicos para desestabilizar una partícula y formar los flóculos son:

- Sulfato de Alúmina: Denominado sulfato de aluminio, alumbre o sulfato de aluminio amoniacal; este coagulante se caracteriza por su simple manejo y alta eficiencia de remoción de partículas coloidales.(Restrepo,2009)
Este coagulante convencional tiene un mejor rendimiento en intervalos de pH de 6 a 8 generando diminutos y esponjosos flóculos, debido a su gran rendimiento se emplea en la mayoría de casos para el tratamiento de agua potable. (Rojas,2010)
- Sulfato Férrico: Este coagulante funciona en intervalos de pH que van desde 4 a 11 generando flóculos de mayor tamaño que son fácilmente decantables, es ante ello que es recomendado para la coprecipitación de aguas residuales urbanas o industriales.(Rojas,2010)
Este coagulante se usa mayormente en tratamiento de agua potable; no obstante, genera problemas de cloración del agua residual.
- Polímeros o Polielectrolitos: Los polímeros se caracterizan por ser compuestos complejos que se utilizan mayormente como ayudantes de coagulación. El sistema de dosificación de los polielectrolitos se realiza a bajas concentraciones, por lo cual es ventajoso en términos económicos. Este polímero es también usado en el tratamiento de agua potable debido a que produce una cantidad reducida de lodo residual. (Restrepo, 2009)

2.2.6.3.2. Coagulantes Naturales

Denominados coagulantes orgánicos ya que tienen origen proveniente de la naturaleza. Estos coagulantes verdes tienen la presencia de agentes coagulantes como carbohidratos, taninos y proteínas. Estos pueden encontrarse en plantas, semillas, algas o animales. Dentro de estos encontramos polisacáridos y sustancias solubles en agua que actúan como agentes de coagulación y/o floculación. Además según estudios estos coagulantes naturales son bactericidas capaces de reducir los coliformes totales y fecales.

2.2.6.4. Factores que influyen en la coagulación

Andia (2000) describe detalladamente todos los factores que intervienen en la coagulación, los cuales se enlistan a continuación:

- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.

2.2.6.4.1. Influencia del pH

El pH es uno de los parámetros físicos químicos más importantes ya que para cada muestra de agua existe un rango de pH óptimo donde se dará una adecuada floculación a corto plazo si cuenta la dosis específica del coagulante. Si no se opera en un rango de pH óptimo se producirá un desperdicio de la sustancia química puesto que generará una disminución del rendimiento del tratamiento. (Aguilar, 2002).

Para el caso de las sales de aluminio el rango de pH para la coagulación varía dentro del rango de 6.5 a 8.0, mientras que para las sales de hierro el rango de pH óptimo varía entre 5.5 a 8.5.(Andia,2000)

2.2.6.4.2. Influencia de la turbiedad

Las partículas coloidales en suspensión que poseen un tamaño muy pequeño son más difíciles de coagular que las de gran tamaño, por lo que necesitan más cantidad de coagulante para realizar dicho proceso. La capacidad de intercambio de cationes de las partículas que provocan la turbiedad, tiene una relación importante con el éxito de la coagulación. (Zerbatto, 2012)

2.2.6.4.3. Influencia de la Salinidad

Las sales influyen de las siguientes maneras en el proceso de coagulación y floculación (Andia ,2000):

- Modificando el rango de pH óptimo.
- Modificando el tiempo requerido para la floculación.
- Modificando la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificando la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

2.2.6.4.4. Influencia de la Temperatura

La variación de 1°C en la temperatura del agua genera la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación(Andia,2000).

Asimismo, Zerbato (2012) menciona que la influencia principal en la coagulación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación del flóculo. Cuanto más fría esté el agua más largo será el tiempo requerido para producirlo, con una cantidad determinada de coagulante.

2.2.6.4.5. Influencia dosis del coagulante

La cantidad del coagulante a utilizar tiene una relación directa en la eficiencia de la coagulación (Andia, 2010):

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escaso, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.

2.2.6.4.6. Influencia de mezcla

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, establecerá si el proceso de coagulación es completa; turbulencias desiguales generaran que la concentración del coagulante no sea uniforme en toda la muestra de agua a tratar; es por ello que la agitación debe ser homogénea e intensa en toda la masa de agua, para asegurar una mezcla entre el agua y el

coagulante y de esta forma producir la reacción química de neutralización de las cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg., máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos.

La mezcla rápida se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos.(Andia,2010)

2.2.7. Floculación

La floculación es el proceso posterior a la coagulación, su función radica principalmente en la agitación de la masa de agua coagulada, con la finalidad de aumentar el tamaño y peso de los flóculos para que estos sedimenten de forma más sencilla. Inicialmente las partículas deben estar desestabilizadas, estas son llamadas microflóculos, después de esto se aglomeran aumentando su volumen para formar los llamados flóculos. (Aguilar M. I et al., 2002)

La floculación se realiza mejor cuando el proceso es a mezcla lento ya que permite que los flóculos se junten y aumenten en tamaño y luego sedimenten; en cambio una mezcla intensa o de mayor velocidad generará la ruptura de esta aglomeración.

La floculación puede favorecerse por la adición de un reactivo que tendrá la función de ayudante acelerando dicho procedimiento. (Andia, 2000)

2.2.7.1. Tipos de floculación

La floculación se puede clasificar en los siguientes dos tipos:

2.2.7.1.1. Floculación pericinética

Esta producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano. (Andia, 2000)

2.2.7.1.2. Floculación ortocinética

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico. Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microfloculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinetica luego se produce la floculación ortocinética. (Andia, 2000)

2.2.8. Sedimentación

La sedimentación se define por la precipitación de los floculos debido a la acción del coagulante. En este proceso se separa un líquido clarificado de una suspensión más concentrada, es decir, del lodo residual por acción de la fuerza de gravedad. La sedimentación puede dividirse en simple, ya que remueve partículas de mayor tamaño y peso y la clarificación, la cual se encarga de separar del agua las partículas floculadas de menor tamaño y peso. (Kawamura, 1996)

Las partículas en suspensión sedimentan de distintas formas, que dependerá de las características que tienen las partículas coloidales, así como de su concentración. Ante ello se puede clasificar la sedimentación de las partículas coloidales de tres formas: sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida. (Aldana, 2012)

2.2.9. Test de jarras

La prueba de jarras (test de jarras) es un método de simulación de los procesos unitarios de coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio que permite determinar la dosis de un polímero químico o natural para cada muestra presente en cada una de las 6 jarras que tiene dicho equipo, permitiendo la disminución de coloides en suspensión mediante la sedimentación de los floculos formados dentro del proceso dando como resultados valores de turbidez menores a los iniciales.

2.2.10. Moringa Oleífera

2.2.10.1. Origen

La moringa oleífera o también denominada “Árbol de la vida” pertenece a la familia Moringaceae; es una planta nativa de norte de la India, pero también se sabe que crece muy bien en los trópicos. En África la introducción de esta planta data desde hace más de 1,000 años y se encuentra ampliamente distribuida en los países de la costa de África, en Australia, en Arabia y en el Caribe; también ha sido introducida en general en América Latina y Centroamérica donde se conoce con distintos nombres y naturalizada en los años 20 del siglo XX como árbol ornamental, cerca viva y cortina rompevientos”. (Núñez, 2007)

2.2.10.2. Taxonomía

- Reino: Plantae
- División: Embryophyta
- Sub-división: Diploidalia
- Clase: Dicotyledonae
- Subclase: Archichlamydeae
- Orden: Rhoadales
- Familia: Moringaceae
- Género: Moringa
- Especie: *Moringa oleífera*

2.2.10.3. Características

La moringa es un árbol caducifolio de crecimiento rápido pudiendo alcanzar una altura máxima de 10 a 12 metros y lograr su florecimiento en siete u ocho meses, además, este árbol tiene la capacidad de adaptarse a suelos de baja fertilidad facilitando de esta manera su cultivo.

En Centroamérica se encuentra en zonas con temperaturas de 6 a 38 °C. Es resistente al frío por un periodo corto pero no menos de 2 a 3 °C. En las temperaturas menores de 14°C no florece y solamente se puede reproducir por reproducción vegetativa (estacas). Se localiza desde el nivel del mar hasta 1,800 msnm. Se puede plantar en sitios con precipitaciones de 500 a 1,500 mm anuales;

sin embargo, se desarrolla mejor en la época seca, en la cual también existe menos peligro de pudrición de los frutos. (García, 2003)

2.2.10.4. Usos

- **Valor Nutricional**

La moringa oleífera es un cultivo que brinda muchos productos valiosos: vainas verdes, las hojas, las flores y las semillas, todos con gran capacidad nutritiva y se consumen en muchas partes del mundo. Las hojas tienen cualidades nutritivas que están entre las mejores de todos los vegetales perennes.

- **Valor Medicinal**

La moringa oleífera es denominada como un antibiótico natural ya que tiene propiedades antiinflamatorias, antioxidante, cardiovascular y hepatoprotectoras capaz de curar enfermedades como el asma, artritis, bronquitis, tuberculosis entre otros; asimismo esta planta se caracteriza por tener un gran contenido alimenticio en vitaminas (A y C), proteínas, aceites y otros elementos nutricionales para el ser humano.

- **Gastronomía**

Las semillas y frutos que brinda la moringa oleífera son utilizados para la preparación de sopas debido a que representa una fuente nutritiva mientras que sus hojas se consumen en ensaladas. (García, 2003). Otra manera de utilizar las hojas y la semilla de la moringa es mediante su uso como especia o en la preparación de infusiones.

Otra forma de utilizar este producto nutritivo es en forma de Aceite el cual a diferencia de otras se caracteriza por ser dulce y no enranciarse.

- **Purificación de agua**

Según estudios se ha demostrado que las semillas de moringa son utilizadas en el tratamiento de aguas turbias para la reducción de turbidez, así como también en la clarificación de la miel y del jugo de la caña de azúcar. (García, 2003)

- **Agricultura**

Las semillas tienen tres alas blanquecinas que facilitan su distribución por el viento. El número de semillas por kilogramo varía de 4,000 a 4,800. El tiempo de germinación en semillero oscila entre cinco y siete días después de sembrada. La semilla no requiere tratamientos pregerminativos y presenta porcentajes altos

de germinación, mayores de 90%, aun cuando se hayan empleado semillas de hasta dos años de edad (García, 2003)

2.2.10.5. Caracterización de la semilla de Moringa

Humedad

Esta caracterización se determinó con la diferencia de pesos, debido a la pérdida de agua que tiene la muestra tras ser colocado a estufa. Este método se realizó siguiendo lo establecido la A.O.A.C (citado por Fernández, 2018), tal como se describe a continuación:

- a. Se pesó 5 ± 0.2 g de la muestra y se colocó sobre papel aluminio.
- b. Se secó la muestra en una estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ a temperatura constante.
- c. Se enfrió la muestra en un desecador por 30 min y se pesó la muestra.
- d. Se determinó el porcentaje de pérdida de peso como humedad.

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{Peso de muestra}} \times 100$$

Cenizas

Esta caracterización se basa en la cantidad de materia incombustible que sobra luego de someterla a calcinación en una mufla. Se realizó según el método de la AOAC (citado por Fernández, 2018) este procedimiento se menciona a continuación:

- a. Se tomaron unos 30 g de muestra de semillas y se dejaron en una estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante. Luego se dejó enfriar durante media hora en un desecador.
- b. Se pesaron 5 g de semillas en una balanza analítica y colocaron en un crisol previamente tarado.
- c. El crisol y la muestra se colocaron en una mufla a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 4 horas.
- d. Luego de la incineración, el crisol es enfriado durante una hora en un desecador y luego pesado en una balanza analítica.

$$\text{Cenizas}(\%) = \frac{(A - B)}{C} \times 100$$

Donde:

A: Peso de crisol con la muestra seca (en gramos).

B: Peso del crisol con cenizas (en gramos).

C: Peso de la muestra seca (en gramos).

Aceites y grasas

Para la caracterización de aceites se procedió con lo establecido en la AOAC (citado por Fernández, 2018), sin embargo, para este trabajo se utilizó de solvente al etanol para la extracción de grasa en el equipo Soxhlet.

- a. Se pesó 5 g de la muestra de semillas seca de moringa oleífera y se colocó sobre un cartucho hecho a base de papel filtro.
- b. Previamente se pesó el balón esmerilado.
- c. Este cartucho se colocó en el equipo Soxhlet y se vertieron 120 ml de etanol.
- d. Se encendió el equipo y se mantuvo la extracción durante 2 horas de arrastre por solvente hasta notar un cambio de color durante los lavados.
- e. El aceite junto con el solvente se recolectó en el balón esmerilado y se procedió a evaporarlo a una temperatura mayor a 78,4°C (punto de evaporación del etanol) hasta eliminar todo el solvente.
- f. Luego el balón se colocó en una estufa durante 2 horas para eliminar residuos de etanol.
- g. Por último se dejó enfriar en un desecador por 30 minutos y luego se registró el peso.

$$\text{Grasa y Aceites} (\%) = \frac{C - (B - A)}{C} \times 100$$

En donde:

A: Peso del balón esmerilado seco (en gramos).

B: Peso del balón esmerilado (en gramos).

C: Peso de la muestra seca (en gramos).

2.2.11. Marco Legal

- **Constitución Política del Perú (1993)**

La constitución establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida; que, el Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Establece en el Artículo I de su Título Preliminar, que es obligación de toda la conservación del ambiente y, en particular del Estado, la prevención y control de la contaminación ambiental. (Constitución Política del Perú, 1993).

- **Ley 29338-Ley de Recursos Hídricos**

Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable (Artículo I, 2010).

- **Decreto Supremo N°003-2010-MINAM**

Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda (D.S N° 003-2010-MINAM)

- **Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM**

Estándares de calidad ambiental que compila las concentraciones límites que tiene un efluente para su descarga sobre un cuerpo receptor. (D.S N° 004-2017-MINAM)

2.3. Definición de términos básicos

- **Aguas Residuales**

En nuestro medio, el agua no se encuentra totalmente limpio, siempre poseerá la presencia de contaminantes de distintos orígenes (físicos, químicos y biológicos) esto es debido a que durante su ciclo o su recorrido asimilará las impurezas del medio. Las aguas residuales representan una fuente de contaminación del recurso hídrico ya que han sido utilizados con un fin y ante ello incorporan sustancias que alteran la calidad original del cuerpo receptor generando su contaminación. (Aguilar A., Edward 2010).

- **Efluente**

Agua u otro líquido que sale o se desprende de un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

- **Turbidez**

Es uno de los parámetros físico- químicos más importantes en el análisis de la calidad del agua ya que mide el grado de transparencia de un líquido, es decir, posee una propiedad óptica que absorbe y disipa la luz en vez de transmitirla en línea recta, que en el caso del agua es causada por la presencia de sólidos en suspensión de origen vegetal o mineral, provocando la coloración del agua. La turbidez del agua tiene relación directa con el índice de refracción, masa, número y concentración de partículas siendo la causa principal de la turbidez del agua la dispersión de arcilla, ya que esta abarca una amplia gama de compuestos, pero generalmente son silicatos de aluminio con diversas formas, adquiriendo plasticidad al mezclarse con el agua (Melo, Turriago 2012).

- **Turbidímetro**

Es un instrumento que a través del análisis óptico determina la cantidad de sustancias en un líquido, se emplea en la medición de partículas en suspensión en un líquido o gas disuelto, tiene como principio de funcionamiento la detección de las partículas con una fuente de haz lumínico y un detector de luz fijado a 90 grados del haz original. Puede ser un instrumento portátil o fijo.

- **pH metro**

Es un equipo de laboratorio que posee un sensor que es utilizado para medir el pH de una disolución con los electrodos, posee un voltímetro que será sumergido en la sustancia provocando que genere una corriente eléctrica, esto se da por medio de la membrana de vidrio.

- **pH**

El pH es una medida de la concentración de iones hidrogeno, y se define como $\text{pH} = \log (1/ [\text{H}^+])$. Es una medida de la naturaleza acida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. La mayoría de aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. (Rigolo, 1990)

La medición del pH se realiza con el fin de neutralizar y adecuar el agua para tratamientos posteriores, para llevar a cabo este proceso se debe conocer la concentración de compuestos inherentes a la acidez, como dióxido de carbono no combinado, ácidos minerales, sales fuertes y bases débiles, también se debe conocer la concentración de alcalinidad ya que permite calcular las cantidades de productos químicos que se debe añadir al agua para el tratamiento especialmente para amortiguar el pH y como depósito o sumidero para el carbono inorgánico , ayudando así a determinar la capacidad del agua de fomentar la proliferación de algas y otras formas de vida acuática. (Pringles, 2014)

- **Flóculos**

Conjunto de partículas pequeñas aglutinadas en partículas más grandes y con mayor capacidad de sedimentación que se obtiene mediante tratamiento químico, físico o biológico. Compuesto insoluble que adsorbe materia coloidal y permite su fácil sedimentación

- **Estándar de calidad ambiental (ECA)**

Es el nivel de concentración máximo de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en los recursos hídricos superficiales; que no presenta riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Los estándares de calidad ambiental son de carácter general, es decir, se aplican a la sociedad en su conjunto y también son no legalmente exigibles. El

ECA tienen por finalidad establecer metas que representen el nivel a partir del cual sea un perjuicio tanto a la salud como al ambiente. (MINAM, 2015)

- **Límites Máximos Permisibles (LMP)**

Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o una emisión. Los LMP son de carácter particular, es decir, miden las emisiones, efluentes o descargas generadas por una actividad productiva pues son a través de ellos que se puede afectar el aire, el agua o el suelo. (OEFA, 2015)

- **Mezcla Rápida**

La mezcla rápida se define como la agitación intensa a la que se somete una masa de agua durante la dosificación del coagulante en relación al tiempo, el cual será el menor posible para lograr las reacciones de coagulación. (Vargas, 2004)

- **Mezcla Lenta**

La mezcla lenta se define como la agitación suave a la que se somete una masa de agua con los coagulantes para lograr la mayor formación de flóculos.

CAPITULO III: DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA

3.1. Metodología

3.1.1. Equipos y materiales e insumos químicos

Materiales

- Vasos precipitados de 50 ml
- Vasos precipitados de 1000ml
- Fiola de 1000ml
- Bagueta
- Espátula
- Mortero y pilón
- Jeringas(3ml,5ml,10ml y 60ml)
- Frascos
- Matraz de 1000ml
- Papel filtro
- Tamiz
- Balón aforado
- Embudos de filtración
- Papel aluminio
- Pipetas
- Probetas
- crisol

Equipos

- Prueba de jarras(6 jarras)
- Agitador Magnético
- Turbidímetro
- pH metro
- Colorímetro
- Termómetro Digital
- Balanza analítica
- Estufa
- Desecador

- Equipo Soxhlet
- Molino Automático

Insumos Químicos

- Cloruro de Sodio
- Etanol

3.1.2. Procedimiento

La presente metodología se dividirá en cuatro partes. La primera consistirá en la recolección, procesamiento y caracterización de la semilla de moringa oleífera; la segunda se basará en la extracción del aceite; la tercera parte consistirá en la preparación de las tres soluciones madres y finalmente la cuarta radicarán en el procedimiento de prueba de jarras.

a. Muestreo del agua residual del efluente del UASB-CITRAR

El agua residual se recolectó en la salida del reactor anaerobio de flujo ascendente de manto de lodos (UASB) a las 8 de la mañana en envases de plástico de capacidad de 20 L y almacenadas a temperatura ambiente.

b. Recolección de semillas y extracción del polvo de la moringa Oleífera

Se adquirió las vainas secas, enteras y sin homogeneidad en un mercado de la ciudad de Lima y se procedió a descascararlas manualmente para obtener las semillas de moringa oleífera.

c. Procesamiento de las semillas de moringa oleífera

Las semillas sin cáscara fueron secadas en estufa a 60 °C por un periodo de 24 horas, esta temperatura no debe excederse para evitar la desnaturalización de las proteínas de la moringa oleífera. (Más y Rubí ,2012)

Luego las semillas secas fueron introducidas y trituradas en un molino eléctrico-automático para la reducción de su tamaño y así sean más fáciles de manipular durante el proceso de extracción del aceite.

Las partículas obtenidas de la molienda pasaron a través de un tamiz en donde se obtuvo un polvo fino blanco amarillento y de aspecto grasoso. Se

recolectó el polvo y se depositó en un recipiente seco, estéril y con tapa para evitar la introducción de microorganismos o impurezas del ambiente.

d. Caracterización parcial de las semillas de moringa oleífera

Para la caracterización parcial de las semillas se procedió de acuerdo a lo establecido por la A.O.A.C (citado por Fernández, 2018), lo cual comprende tres parámetros fisicoquímicos: Humedad, Cenizas y Grasas y aceites.

- **Determinación de la Humedad**

Este parámetro se expresa como la diferencia de pesos que posee la semilla antes y después del secado a estufa con una determinada temperatura constante.

- **Determinación de Cenizas**

Este parámetro consiste en la eliminación del material orgánico presente en la semilla mediante la calcinación permaneciendo la materia inorgánica o ceniza, la cual representa el contenido mineral de la muestra.

- **Determinación de Grasa y Aceite**

Este parámetro consiste en determinar cuánto de aceite contiene la semilla de moringa oleífera según lo establecido en la A.O.A.C (citado por Fernando, 2018)

e. Extracción del aceite de las semillas de moringa oleífera

Se pesaron 10,30 y 50 gramos del polvo de moringa oleífera y se procedió a su extracción de aceite para cada una utilizando el equipo Soxhlet empleando como solvente el etanol al 96%.La cantidad añadida de soluto-solvente se basó en lo propuesto por Kwaambwa y Maikokera (2007) en donde se establece una relación de 1:10 (1g de polvo de moringa y 10 ml de etanol) para preparar dicha solución.

f. Preparación de las soluciones madres de Moringa oleífera como biocoagulante

La preparación del biocoagulante de moringa oleífera más la solución salina (NaCl) se realizó para tres concentraciones, las cuales se determinó con la siguiente fórmula:

$$C\% = \frac{W}{V} \times 100\%$$

Donde:

C: concentración de la solución

W: peso del extracto de moringa oleífera (g)

V: volumen de agua destilada (ml)

Asimismo, para el cálculo del volumen de biocoagulante correspondiente a cada dosis establecida se halló de la siguiente forma:

$$q = \frac{Q \times D}{C}$$

Donde:

q: volumen de la solución del biocoagulante (ml)

Q: volumen de la muestra a tratar en las jarras (1000ml)

D: dosis del biocoagulante (mg/L)

C: concentración (mg/L)

De lo mencionado anteriormente, se empezó preparando las tres suspensiones de solución de coagulante de 10,30 y 50 gramos de polvo desgrasado de moringa oleífera a 1 M de NaCl siguiendo lo propuesto por Tumbaco y Acebo (2018):

- Inicialmente se preparó una solución de NaCl a 1 M en un matraz aforado con 1000 ml de agua destilada y se procedió a mezclar con un agitador magnético a 200 rpm durante 20 min para lograr una homogeneización de la solución.
- Luego se agregó 50 gramos del polvo de Moringa en 1 litro de la solución de cloruro de sodio y durante 10 min se mezcló con un agitador magnético a 60

rpm y se prosiguió con el filtrado en papel filtro. Este procedimiento se realizó para las dos suspensiones restantes.

- Cabe mencionar que el cloruro de sodio (NaCl) permite que la proteína catiónica de la moringa oleífera sea más soluble en el agua a tratar logrando de esta manera la adherencia de las partículas presentes en el agua turbia , dándole así una mayor capacidad al biocoagulante. (Abdul H.et al. 2016)

g. Prueba de Jarras

Las pruebas de jarras se realizó para los tres tipos de concentraciones 1%,3% y 5% del biocoagulante moringa oleífera con NaCl a 1 M .Para esta prueba se utilizó 1 litro de agua residual por cada jarra, las cuales después de agregada la dosis establecida fueron sometidas a una mezcla rápida (1 minuto a 100 rpm) y una mezcla lenta (10 minutos a 45 rpm) y finalmente se prosiguió a su sedimentación por 40 minutos. Para determinar la dosis optima de la semilla de moringa oleífera como coagulante se realizó el triplicado por cada concentración con sus respectivas dosis. Se determinó el pH, temperatura, color y turbidez antes y después del proceso de coagulación/floculación.

3.2. Resultados

3.2.1. Caracterización de las semillas de Moringa Oleífera

La caracterización de las semillas de moringa oleífera se realizó mediante la determinación de humedad, cenizas y aceites y grasa.

Tabla 2. *Caracterización de la semilla de moringa oleífera*

Parámetros	Promedio
Humedad (%)	7.4%
Cenizas (%)	13.6%
Aceites y grasas (%)	31.3%

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 2**, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de la semilla de moringa oleífera. Los resultados obtenidos muestran que estas semillas contienen un 7.4% de humedad, 31.3% de grasa y aceites y 7.4 % de cenizas.

3.2.2. Características físico-químicas del agua residual domestica

A continuación se detallan las características de la muestra la muestra a tratar.

Tabla 3. *Características físico-químicas del agua residual doméstica*

Características fisicoquímicas del efluente de CITRAR			
pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	Color (Pt/Co)
8.04	26.5	47.6	310

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 3**, se muestran los resultados del análisis físico-químico inicial del agua residual doméstica.

3.2.3. Resultados del Biocoagulante Moringa Oleífera al 1% a 1 M de NaCl

3.2.3.1. Dosis óptima para biocoagulante Moringa Oleífera al 1% a 1 M de NaCl

Tabla 4. Resultados de remoción de color y turbidez aplicando el biocoagulante moringa oleífera al 1% a 1 M de NaCl.

Nº de Jarra	Dosis (mg/L)	Volu men (ml)	Turbidez Inicial (NTU)	Promedio Turbidez Final (NTU)	Remoción de turbidez (%)	Color Inicial (Pt/Co)	Promedio Color final (Pt/Co)	Remoción de color (%)
1	300	30	47.6	20.76	56.38	310	92.00	70.32
2	350	35	47.6	23.47	50.70	310	124.00	60.00
3	400	40	47.6	24.19	49.17	310	162.67	47.53
4	450	45	47.6	26.18	45.01	310	171.33	44.73
5	500	50	47.6	26.33	44.68	310	183.67	40.75
6	550	55	47.6	30.13	36.69	310	230.00	25.81

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 4**, se presenta los valores de las dosis optimas aplicados al agua residual ,en donde se puede observar que la dosis de 300mg/L fue la que obtuvo mayor eficiencia de remoción de turbidez y color siendo 56.38% y 70.32% respectivamente.

3.2.3.2. Eficiencia de Remoción de Turbidez para biocoagulante Moringa Oleífera al 1% a 1 M de NaCl

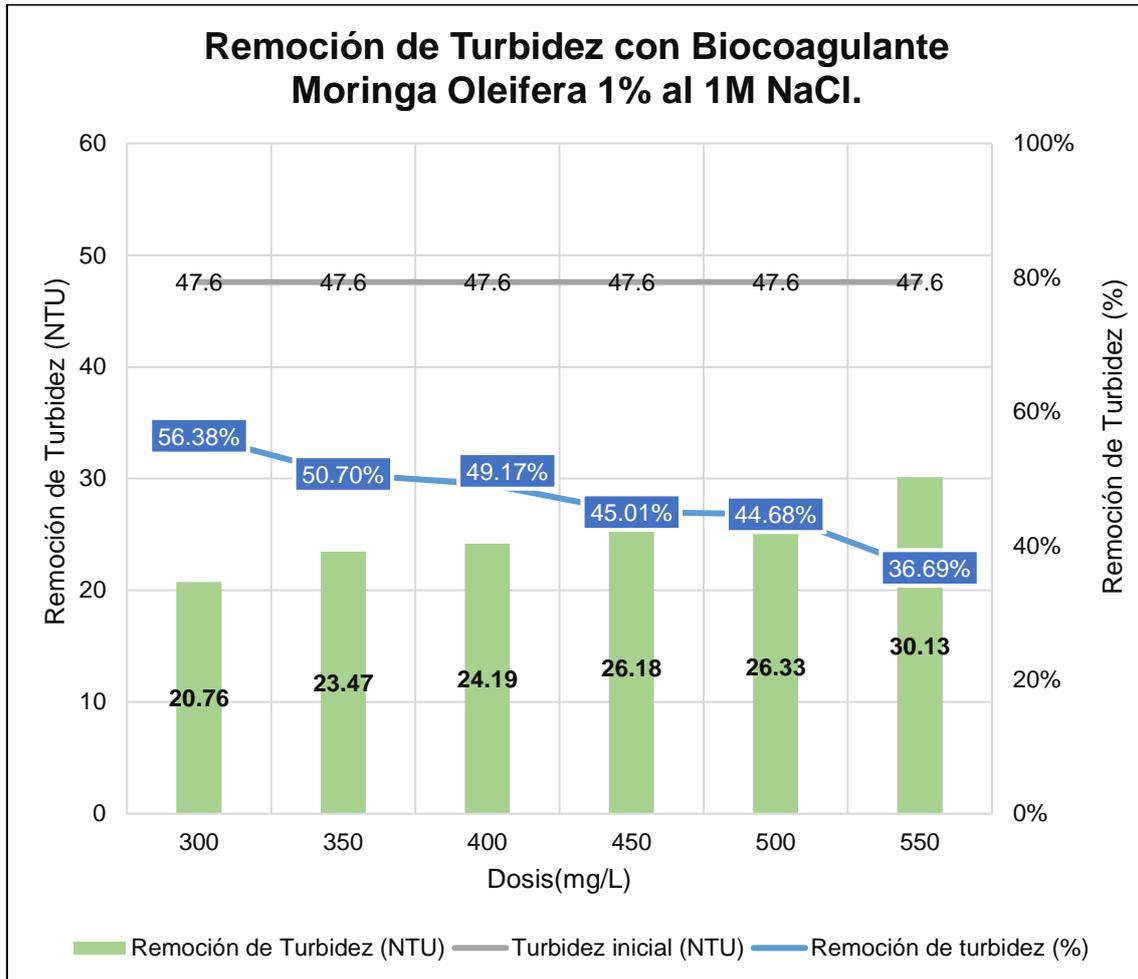


Figura 7. Relación de remoción de turbidez (NTU) con remoción de turbidez (%) aplicando biocoagulante Moringa Oleífera al 1% a 1M de NaCl.

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 7**, se muestra la relación de remoción de turbidez en NTU y en porcentaje, asimismo se puede observar que todas las dosis aplicadas (300, 350, 400, 450, 500 y 550 mg/L) logran reducir el valor de turbidez inicial de 47.6 NTU, siendo la primera dosis (300mg/L) la que obtuvo mayor eficiencia de remoción.

3.2.3.3. pH antes y después de aplicado el biocoagulante moringa oleífera al 1% a 1 M de NaCl

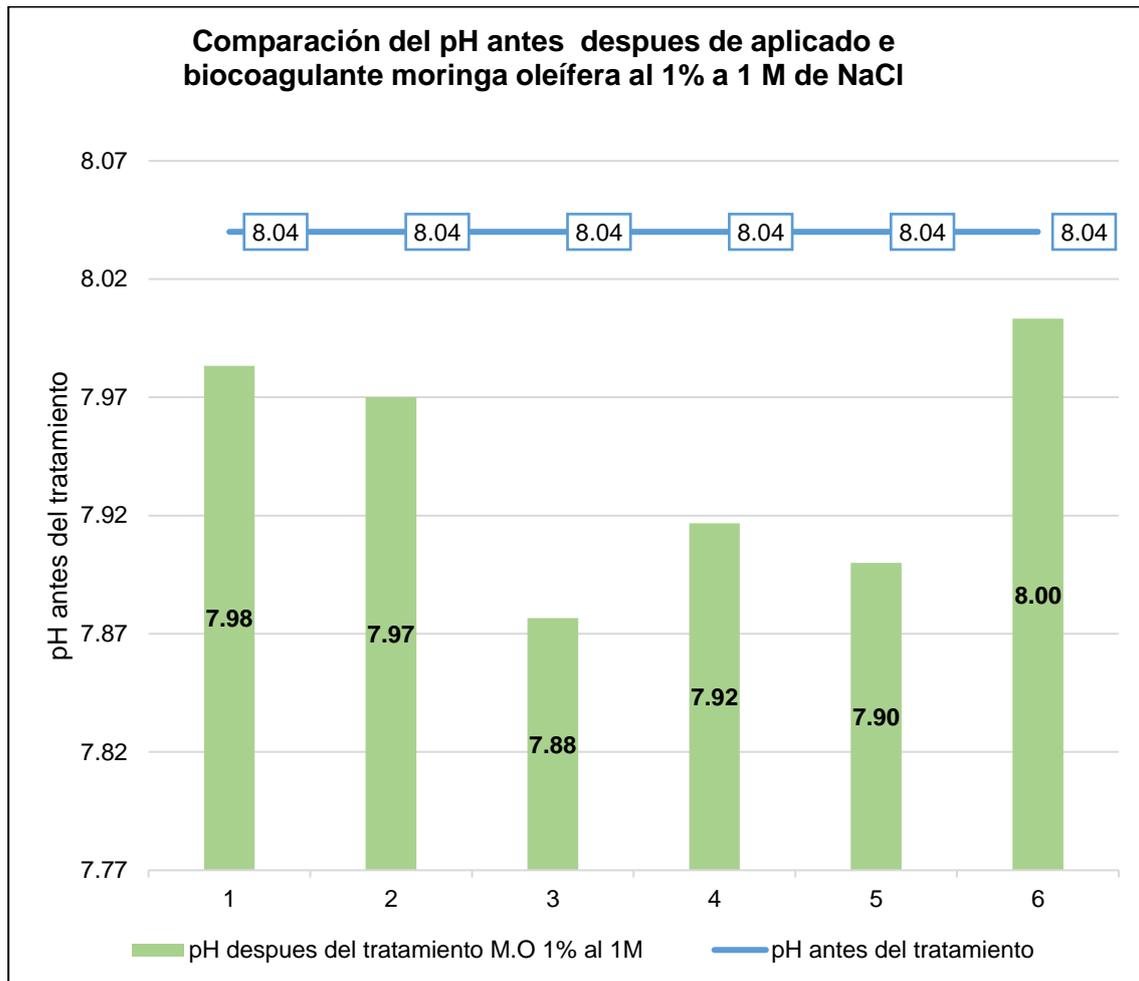


Figura 8. Comparación pH antes y después del tratamiento con moringa oleífera al 1% a 1M de NaCl.

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 8**, se muestra la comparación entre los valores de pH de la muestra de agua residual antes y después de aplicado el tratamiento con la moringa oleífera al 1% a 1 M de NaCl, así mismo se observa que no existe una variación significativa de los valores cumpliéndose de esta manera con lo establecido en el ECA de agua.

3.2.3.4. Temperatura antes y después de aplicado el biocoagulante moringa oleífera al 1% a 1 M de NaCl

Tabla 5. Comparación de la temperatura antes y después del tratamiento con moringa Oleífera al 1% a 1M de NaCl

Nº de jarra	Temperatura antes del tratamiento	Temperatura después del tratamiento R1	Temperatura después del tratamiento R2	Temperatura después del tratamiento R3	Promedio
1	26.5	27.3	27	26.9	27.07
2	26.5	27.2	26.9	26.9	27.00
3	26.5	26.9	27.1	26.7	26.90
4	26.5	26.6	26.7	26.6	26.63
5	26.5	26.9	27.1	26.6	26.87
6	26.5	26.8	26.8	26.8	26.80

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 5**, se muestran los valores de la temperatura por triplicado en donde se puede observar que la temperatura después del tratamiento oscila en un rango de 26.63 - 27.07 °C, que al compararlo con las temperaturas iniciales se verifica que no existe demasiada variación.

3.2.3.5. Color antes y después de aplicado el biocoagulante moringa oleífera al 1% a 1 M de NaCl

Tabla 6. Resultados de color antes y después de aplicado el tratamiento con moringa Oleífera al 1% a 1 M de NaCl

Nº de Jarra	Dosis del Biocoagulante ante (mg/l)	Promedio Turbiedad Final (NTU)	Color Inicial (Pt/Co)	Color Final R1	Color Final R2	Color Final R3	Promedio Color final (Pt/Co)	Porcentaje de remoción de color (%)
1	300	20.76	310	90	99	87	92.00	70.32
2	350	23.47	310	127	125	120	124.00	60.00
3	400	24.19	310	156	170	162	162.67	47.53
4	450	26.18	310	169	170	175	171.33	44.73
5	500	26.33	310	177	185	189	183.67	40.75
6	550	30.13	310	200	240	250	230.00	25.81

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 6**, se muestran los resultados iniciales y finales de color del agua residual doméstica después de aplicado el tratamiento con las dosis establecidas para cada jarra. Asimismo se observa que las dos primeras dosis superan el 50% de remoción de color a comparación de las cuatro restantes.

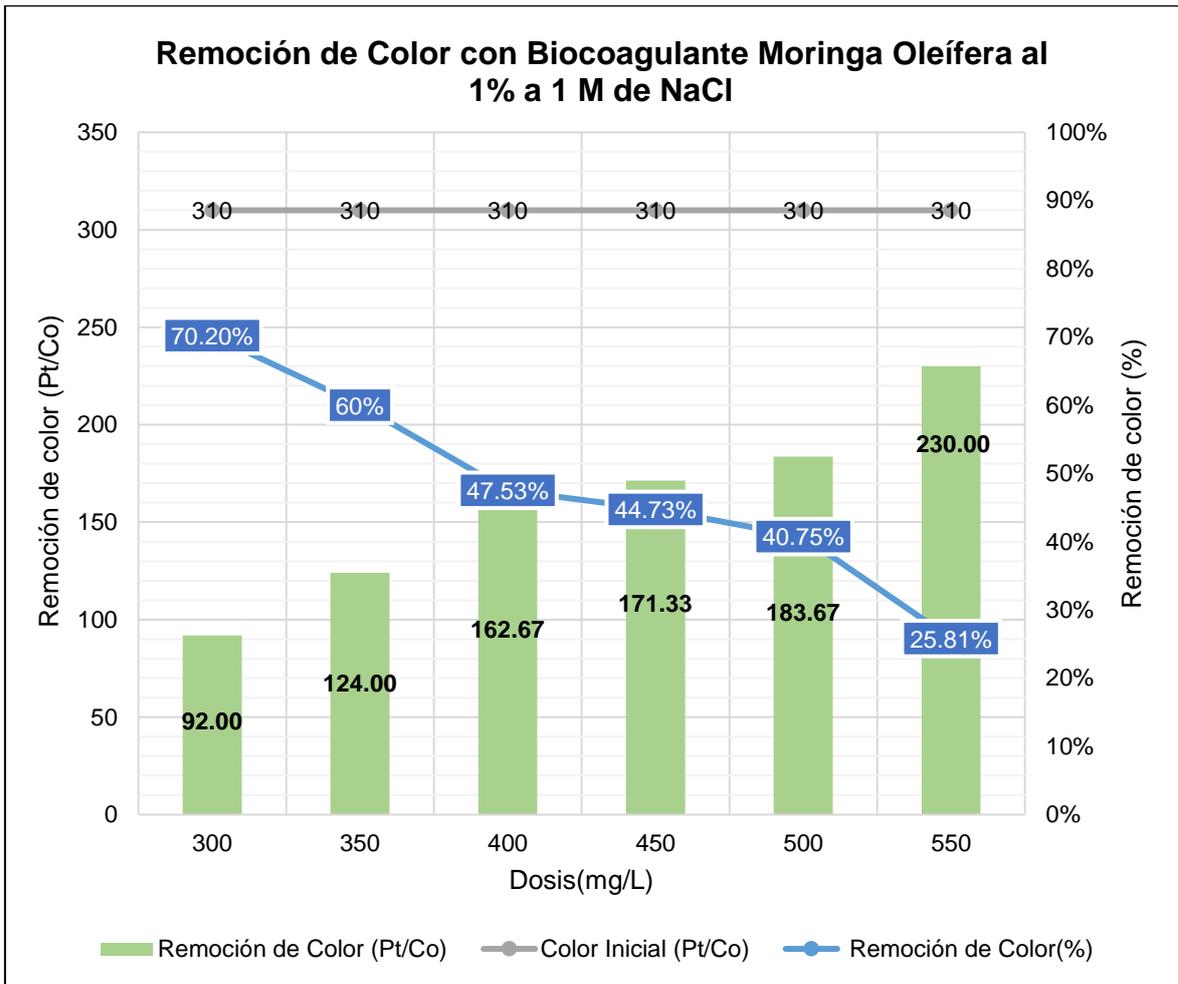


Figura 9. Relación de remoción de color (pt/Co) con remoción de color (%) aplicando el biocoagulante moringa oleífera al 1% a 1 M de NaCl.

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 9**, se puede observar que la primera dosis de 300mg/L logra la máxima reducción de color del 70.2% mientras que la mínima reducción se obtuvo de la dosis de 550 mg/L con un valor del 25.81%.

3.2.4. Resultados del Biocoagulante Moringa Oleífera al 3% a 1 M de NaCl

3.2.4.1. Dosis óptima para biocoagulante Moringa Oleífera al 3% a 1 M de NaCl

Tabla 7. Resultados de remoción de color y turbidez aplicando el biocoagulante moringa oleífera 3% a 1M de NaCl

Nº de Jarra	Dosis (mg/L)	Volumen (ml)	Turbidez Inicial (NTU)	Promedio Turbidez Final (NTU)	Porcentaje de remoción de turbidez (%)	color inicial (Pt/Co)	Promedio Color final (Pt/Co)	Porcentaje de remoción de color (%)
1	40	1.3	47.6	21.67	54.48	310	269.33	13.12
2	90	3	47.6	3.14	93.40	310	66.33	78.60
3	140	4.6	47.6	12.82	73.07	310	91.33	70.54
4	190	6.3	47.6	16.35	65.64	310	121.67	60.75
5	240	8	47.6	16.82	64.67	310	176.33	43.12
6	290	9.6	47.6	28.13	40.90	310	226.67	26.88

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 7**, se puede observar que la dosis de 90mg/L fue la que obtuvo mayor eficiencia de remoción de turbidez y color siendo 93.4% y 78.6% respectivamente.

3.2.4.2. Eficiencia de Remoción de Turbidez para biocoagulante moringa oleífera al 3% a 1 M de NaCl

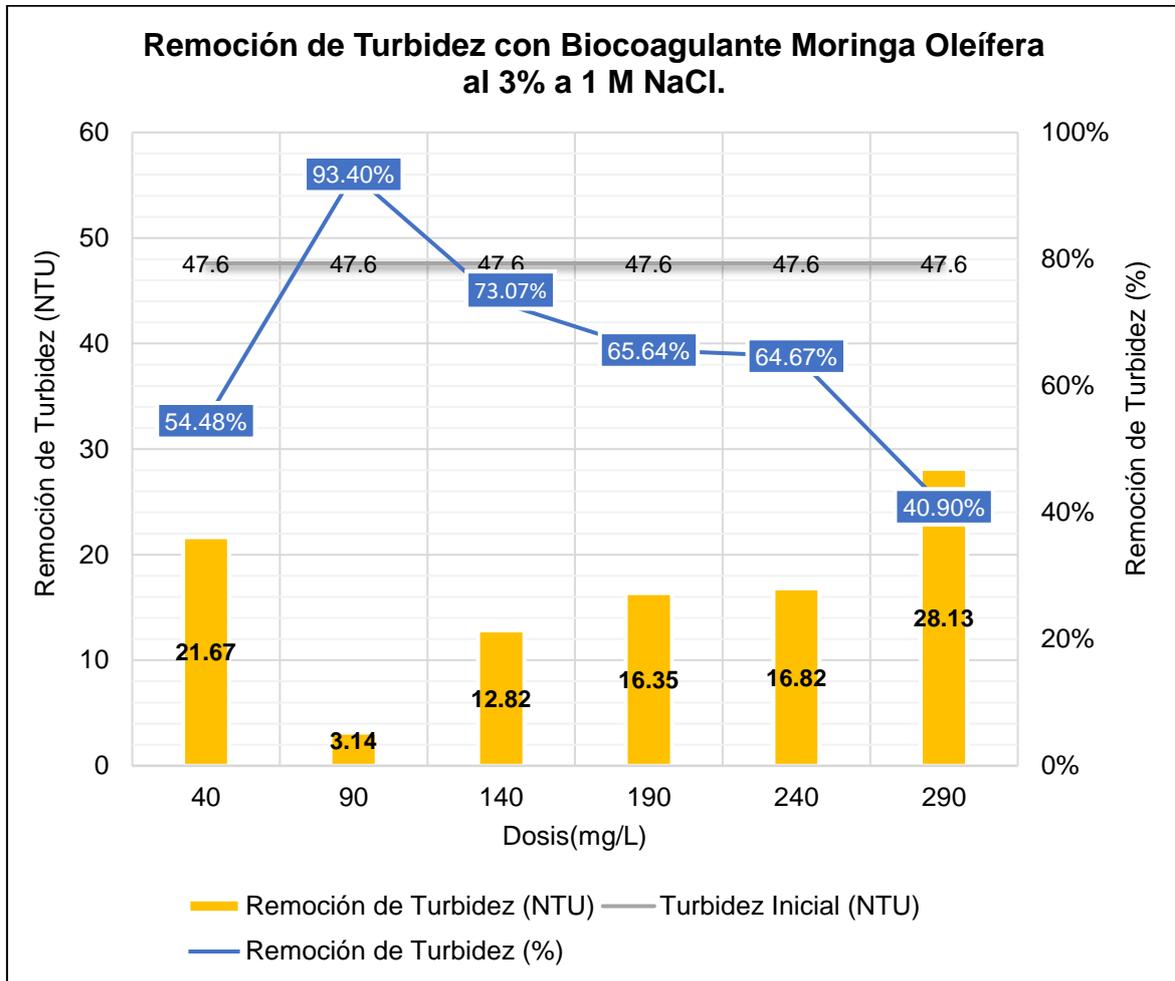


Figura 10. Relación remoción de turbidez (NTU) con remoción de turbidez (%) aplicando biocoagulante Moringa Oleífera al 3% a 1 M de NaCl.

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 10**, se puede observar que todas las dosis aplicadas (40, 90, 140, 190, 240, y 290 mg/L) logran reducir el valor de turbidez inicial de 47.6. Siendo la segunda dosis (90mg/L) la que obtuvo mayor eficiencia de remoción del 93.4%

3.2.4.3. PH antes y después de aplicado el biocoagulante moringa oleífera al 3 % a 1 M de NaCl

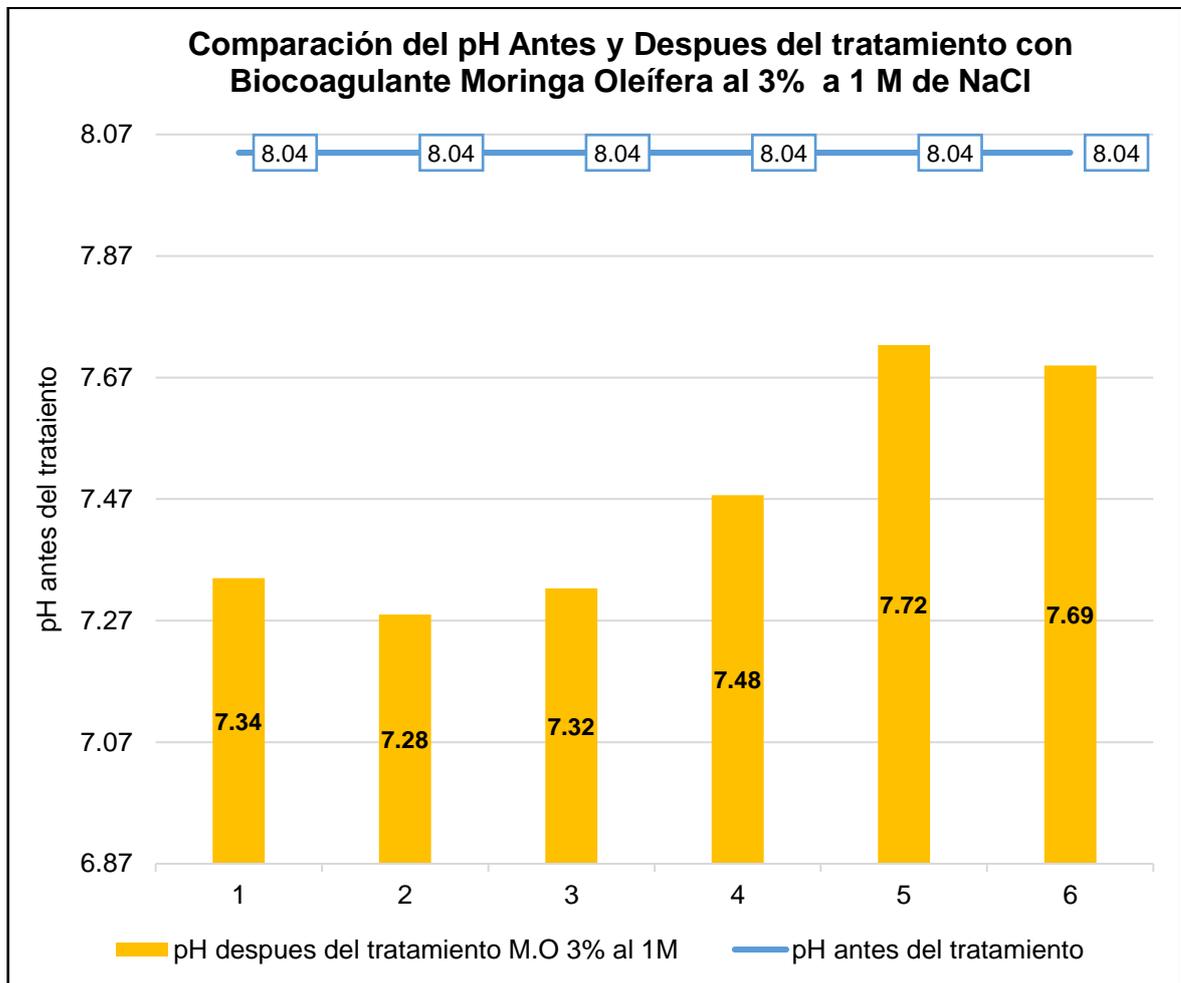


Figura 11. Comparación del pH antes y después del tratamiento con moringa oleífera al 3% a 1 M de NaCl
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 11**, se muestra la comparación entre los valores de pH de la muestra de agua residual antes y después de aplicado el tratamiento con la moringa oleífera al 3% a 1 M de NaCl, así mismo se observa que no existe una variación significativa de los valores cumpliéndose de esta manera con lo establecido en el ECA de agua.

3.2.4.4. Temperatura antes y después de aplicado el biocoagulante moringa oleífera al 3% a 1 M de NaCl

Tabla 8. Comparación de la temperatura antes y después del tratamiento con Moringa Oleífera al 3% a 1 M de NaCl

Nº de jarra	Temperatura antes del tratamiento	Temperatura después del tratamiento R1	Temperatura después del tratamiento R2	Temperatura después del tratamiento R3	Promedio
1	26.5	26.6	26.3	26.4	26.43
2	26.5	26.8	26.4	26.6	26.60
3	26.5	26.1	26.1	26.2	26.13
4	26.5	25.6	25.6	25.8	25.67
5	26.5	25.9	24.6	25.9	25.47
6	26.5	25.8	25.8	25.3	25.63

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 8**, se puede observar que la temperatura después del tratamiento oscila en un rango de 25.47- 26.6°C, el cual al compararlo con las temperaturas iniciales se verifica que no existe demasiada variación.

3.2.4.5. Color antes y después de aplicado el biocoagulante moringa oleífera al 3% a 1 M de NaCl

Tabla 9. Resultados de color antes y después de aplicado el tratamiento con moringa Oleífera al 3% a 1 M de NaCl

Nº de jarra	Dosis del Biocoagulante (mg/l)	Promedio Turbidez Final (NTU)	Color Inicial (Pt/Co)	Color Final R1	Color Final R2	Color Final R3	Promedio Color final (Pt/Co)	Porcentaje de remoción de color (%)
1	40	21.67	310	300	238	270	269.33	13.12
2	90	3.14	310	63	65	71	66.33	78.60
3	140	12.82	310	87	90	97	91.33	70.54
4	190	16.35	310	110	125	130	121.67	60.75
5	240	16.82	310	169	170	190	176.33	43.12
6	290	28.13	310	230	210	240	226.67	26.88

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 9**, se muestran los resultados iniciales y finales de color del agua residual domestica después de aplicado el tratamiento con las dosis establecidas para cada jarra. Asimismo se observa que la segunda, tercera y cuarta dosis superan el 50% de remoción de color a comparación de las tres restantes.

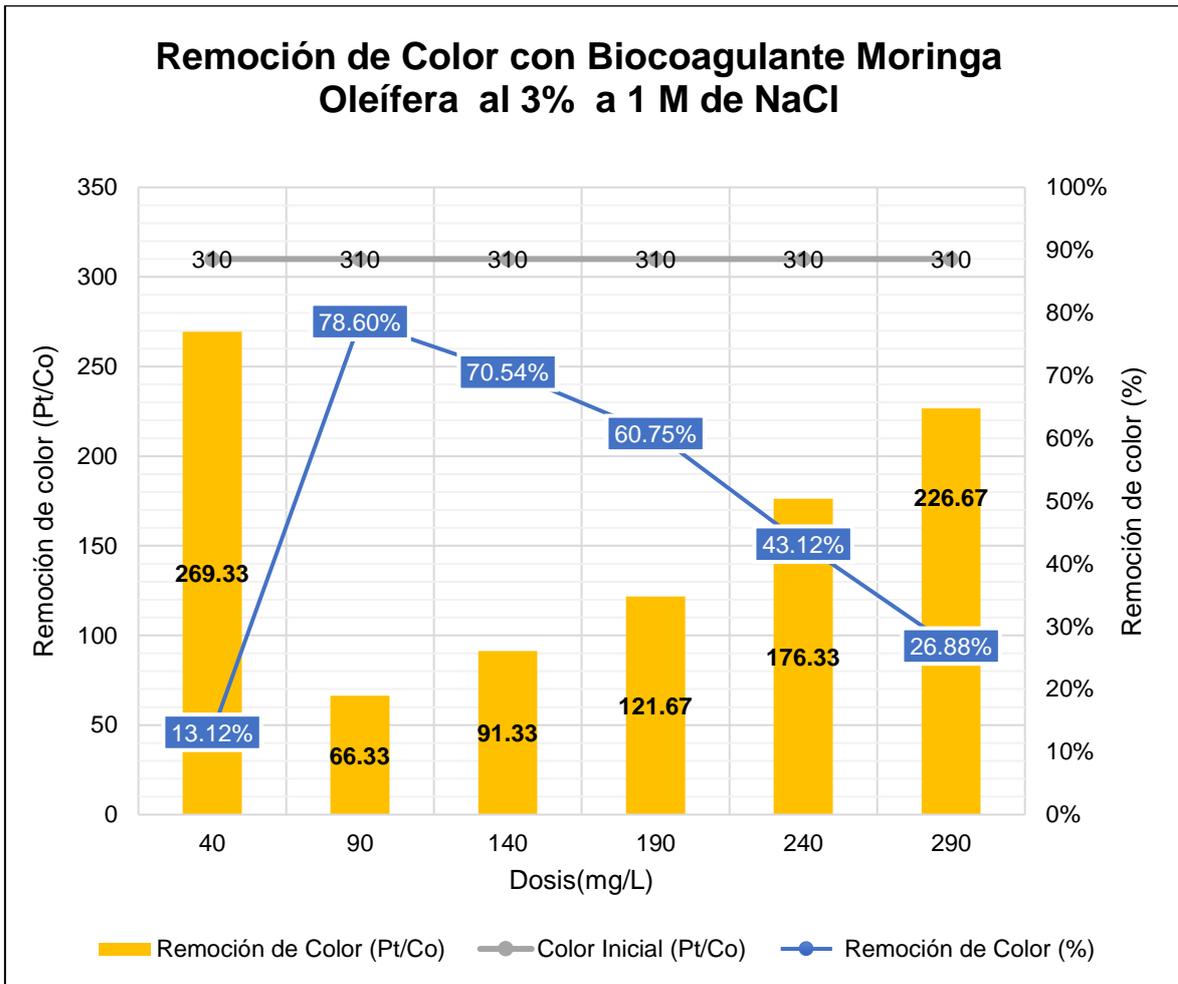


Figura 12. Relación de remoción de color (pt/Co) con remoción de color (%) con biocoagulante moringa oleífera al 3% a 1 M de NaCl.

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 12**, se puede observar que la segunda dosis de 90mg/L logra la máxima reducción de color del 78.6% mientras que la mínima reducción parte de la dosis de 40 mg/L con un valor del 13.12%.

3.2.5. Resultados del Biocoagulante Moringa Oleífera al 5% a 1 M de NaCl

3.2.5.1. Dosis óptima para biocoagulante Moringa Oleífera 5% a 1 M de NaCl

Tabla 10. Resultados de remoción de color y turbidez aplicando el biocoagulante moringa oleífera al 5% a 1 M de NaCl

Nº de Jarra	Dosis (mg/L)	Volumen (ml)	Turbidez Inicial (NTU)	Promedio Turbidez Final (NTU)	Porcentaje de remoción de turbidez (%)	Color inicial (Pt/Co)	Promedio Color final (Pt/Co)	Porcentaje de remoción de color (%)
1	90	1.8	47.6	22.47	52.80	310	246.00	20.65
2	125	2.5	47.6	14.13	70.32	310	66.33	78.60
3	165	3.3	47.6	8.60	81.94	310	92.00	70.32
4	250	5	47.6	8.24	82.70	310	142.67	53.98
5	340	6.8	47.6	11.80	75.20	310	168.00	45.81
6	415	8.3	47.6	13.33	72.00	310	270.33	12.80

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 10**, se puede observar que la dosis de 250mg/L fue la que obtuvo mayor eficiencia de remoción de turbidez y color siendo 82.7% y 82.7% respectivamente.

3.2.5.2. Eficiencia de Remoción de Turbidez para biocoagulante moringa oleífera al 5% a 1 M de NaCl

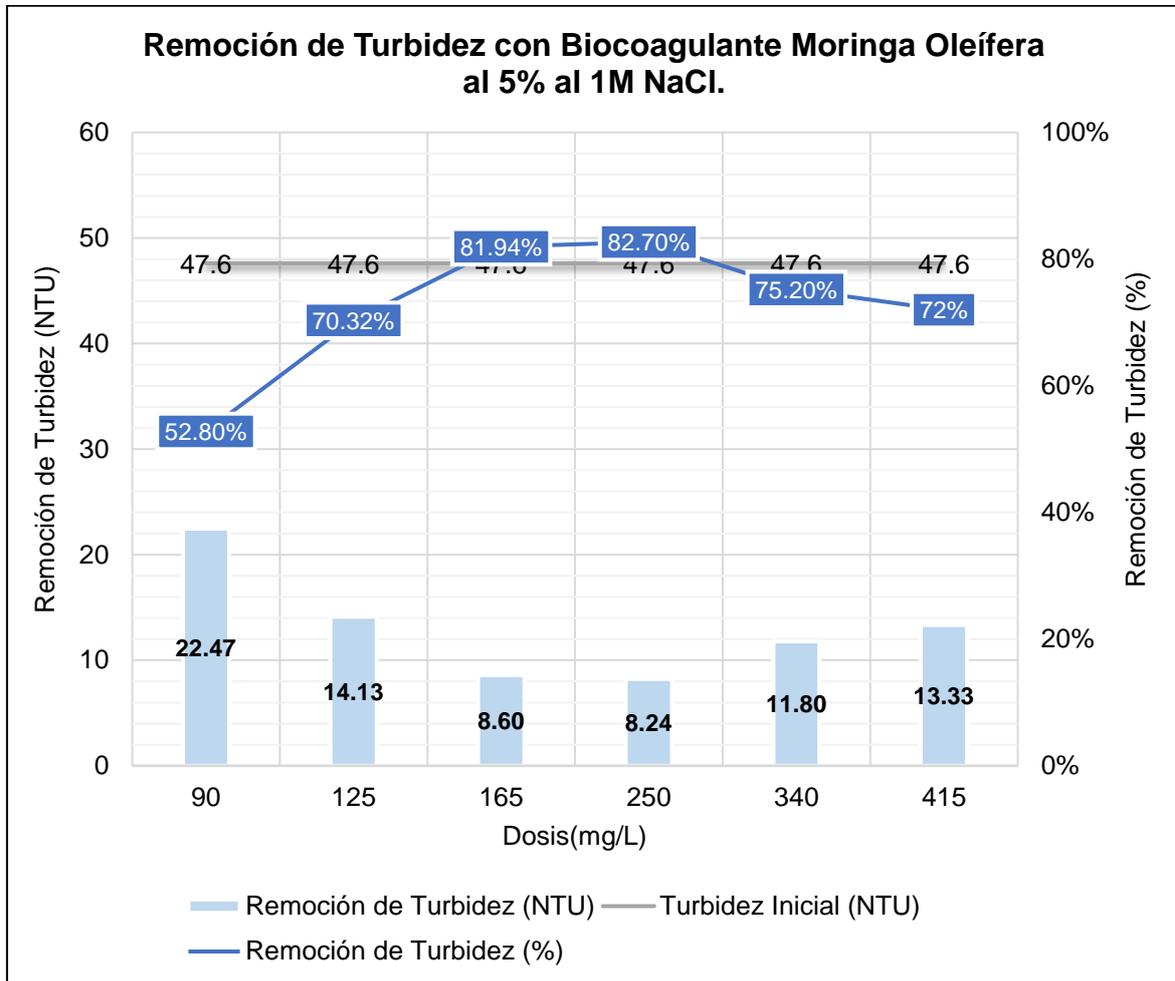


Figura 13. Relación de remoción de turbidez (NTU) con remoción de turbidez (%) aplicando biocoagulante Moringa Oleífera al 5% a 1 M NaCl

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 13**, se puede observar que todas las dosis aplicadas (90, 125, 165, 250, 340, 415 mg/L) logran reducir el valor de turbidez inicial de 47.6 NTU. Siendo la cuarta dosis (250mg/L) la que obtuvo mayor eficiencia de remoción logrando un porcentaje del 82.7%.

3.2.5.3. PH antes y después de aplicado el biocoagulante moringa oleífera al 5% a 1 M de NaCl

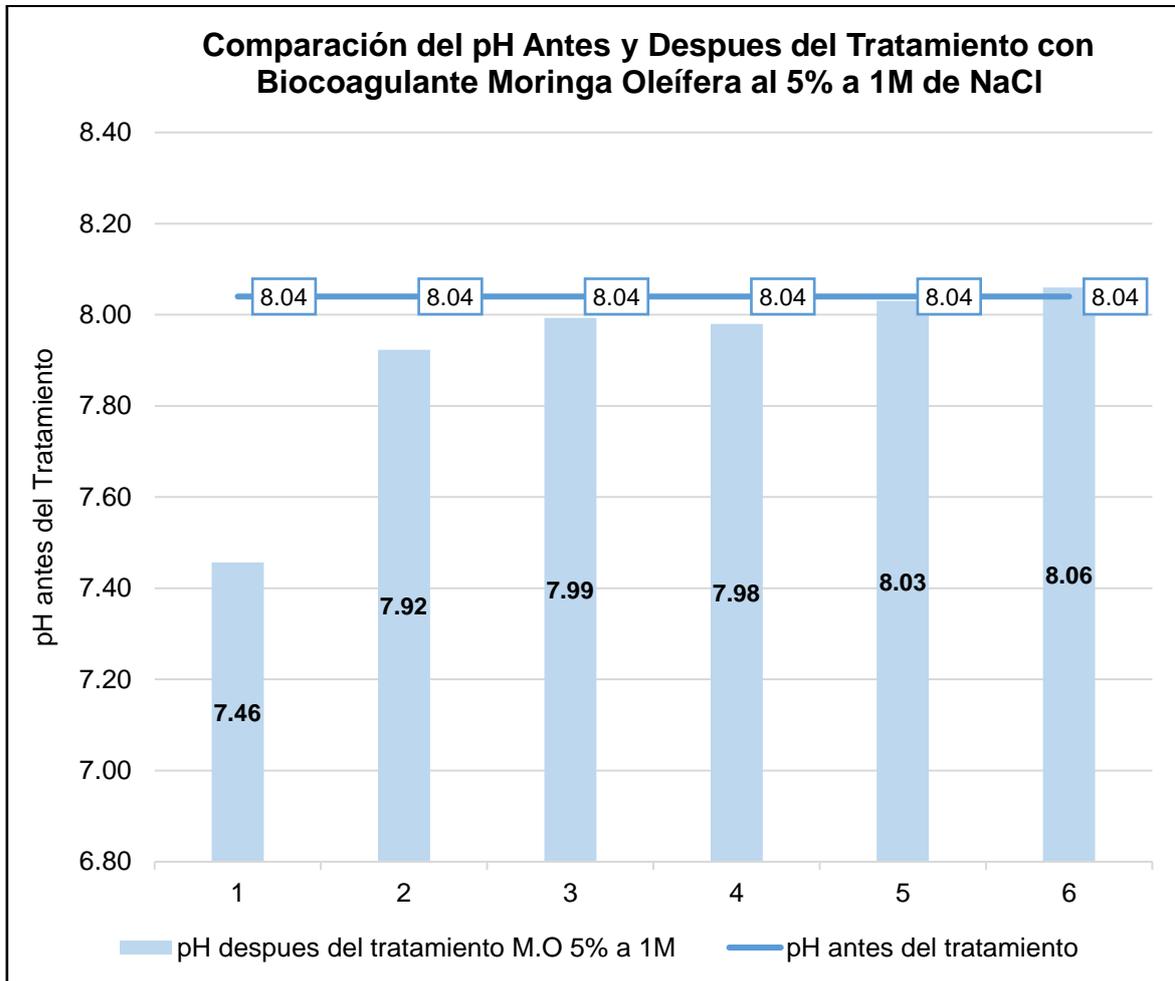


Figura 14. Comparación del pH antes y después del tratamiento con biocoagulante Moringa Oleífera al 5% a 1 M de NaCl.

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 14**, se muestra la comparación entre los valores de pH de la muestra de agua residual antes y después de aplicado el tratamiento con la moringa oleífera al 5% a 1 M de NaCl, así mismo se observa que no existe una variación significativa de los valores cumpliéndose de esta manera con lo establecido en el ECA de agua.

3.2.5.4. Temperatura antes y después de aplicado el biocoagulante moringa oleífera al 5% a 1 M de NaCl

Tabla 11. Comparación de la temperatura antes y después del tratamiento con moringa Oleífera al 5% a 1M de NaCl

Nº de jarra	Temperatura antes del tratamiento	Temperatura después del tratamiento R1	Temperatura después del tratamiento R2	Temperatura después del tratamiento R3	Promedio
1	26.5	26.1	25.2	25.2	25.50
2	26.5	25.5	25.6	25.3	25.47
3	26.5	25.8	25.5	25.3	25.53
4	26.5	25.7	25.6	25	25.43
5	26.5	26	25.4	25.5	25.63
6	26.5	25.9	25.5	25.4	25.60

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 11**, se puede observar que la temperatura después del tratamiento oscila en un rango de 25.47- 25.63°C, el cual al compararlo con las temperaturas iniciales se verifica que no existe demasiada variación, asimismo se evidencia que los valores no sobrepasan lo establecida en el ECA de agua.

3.2.5.5. Color antes y después de aplicado el biocoagulante moringa oleífera al 5% a 1 M de NaCl

Tabla 12. Resultados de color antes y después de aplicado el tratamiento con moringa Oleífera al 5% a 1 M de NaCl

Nº de jarra	Dosis del Biocoagulante (mg/l)	Promedio Turbidez Final (NTU)	Color Inicial (Pt/Co)	Color Final R1	Color Final R2	Color Final R3	Promedio Color final (Pt/Co)	Porcentaje de remoción de color (%)
1	90	22.47	310	220	238	240	232.67	24.95
2	125	14.13	310	180	174	177	177.00	42.90
3	165	8.60	310	87	90	99	92.00	70.32
4	250	8.24	310	73	75	71	73.00	76.45
5	340	11.80	310	145	170	149	154.67	50.11
6	415	13.33	310	170	188	180	179.33	42.15

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 12**, se muestran los resultados iniciales y finales de color del agua residual doméstica después de aplicado el tratamiento con las dosis establecidas para cada jarra. Asimismo se observa que la segunda, tercera, cuarta y quinta dosis superan el 50% de remoción de color a comparación de las tres restantes.

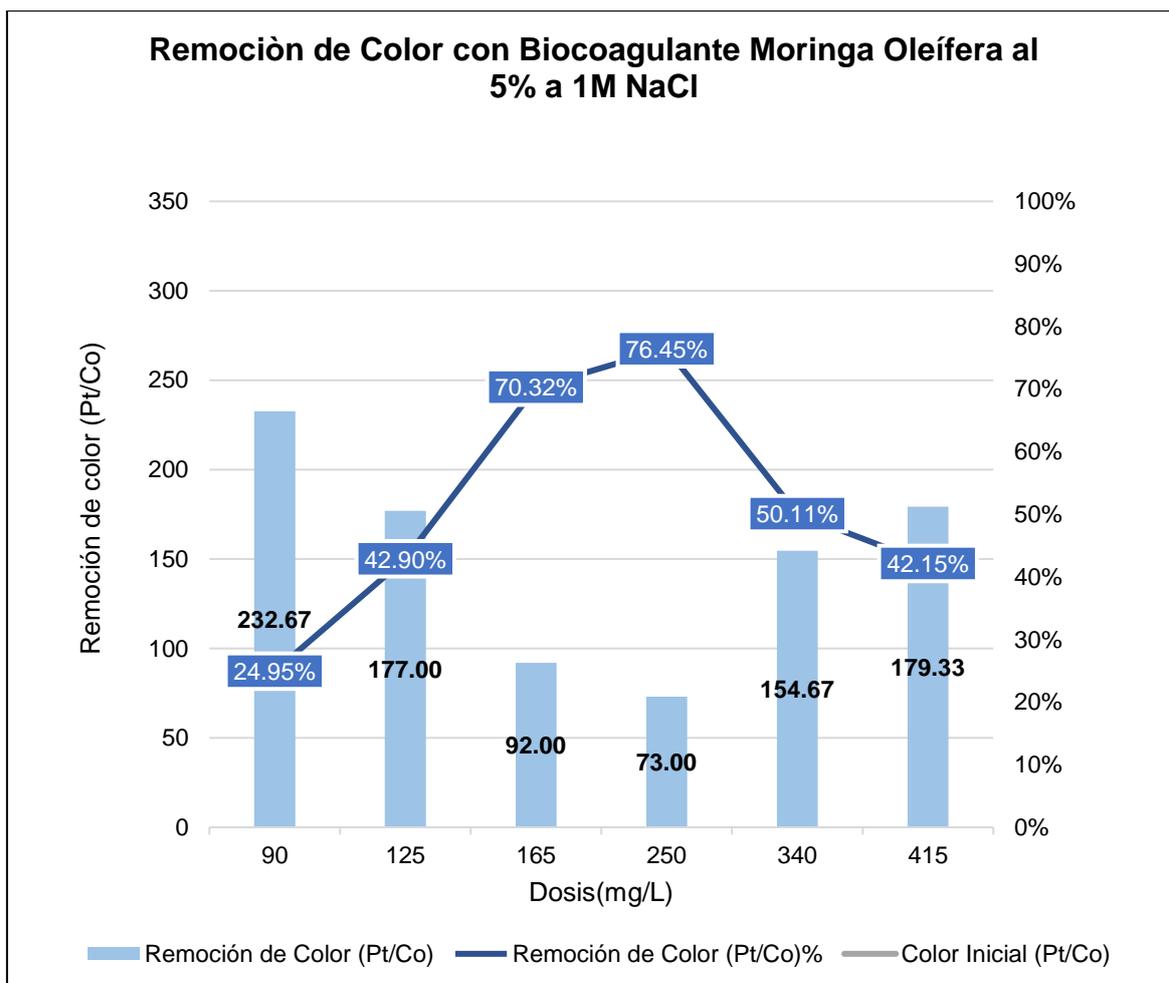


Figura 15. Relación de remoción de color (pt/Co) con remoción de color (%) con biocoagulante Moringa Oleífera al 5% a 1M NaCl.

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 15**, se puede observar que la cuarta dosis de 250mg/L logra la máxima reducción de color del 76.45% mientras que la mínima reducción parte de la dosis de 90 mg/L con un valor del 24.95%.

3.2.6. Comparación de biocoagulantes de moringa oleífera con NaCl a 1 M a diferentes concentraciones.

Tabla 13. Comparación entre diferentes concentraciones del biocoagulante moringa oleífera

Concentración Del Coagulante	Dosis	Eficiencia de Remoción de Turbidez (%)	Eficiencia de Remoción de Color (%)
Coagulante Moringa oleífera al 1% a 1M de NaCl	300 mg/L	56.38	70.32
Coagulante Moringa oleífera al 3% a 1M de NaCl	90 mg/L	93.4	78.6
Coagulante Moringa oleífera al 5% a 1M de NaCl	250 mg/L	82.7	53.98

Fuente: Elaboración propia

3.2.7. Comparación de eficiencias de remoción de turbidez entre diferentes especies naturales

En la siguiente **Tabla 14**, se presenta una comparación de coagulantes naturales como la Moringa (*moringa oleífera*), Cactus (*Opuntia ficus*), castaño de indias (*Aesculus hypocastanum*), Roble común (*Quercus robur*), Haba (*Vicia faba L*) y Frijol (*Phaseolus Vulgaris*) descritos por otras investigaciones aplicados en aguas residuales.

Tabla 14. Comparación de eficiencia de remoción de turbidez entre coagulantes naturales

Coagulante	Parte utilizada	Solución de extracción	Dosis	Eficiencia de remoción de turbidez	Referencias Bibliográficas
<i>Moringa Oleífera</i>	Semilla con cascara	Agua destilada	500 mg/L	95%	Gassenschmidt et al., 2005
<i>Opuntia ficus indica</i>	Mucilago	Agua destilada	40 mg/L	91%	Nharingo et al., 2015
<i>Aesculus hypocastanum</i>	Semillas	Agua destilada	0.5 mg/L	80%	Sciban et al., 2009

Coagulante	Parte utilizada	Solución de extracción	Dosis	Eficiencia de remoción de turbidez	Referencias Bibliográficas
<i>Quercus robur</i>	Semillas	Agua destilada	0.5 mg/L	70%	Sciban et al., 2009
<i>Vicia faba L.</i>	Semillas	Agua destilada	0.5 mg/L	48	Kukic et al., 2015
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Semillas	0,5 M NaCl	0.25 mg/L	47.7%	Antov et al., 2010

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

En el presente trabajo denominado “Eficiencia de la *moringa oleífera* como coagulante natural en la remoción de turbidez del agua residual doméstica del efluente del UASB-CITRAR”, se pudo verificar la eficacia que tiene la *moringa oleífera* como coagulante verde mejorando notablemente las características fisicoquímicas iniciales del agua cruda con baja turbidez.

El uso de este coagulante orgánico no generó una variación significativa del valor de pH y de la temperatura del agua residual cumpliéndose de esta forma con los estándares de calidad de agua destinado al riego y con los límites máximos permisibles para el efluente de una planta de tratamiento.

Se comprobó la eficiencia que tiene la *moringa oleífera* logrando una reducción significativa en los parámetros de turbidez y color en una muestra agua residual de baja turbidez.

Los resultados obtenidos muestran que la solución del extracto de la semilla de *moringa oleífera* al 1% a 1 M de NaCl, logró reducir la turbiedad inicial (47.6 NTU) a 22 NTU, siendo la dosis óptima 300mg/L con una eficiencia de remoción de turbidez del 56%, asimismo se evidencia una reducción del color inicial de 310 Pt/Co a 92 Pt/Co con una eficiencia del 70.2%.

Para el caso de la solución del extracto de la semilla de *moringa oleífera* al 3% a 1 M de NaCl, se observó la mayor eficiencia de remoción de turbidez a comparación de las dos soluciones madres restantes, logrando reducir la turbiedad inicial (47.6 NTU) a 3.77 NTU, siendo la dosis óptima 90mg/L con una eficiencia de remoción de turbidez del 93.4%, de la misma forma se pudo observar una reducción del color inicial de 310 Pt/Co a 66.3 Pt/Co con una eficiencia del 78.6%.

Por último, los resultados obtenidos del extracto de la semilla de *moringa oleífera* al 5% a 1 M de NaCl, muestran que esta solución madre logró disminuir la turbiedad inicial (47.6 NTU) a 9.51 NTU siendo la dosis óptima 250mg/L con una eficiencia de remoción de turbidez del 82.7%, también se pudo evidenciar la reducción del color hasta un valor de 73 Pt/Co con una eficiencia del 76.45%.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar las pruebas de jarras con las mismas dosificaciones aumentando la molaridad de la solución salina (NaCl) para determinar si existe una relación directa o inversa entre eficiencia y la cantidad de cloruro de sodio para el tratamiento.

Se recomienda evaluar el poder bactericida que tiene la *moringa oleífera* para reducir la cantidad de coliformes fecales y totales presente en una muestra de agua residual de origen doméstico.

Para futuras investigaciones se recomienda utilizar las mismas dosificaciones del estudio, aplicado a diferentes temperaturas para determinar si se puede realizar un tratamiento con este coagulante natural en determinadas regiones del país con bajas temperaturas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar,A(2010).*Utilización de las semillas de tara(caesalpinia spinosa) como ayudante de coagulación en el tratamiento de agua*.Universidad Nacional de Ingeniería,Lima,Perù.
- Aguilar,M.I.;Saèz,J,;Llorens,M.;A y Ortuño,J.F.(2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*.Murcia:Servicios de publicaciones.España
- Aldana,R.(2012).*Uso del extracto de la semilla de moringa oleífera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano*. Universidad Nacional de Ingeniería,Lima,Perù.
- Álvarez,M.(2017).*Tratamiento de las aguas superficiales mediante el uso de semilla Moringa (Moringa Oleífera) como coagulante orgánico en la cuenca baja del río Chillón - Carabayllo 2017*.Universidad Cesar Vallejo,Lima,Perù.
- Andía Cárdenas, Yolanda(2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. Evaluación de plantas y Desarrollo tecnológico*. Sedapal. Lima,Perù.
- Antov, M., Šćiban, M., Petrović, N. (2010). *Proteins from common bean(Phaseolus vulgaris) seed as a natural coagulant for water turbidity removal*. Bioresour.Technol.,100 pp. 2167–2172.
- Autoridad Nacional Del Agua (2013). *Plan Nacional De Recursos Hidricos Del Perú*.Recuperado de <http://www.ana.gob.pe>
- Autoridad Nacional del Agua. (2009). *Ley N°29338: Ley de los recursos hídricos*. Lima, Perú.
- Bravo,G.(2017).*Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas Residuales*.Universidad Distrital Francisco José De Caldas,Colombia
- Fernandez (2018).*Extracción enzimática del aceite de moringa (Moringa oleífera) con prensa-Expeller y determinación de su tiempo de vida en Anaquel*. Universidad Nacional Agraria La Molina,Lima,Perù.
- García M. (2003).*Producción de semillas forestales de especies forrajeras enfatizados en sistemas Siolvopastoriles: Moringa oleífera Lam*.INAFOR,Nicaragua.

- Gassenschmidt, Jany, Tauscher, Niebergall. (1995). *Isolation and characterization of a flocculating protein from Moringa oleífera Lam.* Biochem. Biophys. Acta, 1243, pp. 477–481.
- Gómez P, A(2005). *Remoción de materia orgánica por Coagulación -Floculación.* Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.
- Kawamura, S. (1996b). *Optimización de los procesos básicos del tratamiento de agua. Sedimentación y filtración: Diseño y operación.* Ing. Sanitaria y Ambiental(p.p 29-37).
- Kukic, Scibana, Prodanovica, Tepica, Vasi., (2015). *Extracts of fava bean (Vicia faba L) seeds as natural coagulants.* Ecological Engineering 84 (2015) 229–232.
- Lédo, P., R., Paulo, J., Duarte, M. (2009). *Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleífera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad.* Información tecnológica, 20(5), pp.3-12.
- López, P(2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia Ficus-Indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas.* Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Melo, G., Turriago, F (2012). *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias.* Universidad Nacional Abierta y a Distancia Villavicencio, Colombia.
- Meza, M., Riaños, K., Mercado, I., Olivero, R., Jurado, M. (2018). *Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico.* Revista UIS Ingenierías. Vol. 17(2), pp. 95-104
- Ministerio del Ambiente (2015). D.S.N° 015-2015-MINAN. *Modifican los Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.* Lima, Perú.
- Nharingo, T., Ngwenya, T.J., 2013. *Single and binary sorption of lead(II) and zinc (II) ions onto Eichhornia crassipes (water hyacinth) ash.* Int. J. Eng. Sci. Innov. Technol. 2,419e426.

- Nuñez,P(2007). *Validación de la efectividad de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano*.Zamorano,Morocelí, Honduras
- OEFA. (2015). Instrumentos Básicos para la Fiscalización ambiental.
- Pringles, J. (2014). *Laboratorio Ph*. Argentina: Universidad Nacional de San Luis
- Restrepo (2009). *Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. Universidad Nacional de Colombia.Medellin,Colombia.
- Richter, C; Pérez, J; Cánepa, L. (1984). Coagulación. Lima,Perù.CEPIS. p.78
- Rigola L. (1990).*Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*.Barcelona,España.Marcombo S.A
- Rojas,Z(2010). *Estudio para la reutilización del agua del lavado de vehículos de una fundición*. Universidad Nacional de Ingeniería,Lima,Perù.
- Sciban, M., Klasnja, M., Antov, M., Skrbic, B., 2009. *Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn*. *Bioresour. Technol.* 100 (24),6639–6643.
- Tumbaco, T. & Acebo,M.(2017-2018).*Eficiencia de biocoagulante a base de semilla de moringa oleífera para aplicación de tratamiento de agua usando como fuente de captación el río guayas*.Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Vargas,L(2004). Mezcla Rápida .En Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2004).*Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*(p.227).Lima, Perú
- Zerbato,M(2012).*Coagulación optimizada en el tratamiento de potabilización de agua: Su efecto sobre la remoción de enteroparásitos*. Universidad Nacional Del Litoral.Argentina.

ANEXOS

Anexo 1: Panel Fotográfico



Registro Fotográfico 1. Semillas de Moringa Oleífera con cáscara



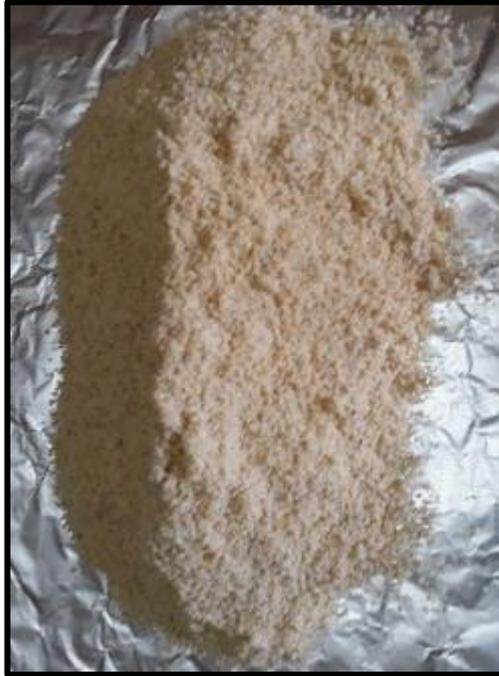
Registro Fotográfico 2. Semillas de Moringa Oleífera sin cáscara



Registro Fotográfico 3. Semillas de moringa oleífera colocadas a estufa a 60°C por 24 horas



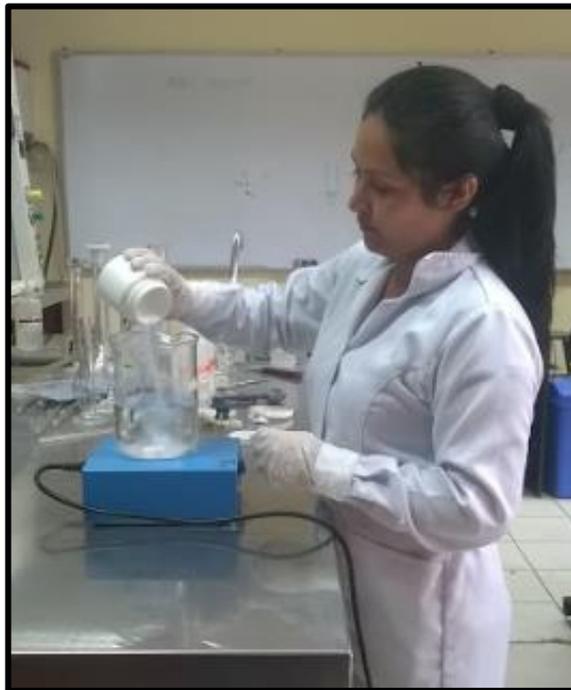
Registro Fotográfico 4. Molino eléctrico-automático



Registro Fotográfico 5.Polvo de las semillas de moringa oleífera



Registro Fotográfico 6.Extracción del aceite con equipo Soxhlet



Registro Fotográfico 7. Preparación de la solución salina (NaCl)

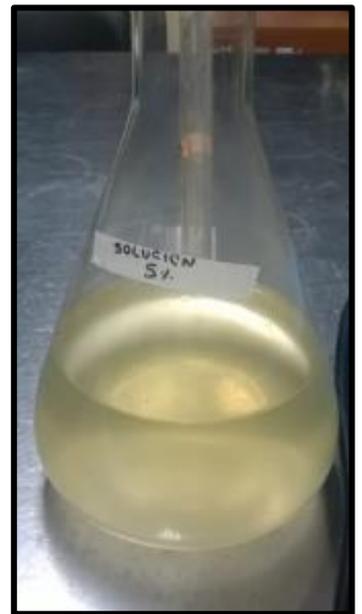
A



B



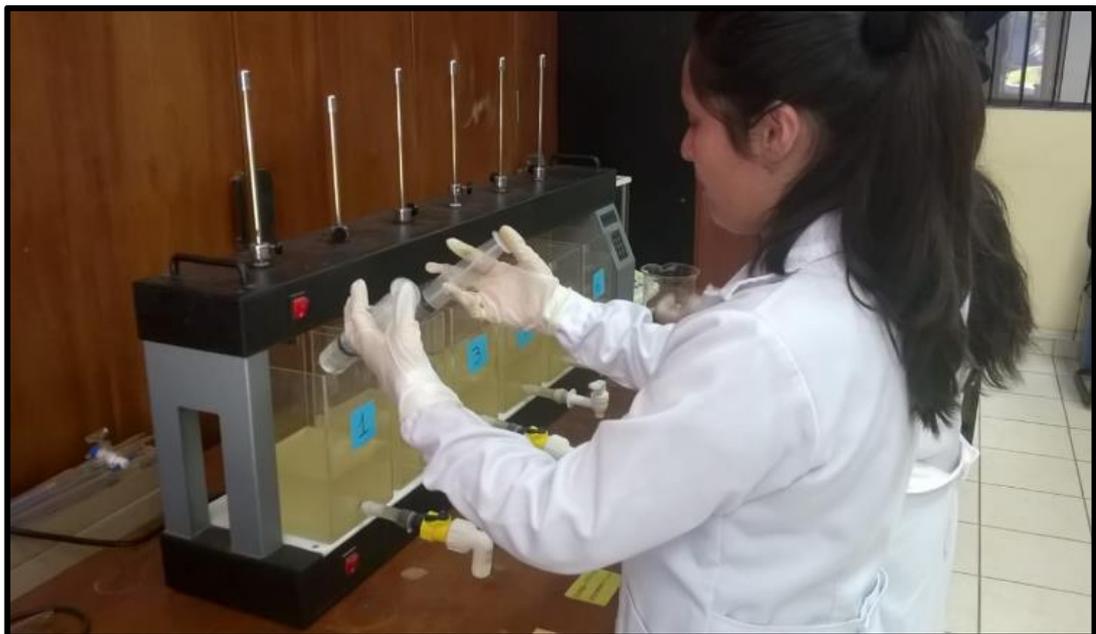
C



Registro Fotográfico 8. Biocoagulante de moringa oleífera A)C=1% con NaCl a 1 M, B)c=3% con NaCl a 1M, C)C=5% con NaCl a 1 M



Registro Fotográfico 9.Prueba de jarras con biocoagulante moringa oleífera



Registro Fotográfico 10.Dosificación del biocoagulante en cada jarra con agua residual doméstica

Caracterización de la semilla de moringa oleífera

- Caracterización Cenizas



Registro Fotográfico 11. Crisol en la mufla

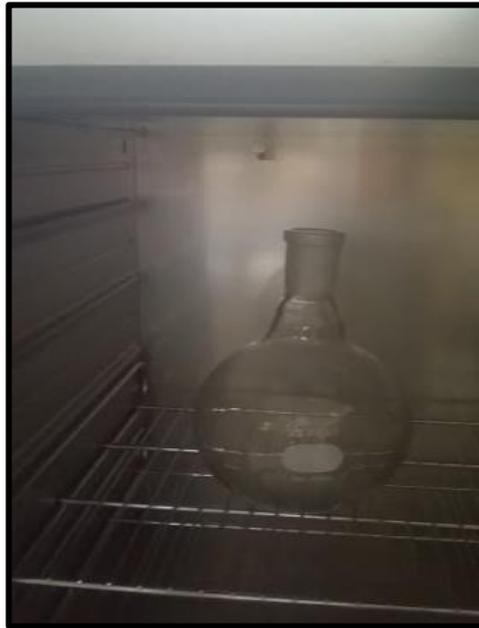


Registro Fotográfico 12. Pesado del crisol más la muestra seca

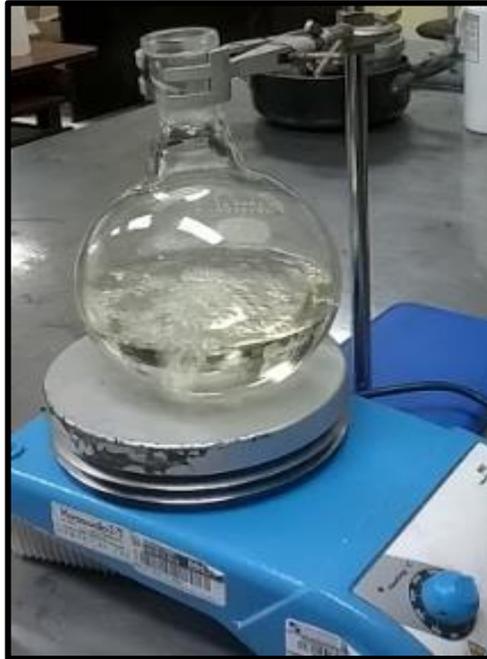


Registro Fotográfico 13.Crisol más cenizas

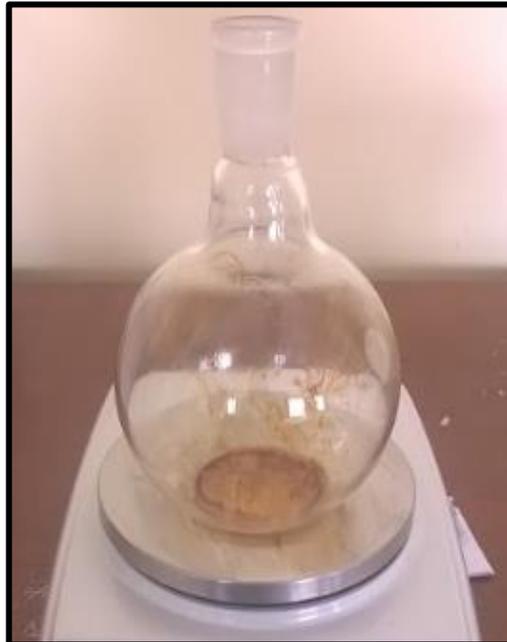
- Caracterización Aceites y grasa



Registro Fotográfico 14.Balón esmerilado colocado a estufa

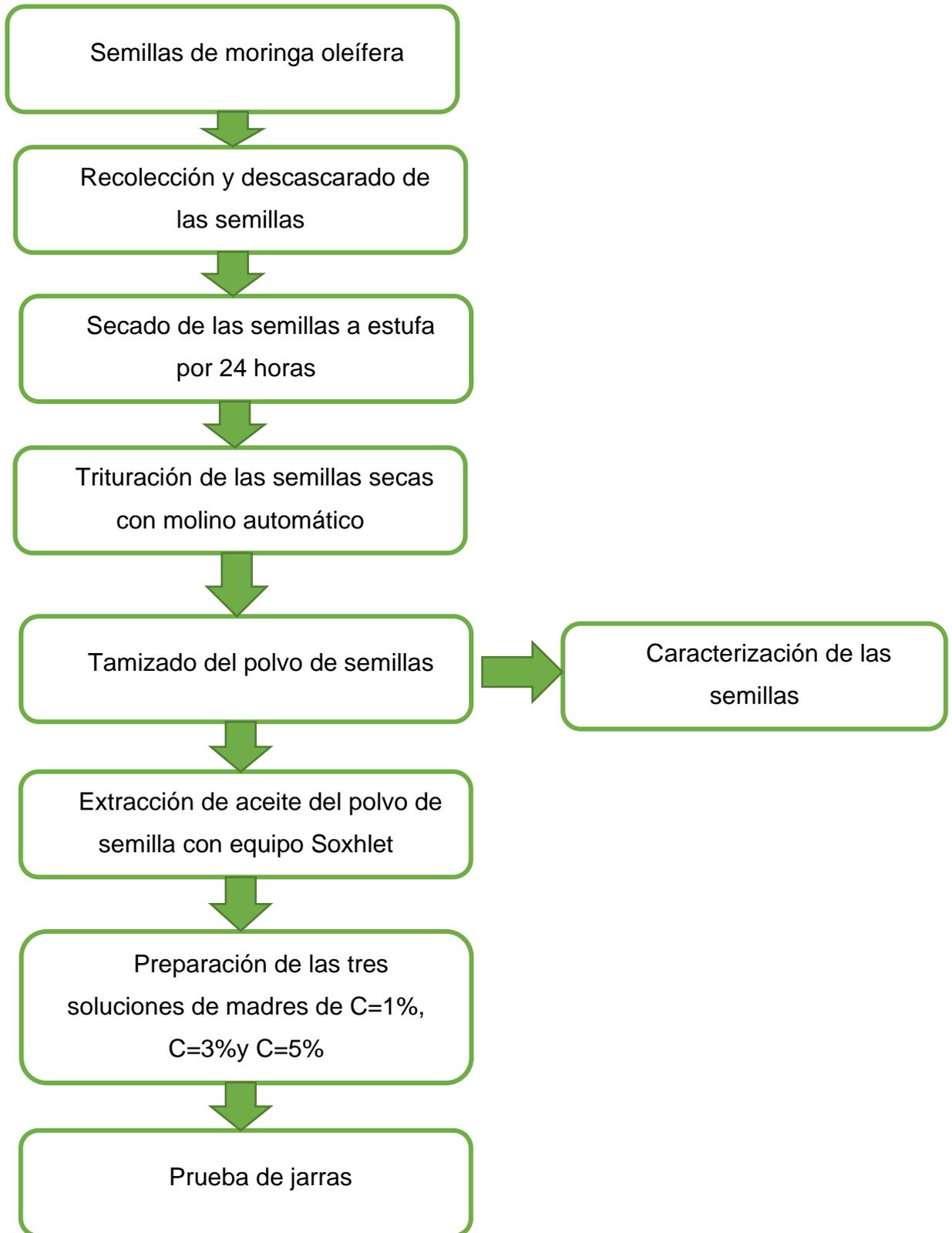


Registro Fotográfico 15.Evaporación del etanol



Registro Fotográfico 16.Grasa extraída de la muestra de moringa oleífera

Anexo 2: Flujoograma de la parte experimental



Anexo 3: Cálculos

$$C\% = \frac{W}{V} \times 100\%$$

C: concentración de la solución

W: peso del extracto de moringa oleífera (gramos)

V: volumen de agua destilada (ml)

Volumen de coagulante para cada dosis

$$q = \frac{Q \times D}{C}$$

q: volumen de la solución del biocoagulante (ml)

Q: volumen de la muestra a tratar en las jarras (1000ml)

D: dosis del biocoagulante (mg/L)

C: concentración (mg/L)

Para concentración de moringa oleífera al 1% a 1 M de NaCl

- C=10000mg/L
- Q=1000 ml
- D₁=300 mg/L

$$q_1 = \frac{1000ml \times 300mg/L}{10000mg/L}$$

$$q_1 = 30 \text{ ml}$$

- C=10000mg/L
- Q=1000 ml
- D₂=350 mg/L

$$q_2 = \frac{1000ml \times 350mg/L}{10000mg/L}$$

$$q_2 = 35 \text{ ml}$$

- C=10000mg/L
- Q=1000 ml
- D₃=400 mg/L

$$q_3 = \frac{1000ml \times 400mg/L}{10000mg/L}$$

$$q_3 = 40 \text{ ml}$$

- C=10000mg/L
- Q=1000 ml
- D₄=450 mg/L

$$q_4 = \frac{1000ml \times 450mg/L}{10000mg/L}$$

$$q_4 = 45 \text{ ml}$$

- C=10000mg/L
- Q=1000 ml
- D₅=500 mg/L

$$q_5 = \frac{1000ml \times 500mg/L}{10000mg/L}$$

$$q_5 = 50 \text{ ml}$$

- C=10000mg/L
- Q=1000 ml
- D₆=550 mg/L

$$q_6 = \frac{1000ml \times 550mg/L}{10000mg/L}$$

$$q_6 = 55 \text{ ml}$$

Para concentración de moringa oleífera al 3% a 1 M de NaCl

- C=30000mg/L
- Q=1000 ml
- D₁=40 mg/L

$$q_1 = \frac{1000ml \times 40mg/L}{30000mg/L}$$

$$q_1 = 1.3 \text{ ml}$$

- C=30000mg/L
- Q=1000 ml
- D₂= 90mg/L

$$q_2 = \frac{1000ml \times 90mg/L}{30000mg/L}$$

$$q_2 = 4.6 \text{ ml}$$

- C=30000mg/L
- Q=1000 ml
- D₃=140mg/L

$$q_3 = \frac{1000ml \times 90mg/L}{30000mg/L}$$

$$q_3 = 4.6 \text{ ml}$$

- C=30000mg/L
- Q=1000 ml
- D₄=190mg/L

$$q_4 = \frac{1000ml \times 190mg/L}{30000mg/L}$$

$$q_4 = 6.3 \text{ ml}$$

- C=30000mg/L
- Q=1000 ml
- D₅=240mg/L

$$q_5 = \frac{1000ml \times 240mg/L}{30000mg/L}$$

$$q_5 = 8ml$$

- C=30000mg/L
- Q=1000 ml
- D₆=290mg/L

$$q_6 = \frac{1000ml \times 290mg/L}{30000mg/L}$$

$$q_6 = 9.6ml$$

Para concentración de moringa oleífera al 5% a 1 M de NaCl

- C=50000mg/L
- Q=1000 ml
- D₁=90 mg/L

$$q_1 = \frac{1000ml \times 90mg/L}{50000mg/L}$$

$$q_1 = 1.8 \text{ ml}$$

- C=50000mg/L
- Q=1000 ml
- D₂=125 mg/L

$$q_2 = \frac{1000ml \times 125mg/L}{50000mg/L}$$

$$q_2 = 2.5 \text{ ml}$$

- C=50000mg/L
- Q=1000 ml
- D₃=165 mg/L

$$q_3 = \frac{1000ml \times 165mg/L}{50000mg/L}$$

$$q_3 = 3.3 \text{ ml}$$

- C=50000mg/L
- Q=1000 ml
- D₄=250 mg/L

$$q_4 = \frac{1000ml \times 250mg/L}{50000mg/L}$$

$$q_4 = 5 \text{ ml}$$

- C=50000mg/L
- Q=1000 ml
- D₅=340 mg/L

$$q_5 = \frac{1000ml \times 340mg/L}{50000mg/L}$$

$$q_5 = 6.8 \text{ ml}$$

- C=50000mg/L
- Q=1000 ml
- D₆=415 mg/L

$$q_6 = \frac{1000ml \times 415mg/L}{50000mg/L}$$

$$q_6 = 8.3 \text{ ml}$$

Costo del Tratamiento

- 1 semilla de moringa oleífera =0,3 gramos
 - 100 semillas =30 gramos \longrightarrow Costo=s/ 6.00 soles
 - 1 M de NaCl=58.44 gramos \longrightarrow Costo=s/ 5.4 soles
 - 1 litro de agua destilada \longrightarrow Costo=s/1.25 soles
- Costo total=s/12.65 soles

El biocoagulante de moringa oleífera con una concentración de 3 % y a 1 M de NaCl tiene 30 gramos de moringa oleífera y 58.44 gramos de NaCl.

Puesto que 3 mililitros de biocoagulante puede tratar un litro de agua residual podemos concluir que, un litro de biocoagulante al 3% puede tratar 33 litros de agua residual. Por lo tanto si queremos tratar 1 m³ de agua residual necesitaremos 3 litros de biocoagulante lo que implicaría un gasto total de s/ 37.95 soles.

Por último, cabe mencionar que el costo de las semillas de moringa oleífera dependerá de la temporada de adquisición de este producto y de la demanda del mismo.

Anexo 4: Resultados de Laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-103



LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.

Registro N° LE -103

INFORME DE ENSAYO N° 1903019A/1

Código de Laboratorio	1903019A-02	1903019A-03	1903019A-04			
Identificación de la Muestra	Concentración de <i>Moringa Oleifera</i> : 5% - Dosis: 250 mg/L	Concentración de <i>Moringa Oleifera</i> : 3% - Dosis: 90 mg/L	Concentración de <i>Moringa Oleifera</i> : 1% - Dosis: 300 mg/L			
Descripción del Punto de Muestreo	Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligroso - UNI	Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligroso - UNI	Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligroso - UNI			
Fecha y hora de muestreo	12-03-2019 (16:16)	11-03-2019 (19:10)	11-03-2019 (12:10)			
Ubicación Geográfica (WGS-84)	N: - E: -	N: - E: -	N: - E: -			
Tipo de Matriz y/o Producto	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA					
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M.	Resultados		
(*) (*) Turbidez	NTU	0,150	-	9,51	3,77	22,7
² Potencial de Hidrógeno (pH)	UpH	-	-	7,52	7,42	7,51

Notas:

- ✓ Condición y estado de la Muestra (s) Ensayada (s): Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- ✓ La (s) muestra(s) llegaron en frasco de polietileno, vidrio ámbar y frascos esterilizados.
- ✓ La (s) muestra (s) se mantendrán guardadas en condiciones controladas por un periodo de 10 días calendarios luego que haya sido entregado el Informe de Ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- ✓ L.C.M: Límite de cuantificación del método; L.D.M: Límite de detección del método.
- ✓ El informe de control de calidad será proporcionado a solicitud del cliente.
- ✓ (*) Contratado a un laboratorio acreditado en el ensayo.
- ✓ (*) Método de ensayo no acreditado por el INACAL-DA.
- ✓ ¹ Ensayos realizados en la Sede de Ate-Lima ubicada en Calle Berna N° 100, Urb. Los Portales de Javier Prado 1ra Etapa, Ate-Lima.
- ✓ ² Ensayos realizados en la Sede de Villa el Salvador-Lima Ubicada en Asoc. Cruz de Motupe, Mz. B, Lote 4, Villa el Salvador-Lima.
- ✓ ³ Ensayo sensorial, no cuantitativo.

F-IE-02
Revisión: 05
Fecha: 24-01-2019

Tipo Ensayo	Norma de Referencia		Año de versión o Edición
	Código	Título	
Turbidez	SMEWW 2130B, 23 rd Ed. 2017	Nefelometría	2017
Potencial de Hidrógeno (pH)	SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part. 4500-H+ B, 23rd Ed.	pH Value. Electrometric Method	2017

Fin de documento


Celso Roberto Chuquimayo Arellano
JEFE DE LABORATORIO DE FQ
CQP - 779

El informe de ensayo presentado no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita de R-LAB S.A.C.

Los resultados presentados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no haya sido analizado. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
Calle Berna N° 100, Urb. "Los Portales de Javier Prado" 1era Etapa, Lima-03 / Telf. : 6776533 / 972733385, Correo: rlaboratorio1@gmail.com

Anexo 5: Normas Legales

Estándares de Calidad de Agua

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017  El Peruano

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la republicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabrillas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóxicos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precisese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitatos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₇ - C ₉)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (a)	(a)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromodometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodimetano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Omanoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
IL CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ($\text{NO}_2\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 3,28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2^-).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{\text{CA Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{\text{CA Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{\text{CA Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{\text{CA Bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L. (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares. $\Delta 3$: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS-QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala PtCo	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitros ($\text{NO}_2\text{-N}$)	mg/L	10	**
Nitros ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Niquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FISICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Vial	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspensos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Tafo	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	46,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,364	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,084	0,043	0,021

Nota:

(*) El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala P.V. Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Niquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICOS				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Didro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Akicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminthos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS-QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₄ ⁺)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Taño	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
<u>Compuestos Orgánicos Volátiles</u>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<u>Hidrocarburos Aromáticos</u>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<u>Bifenilos Policlorados</u>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
<u>Organofosforados</u>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<u>Organoclorados</u>						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
 - (b) Después de la filtración simple.
 - (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).
- Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,80	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,80	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	2,50	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

- (*) El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.
- (**) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2

Límites Máximos permisibles para efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales

El Peruano
Lima, miércoles 17 de marzo de 2010

 **NORMAS LEGALES**

415675

de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5º.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

469446-6

AMBIENTE

Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

**DECRETO SUPREMO
Nº 003-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3º de la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32º de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33º de la Ley Nº 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7º del Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;

Que el artículo 14º del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo Nº 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28º el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118º de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11º de la Ley Nº 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1º.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2º.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permissible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3º.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4º.- Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5º.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6º.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7º.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Acéites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de internet institucional del Ministerio

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo Nº 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2º de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3º de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demanden las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5º de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente la servidora citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica; y

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo Nº 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

SE RESUELVE:

Artículo 1º.- Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM.

Artículo 2º.- Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

Artículo 3º.- Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

Artículo 4º.- Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

469445-1