

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Eficiencia de la *Moringa Oleifera* para el tratamiento de agua residual doméstica con fines de recuperación y aprovechamiento en el riego de vegetales

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Willian Francisco Hidalgo del Castillo
Pascual Esleyner Cayao Villanueva

Asesora:

Mg. Dayani Shirley Romero Vela

Tarapoto, setiembre del 2019

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS**

Ing. M. Dayani Shirley Romero Vela, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “**EFICIENCIA DE LA MORINGA OLEIFERA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA CON FINES DE RECUPERACIÓN Y APROVECHAMIENTO EN EL RIEGO DE VEGETALES**”; constituye la memoria que presenta los Bachilleres, Willian Francisco Hidalgo del Castillo y Pascual Esleyner Cayao Villanueva, para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Tarapoto, a los 22 días de julio del año 2020



Mg. Dayani Shirley Romero Vela

**EFICIENCIA DE LA *MORINGA OLEIFERA* PARA EL TRATAMIENTO
DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA CON FINES DE RECUPERACIÓN Y
APROVECHAMIENTO EN EL RIEGO DE VEGETALES**

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniería Ambiental

JURADO CALIFICADOR



Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo
Presidenta



Ing. Carmelino Almestar Villegas
Secretario



Ing. Juana-Elizabeth Vásquez Vásquez
Vocal



Mtra. Dayani Shirley romero Vela
Asesor

Tarapoto, 22 de julio del 2020

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicada con mucho amor y felicidad a nuestros padres José Kennedy Cayao Gabriel y Eva Villanueva Pérez, Willian Hidalgo Portocarrero y Sadith del Castillo Ramírez, quienes con mucho sacrificio nos brindaron todo el apoyo necesario para poder estudiar y cumplir nuestras metas.

A nuestros amigos y compañeros que nos acompañaron y apoyaron durante nuestro paso por las aulas de la universidad.

AGRADECIMIENTOS

Los más sinceros agradecimientos:

A Dios, por cuidarnos cada día, por su incalculable amor y darnos la inteligencia de poder desarrollar nuestras actividades académicas.

A nuestra apreciada asesora Ing. Mg. Dayani Romero Vela, por su tiempo, dedicación, paciencia y consejos para desarrollar la presente investigación.

A nuestros docentes Biól. Henry Jave Concepción, Ing. Frank Oyola Ojeda, Biól. Oscar Rojas Sánchez, Ing. Ivonne Vásquez Briones, Ing. Eduardo Vigo Rivera, Ing. Jhon Patrick Bartra Ríos y al Ing. Manuel Toribio Yalico por su destacada y excelente enseñanza, siempre los recordaremos.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	xiv
AGRADECIMIENTOS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xx
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxi
SÍMBOLOS USADOS.....	xxii
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
CAPÍTULO I.....	16
INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.1.1. Descripción de la realidad problemática.....	16
1.2. Objetivos.....	18
1.2.1. Objetivo general.....	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
1.3. Justificación.....	19
1.4. Presuposición filosófica.....	20
CAPÍTULO II.....	21
REVISIÓN DE LITERATURA.....	21
2.1. Fundamentos de la investigación.....	21
2.1.1. Calidad del agua.....	21
2.1.2. Agua residual.....	21
2.1.3. Clasificación de las aguas residuales.....	22
2.1.4. Tratamientos de las aguas residuales.....	22
2.1.5. Coagulantes.....	24
2.1.6. Parámetros de evaluación.....	26
2.2. <i>Moringa oleifera</i>	28
2.2.1. Propiedades.....	29
2.2.2. Usos y aplicación.....	30
2.3. Test de jarras.....	31
2.4. Antecedentes de la investigación.....	32
2.4.1. Internacionales.....	32
2.4.2. Nacionales.....	33

2.5. Marco legal de investigación	34
CAPÍTULO III	37
MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1. Lugar de ejecución	37
3.2. Localización y Descripción de la Zona Intervención.	37
3.3. Población y muestra.....	40
3.3.1. Población.....	40
3.3.2. Muestra	40
3.4. Diseño de investigación.....	40
3.5. Formulación de la hipótesis.....	41
3.6. Variables de estudio	41
3.6.1. Variable independiente.....	41
3.6.2. Variable dependiente	41
3.7. Operacionalización de variables	42
3.8. Instrumentos de recolección de datos.....	43
3.9. Técnicas de recolección de datos y validación de instrumentos.....	44
3.9.1. Técnicas de recolección.....	44
3.9.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	44
3.10. Equipos y Materiales	44
3.11. Metodología de la investigación	46
3.11.1. Etapa 1: Gabinete inicial	46
3.11.2. Etapa 2: De campo	46
3.11.3. Etapa 3: De laboratorio	50
3.11.4. Etapa 4: De gabinete final	52
CAPÍTULO IV	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1. Resultados.....	53
4.1.1. Determinación de la eficiencia de <i>Moringa oleífera</i> como coagulante.....	53
4.1.2. Características fisicoquímicas del agua residual doméstica.....	54
4.1.3. Costo beneficio <i>Moringa oleífera</i>	59
4.1.4. Dosis optima del coagulante de <i>Moringa oleífera</i>	60
4.2. Discusión	61
CAPÍTULO V	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1. Conclusiones	64

5.2. Recomendaciones	65
REFERENCIAS	66
ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la <i>Moringa oleifera</i>	28
Tabla 2. Ubicación del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión.....	37
Tabla 3. Localización y descripción de la zona intervención	37
Tabla 4. Operacionalización de variables de estudio	42
Tabla 5. Identificación del punto de monitoreo	48
Tabla 6. Parámetros de evaluación	48
Tabla 7. Valores comparativos de la turbiedad y el porcentaje de tratabilidad de M. oleífera como coagulante.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del tratamiento de las aguas residuales.	24
Figura 2. Vainas de <i>Moringa oleifera</i> (A) planta de <i>M. oleifera</i> (B) semillas de <i>Moringa oleifera</i> (C)	29
Figura 3. Test de Jarras	31
Figura 4. Ubicación geográfica de la zona de estudio	38
Figura 5. Ubicación geográfica del lugar de intervención	39
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de obtención del polvo de <i>M. oleifera</i>	51
Figura 7. Valores comparativos de la Conductividad eléctrica antes y después del tratamiento.....	54
Figura 8. Valores comparativos de Oxígeno disuelto antes y después del tratamiento.	55
Figura 9. Valores comparativos de pH antes y después del tratamiento.....	56
Figura 10. Valores comparativos de Turbiedad antes y después del tratamiento.	56
Figura 11. Valores comparativos de Solidos Suspendidos Totales antes y después del tratamiento.....	58
Figura 12. Valores comparativos de temperatura antes y después del tratamiento.....	59
Figura 13. Dosis ideal del coagulante de <i>Moringa oleifera</i>	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico de la ejecución del proyecto.....	72
Anexo 2. Resultado de los análisis para la determinación de la eficiencia de <i>Moringa oleífera</i> en el tratamiento de agua residual doméstica (Página 1 de 4).	75
Anexo 3. Resultado de los análisis para la determinación de la eficiencia de <i>Moringa oleífera</i> en el tratamiento de agua residual doméstica (Página 2 de 4).	76
Anexo 4. Resultado de los análisis para la determinación de la eficiencia de <i>M. oleífera</i> en el tratamiento de agua residual doméstica (Página 3 de 4).	77
Anexo 5. Resultado de los análisis para la determinación de la eficiencia de <i>M. oleífera</i> en el tratamiento de agua residual doméstica (Página 4 de 4).	78
Anexo 6. Certificado de calibración del multiparámetro utilizado en la evaluación de los parámetros de campo (Página 1 de 2).....	79
Anexo 7. Certificado de calibración del multiparámetro utilizado en la evaluación de los parámetros de campo (Página 2 de 2).....	80
Anexo 8. Cálculos para la determinación de la eficiencia	81
Anexo 9. Cálculo para determinar el costo de tratabilidad	82
Anexo 10. Parámetros establecidos según Estándares de calidad ambiental para agua - Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.	83
Anexo 11. Parámetros establecidos según Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.....	84

SÍMBOLOS USADOS

ANA	: Autoridad Nacional del Agua.
ALAB	: Analytical Laboratory
DIGESA	: Dirección General de Salud Ambiental.
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental para agua.
EPS	: Entidades Prestadoras de Servicios.
GRSM	: Gobierno Regional de San Martín.
INACAL	: Instituto Nacional de Calidad.
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
LMP	: Límites Máximos Permisibles
MINAM	: Ministerio del Ambiente.
MINAGRI	: Ministerio de Agricultura
MVCS	: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.
OEFA	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMS	: Organización Mundial de la Salud.
SUNASS	: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.
SINIA	: Sistema Nacional de Información Ambiental.
PTAR	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
UNESCO	: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
UNT	: Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

RESUMEN

Teniendo en cuenta la problemática actual de contaminación de los cuerpos receptores de las aguas residuales que afectan al equilibrio ambiental y la salud humana; la presente investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de *Moringa oleifera* como agente coagulante en el tratamiento de agua residual doméstica con fines de recuperación y aprovechamiento para el riego de vegetales; evaluando las tendencias actuales de nuestra región en el área agrícola; y sabiendo que, las semillas de *Moringa oleifera* presentan propiedades químicas que le permiten considerarse como agente coagulante. El volumen de muestra ensayada fue de 06 litros, la misma que presentó una turbiedad inicial de 70 UNT, que fue sometida a dosis de 400, 500, 600, 700 y 800 mg/L. Los parámetros como turbiedad y sólidos suspendidos totales fueron analizados en un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y los parámetros básicos de laboratorio como pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura se evaluaron con un multiparámetro calibrado por un organismo competente autorizado. Con los resultados finales se determinó la eficiencia de tratabilidad en el que se alcanzó un valor máximo de 54.29% con una dosis de 700 mg/L como el mayor valor de tratabilidad, para el resto de casos fueron menores, siempre por debajo del referencial (90%); por lo que solo podría considerarse al polvo de moringa como un agente coadyuvante.

Palabras claves: *Moringa oleifera*, turbiedad, coagulación, agua residual.

ABSTRACT

Taking into account the current problem of contamination of the receiving bodies of wastewater that affect environmental balance and human health; This research aims to evaluate the efficiency of *Moringa oleifera* as a coagulating agent in the treatment of domestic wastewater for the purpose of recovery and use for the irrigation of vegetables; taking into account the current trends of our region in the agricultural area; and, Knowing that, *Moringa oleifera* seeds have chemical properties that allow it to be considered as a clotting agent. The sample volume tested was 06 liters, which showed an initial turbidity of 70 UNT, which was subjected to doses of 400, 500, 600, 700 and 800 mg / L. The parameters such as turbidity and total suspended solids were analyzed in a laboratory accredited by the National Institute of Quality (INACAL) and the basic laboratory parameters such as pH, electrical conductivity, dissolved oxygen and temperature were evaluated with a multiparameter calibrated by an authorized competent body . With the final results, the treatability efficiency was determined in which a maximum value of 54.29% was reached at a dose of 700 mg / L as the highest treatable value, for the rest of the cases they were lower, always below the reference (90%); Therefore, moringa powder could only be considered as an adjuvant agent.

Keywords: *Moringa oleifera*, Turbidity, coagulation, wastewater.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción de la realidad problemática

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2017) afirma que “el incremento de las descargas de aguas residuales tratadas de forma inadecuada contribuye a incrementar el deterioro de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas”. Siendo de suma importancia la aplicación de tratamientos eficientes.

A nivel mundial, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% sus aguas residuales municipales e industriales, 38% en los países de ingresos medios-altos y a un 28% en los países de ingresos medios-bajos. Finalmente, en los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento [...]en consecuencia más del 80% de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento alguno a un cuerpo receptor (UNESCO, 2017).

Los procesos unitarios comúnmente utilizados, para separar las partículas en suspensión son la sedimentación y eliminación por coagulación-floculación, en este proceso se utilizan agentes químicos, que por cierto son eficiente pero sus efectos secundarios a la salud y al ambiente son altos, por lo cual existe la necesidad de utilizar agentes naturales ambientalmente amigables y que tengan el mismo poder de coagulación que los químicos.

En América Latina sucede la misma realidad donde el 70% de las aguas residuales no tienen tratamiento, lo cual dificulta alcanzar un ciclo de agua de manera natural, particularmente por el reusó del agua ya sea para parques y jardines o como también para la agricultura debido a su contaminación” (Larios, Gonzalez & Morales, 2015).

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017), en el Perú durante el año 2016, “se registró un incremento de las descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento del 59,7% respecto al año anterior y una disminución de 38,7% en relación al año 2008”, este incremento según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2017) se debe a que las PTAR existentes sufren problemas técnicos y operativos, por lo que en general, su desempeño es deficiente, como también las EPS no tienen financiamiento adecuado para la operación y mantenimiento de sus PTAR.

Además, “de las 253 localidades del ámbito de las EPS; 89 no cuentan con tratamiento de aguas residuales, por lo que el agua residual cruda de estas localidades se vierte directamente a los ríos, mares, pampas o drenes” (SUNASS, 2015). Produciendo efectos negativos al cuerpo receptor al exceder los estándares de calidad ambiental

A nivel local el Gobierno Regional de San Martín (GRSM, 2010), con Ordenanza Regional N.º 007-2010-GRSM-CR reporta que las poblaciones asentadas en subcuenca del Cumbaza disponen sus residuos sólidos y líquidos de forma inadecuado, además no cuentan con un sistema de tratamiento para sus aguas residuales; siendo vertidos estas aguas residuales de forma directa a los ríos Shilcayo y Cumbaza, generando un potencial riesgo para la salubridad de las poblaciones aledañas y la vida acuática.

Tal como lo muestra los resultados del Estudio de Caracterización Hídrica, el Río Cumbaza y sus principales tributarios se encuentran contaminados con altos niveles de Coliformes Totales y Termoresistentes que exceden los estándares de calidad del agua para diversos usos. Siendo el río Shilcayo que presenta los mayores niveles de contaminación por Coliformes puesto que allí convergen gran parte de las descargas domésticas de la ciudad de Tarapoto, convirtiéndose este río prácticamente en un desagüe doméstico.

El coagulante más usado es el sulfato de aluminio el cual presenta muy buenos resultados en cuanto a la remoción de contaminantes, sin embargo, el impacto económico y medioambiental debido a su uso es muy alto. Además, su uso genera grandes cantidades de lodos de desecho, los cuales son difíciles de tratar (Ríos, Navarro, Ávila & Mendizábal, 2006), por otra parte los lodos remanentes generan tierras inertes no aptas para algún cultivo; los altos niveles de aluminio remanente en las aguas tratadas ponen en riesgo la salud pública debido que grandes cantidades pueden ser causantes del síndrome de Alzheimer siendo claramente un neurotóxico (Flaten, 2001). Esto se ha demostrado en investigaciones realizadas en Inglaterra, donde se ha encontrado que el riesgo de contraer esta enfermedad es 1,5 veces mayor en aquellos sitios donde las concentraciones de aluminio en el agua exceden los 0,110 mg/L (González, Hernández, Kaehler 1991, citado por Choque. D, Choque. Y, Solano & Ramos, 2018).

Según lo descrito anteriormente y la realidad actual, se propone la siguiente interrogante: ¿Cuál es la eficiencia de la *Moringa oleifera* como coagulante para tratar el agua residual doméstica con fines de recuperación y aprovechamiento en el riego de vegetales?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de la *Moringa oleifera* como coagulante en el tratamiento de agua residual doméstica con fines de recuperación y aprovechamiento en el riego de vegetales.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características físico-químicas del agua residual doméstica.
- Establecer costo beneficio de la *Moringa oleifera*.
- Determinar la dosis óptima del coagulante *Moringa oleifera*.

- Realizar las pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para evaluar la eficiencia del coagulante.

1.3. Justificación

La descarga directa sin tratamiento previo de las aguas residuales en los cuerpos receptores “ Es un factor de contaminación no solo de los diversos ecosistemas existentes sino, sobre todo, de nuestras actuales fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, lo que amenaza la sostenibilidad del recurso y pone en riesgo la salud de la población” (SUNASS, 2015).

La *Moringa oleifera* es un árbol nativo de la región subhimalaya de la India, ahora ampliamente distribuido en los trópicos, es un árbol multipropósito y se cultiva ampliamente por sus hojas y frutos comestibles (Oluwalana, Bankole, Bolaji, Martins & Alegbeleye, 1999). Contiene cantidades importantes de aceites comestibles y proteínas solubles en agua con excelentes propiedades de coagulación que pueden utilizarse en el tratamiento de aguas residuales. Estas proteínas son polímeros orgánicos naturales no tóxicos y biodegradables (Real, Rustrian, Houbron & Landa, 2015).

La presente investigación tiene como finalidad proponer una alternativa ambientalmente amigable y viable en comparación al uso de los coagulantes químicos; las cuales generan efectos colaterales a la salud de las personas y el ambiente. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) la gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas conlleva que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada o polucionada químicamente.

1.4. Presuposición filosófica

En Génesis 2:15 menciona que tomó pues, Jehová Dios al hombre y le puso en el huerto de Edén, para que lo labrara y lo guardase. El Señor nos mandó hacer dos cosas, trabajar la tierra para satisfacer nuestras necesidades, y guardar o conservar los recursos de las cuales hacemos usos. Siendo quizás el recurso más importante el agua. Hoy en día conservar o guardar los recursos que nos mandó el Señor en este caso el agua, se complica cada día más.

Como producto de las actividades antrópicas, las fuentes hídricas naturales están convirtiendo en aguas servidas, con grandes cantidades de carga contaminante, estos niveles de contaminantes perjudican la calidad del agua para el consumo humano, agricultura, industria, pérdida de vida acuática, perjudicando también a la salud de la población.

El agua es un elemento indispensable para la humanidad y para nuestras actividades que realizamos, por ello la palabra de Dios nos lleva a poder reconocer que debemos conservar este recurso vital.

Finalmente, en Números 20:10 nace esta pregunta ¿haremos brotar de esta peña agua para vosotros? Y Moisés alzó la mano y golpeó la peña con su vara dos veces. El agua brotó en abundancia, y bebió la comunidad y su ganado. Esto significa la importancia de usar sosteniblemente el recurso hídrico no solo para la población sino también para los animales.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Fundamentos de la investigación

2.1.1. Calidad del agua

La calidad del agua depende del uso que se le pretende dar, como riego, consumo poblacional, recreación e industrial. Es decir, puede ser agua apta para uso industrial mas no para consumo o riego.

Por otro lado, cabe mencionar que la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas según los requerimientos estandarizados. Asimismo, realizar un correcto muestreo del agua permite tener resultados confiables (Barrenechea, 2004b).

2.1.2. Agua residual

Según Trapote (2013), afirma que son aglomeraciones de agua procedentes de la actividad humana o la mezcla de estas; generadas por actividades comerciales, industriales y agrarias integradas en el núcleo urbano, e incluso de la lluvia misma por precipitación en el área urbana, siendo vertidas a un cuerpo receptor como son los ríos, quebradas y mar o utilizados previo algún tratamiento para su reusó.

Por otro lado, el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS, 2006), señala que es toda agua que ha sido usada por una población o industria con presencia de material orgánico e inorgánico disuelto o en suspensión.

2.1.3. Clasificación de las aguas residuales

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014), las aguas residuales se clasifican en:

2.1.3.1. Aguas residuales domésticas

Son aquellas aguas origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.

Para (Terry, Gutierrez & Abó, 2010) son generados principalmente por la población, centros educativos, instalaciones turísticas, edificios públicos; por ello estas aguas contienen altas concentraciones de desechos del cuerpo humano (excretas y orina).

2.1.3.2. Aguas residuales municipales

Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

2.1.3.3. Aguas residuales industriales

Son aquellas aguas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.

2.1.4. Tratamientos de las aguas residuales

Las aguas residuales pueden ser tratadas teniendo en cuenta su composición química, características físicas y microbiológicas; a continuación, se mencionan algunas alternativas de tratamiento.

2.1.4.1. Pre tratamiento

El pre tratamiento comprende una serie de operación físicas y mecánicas, con el objetivo de separar del agua residual (afluente) la mayor cantidad posible de residuos que por su naturaleza y tamaño pueden perjudicar los posteriores tratamientos así como también los equipos e instalaciones de la EDAR (Trapote, 2013). El pre tratamiento debe incluir las siguientes operaciones: Aliviadero de entrada, pre-desbaste, desbaste, tamizado, desarenado, desengrasado, homogeneización de caudales y medida del caudal.

2.1.4.2. Tratamiento primario

Centa (2008), menciona que el principal objetivo de los tratamientos primarios se centra en la eliminación de sólidos en suspensión, consiguiéndose además una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por materia orgánica. Los tratamientos primarios más habituales son la decantación primaria y los tratamientos fisicoquímicos.

2.1.4.3. Tratamiento secundario

Orozco, Pérez, Gonzalez, Rodriguez & Alfayate (2011), afirman que el objetivo fundamental de este tratamiento es la eliminación de materia orgánica biodegradable presente en forma disuelta y coloidal. Tiene lugar a través de un proceso biológico, mediante microorganismos que actúan en condiciones controladas.

Consta de dos procesos, uno de naturaleza bioquímica, en el que las bacterias, a través de reacciones metabólicas, producen la degradación y mineralización de la materia orgánica (catabolismo), generando nuevas celular (anabolismo), y otro, de naturaleza físico-química, durante el cual se produce la decantación de los llamados fangos secundarios (Ver Figura 1).

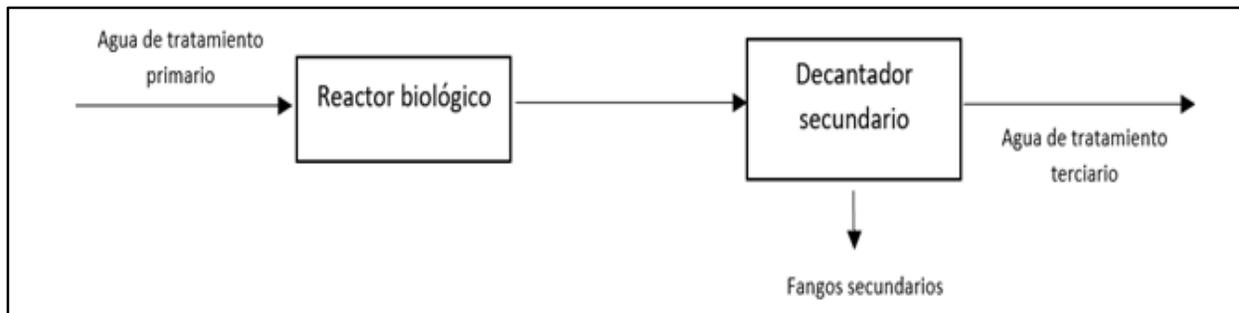


Figura 1. Esquema del tratamiento de las aguas residuales.
Fuente: Orozco, Pérez, Gonzalez, Rodriguez & Alfayate (2011).

2.1.4.4. Tratamiento terciario

Según Rojas (2002), menciona “que uno de los principales objetivos del tratamiento terciario es remover contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables o aún la remoción complementaria de contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario”.

Asimismo Carbotecnia (2004), detalla que en esta etapa busca “pulir” el agua. Es decir, se busca llevarla a mayores niveles de pureza de los que se pueden alcanzar con los métodos tradicionales fisicoquímicos y biológicos cumpliendo con los límites máximos permisibles según normativa vigente.

2.1.5. Coagulantes

Los coagulantes pueden ser:

2.1.5.1. Sintéticos

Shak y Wu, citados por Bravo (2017) describe que, en la actualidad, los coagulantes químicos como sales de aluminio y de hierro y polímeros sintéticos como la poliacrilamida son ampliamente utilizados en la coagulación y floculación de diferentes contaminantes presentes en aguas residuales, debido a su rendimiento, disponibilidad y costos bajos.

Por otra parte Vargas & Romero (2006), señalan que el proceso de tratamiento de aguas tanto potables como residuales se basa en un tratamiento químico inicial a base de coagulantes y floculantes para remover la mayoría de contaminantes. Estas sustancias químicas utilizadas son, principalmente, sulfato de aluminio y otros polímeros industriales importados de países desarrollados.

2.1.5.2. Naturales

Para llevar a cabo el proceso de coagulación, se usan en casi todas las plantas de tratamiento de agua coagulantes químicos como sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso etc., sin embargos estos químicos suelen generar impactos negativos al ambiente y la salud de los consumidores. Cabe allí la importancia de buscar nuevas alternativas de productos que generen menos impactos negativos, pero que tengan el mismo potencial de coagulación.

El uso de coagulantes naturales extraídos de plantas, para el tratamiento de aguas data de varios milenios y, continuamente se hacen estudios que permiten identificar la potencialidad de distintas plantas para este propósito, y que permitan disminuir el uso de sustancias químicas sintéticas, así como la producción de lodos biodegradables (Sanghi, Bhattacharya, Singh, citado por Choque.D, Choque.Y, Solano & Ramos, 2018).

Yin (2010), afirma que los coagulantes naturales son principalmente carbohidratos (polisacáridos) y proteínas. Estos compuestos poliméricos pueden tener incluso un carácter iónico o no iónico (cationes o aniones), donde los iónicos se conocen comúnmente como poli electrolitos. Las principales ventajas de la aplicación de coagulantes naturales son las siguientes: eliminación de turbiedad orgánica e inorgánica, reducción del color verdadero y aparente, producción de lodos fáciles de tratar, destrucción de patógenos, algas y plancton, así como la eliminación de sustancias que imparten olor y sabor (Arboleda, 1992).

El uso de coagulantes naturales es rentable debido a los bajos costos del tratamiento, los niveles estables de pH en el agua tratada y porque son altamente biodegradables. Estas ventajas son aún mejores si las plantas utilizadas para extraer el coagulante son autóctonas de las comunidades rurales. En general, los mecanismos seguidos por los coagulantes naturales se rigen por los procesos de adsorción y la posterior neutralización de la carga o efecto puente polimérico (Yin, 2010).

2.1.6. Parámetros de evaluación

Cuando se analiza agua contaminada con el objetivo de ser tratada, es necesario revisar previamente los parámetros que determinen su calidad. Estos parámetros se clasifican, en cuatro grupos: físicos, químicos, biológicos, y radiológicos (Pérez, León & Delgadillo, 2013).

Barrenechea (2004b) considera que es importante realizar un análisis físico-químico y microbiológico del agua, ya que contiene contaminantes de diferentes tipos y concentraciones.

Por lo tanto, la evaluación de la calidad del agua se realiza utilizando técnicas analíticas diferentes para cada caso con la intención de obtener datos representativos y confiables, siendo un punto de suma importancia el proceso de muestreo.

A continuación, se trata en detalle las principales características fisicoquímicas que definen la calidad del agua para riego de vegetales, el origen de los constituyentes y su importancia en los procesos de tratamiento:

2.1.6.1. Turbiedad

La turbiedad del agua es originada por las partículas en suspensión o coloides. Es decir, aquellas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en

menor o mayor grado. Se utiliza un turbidímetro o nefelómetro para su medición expresadas en unidades nefelométricas de turbiedad UNT (Barrenechea, 2004a).

2.1.6.2. Conductividad eléctrica (CE)

Al determinar la conductividad se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta para conocer la cantidad de iones que puedan estar presentes en una solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio) (Goyenola, 2007).

2.1.6.3. Temperatura

La temperatura del agua residual es un parámetro físico, dado su influencia es de suma importancia, tanto para el desarrollo de la vida acuática, como en las reacciones químicas, así como también para los diferentes usos que se le pretende dar.

2.1.6.4. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o alcalina, calculando el número de iones hidrogeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores por encima de 7 indican que es alcalina (Espinoza, Castillo, & Rovira, 2014). Asimismo, las aguas pueden ser de tipo alcalino debido a la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y algunos otros materiales como son los silicatos, boratos y fosfatos (Barba, 2002).

2.1.6.5. Oxígeno disuelto (OD)

La importancia de este parámetro radica que si son bajos en oxígeno, el agua puede indicar contaminación elevada, la cual se considera como un indicador de contaminación [...] en muchas ocasiones esta falta de oxígeno ocasiona muerte de peces y otros animales acuáticos, incluso más que la existencia de compuestos tóxicos (Vivas, 2011).

2.1.6.6. Sólidos totales suspendidos (STS)

MINAM (2015), indica que son las partículas flotantes o suspendidas en el agua residual doméstica, municipal o industrial que pueden ser separadas del líquido por medio de medios físicos como la filtración. Son los sólidos no filtrables expresadas en mg/L”.

2.2. *Moringa oleifera*

La familia *Moringaceae* consiste en un solo género, cuyos representantes son arbustos y árboles, entre los cuales solo *Moringa oleifera*. A veces llamado "rábano picante", es ampliamente conocido como un árbol multipropósito. Originaria de las regiones subhimalayas de Agra y Oudh en Uttar Pradesh (noroeste de la India), esta especie se cultiva ahora con diversos fines en toda la zona intertropical (Azharia, Hassan & Heinz, s.f). Por su capacidad de adaptación actualmente abunda en todo el trópico (Folkard & Sutherland, 1996).

En la tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica de la especie de *Moringa oleifera*.

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de la Moringa oleifera

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Super División	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Eudicots
Subclase	Rosids
Orden	Brassicales
Familia	Moringaceae
Género	<i>Moringa</i>
Especie	<i>Moringa oleifera</i>

Fuente: Singh, Gesare, & Kaur (2013).

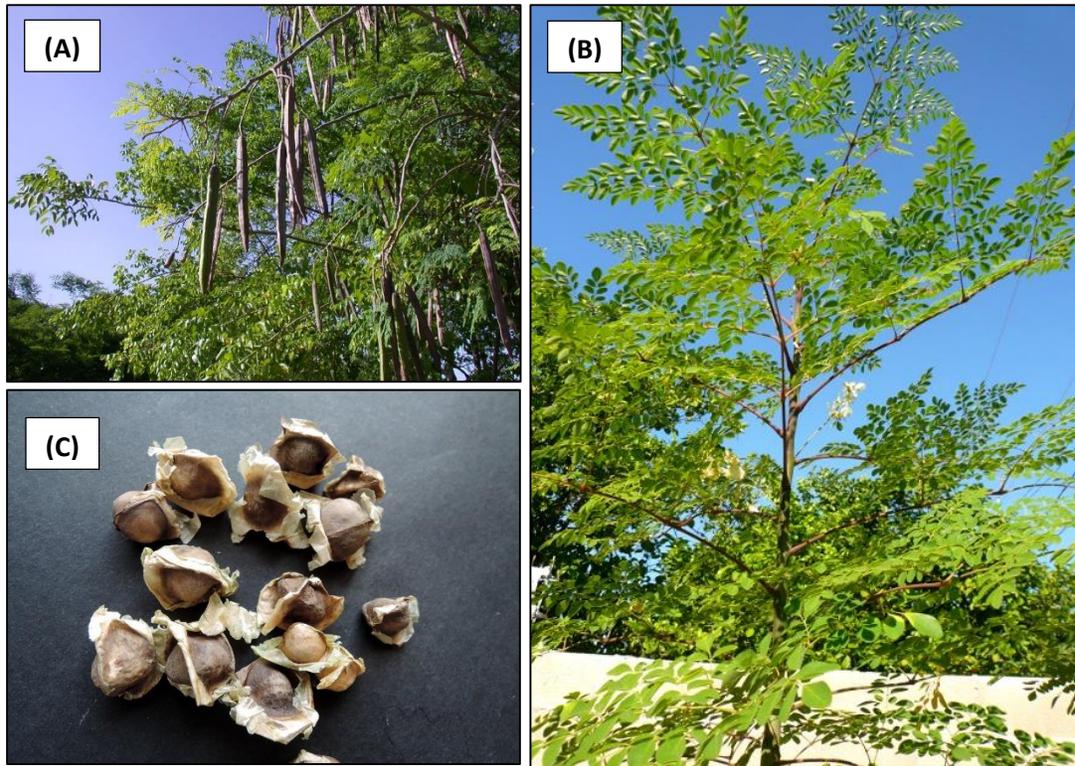


Figura 2. Vainas de *Moringa oleifera* (A) planta de *Moringa oleifera* (B) semillas de *Moringa oleifera* (C)

Fuente: Elaboración propia (2019).

2.2.1. Propiedades

La *Moringa oleifera* es un árbol de cuantiosas propiedades, tanto benéficas a la salud como para el ambiente; desde un fuerte potenciador de la nutrición humana, hasta un coagulante natural de tratamiento de aguas fluviales y aguas turbias (Sánchez, Martínez, Sinagawa & Vazquez, 2013).

Asimismo diferentes estudios han demostrado que la *Moringa oleifera*, contiene polielectrolito con función aniónica catiónica para purificar el agua en la etapa de floculación, sus frutos, hojas son de importancia alimenticio por su valor proteico y rico en vitaminas, como se menciona en la parte superior tiene propiedades de valor medicinal, para combatir problemas digestivo, así como úlceras estomacales (Núñez, 2007).

2.2.2. Usos y aplicación

Conociendo sus propiedades y características de la *Moringa oleifera* a continuación se describen sus principales usos:

(a) Depurador de aguas

Investigadores han estado examinando el potencial de la semilla de *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas, mediante la recolección de muestras provenientes de recipientes para almacenamiento de agua, tratados con semilla de moringa triturada para una mejor sedimentación. Sus investigaciones muestran que la semilla de *Moringa oleifera* triturada, es un potente coagulante natural, siendo una alternativa viable para reemplazar a los productos químicos actualmente utilizados en el proceso de coagulación-floculación (Folkard & Sutherland, 1996).

(b) Consumo

Todas las partes de la planta son comestibles. Los contenidos de proteínas, vitaminas y minerales son sobresalientes. El sabor es agradable y las diversas partes de la planta se pueden consumir crudas, especialmente hojas y flores, o cocinadas de diferentes maneras.

(c) Aceite

La semilla contiene 35% de aceite de alta calidad. Poco viscoso y dulce, con 73% de ácido oleico, similar al aceite de oliva. No se enrancia y es bueno para ensaladas. Se emplea para lubricar mecanismos, en la fabricación del jabón y cosméticos. Arde sin producir humo, por lo que es apto para lámparas.

(d) Fertilizante

Los subproductos del procesamiento de la semilla forman una torta muy indicada como fertilizante natural por su alto contenido en nitrógeno (Asociación Cubana de Producción Animal, 2010).

2.3. Test de jarras

Marín (1998), con este ensayo se puede evaluar a escala de laboratorio la reducción de color, turbiedad y dureza del agua bruta investigada, mediante coagulación y decantación por gravedad.

Así mismo Satterfield (2005), menciona que las pruebas de test de jarras son una prueba a escala piloto de los productos químicos de tratamiento utilizados en una planta de tratamiento, donde simula el proceso de coagulación - floculación en una planta de tratamiento de agua, además ayuda a los operadores a determinar si están utilizando la cantidad correcta de productos químicos de tratamiento, así, mejora el rendimiento de la planta.

En la Figura 3 se muestra un modelo de test de jarras que se utilizará para las pruebas de coagulación y floculación, con la finalidad de obtener la dosis óptima de *Moringa oleifera*.



Figura 3. Test de Jarras
Fuente: Elaboración propia (2019).

2.4. Antecedentes de la investigación

2.4.1. Internacionales

Mera, Gutiérrez, Montes & Paz (2016), en su investigación “Efecto de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia” se propuso como objetivo general evaluar el efecto del polvo de semilla de moringa como coagulante y floculante natural en el tratamiento de aguas residuales. En cuanto a su metodología utilizaron aguas resultantes del proceso de beneficio de café con turbiedad mayor a 2000 Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT) y aguas provenientes del pelado químico de vegetales con 91,5 UNT. Los tratamientos se realizaron con ayuda del test de jarras a 130 revoluciones/minuto a temperatura de 21,5 °C con tiempo de agitación de 30 minutos para aguas residuales de beneficio de café y 15 minutos para aguas de pelado químico de vegetales. Los resultados obtenidos se compararon con el sulfato de aluminio con las mismas dosificaciones, utilizando 4g para 600 mL de agua residual de café obteniendo 80,9% y 73,5% de efectividad con polvo de semilla de moringa y sulfato de aluminio respectivamente y empleando 0,15g para 600 mL de agua del pelado químico de vegetales se tuvo una eficiencia del 66,75% con moringa y 63,5% con el sulfato de aluminio; por lo antes expuesto el autor afirma que el polvo de semilla de moringa es más efectivo en mejorar los diferentes parámetros establecidos en la investigación.

Mas, Martínez, Carrasquero & Vargas (2011), realizaron una investigación denominada “Uso de la *Moringa oleifera* para el mejoramiento de la calidad del agua de un afluente doméstico proveniente de lagunas de estabilización”, en el que su objetivo fue estudiar la *Moringa oleifera* (Moringaceae) como coagulante para clarificar aguas de un sistema de lagunas de estabilización en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, ubicada en la región zuliana. Para determinar la efectividad se evaluaron los siguientes parámetros, turbiedad,

color, pH, alcalinidad total, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales ayudados del test de jarras. En cuanto a la metodología se colectaron semillas secas y enteras, se extrajo la grasa, se molieron, secaron y tamizaron. La muestra de agua residual se estudió en dos períodos climatológicos (período lluvioso y de sequía), con turbiedad inicial de 75 y 145 NTU, respectivamente. Alcanzándose porcentajes de remoción de turbiedad de 95,5% y 89,8%, mientras que para el color se logró remover 80% y 60% respectivamente.

2.4.2. Nacionales

Melon (2017), llevó a cabo un estudio denominado “Caracterización fisicoquímico de la *Moringa oleifera*”; cuyo objetivo principal fue determinar las características fisicoquímicas de la moringa (*Moringa oleifera*), donde se determinó el porcentaje de humedad, proteína, ceniza, fibra, como también el pH siguiendo los procedimientos establecidos en la AOAC. Obteniendo los siguientes resultados de la *Moringa oleifera*, en sus hojas un 76.98% de humedad, 9.07% de proteínas, 2.56% de fibra y 1.60% de ceniza. En cuanto a corteza se tiene 72.88% de humedad, 8.73% de proteínas, 1.83% de fibra y 1.13% de ceniza. Además, se obtuvo del fruto 85.97% de humedad, 13.61% de proteínas, 2.55% de fibra y 1.62% de ceniza. Finalmente, los valores de pH 6.215 en la hoja, 5.807 en la corteza y 5.439 en el fruto.

Rivera (2017), en su tesis de pregrado titulado “Uso de *Moringa oleifera* y carbón activado para el mejoramiento de la calidad del agua residual de lavado vehicular en el distrito de San Martín de Porres - Lima 2017”, siendo su objetivo principal determinar la remoción de contaminantes presentes en el agua residual de lavado vehicular mediante el uso de *Moringa oleifera* y carbón activo para mejorar la calidad del agua, para cumplir con la normativa vigente. Para llevar a cabo su investigación se tomó una muestra representativa de un centro de lavado

vehicular en el distrito de San Martín de Porres, se analizaron los parámetros de pH, temperatura, turbiedad, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), aceites y grasas e hidrocarburos. Se realizó pruebas de jarras con tres repeticiones para determinar la dosis óptima de polvo de semillas de *Moringa oleifera*, teniendo como parámetro de referencia una turbiedad de 186 UNT, encontrando que la dosis de 140 mg/L fue la mejor con un 95% de reducción, para una la mezcla rápida de 120 RPM por 10 minutos, mezcla lenta de 60 RPM por 30 minutos y tiempo de sedimentación de 60 minutos. El siguiente proceso que se consideró fue la filtración con carbón activado, obteniendo una eficiencia de reducción del tratamiento de 98% para turbiedad con 2,5 NTU en promedio, 97% de SST, 98% de DBO₅, 97% de DQO, 99% de aceites y grasas y 63% de hidrocarburos, cumpliendo con los Valores Máximos Admisibles para descarga de aguas residuales no domésticas al alcantarillado. Además, se consideró el porcentaje de agua recuperada en el tratamiento siendo en promedio 98% de agua. Concluyendo que la utilización de coagulante natural es una alternativa que no perjudica al medio ambiente generando contaminantes adicionales, ni genera gran cantidad de lodo a diferencia por la utilización de coagulantes químicos.

2.5. Marco legal de investigación

2.5.1. Constitución Política del Perú

Título I, Capítulo I, artículo 2° inc. 22 menciona, que toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida. Además, en el título II y capítulo II, artículos 66° al 68° sostiene que los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la

Nación, por ende, el Estado es soberano en su aprovechamiento; así mismo el Estado determina la política nacional del ambiente (Tribunal Constitucional del Perú, 2015).

2.5.2. Ley N° 28611 - Ley General de Ambiente

Todas aquellas empresas o entidades públicas y privadas que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización, de servicios u otras que generen aguas residuales, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental conforme las normas legales vigentes Ministerio del Ambiente (MINAM, 2008).

2.5.3. Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos

En el Artículo 79, menciona que la Autoridad Nacional del Agua autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural sea continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Por lo tanto, queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización. En caso de que el vertimiento del agua residual tratada pueda afectar la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática asociada a este o sus bienes asociados, según los estándares de calidad establecidos o estudios específicos realizados y sustentados científicamente, la Autoridad Nacional debe disponer las medidas adicionales que hagan desaparecer o disminuyan el riesgo de la calidad del agua, que puedan incluir tecnologías superiores, pudiendo inclusive suspender las autorizaciones que se hubieran otorgado al efecto. En caso de que el vertimiento afecte la salud o modo de vida de la población local, la Autoridad Nacional suspende inmediatamente las autorizaciones otorgadas (Congreso de la República, 2009).

2.5.4. Decreto Supremo N.º 001-2010-AG. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) ejerce la administración exclusiva de las aguas, considerando al uso del agua con fines agrarios como el primer orden de preferencia entre los usos productivos y al mismo tiempo permitirá la protección, explotación racional y recuperación de los acuíferos, que son el gran reservorio para abastecer a futuras generaciones. También se señala que se define el rol que corresponde a cada uno de los actores que participan en la gestión del agua, ordenando la intervención de todas las entidades públicas y privadas en dicha gestión (MINAGRI, 2010).

2.5.5. Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, con el objetivo de salvaguardar la calidad del recurso hídrico como cuerpo receptor (MINAM, 2017).

2.5.6. Resolución Ministerial N.º 273-2013-VIVIENDA

Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, este protocolo es un instrumento de gestión ambiental de cumplimiento obligatorio para efectuar el monitoreo, supervisión y fiscalización ambiental (MVCS, 2013).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se desarrolló en los ambientes del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión Filial Tarapoto, la misma que tiene la siguiente ubicación (Ver Tabla 2).

Tabla 2.

Ubicación del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión

Ubicación	Este	Norte	Tipo de uso
Morales	345597	9284324	Estudio universitario

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.2. Localización y Descripción de la Zona Intervención.

La muestra del agua residual doméstica fue obtenida del afluente; después del proceso de cribado de la planta de tratamiento de aguas residuales del Distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia y Departamento de San Martín, cabe mencionar que el muestreo de agua residual se realizó conforme a los requisitos y procedimientos establecidos en el protocolo de monitoreo de agua residual doméstica y municipal elaborado por el ministerio de vivienda (Ver Tabla 3). La PTAR de San Roque de Cumbaza cuenta con los siguientes procesos; cribado, sedimentador, tanque Imhoff y finalmente con lagunas de oxidación para luego ser vertidos en el Río Cumbaza.

Tabla 3.

Localización y descripción de la zona intervención

N°	Punto de muestreo	Descripción	Coordenadas	
			Este	Norte
1	Afluente de la PTAR	Cruzando el Río Cumbaza, a unos 80 metros del centro San Roque de Cumbaza.	341633	9293612

Fuente: Elaboración propia (2018).

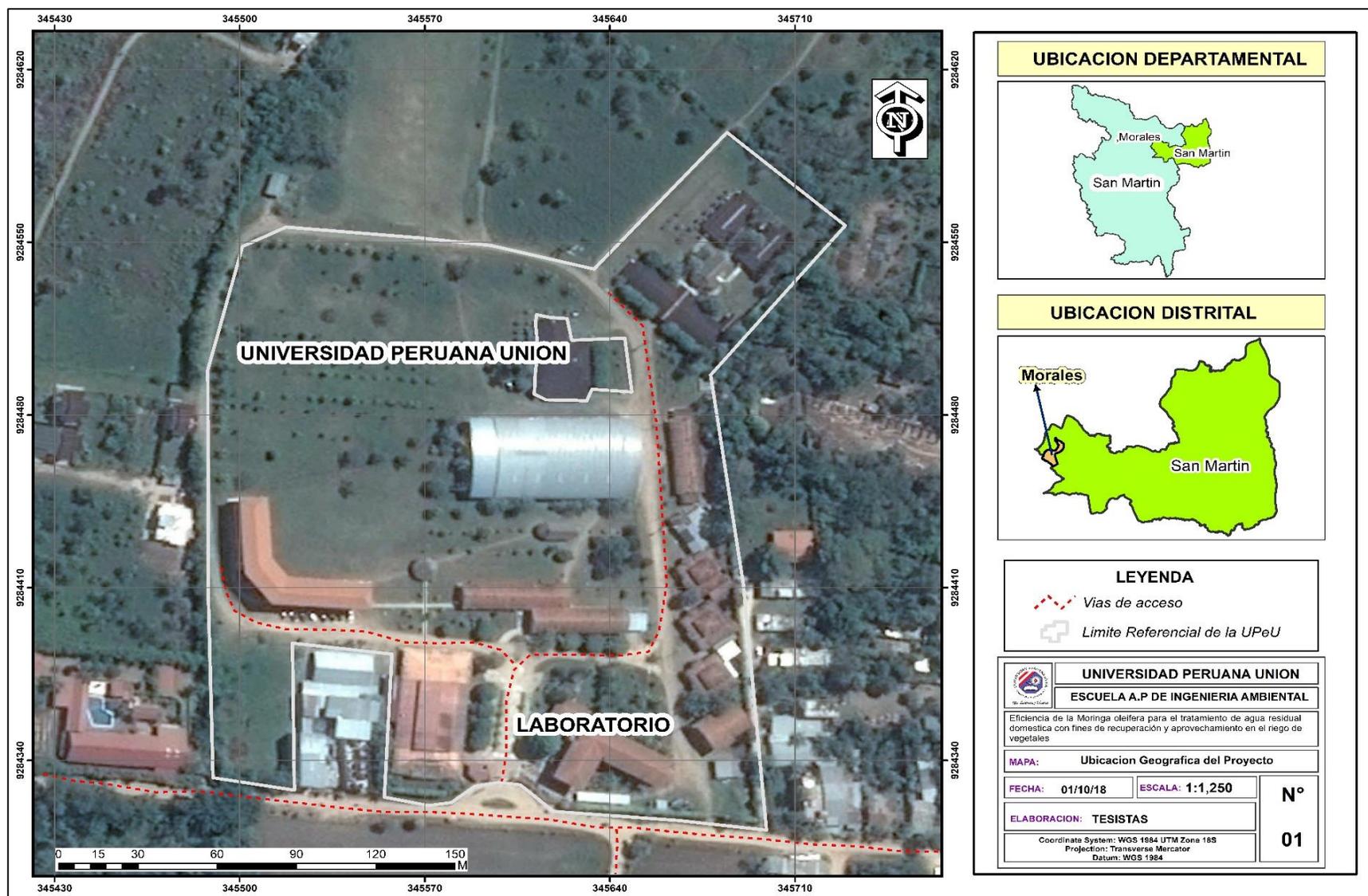


Figura 4. Ubicación geográfica de la zona de estudio
 Fuente: Elaboración propia (2019).

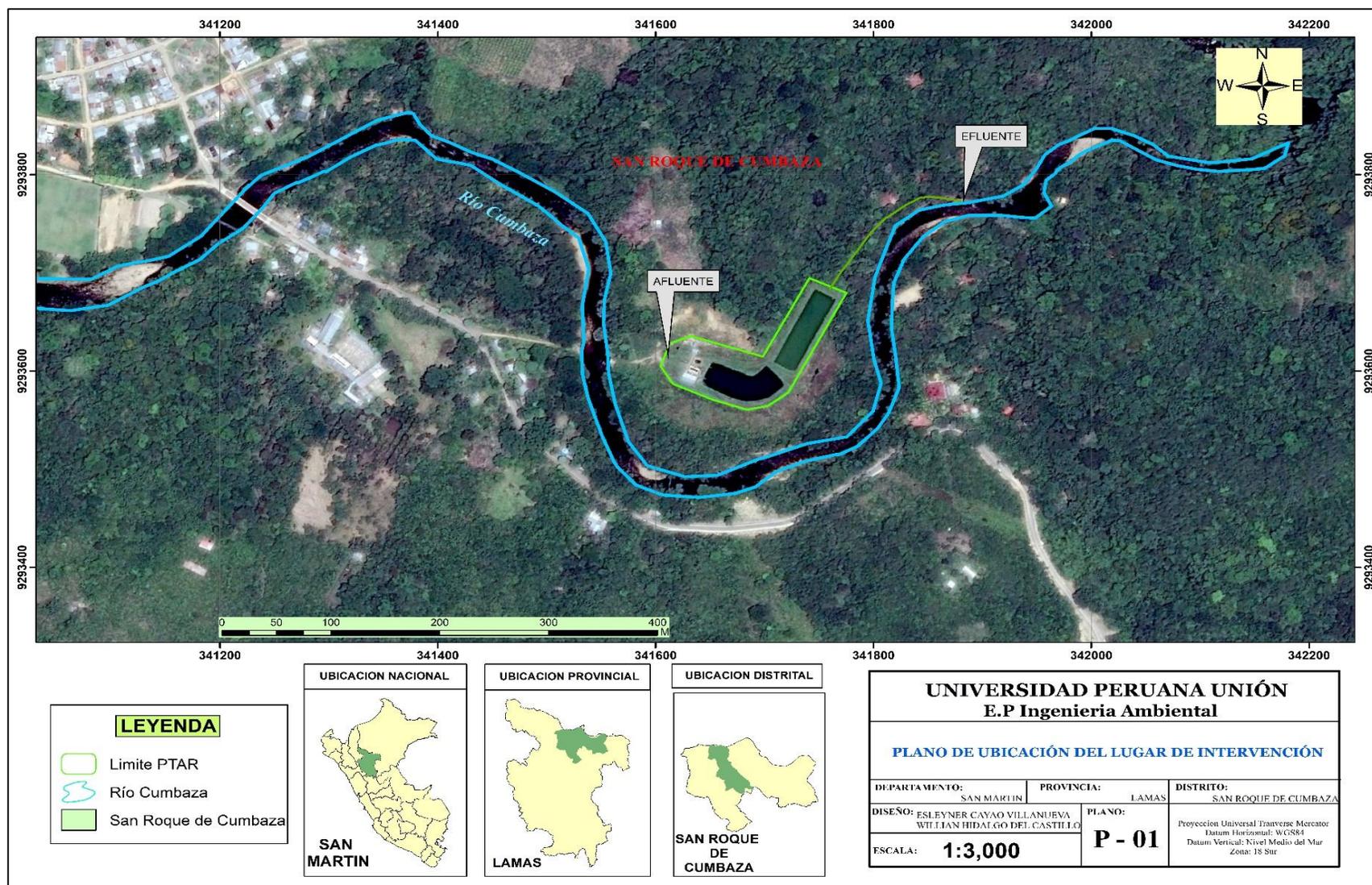


Figura 5. Ubicación geográfica del lugar de intervención
Fuente: Elaboración propia (2019).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Toda el agua residual doméstica generado en el Distrito de San Roque de Cumbaza que ingresa a la planta de tratamiento.

3.3.2. Muestra

La muestra de agua residual colectada para las pruebas de tratabilidad fue de 06 litros.

El muestreo en la presente investigación se realizó según los requisitos descrita en el Protocolo de Monitoreo de calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS, 2013); el tipo de muestreo fue puntual; La cual consiste en recolectar una porción de agua (aguas residual domésticas) en un punto determinado para su análisis individual, la cual representa la condiciones y características de la composición original del cuerpo de agua para el lugar, tiempo y circunstancias en el instante que se realizó su recolección (Autoridad Nacional del Agua, 2016).

3.4. Diseño de investigación

El presente trabajo corresponde a un diseño experimental puro; teniendo en cuenta que las investigaciones experimentales se refieren a un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente) (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

3.5. Formulación de la hipótesis

- **H₀:** La harina de *Moringa oleifera* como coagulante natural no es eficiente en el tratamiento de agua residual doméstica para la recuperación y aprovechamiento en el riego de vegetales.
- **H₁:** La harina de *Moringa oleifera* como coagulante natural es eficiente en el tratamiento de agua residual doméstica para la recuperación y aprovechamiento en el riego de vegetales.

3.6. Variables de estudio

Las variables que se estudiaron en la presente investigación son:

3.6.1. Variable independiente

- Dosis de *Moringa oleifera*

3.6.2. Variable dependiente

- Calidad del agua residual doméstica.

3.7. Operacionalización de variables

Tabla 4.

Operacionalización de variables de estudio

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Independiente:					
Dosis de <i>Moringa oleifera</i>	Es la cantidad necesaria de polvo <i>Moringa oleifera</i> en mg, para lograr una disminución de la turbiedad.	Se evaluaron cinco (05) dosificaciones del polvo obtenido de la semilla de <i>Moringa oleifera</i> (400 mg, 500 mg, 600 mg, 700 mg y 800 mg).	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacidad de las proteínas iónicas para desestabilizar a los coloides. ▪ Tiempo de reacción de las proteínas iónicas para flocular a los SST. ▪ Tiempo de sedimentación de los floc. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Porcentaje de remoción. ▪ Tiempo que demora la reacción de floculación. ▪ Tiempo que demora la sedimentación. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cuantitativa continua: % ▪ Cuantitativa continua: min. ▪ Cuantitativa continua: min.
Dependiente:					
Calidad del agua residual doméstica	Es la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener de ellas.	Parámetros fisicoquímicos que cumplan con la normativa vigente para reúso y aprovechamiento del agua residual en el riego de vegetales.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parámetros fisicoquímicos que no exceden los límites máximos permisibles (LMP). ▪ Estándares de Calidad de Agua categoría para Riego de vegetales (ECA). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Límites máximos permisibles. ▪ Estándares de calidad ambiental para agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cuantitativa continua: mg/L ▪ Cuantitativa continua: mg/L

Fuente: Elaboración propia (2019).

3.8. Instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron los siguientes instrumentos:

- **GPS**

El GPS es un instrumento que servirá para obtener las coordenadas del punto de muestreo del agua residual doméstica en el sistema WGS84 UTM 18 S. Se utilizó un GPS marca Garmin, modelo GPSMAP 64s

- **Test de jarras**

El test de jarras es un equipo que nos permite determinar diferentes dosis químicas, mezcla a velocidad, tiempo de sedimentación, para estimar la dosis ideal de coagulante requerida. En ella se tratan de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio.

- **Multiparámetro HACH (Modelo hq40d) con sondas de OD, CE, pH (Ver Anexo 6)**

Es un instrumento que nos permite medir varios parámetros de campo o insitu contenidos en el agua, tales como pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto.

- **Balanza analítica**

La balanza analítica es un instrumento que mide la masa de un cuerpo o sustancia, utilizando como medio de comparación la fuerza de la gravedad que actúa sobre el cuerpo. Se utilizó para obtener el peso en miligramos de *Moringa oleifera*.

3.9. Técnicas de recolección de datos y validación de instrumentos

3.9.1. Técnicas de recolección

La técnica de la investigación para la recolección de datos fue mediante observación directa, medición de parámetros en campo (pH, CE, OD y temperatura) y a partir de los datos que se determine en el proceso de evaluación (análisis) (Hernández et al., 2014). Así mismo, se debe tener en cuenta que la obtención de los datos se realizará de manera secuencial según se indica en el cronograma de actividades:

- Revisión bibliográfica.
- Uso del software ArcGIS y GPS para la elaboración de mapas y georreferenciación del punto de monitoreo.
- Observación directa de la zona de estudio.
- Ensayo de laboratorio (Test de jarras).
- Análisis de los parámetros indicadores en campo con el multímetro.
- Interpretación de los resultados.

3.9.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.

Para la validez y confiabilidad de los instrumentos durante la investigación, los instrumentos utilizados fueron calibrados según lo requerimientos del INACAL y los análisis de agua pre y post ensayo serán realizados por el laboratorio ANALYTICAL LABORATORY, asimismo los equipos serán revisados y verificados antes de la toma de muestra para garantizar los resultados.

3.10. Equipos y Materiales

A continuación, se describe los equipos y materiales que se utilizaron en la presente investigación.

a) Equipos

- Laptop HP
- Test de jarras
- Cámara fotográfica

b) Instrumentos

- GPS Garmin 64s
- Multiparámetro hq40d
- Balanza analítica

c) Materiales

- Agua destilada
- Guantes de nitrilo
- Mascarillas
- Papel toalla
- Refrigerantes (Ice pack)
- Plumón tinta indeleble
- Frascos de plástico para la recolección de muestras de un 1 L
- Semillas de *Moringa oleifera*
- Cadena de custodia
- Guardapolvo
- Vaso de precipitado de 1 L
- Balde de 20 litros

3.11. Metodología de la investigación

La presente investigación se desarrolló en cuatro (04) etapas, las mismas que se describen a continuación:

3.11.1. Etapa 1: Gabinete inicial

- Búsqueda y recopilación de información bibliográfica a partir de libros, revistas, artículos, tesis, enciclopedias, entre otros.
- Selección y sistematización de la información recopilada, para ser utilizada en la elaboración del presente trabajo de investigación.
- Coordinación con las instituciones y empresas respectivas para solicitar los permisos y apoyos correspondientes y de acuerdo a las necesidades.
- Redacción del perfil de proyecto siguiendo la estructura autorizada en base al estilo American Psychological Association - APA.
- Elaboración de formatos de campo, según modelo establecido por el Protocolo de Monitoreo de aguas residuales domésticas.
- Elaboración de la ficha de identificación del punto de monitoreo.
- Elaboración de la ficha de cadena de custodia, según modelo establecido por el Protocolo de Monitoreo de aguas residuales domésticas.

3.11.2. Etapa 2: De campo

Esta etapa se desarrolló siguiendo los criterios generales establecidos en el “Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales”.

Etapa de pre-monitoreo

Esta etapa comprendió las actividades en gabinete y en campo con la finalidad de diseñar el trabajo de monitoreo que incluye los siguientes puntos, según recomienda el protocolo.

- **Elaboración del plan de trabajo:** Esta etapa se realizó en gabinete, donde se estableció el ámbito de evaluación del lugar, las actividades a realizar, el cronograma de trabajos en campo y la logística a utilizar (recursos humanos y económicos).
- **Recursos Humanos:** De acuerdo al protocolo el monitoreo fue realizado por personas con conocimiento en toma de muestras, preservación, transporte, etc. Asimismo, se debe contar con un mínimo de dos (02) personas, a fin de facilitar los trabajos en campo. Para esta investigación se contó con la participación de los tesistas y un especialista en monitoreo ambiental.
- **Establecimiento del punto de monitoreo:** Para ubicar los puntos de monitoreo se tomaron en cuenta las especificaciones brindadas por el “Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales”, en la determinación de la ubicación se utilizó el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), el mismo que se registrará en coordenadas UTM y en el sistema WGS84. Una vez que se estableció el punto de monitoreo se colocó una placa de identificación para el reconocimiento de su ubicación, donde se consideró un (01) punto de monitoreo de aguas residuales domésticas (Afluente de la PTAR).

El punto de monitoreo debe tener ciertas características como, ser representativa del flujo, localizados donde exista mejor mezcla, ser de acceso fácil y seguro, evitando zonas peligrosas; a continuación, se detalla la ubicación exacta del punto de monitoreo (Ver Tabla 5).

Tabla 5.

Identificación del punto de monitoreo

N°	Punto de muestreo	Descripción	Coordenadas	
			Este	Norte
1	Afluente de la PTAR	Cruzando el Rio Cumbaza, a unos 80 metros del Distrito San Roque de Cumbaza.	341633	9293612

Fuente: Elaboración propia (2019).

- **Definición de los parámetros de evaluación:** Mediante la información que se obtenga de investigaciones y del protocolo de aguas residuales, se definió los parámetros a evaluar en el punto de monitoreo. Para la presente investigación se está considerando los siguientes parámetros de evaluación (Ver Tabla 6).

Tabla 6.

Parámetros de evaluación

Tipo de parámetro	Descripción		Unidad de medida
	Pre – ensayo (LMP)	Post –ensayo (ECA)	
Campo	Temperatura	Temperatura	°C
	Conductividad eléctrica**	Conductividad eléctrica	µS/cm
	Oxígeno disuelto**	Oxígeno disuelto	mg/L
	Potencial de hidrógeno	Potencial de hidrógeno	Unidad de pH
Laboratorio	Turbiedad**	Turbiedad*	UNT
	Sólidos Totales en Suspensión	Sólidos Totales en suspensión*	mg/L

Fuente: Elaboración propia (2019).

Nota: * : No aplica en D. S 004 – 2017 – MINAM.

** : No aplica en D. S. N° 003 – 2010 - VIVIENDA.

- **Planificación del monitoreo:** Se tuvo en cuenta la información recopilada en la etapa de pre-monitoreo, la misma que sirvió para la elaboración del plan de trabajo, la misma que contempló: la identificación del punto de monitoreo, la descripción de los parámetros a evaluar, los equipos, materiales, reactivos, formatos de campo, logística para el traslado del equipo de trabajo y para el análisis de las muestras.

Etapa de monitoreo

En esta etapa se realizó lo siguiente

- **Seguridad en el trabajo de campo:** Se contó con los equipos y materiales necesarios, con la finalidad de prevenir riesgos que atenten contra la seguridad y salud.
- **Codificación y georreferenciación de los puntos de muestreo:** Se identificó y reconoció el punto de toma de muestra, para ello se utilizó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), estos datos se registraron en una ficha de campo.
- **Medición de los parámetros en campo:** Los parámetros que se midieron en campo son: temperatura, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD) y pH, para la cual se utilizó un Multiparámetro HACH modelo hq40d calibrado según los requisitos del equipo y INACAL, la cual contó con su respectiva calibración vigente.
- **Toma de muestras:** Para esta actividad se contó con los respectivos frascos (rotulados y etiquetados) entregados por el laboratorio ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L ALAB. Además, se utilizó los EPP como, guantes y mascarilla para la manipulación de las muestras.
- **Rotulado y etiquetado:** Los frascos fueron etiquetados y rotulados, con letra clara y legible. La etiqueta también fue cubierta con cinta transparente a fin de protegerla de la humedad. De cada muestra de agua como mínimo tubo lo siguientes datos:

Nombre del solicitante.

Código del punto del muestreo.

Tipo de cuerpo de agua.

Fecha y hora de muestreo.

Nombre del responsable de la toma de muestras.

Tipo de análisis requerido.

Preservación y tipo de reactivo (si lo requiere).

- **Llenado de la cadena de custodia, almacenamiento y transporte de las muestras:** En esta etapa se llenó la respectiva cadena de custodia. Asimismo, las muestras se almacenaron en cooler con su refrigerante otorgado por el laboratorio ALAB, donde también se remitió la cadena de custodia y se envió vía aérea para el análisis respectivo tal y como lo recomienda el protocolo.

3.11.3. Etapa 3: De laboratorio

Las actividades correspondientes a esta investigación se desarrollaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión – Tarapoto.

Producción del coagulante a partir de la *Moringa oleifera*

- Primeramente, se seleccionaron semillas de *Moringa oleifera* en buen estado.
- Luego teniendo las semillas seleccionadas, se procedió a retirar la cascará protector.
- Considerando que las semillas contienen un porcentaje de aceite que no tiene propiedades floculantes, se procedió a extraer el aceite mediante el método del prensado.
- Una vez extraído el aceite, se molió las semillas con la finalidad de convertirla en harina.
- Finalmente se realizó el tamizado para la obtención del polvo de *Moringa oleifera* (Ver Figura 6).

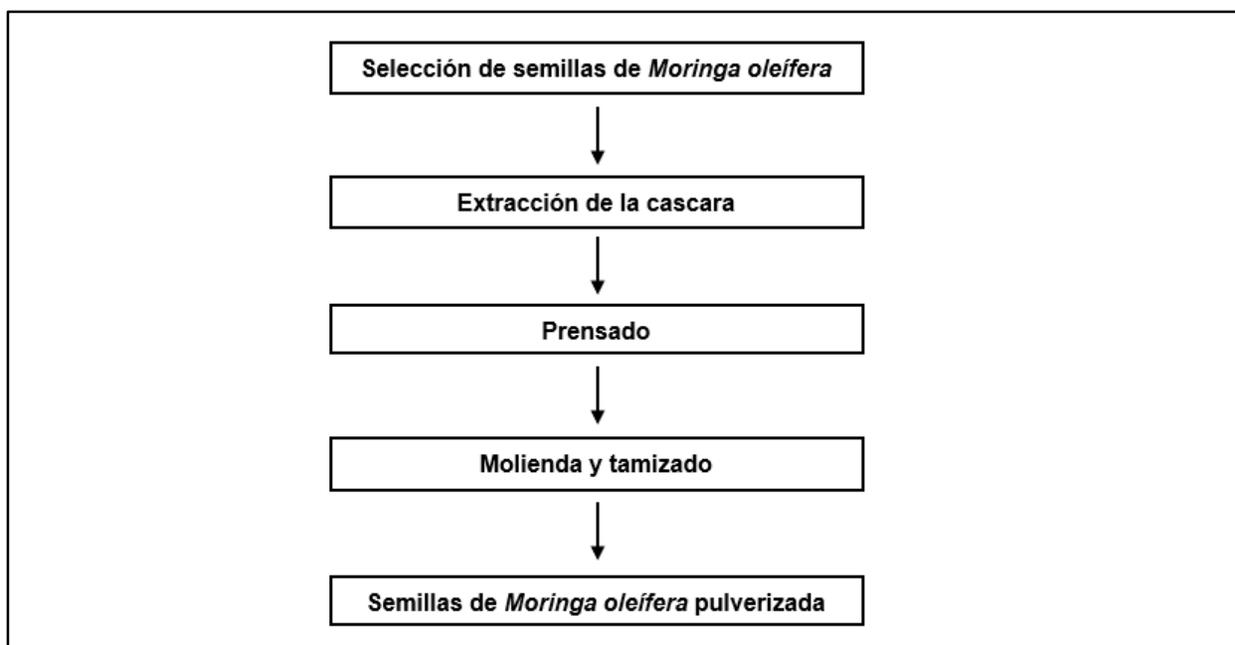


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de obtención del polvo de *Moringa oleífera*
 Fuente: Elaboración propia (2019).

Test de jarras

- Se verificó los materiales e instrumentos a utilizar en la prueba de jarras, con el fin de obtener datos confiables.
- Se procedió a medir igualmente los parámetros de campo post prueba del test de jarra como pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura.
- Se montó el sistema con las muestras y se puso en marcha el equipo (test de jarras), se regularán las velocidades según los estándares establecidos.
- Se colocaron dosis del coagulante a ensayar de 400, 500, 600, 700 y 800 mg/L, para luego ser vertidos en cada una de las jarras del test.
- La prueba del test se realizó en tres pasos, los mismo que se describen a continuación: **1.** La agitación rápida de 114 revoluciones por minuto con el coagulante en un tiempo de 2 minutos; paso **2.** la agitación lenta a 40 revoluciones por minuto correspondiente a la

floculación en un tiempo de 15 minutos y finalmente la etapa de sedimentación de 15 minutos a 2 horas.

- Una vez que se culminó el ensayo, se procedió a llenar las muestras en los frascos respectivos para los parámetros como turbiedad y sólidos suspendidos totales para luego ser enviados al laboratorio para sus análisis.

Determinación de la eficiencia

La evaluación de la eficiencia se determinó a partir de los valores de la turbiedad inicial y la turbiedad final aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia de Reducción (\%)} = \frac{\text{Turbiedad Inicial (UNT)} - \text{Turbiedad Final (UNT)}}{\text{Turbiedad Inicial (UNT)}} \times 100$$

3.11.4. Etapa 4: De gabinete final

Las actividades que se desarrollaron para la presente etapa se describen a continuación:

- Con los resultados obtenidos en la etapa de campo y laboratorio, se sistematizaron la información mediante tablas, cuadros, gráficos.
- A partir de los datos obtenidos se realizó la interpretación de los resultados y los valores serán comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua de riego, establecidos en el D.S N° 004-2017-MINAM.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Determinación de la eficiencia de *Moringa oleífera* como coagulante

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a la determinación de la eficiencia (% de tratabilidad) de la *Moringa oleífera* como coagulante (Ver tabla 7).

Tabla 7.

Valores comparativos de la turbiedad y el porcentaje de tratabilidad de M. oleífera como coagulante.

Parámetro	Dosis en mg/L					
	AR-D-ST*	AR-D-CT400**	AR-D-CT500**	AR-D-CT600**	AR-D-CT700**	AR-D-CT800**
Turbiedad	70	120	100	65	32	45
% Tratabilidad		-71.43	-42.86	7.14	54.29	35.71

* AR-D-ST: Agua residual doméstica sin tratamiento.

** AR-D-CT: Agua residuales doméstica con aplicación de *M. oleífera* y su dosis en mg/L.

Fuente: Elaboración propia (2019).

De la tabla 7, podemos interpretar que a partir de una turbiedad inicial de 70 UNT en el agua cruda; al ser sometida al proceso experimental con una dosis de (700 mg/L \equiv AR-D-CT700) se logra obtener un resultado con una turbiedad final de 32 UNT equivalente a un 54.29% de tratabilidad. Caso similar, ocurre en todos los casos ensayados; en los cuales no se logró obtener un porcentaje de tratabilidad que supere el 90 % de tratabilidad para ser considerado como un coagulante eficiente. Al aplicar dosis de 400 y 500 mg/L se incrementó la concentración de turbiedad, para lo cual los resultados de tratabilidad arrojan valores negativos.

El procedimiento que permitió obtener los resultados del porcentaje de tratabilidad presentados en la Tabla 7 se detallada en el (Anexo 8).

4.1.2. Características fisicoquímicas del agua residual doméstica

Conductividad eléctrica

En la Figura 7, se presentan los resultados de la conductividad eléctrica antes y después de la aplicación del coagulante. Los resultados obtenidos fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para agua establecidos según el D. S. 004-2017 MINAM, en su Categoría 3: Para riego de vegetales; mas no con los Límites Máximos permisibles por no estar contemplado en la normativa nacional establecida según el D. S. N° 003-2010-MINAM.

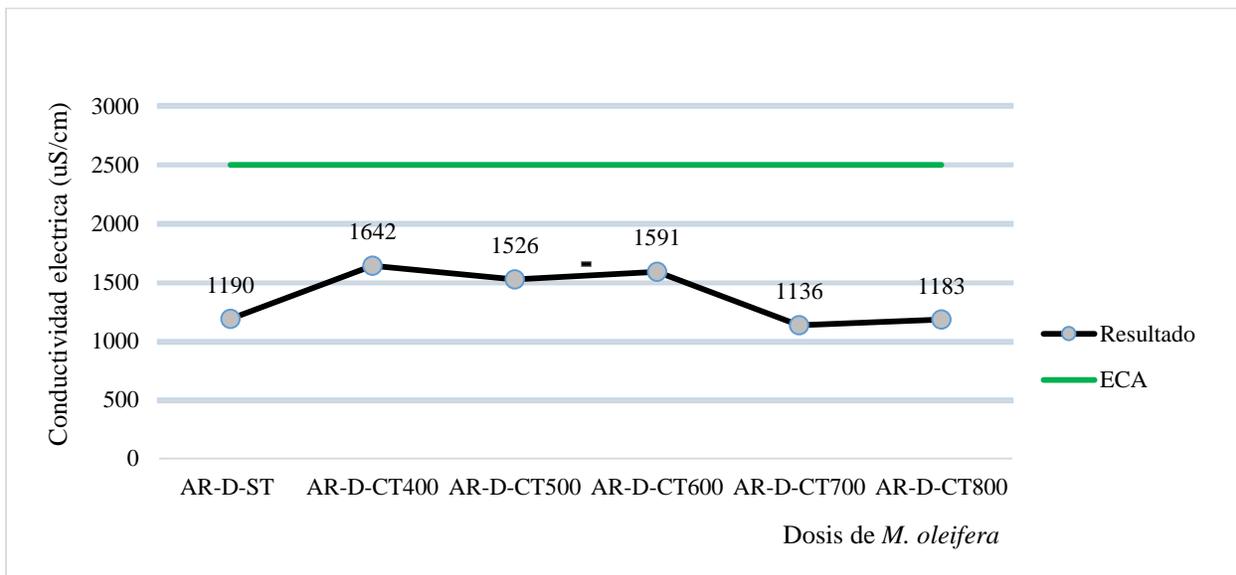


Figura 7. Valores comparativos de la Conductividad eléctrica antes y después del tratamiento.
Fuente: Elaboración propia (2019).

De la Figura 7, se puede interpretar que la conductividad eléctrica inicial fue de 1190 uS/cm; y que tras la aplicación de *Moringa oleifera* a dosis de 400, 500 y 600 mg/L se incrementó considerable alcanzando valores de 1642 y 1526 uS/cm respectivamente; pero que a dosis de 700 y 800 mg/L la conductividad eléctrica presento una ligera declinación hasta alcanzar valores de 1136 y 1183 uS/cm. Sin embargo, para todos los casos, se cumplen con los valores establecidos en los Estándares de Calidad de Ambiental para agua (2500 uS/cm).

Oxígeno disuelto

En la Figura 8, se presenta el valor de la concentración inicial de oxígeno disuelto (3.75 mg/L), que tras la aplicación de las dosis de *Moringa oleifera* se logra disminuir hasta de 0.65 mg/L. En ambos casos no se cumple con el valor establecido en el Estándar de Calidad Ambiental que indica un valor de ≥ 4 mg/L para la categoría 3 en su sub categoría D1: Riego de vegetales.

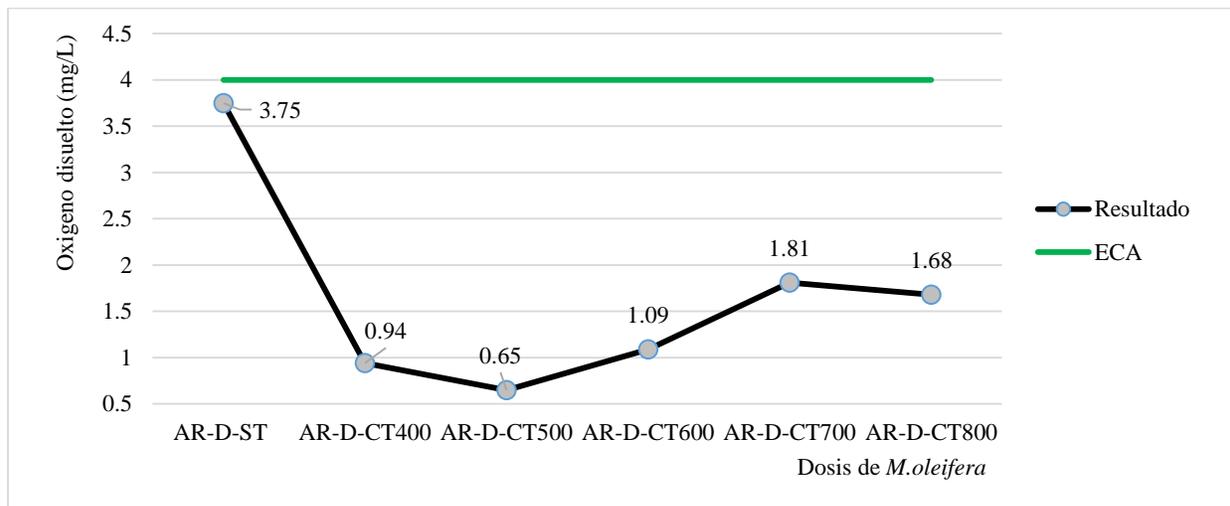


Figura 8. Valores comparativos de Oxígeno disuelto antes y después del tratamiento.
Fuente: Elaboración propia (2019).

pH

Los resultados obtenidos de la concentración de pH se muestran en la Figura 9, teniendo un pH inicial de 7.7, después de aplicar *Moringa oleifera* existe una disminución ligera del pH. Comparando los resultados con el Límite Máximo Permisible y el Estándar de Calidad Ambiental, los resultados cumplen con dichas normas siendo el rango aceptable de 6.5 a 8.5.

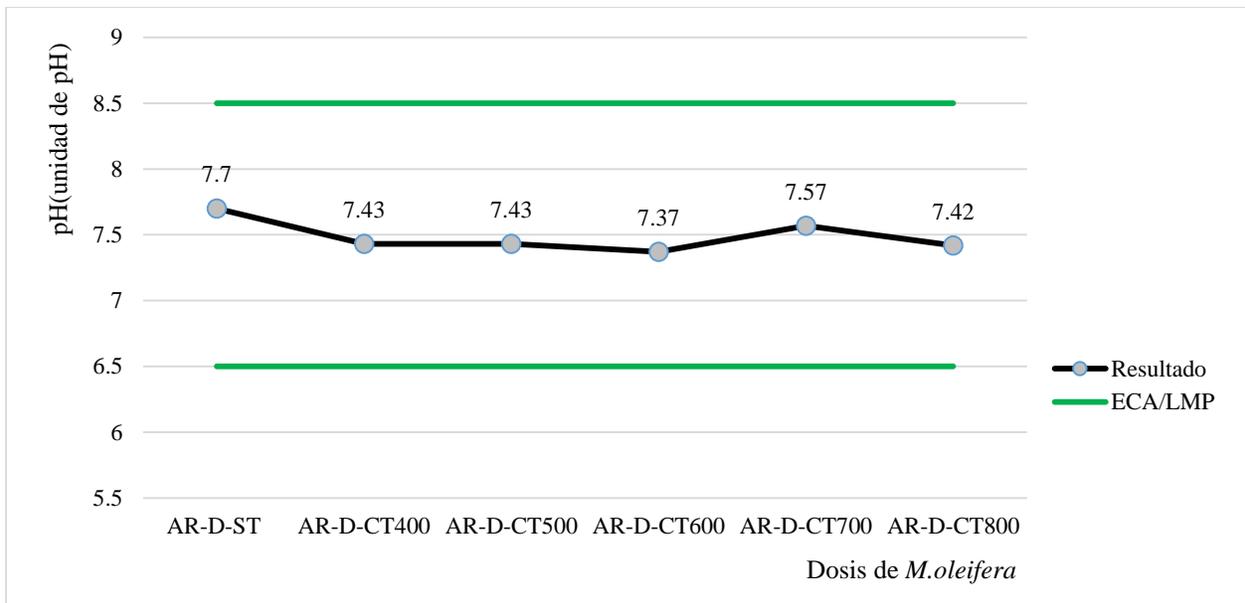


Figura 9. Valores comparativos de pH antes y después del tratamiento.
Fuente: Elaboración propia (2019).

Turbiedad

Este parámetro indica la presencia de partículas en suspensión, como arcillas, materia orgánica o minerales, orgánicos e inorgánicos que están presentes en el agua residual doméstica. Por ello la coagulación cumple un papel importante en el proceso de tratamiento ya que aglomera a estas partículas y genera un floc disminuyendo así la carga contaminante.

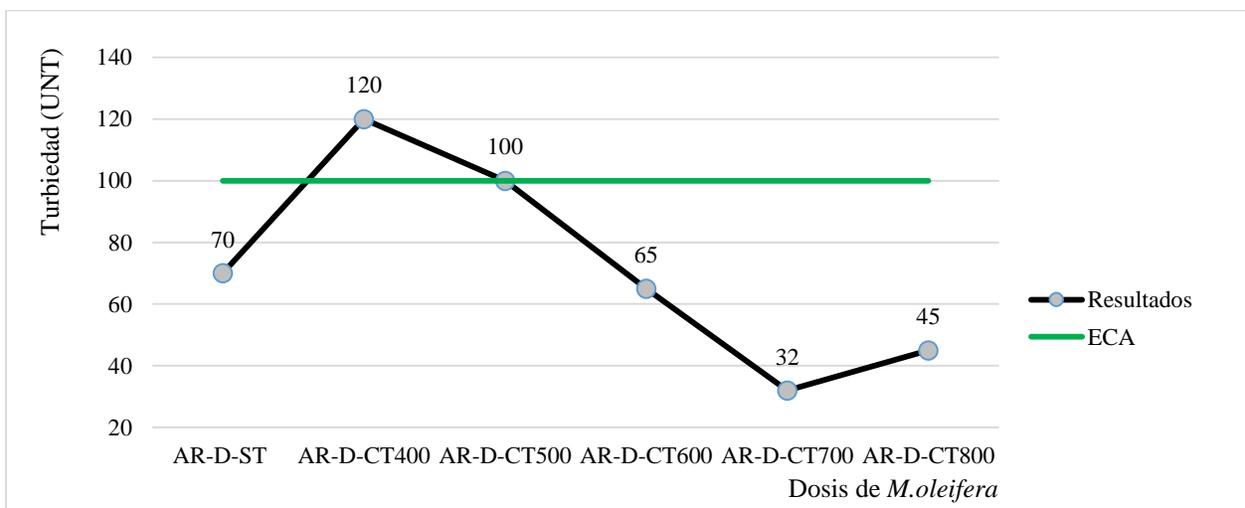


Figura 10. Valores comparativos de Turbiedad antes y después del tratamiento.
Fuente: Elaboración propia (2019).

En la figura 10, se puede interpretar una turbiedad inicial de 70 UNT sin ser sometida al proceso experimental; después de realizar el proceso experimental con una dosis de 400 mg/L se logró una turbiedad de 120 UNT. Por otro lado, con una dosis de 700 mg/L de *Moringa oleifera* se logró una turbiedad de 32 UNT.

Este parámetro se comparó de manera referencial con la Categoría 1: Población y Recreacional de la Subcategoría B1: Aguas superficiales destinadas para recreación con un valor de 100 UNT, ya que para Riego de Vegetales no se contempla este parámetro, excediendo el Estándar de Calidad Ambiental de agua, el análisis de (400mg/L=AR-D-CT-400 y 500mg/L=AR-D-CT-500) con un valor de 120 UNT y 100 UNT respectivamente.

Sólidos Suspendidos Totales

En la Figura 11, se puede interpretar una tendencia de disminución de sólidos suspendidos totales después del proceso experimental con *Moringa oleifera*; teniendo una concentración inicial de sólidos suspendidos totales de 98 mg/L que al adicionar una dosis de 800 mg/L se logró 39 mg/L de sólidos.

Comparando con el Límite Máximo Permisible D.S 003-2010 MINAM con un valor establecido de 150 mg/L, todos los resultados cumplen con el límite; sin embargo, no se comparó con el Estándar de Calidad Ambiental para Riego de Vegetales por no estar contemplado este parámetro de dicha categoría.

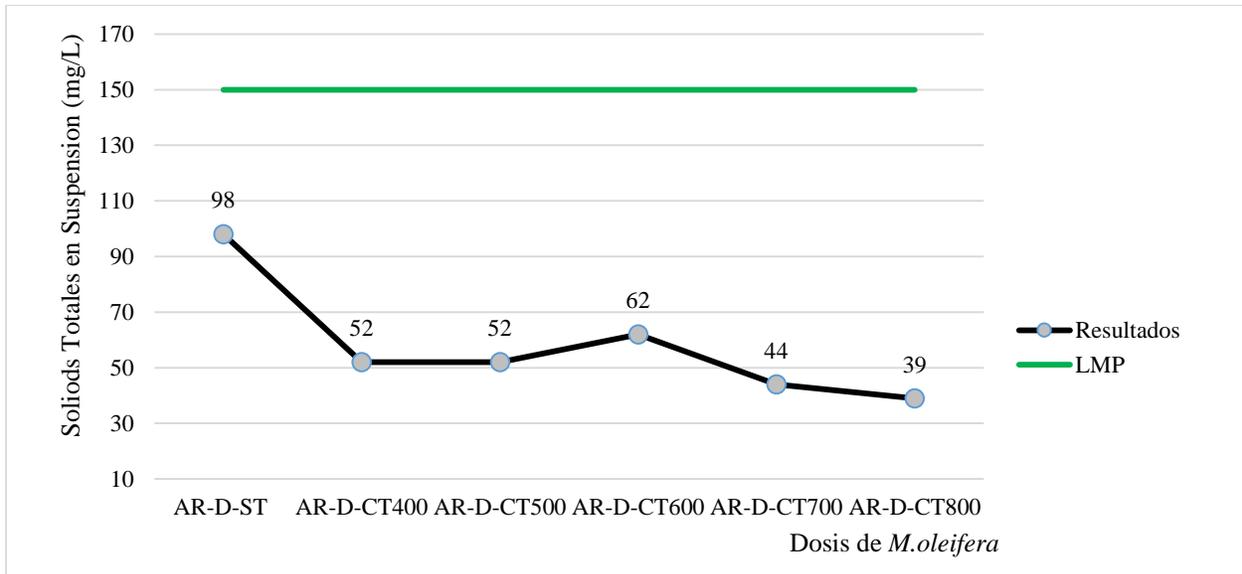


Figura 11. Valores comparativos de Sólidos Suspendedos Totales antes y después del tratamiento
Fuente: Elaboración propia (2019).

Temperatura

Los resultados de temperatura del agua residual tanto antes y después de la aplicación de las dosis de *M. oleifera* se encontraron en un rango de 23.7 °C a 25.4 °C tal como se muestra en la Figura 12.

La normativa nacional nos exige que para cumplir lo Límites Máximos Permisibles de agua residual doméstica o municipales la temperatura debe ser <35 °C, en cuanto al Estándar de Calidad de Ambiental para agua de la Categoría 3 “Riego de Vegetales” nos exige una temperatura de $\Delta 3$ °C, lo que significa que debe tener una variación de 3°C, respecto promedio mensual multianual del área evaluada.

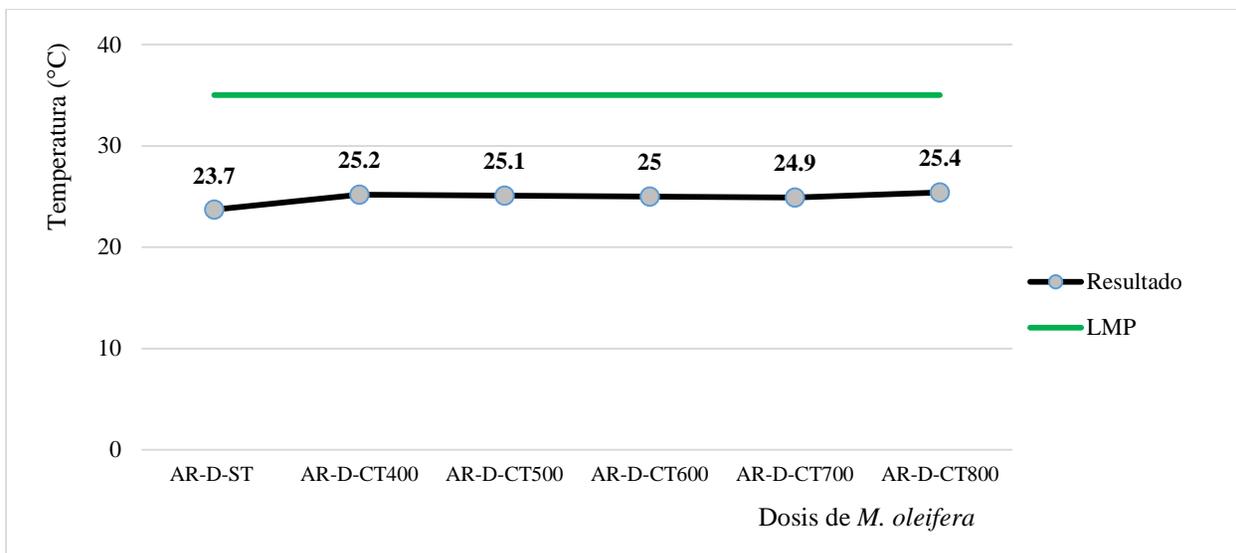


Figura 12. Valores comparativos de temperatura antes y después del tratamiento
Fuente. Elaboración propia (2019).

4.1.3. Costo beneficio *Moringa oleifera*.

Rendimiento

De acuerdo a las características fisicoquímicas del agua cruda analizada; con una turbiedad inicial de 70 UNT, pH de 7.7, sólidos suspendidos totales de 98 mg/L, oxígeno disuelto 3.75 mg/L y conductividad eléctrica de 1190 uS/cm, a una concentración de 700 mg/L de *Moringa oleifera* se logró obtener un porcentaje de tratabilidad de 54.29 %.

Costo de producción

Según la cotización realizada a la empresa BioAqua Nutrition E.I.R.L, el 1 kg de la harina de *Moringa oleifera* tiene un costo de S/ 100.00 soles. El costo es elevado debido que no existe una producción alta.

Por otro lado, el precio del sulfato de aluminio TIPO A de 25 kg es de S/ 68 soles incluido IGV; según el precio cotizado por la empresa Aquaquimi. Entonces un 1kg de Sulfato de aluminio equivale a S/ 2.72 soles.

Este análisis nos permitirá conocer si la *M. oleifera* es económicamente viable en la actualidad con la finalidad de sustituir al sulfato de aluminio en los procesos de coagulación y floculación de las plantas de tratamiento de agua.

Costo de tratabilidad

Considerando el costo de producción del polvo de *Moringa oleifera* utilizado en la evaluación para el tratamiento de agua residual doméstica con fines de reaprovechamiento en el riego de vegetales; se presenta una tabla comparativa con el sulfato de aluminio, el cual es considerado como uno de los coagulantes de mayor aplicabilidad; para mayor detalle, los cálculos se muestran en el Anexo 9.

4.1.4. Dosis óptima del coagulante de *Moringa oleifera*

En la Figura 12, se interpreta que en función de la disminución de la turbiedad del agua residual doméstica se tiene una dosis ideal del 700 mg/L de *Moringa oleifera* la cual permitió disminuir de una turbiedad inicial de 70 UNT a 32 UNT.

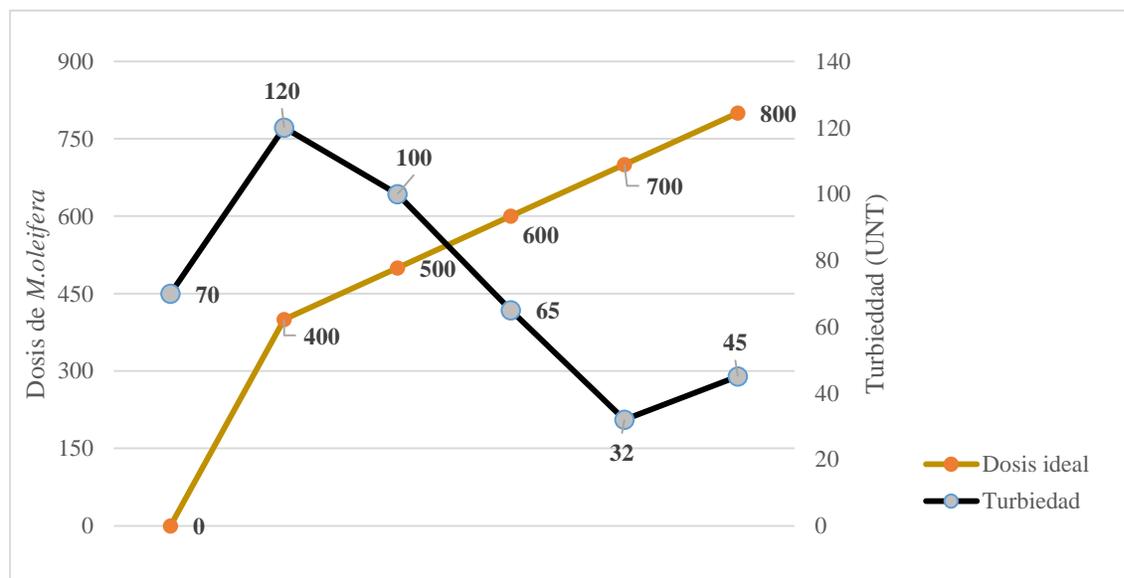


Figura 13. Dosis ideal del coagulante de *Moringa oleifera*
Fuente: Elaboración propia (2019).

4.2. Discusión

Es un hecho que el reusó del agua es más apremiante en la zona costeña por las serias limitaciones de otras fuentes y escasos recursos hídricos, pero también es importante notar que en sierra y selva la disponibilidad de agua se reduce sensiblemente en la época de estiaje; comprendida entre abril y noviembre, afecta el riego agrícola, por lo que el reusó podría ser una solución para abastecer el agro en esa época del año. Por ello, los sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales facilitan la optimización del uso de los recursos hídricos, puesto que al usar aguas residuales para el riego agrícola y de áreas verdes urbanas, permite que volúmenes importantes de agua limpia o potable se destinen al consumo humano (MINAGRI, 2016).

El rendimiento de *Moringa oleifera* como coagulante para el tratamiento del agua residual doméstica determinado mediante el porcentaje de tratabilidad a partir de la turbiedad inicial y final; corresponde a un resultado no significativo; sin embargo, teniendo como referencia una turbiedad inicial de 70 UNT inicial y que al ser ensayada a una dosis de 700 mg/L de *Moringa oleifera* se llegó a obtener 32 UNT equivalente a un 54.29 % del porcentaje de tratabilidad. Por lo tanto, se evidencia que *Moringa oleifera* no podría ser considerada como un coagulante eficiente. En comparación con la investigación realizado con aguas del río Huaycoloro por (Urquía, 2017) , se puede apreciar una turbiedad inicial de 560 UNT que al adicionar 0.75 g/L (750mg/L) de *Moringa oleifera* se obtiene una turbiedad final de 6.21 UNT, que sería equivalente a un 98.89 % del porcentaje de tratabilidad. Asimismo, la investigación de (Rivera, 2017), utilizó agua residual del lavado de vehículos, teniendo una turbiedad inicial de 186 UNT que al adicionar 140 mg/L de *Moringa oleifera* se obtuvo una turbiedad final de 18.3 UNT la cual representa un 90 % del porcentaje de tratabilidad. Según las referencias consultadas, las

diferencias podrían deberse al proceso de obtención del polvo de la semilla de *Moringa oleifera* o a las características químicas que presente el agua a tratar.

Para la obtención del polvo de semilla de *Moringa oleifera*, existen diferentes métodos de extracción. Tal como menciona (Aldana, 2012), el cual utilizó el método de prensado la cual consiste en ; pasar las semillas de *Moringa oleifera* seleccionas por una prensa extrayendo el aceite que no posee propiedades coagulantes, luego paso por moledora de granos para convertirla en polvo. Arenas (2019), en su investigación realizó lo siguiente; retiro las cascaras con mortero y pulverizo las semillas en una licuadora, para la remoción del aceite de las semillas utilizó 30 gramos de *Moringa oleifera* y 400 mL de Etanol con un extractor de Soxhlet de 500 mL.

Así mismo, Martín et al (2013), menciona que estas semillas no afectan el pH ni la conductividad eléctrica del agua, corroborándose esta propiedad en el presente ensayo, donde los cambios de estos parámetros es mínima. Sin embargo, al aplicar dosis de 400 mg/L, 500 mg/L y 600 mg/L de *M. oleifera* la conductividad eléctrica tuvo un incremento considerable; desde una conductividad inicial de 1190 uS/cm hasta 1642 uS/cm. Por otro lado, con el pH no tuvimos variaciones significativas; con pH inicial de agua residual doméstica de 7.7 unidades de pH y al realizar las pruebas experimentales se logró un 7.42 con dosis de *M. oleifera* unidades de pH.

Ndabigengesere et al citado por (Martín et al., 2013) mencionan que la acción coagulante de las semillas de *Moringa oleifera* se debe a proteínas catiónicas divalentes con una masa molar de 13 kDa y puntos isoeléctricos entre 10 y 11; el mecanismo de actuación como coagulante de estas proteínas es mediante adsorción y neutralización de cargas colídales.

Los resultados de los sólidos suspendidos totales antes del tratamiento fueron de 98 mg/L y con la aplicación de 700 mg/L de *Moringa Oleífera* logramos reducirlo hasta 38 mg/L, asimismo en la investigación de (Adeniran et al., 2017) los sólidos suspendidos totales fueron de 1280mg/L

antes del tratamiento y 1107.3 mg/L posterior al tratamiento considerando que fueron 7 semanas de tratamiento aplicando 6 g de *Moringa Oleifera*. Por otro lado (Gonzales & Fandiño, 2018), tuvo un aumento considerable de los sólidos suspendidos totales con valores iniciales de 459 mg/L y 2136 mg/L posterior al tratamiento. En función a estos resultados mencionamos que las semillas de *Moringa Oleifera* contienen 40% de aceite en peso, las cuales no tiene el agente activo coagulante (Sutherland, Folkard, Mtwali, & Grant, 1994).

Teniendo en cuenta las tendencias actuales respecto a la producción agrícola en nuestra región, los expertos señalan que ciertos cultivos como el cacao, requiere de una mayor humedad, sugiriendo que se opte a implementar sistemas de riego; así lo sugiere la (FAO, 2016). Se sabe muy bien que, en términos ecoeficientes, debe optar por el ahorro del agua que asegure el vital recurso para futuras poblaciones; por lo que se sugiere en términos técnicos agrícolas un ahorro mediante técnicas modernas como es el riego tecnificado por goteo o aspersión donde uno de los requisitos es que este debería presentar una turbiedad menor de 50 UNT.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Respecto a la investigación se concluye que:

- La dosis de *Moringa oleifera* con mayor disminución de turbiedad fue de 700 mg/L, reduciendo una turbiedad inicial de 70 UNT a 32 UNT, obteniendo así un porcentaje de tratabilidad del 54,29 %, no siendo eficiente como coagulante para esta matriz de agua residual doméstica. Por otro lado, con dosis de 400 y 500 mg/L de *Moringa oleifera* se evidencia un incremento de la turbiedad la cual representa datos negativos del porcentaje de tratabilidad. Por lo tanto, rechazamos la hipótesis alterna la cual indica que será eficiente la *M. oleifera* como coagulante y aceptamos la hipótesis nula la cual indique que la *M. oleifera* no ser eficiente en el tratamiento.
- Los parámetros físico-químicos evaluados fueron pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, turbiedad y solidos suspendidos totales. Los parámetros de pH y temperatura no tuvieron rangos de variación significativos al aplicar *M. oleifera*; sin embargo, el parámetro de conductividad eléctrica con dosis de 400 mg/L, 500 mg/L y 600 mg/L se evidencia un incremento considerable. Finalmente, los parámetros de oxígeno disuelto, turbiedad y solidos suspendidos totales se evidencia una disminución de sus concentraciones.
- Para la producción del coagulante de *Moringa oleifera* (harina) se realizó; selección de las mejores semillas, descascároslos, quitar el aceite con prensa, secarlo en el horno, molerlo y tamizarlo en una malla de 200 μm . Obteniendo un rendimiento de 700 mg/L de *Moringa oleifera* se logró un porcentaje de tratabilidad de 54.29 %.

- Se realizaron las pruebas experimentales en el Jar Test (Test de Jarras) con dosis de *Moringa oleifera* de 400mg/L, 500 mg/L, 600 mg/L, 700 mg/L y 800 mg/L.

5.2. Recomendaciones

- Que las instituciones como el Gobierno Regional de San Martín, Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo y el Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana realicen convenios para el sembrío de plantaciones de *Moringa oleifera* con la finalidad de disminuir su costo actual de mercado.
- Tener constante monitoreo del oxígeno disuelto del agua residual, siendo este parámetro un indicador de presencia de contaminación orgánica, provocando presencia de algas y malos olores.
- Para futuras investigaciones incluir los parámetros microbiológicos como *Escherichia coli*, bacterias heterotróficas, huevos de helmintos, coliformes totales, coliformes termo tolerantes, para evaluar el poder bactericida del polvo de *Moringa oleifera*.
- Utilizar *Moringa oleifera* para aguas con mayor cantidad de concentración de turbiedad inicial siendo la *M. oleifera* más eficiente con turbiedad alta.
- Buscar nuevos productos orgánicos como coagulantes naturales que sean eficientes, económicos y ambientalmente viables para evitar el uso de productos químicos que conllevan a efectos secundarios.

REFERENCIAS

- Adeniran, K. A., Akpenpuun, T. D., Akinyemi, B. A., Wasiu, R. A., Akpenpuun, T. D., Akinyemi, B. A., & Wasiu, R. A. (2017). Effectiveness of Moringa oleifera seed as a coagulant in domestic wastewater treatment. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 00(0), 1–6. <https://doi.org/10.1080/20421338.2017.1327475>
- Aldana, E. (2012). *Uso del extracto de la semilla de Moringa oleifera como coagulante natural primario y ayudante de la coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano*. Retrieved from http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3387/1/aldana_re.pdf
- Arboleda, J. (1992). *Teoría de la coagulación del agua*. Colombia.
- Arenas, E. (2019). *Efecto de la remoción del aceite de las semillas de Moringa oleifera en el tratamiento de aguas por coagulación y floculación*. Universidad Agrario la Molina.
- Asociación Cubana de Producción Animal. (2010). *Moringa oleifera un árbol promisorio para la ganadería*. 50–53.
- Autoridad Nacional del Agua. *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. , Pub. L. No. R.J. 010-ANA, 92 (2016).
- Azharia, J., Hassan, M., & Heinz, B. (2005). L'arbre qui purifie l'eau: Culture de Moringa spp. au Soudan.
- Barba, L. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. In *Universidad Del Valle*. Santiago de Cali.
- Barrenechea, A. (2004a). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. *Organización Panamericana de La Salud*, pp. 1–54. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Barrenechea, A. (2004b). Tratamiento de aguas para consumo humano. In *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría*. (Vol. 1). Lima - Perú.
- Bravo, M. (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.
- Carbotecnia. (2004). El carbón activado en el tratamiento de aguas residuales. *Boletín Técnico*, AR-001(2105), 2.

- CENTA. (2008). Manual de depuración de aguas residuales urbanas. In *Monográficos agua en centroamerica* (Alianza po). <https://doi.org/Z-2802/08>
- Choque, D., Choque, Y., Solano, A., & Ramos, B. (2018). *Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua*. 12.
- Congreso de la República. Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos. , El Peruano § (2009).
- Espinoza, V., Castillo, R., & Rovira, D. (2014). *Parámetros físico-químicos y microbiológicos como indicadores de la calidad de las aguas de la subcuenca baja del Río David, Provincia de*. Universidad Tecnológica Oteima.
- FAO. (2016). Desarrollo agrícola, seguridad alimentaria y nutrición. *Desarrollo Agrícola*, 22822, 3–23.
- Flaten, T. (2001). Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Research Bulletin*, 55(2), 187–196. [https://doi.org/10.1016/S0361-9230\(01\)00459-2](https://doi.org/10.1016/S0361-9230(01)00459-2)
- Folkard, G., & Sutherland, J. (1996). Moringa oleifera un árbol con enormes potencialidades. *Ariadne*, 8(3), 5–8. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-57>
- Gonzales, K., & Fandiño, C. (2018). Evaluación de la semilla de Moringa Oleifera como coagulante en agua residuales de curtiembre.
- Goyenola, G. (2007). Red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos. In *Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos (RED MAPSA)*. Grupo de Investigación en Ecología Básica y Aplicada de la Asociación Civil sin Fines de Lucro Investigación y Desarrollo.
- GRSM. Declaran intangibilidad de fajas marginales de la Subcuenca del río Cumbaza y sus tributarios y prohíben la realización de actividades esporádicas o permanentes que limiten su uso público. , Pub. L. No. Ordenanza Regional N° 007-2010-GRSM-CR, Gobierno Regional de San Martín 1 (2010).
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. In *McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES. S.A. DE C.V* (Sexta). México.
- INEI. (2017). *Anuario de estadísticas ambientales* (pp. 1–696). pp. 1–696. Retrieved from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1469/index.html
- Larios, F., Gonzalez, C., & Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el

- Perú. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2(2), 09–25.
<https://doi.org/10.1007/s00213-010-1897-5>
- Marín, R. (1998). “Jar-test” en el tratamiento de aguas: Una valiosa herramienta. 15.
- Martín, C., Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E., & Puls, J. (2013). Potenciales aplicaciones de Moringa oleifera. Una revisión crítica Potential applications of Moringa oleifera. A critical review. *Pastos y Forrajes*, 36(2), 137–149.
- Mas, M., Martínez, D., Carrasquero, S., & Vargas, L. (2011). Uso de la moringa oleifera para el mejoramiento de la calidad del agua de un efluente doméstico proveniente de lagunas de estabilización. *Boletín Del Centro de Investigaciones Biológicas*, 45(2), 12.
- Melon, I. (2017). *Caracterización fisicoquímica de las moringa*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Mera, C., Gutiérrez, M., Montes, C., & Paz, J. (2016). Efecto de la Moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales en el cauca, Colombia. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 100. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)100-109](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)100-109)
- MINAGRI. *Aprueban Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.* , 5 § (2010).
- MINAGRI. (2016). Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas. In *Ministerio de Agricultura y Riego*. Retrieved from http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/manual_de_buenas_practicas_para_el_uso_seguro_y_productivo_de_las_aguas_residuales_domesticas.pdf
- MINAM. (2015). *Caracterización y análisis de aguas residuales* (pp. 1–47). pp. 1–47. Lima - Perú.
- MINAM. Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. , *Diario oficial El Peruano* § (2017).
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2006). Reglamento nacional de edificaciones. In *Iteckne* (Vol. 11). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Ministerio del Ambiente. *Ley General del Ambiente, Ley N° 28611.* , Norma Legal § (2008).
- MVCS. *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales.* , (2013).
- MVCS. (2017). *Tratamiento y reúso de las aguas residuales*. Retrieved from <http://pubdocs.worldbank.org/en/150461494428481264/Booklet-Conferencia-FINAL.pdf>
- Núñez, E. (2007). *Validación de la efectividad de la semilla de Moringa oleifera como*

- coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras.*
Universidad de Zamorado.
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. In *Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-05991* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Oluwalana, S. A., Bankole, W., Bolaji, G. A., Martins, O., & Alegbeleye, O. (1999). Domestic water purification using *Moringa oleifera* Lam.
- OMS. (2018). Agua.
- Pérez, C., León, F., & Delgadillo, G. (2013). Tratamiento de aguas. In *Tratamiento de aguas*. Ciudad de México.
- Real, J., Rustrian, E., Houbroun, E., & Landa, F. (2015, April). Adsorption of organic pollutants from slaughterhouse wastewater using powder of *Moringa oleifera* seeds as a natural coagulant. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1033479>
- Ríos, N., Navarro, R., Ávila, M., & Mendizábal, E. (2006). Obtención de sulfato de quitosano y su aplicación En suspensiones coloidales aniónicas de caolinita. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3), 145–161. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/283205796_Obtencion_de_sulfato_de_quitosano_y_su_aplicacion_en_el_proceso_de_coagulacion-floculacion_de_suspensiones_de_Caolinita
- Rivera, A. (2017). *Uso de Moringa oleifera y carbon activado para el mejoramiento de la calidad del agua residual de lavado vehicular en el Distrito de San Martin de Porres-Lima 2017*. Universidad César Vallejo.
- Sánchez, Y. A., Martínez, G., Sinagawa, S., & Vazquez, J. (2013). *Moringa oleifera* ; Importancia , Funcionalidad y Estudios Involucrados. *Revista Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9), 25–30.
- Satterfield, Z. (2005). Jar Testing. *On Tap*, 5(1), 1–4.
- Singh, D., Gesare, J., & Kaur, H. (2013). Bioprospecting of *Moringa* (*Moringaceae*): Microbiological Perspective. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry Bioprospecting*, 1(6), 23. Retrieved from http://www.phytojournal.com/vol1Issue6/Issue_march_2013/15.pdf
- SUNASS. (2015). *Diagnostico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ambito de operacion de las entidades prestadoras de servicio de saneamiento* (Vol. 53).

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Sutherland, J. P., Folkard, G. K., Mtwali, M. A., & Grant, W. D. (1994). Moringa Oleifera: A natural coagulant. *Chemical Engineering World*, 36(4), 52–53.
- Terry, C., Gutierrez, J., & Abó, M. (2010). Manejo de aguas residuales en la gestion ambiental. In *Agencia del Medio Ambiente*. Retrieved from www.proyescu/informes/Manejos_Aguas_residuales.pdf
- Tribunal Constitucional del Perú. (2015). *Compendio Normativo*. Lima - Perú.
- UNESCO. (2017a). *Aguas residuales, el recurso desaprovechado*. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf>
- UNESCO. (2017b). *Cifras y datos*. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247553s.pdf>
- Urquía, K. (2017). Eficiencia de la Opuntia Ficus-Indica frente a la Moringa Oleífera, en el tratamiento de aguas del Río Huaycoloro, SJL-2017. Retrieved from http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10877/Urquía_CK.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vargas, M., & Romero, L. (2006). *Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica*. 19, 5.
- Vivas, K. (2011). Análisis y parámetros físicosquímicos en el tratamiento de aguas residuales y potables realizado en el Centro de Investigaciones de Microbiología Aplicadas (CIMA). *Universidad de Carabobo*, p. 20. Valencia.
- Yin, C.-Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45, 1437–1444.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>

ANEXOS

Anexo 1. *Panel fotográfico de la ejecución del proyecto.*



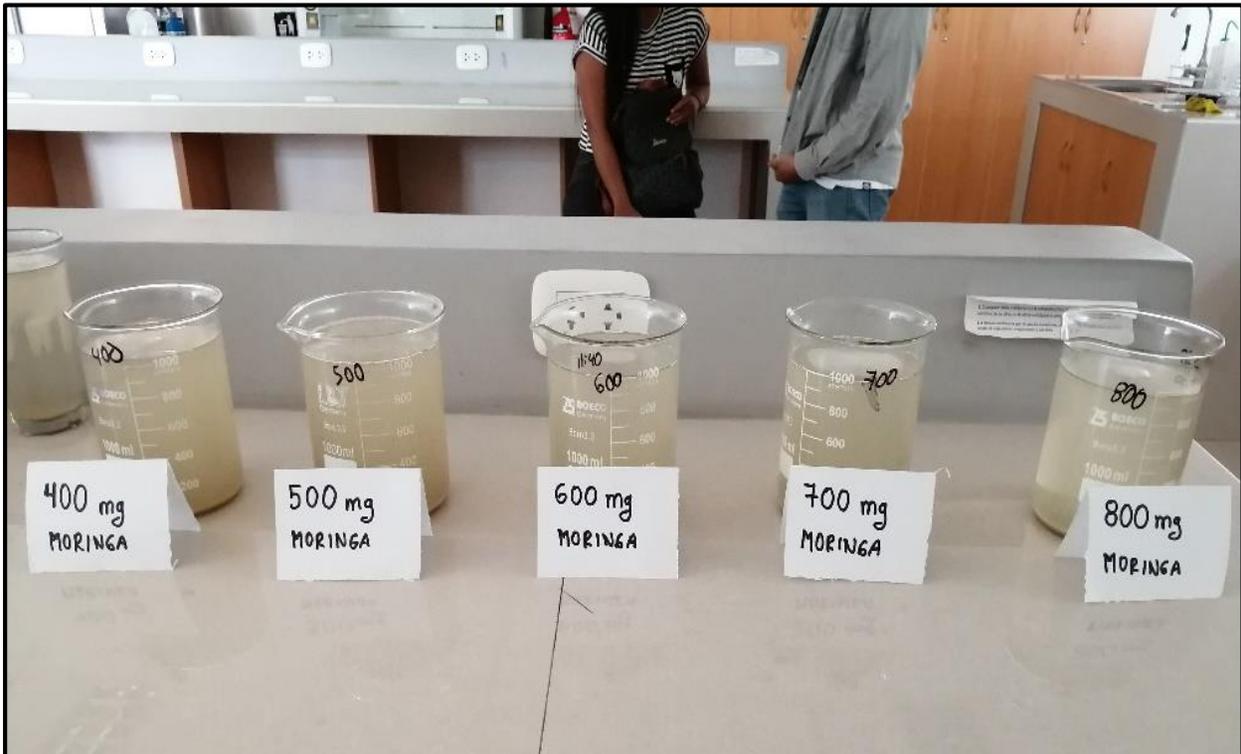
Toma de muestra del agua residual doméstica.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Medición de los parámetros en campo.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Realizando la prueba del Test de Jarras.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Proceso de sedimentación después de prueba de Test de Jarras.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Medición de los parámetros después de terminado la sedimentación.
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Muestras listas para sus análisis en un laboratorio Acreditado.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Anexo 2. Resultado de los análisis para la determinación de la eficiencia de *M. oleífera* en el tratamiento de agua residual doméstica (Página 1 de 4).

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON EL REGISTRO N° LE - 096	
Registro N° LE - 096		
INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-3998		
I.- DATOS DEL SERVICIO		
1.-RAZON SOCIAL	:WILLIAN FRANCISCO HIDALGO DEL CASTILLO	
2.-DIRECCIÓN	:TARAPOTO	
3.-PROYECTO	:EFICIENCIA DE LA <i>Moringa Oleífera</i> PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA CON FINES DE RECUPERACION Y APROVECHAMIENTO EN EL RIEGO DE VEGETALES	
4.-PROCEDENCIA	:TARAPOTO	
5.-SOLICITANTE	:WILLIAN FRANCISCO HIDALGO DEL CASTILLO	
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	:OS-19-1304	
7.-PLAN DE MONITOREO	:NO APLICA	
8.-MUESTREADO POR	:EL CLIENTE	
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	:2019-07-12	
II.-DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO		
1.-MATRIZ	:AGUA	
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	:6	
3.-FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	:2019-07-03	
4.-PERÍODO DE ENSAYO	:2019-07-03 al 2019-07-12	
		
José Luis Chipana Chipana Director Técnico CQP 1104		
Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588 Email. ventas@alab.com.pe www.alab.com.pe		
Página 1 de 4		

Fuente: Copia de la original, 2019.

Anexo 3. Resultado de los análisis para la determinación de la eficiencia de *M. oleífera* en el tratamiento de agua residual doméstica (Página 2 de 4).

		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON EL REGISTRO N° LE - 096			
				Registro N° LE - 096	
INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-3998					
III-METODOS Y REFERENCIAS					
TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO			
Conductividad (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity. Laboratory Method.			
Oxígeno Disuelto (**)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 -O G, 23 rd 2017	Oxygen (Dissolved) Optical-Probe Method			
pH (**)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method			
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C			
Temperatura (**)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. 2017	Temperature. Laboratory and Field Methods			
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd Ed. 2017	Turbidity. Nephelometric Method.			

SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
 (*) Dato proporcionado por el Cliente
 (**) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao
 Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588
 Email. ventas@alab.com.pe
 www.alab.com.pe

Página 2 de 4

Fuente: Copia de la original, 2019.

Anexo 4. Resultado de los análisis para la determinación de la eficiencia de *M. oleífera* en el tratamiento de agua residual doméstica (Página 3 de 4).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON EL REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-3998

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-10914	M-10915	M-10916
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AR-D-ST	AR-D-CT400	AR-D-CT500
COORDENADAS:	E: 341633	NO INDICA	NO INDICA
UTM WGS 84:	N: 0293612		
MATRIZ:	AGUA		
GRUPO:	RESIDUAL		
SUB GRUPO:	DOMESTICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	IC-OPE-27.2		
FECHA DE MUESTREO	FECHA:	2019-07-02	2019-07-02
	HORA:	8:00	15:20
			2019-07-02
			15:25
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS
Conductividad	(μ S/cm)	0.01	1 190 1 642 1 526
Oxígeno Disuelto ^(*)	mg/L	0.1	3.75 0.94 0.65
pH ^(**)	Unid. pH	0.01	7.7 7.43 7.43
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	5	98 52 52
Temperatura ^(**)	°C	0.01	23.7 25.2 25.1
Turbidez	NTU	0.01	70.00 120.00 100.00

L.C.M.: Límite de cuantificación de método

(*) Dato proporcionado por el Cliente

(**) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, 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.

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao
 Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588
 Email. ventas@alab.com.pe
www.alab.com.pe

Página 3 de 4

Fuente: Copia de la original, 2019.

Anexo 5. Resultado de los análisis para la determinación de la eficiencia de *M. oleífera* en el tratamiento de agua residual doméstica (Página 4 de 4).



ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON EL REGISTRO N° LE - 098



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 098

INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-3998

IV. RESULTADOS

ITEM	4	5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-10917	M-10918	M-10919
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AR-D-CT600	AR-D-CT700	AR-D-CT800
COORDENADAS:	NO INDICA		
UTM WGS 84:			
MATRIZ:	AGUA		
GRUPO:	RESIDUAL		
SUB GRUPO:	DOMESTICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	IC-OPE-27.2		
FECHA DE MUESTREO	FECHA:	2019-07-02	2019-07-02
	HORA:	15:32	15:40
			2019-07-02
			15:46
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS
Conductividad	(µS/cm)	0.01	1 591 1 136 1 183
Oxígeno Disuelto (C)(C)	mg/L	0.1	1.09 1.81 1.68
pH(*)	Unid. pH	0.01	7.37 7.57 7.42
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	5.	62 44 39
Temperatura (C)(C)	°C	0.01	25.0 24.9 25.4
Turbidez	NTU	0.01	65.00 32.00 45.00

L.C.M.: Límite de cuantificación de método
L.D.M.: Límite de detección de método
Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, 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.

FIN DE DOCUMENTO

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588
Email. ventas@alab.com.pe
www.alab.com.pe

Página 4 de 4

Fuente: Copia de la original, 2019.

Anexo 6. Certificado de calibración del multiparámetro utilizado en la evaluación de los parámetros de campo (Página 1 de 2).



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 554-19

EQUIPO	MULTIPARAMETRO	FECHA DE CALIBRACIÓN	12 de Junio del 2019
PERTENECIENTE A	RAULDAN & INGENIEROS AMBIENTALES S.A.C.	LUGAR DE CALIBRACIÓN	Laboratorio ECOSISTEM
FABRICANTE	Hach	METODO DE CALIBRACIÓN:	
MODELO	Hq 40d	Determinación del error de indicación del medidor de pH y CE, por el método de comparación directa, utilizando buffer de calibración certificados para el OD por saturación al 100% y para 0%	
TIPO	VARIOS	CONDICIONES AMBIENTALES:	
SERIE N°	140200099837	TEMPERATURA: 20°C	
CODIGO INTERNO	---	HUMEDAD RELATIVA: 74%	
SERIE DE SENSOR N°	PH 173522567060 CO140442587004 OD140342597014 REDOXI173633029002		
ALCANCE DE INDICACIÓN:	Conductivity 0-9999µS/cm TDS 0-9999ppm Resistivity 10KΩ-30MΩ pH 0-14pH OD 0.1 - 20 mg/L temp 0-30°C		
RESOLUCIÓN:	Conductivity 0.01 TDS 0.01 Resistivity 0.01 pH ±0.01pH OD ±0.00 Temp 0,01		
CLASE DE EXACTITUD:	Conductivity±1% of reading TDS ±1% of reading Resistivity ±1% of reading PH ±0.01 pH* OD ±0.1 from 0 to 8 mg/L Temp ±1%		

TRAZABILIDAD:
 Buffer de Calibración de PH 4.01 @ 25°C precisión ± 0,002 pH (25°C) ISO 3696/BS 3978 LOTE 5435 EXP 10/2019
 Buffer de Calibración de PH 7.00 @ 25°C precisión ± 0,002 pH (25°C) ISO 3696/BS 3978 LOTE 7657 EXP 10/2019
 Buffer de Calibración de PH 10.01 @ 25°C precisión ± 0,002 pH (25°C) ISO 3696/BS 3978 LOTE 4566 EXP 11/2019
 Buffer de Calibración de CE 1413 µs/cm @ 25°C precisión ± 0,01 CE (25°C) ISO 3696/BS 3978 LOTE 0257 EXP 06/2021
 Buffer de Calibración de OD 0% @ 25°C precisión ± 0,01 SPEC1275 LOTE 42108 EXP 12/2019
 Buffer de calibración de ORP 124mV @ 25°C precisión ± 0,01LOTE 21145 EXP 12/2019

MEDIACIÓN ANTES DE CALIBRACIÓN PH	PATRON PH	TEMP °C	DESPUES DE LA CALIBRACIÓN PH	ERROR	RECALIBRACIÓN: Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual esté en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.
4.02	4.01	25.00	4.01	0.00	
7.00	7.00	25.00	7.01	-0.01	
10.05	10.01	25.00	10.02	-0.01	

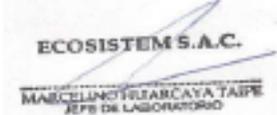
MEDIACIÓN ANTES DE CALIBRACIÓN CE µs/cm	PATRON CE µs/cm	TEMP °C	DESPUES DE LA CALIBRACIÓN CE µs/cm	ERROR	PATRON ORP mV	ORP mV	ERROR
1395.00	1413	25.00	1410	3.00	124	122	2

MEDIACIÓN ANTES DE CALIBRACIÓN OD %	PATRON OD %	TEMP °C	DESPUES DE LA CALIBRACIÓN OD %	ERROR
3.00	0.00	25.00	0.03	-0.03
110.00	100.00	25.00	103.01	-3.01

OBSERVACIONES:

El equipo esta dentro de los rangos aceptables

VoBo



ECOSISTEM S.A.C.
MARCELINO TALAMÁ
JEFE DE LABORATORIO

Urb. El Rosal Mz B9 Lt01- Lima 03
 Cel: 971231941 Rpm: *014957
 Info@ecosistemasac.com
 www.ecosistemasac.com

Pag 1/2

Fuente: Copia de la original, 2019.

79

Anexo 7. Certificado de calibración del multiparámetro utilizado en la evaluación de los parámetros de campo (Página 2 de 2).



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 554-19

TEMPERATURA		
PH		
PATRON °C	T pH °C	ERROR
5.00	4.99	0.01
15.00	14.98	0.02
25.00	24.90	0.10

CONDUCTIVIDAD		
PATRON °C	T Con °C	ERROR
5.00	5.01	-0.01
15.00	15.00	0.00
25.00	25.01	-0.01

OXIGENO DISUELTO		
PATRON °C	T OD °C	ERROR
5.00	5.00	0.00
15.00	14.99	0.01
25.00	25.02	-0.02

La temperatura fue verificada usando un patron con trazabilidad en Inacal con certificado numero T-0209-2018 calibrado el 20/09/2018

Pag 2/2

Urb. El Rosal Mz B9 Lt01- Lima 03
Cel: 971231941 Rpm: *014957
Info@ecosistemasac.com
www.ecosistemasac.com

Fuente: Copia de la original, 2019.

Anexo 8. Cálculos para la determinación de la eficiencia

Para determinar la eficiencia se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{Eficiencia de Reducción (\%)} = \frac{T_i \text{ (UNT)} - T_f \text{ (UNT)}}{T_f \text{ (UNT)}} \times 100$$

Donde:

% Tratabilidad: Tratabilidad del coagulante en turbidez.

T_i : Turbidez inicial.

T_f : Turbidez final.

Ejemplo del cálculo de eficiencia

Datos:

T_i : 70 UNT.

T_f : 32 UNT.

$$\text{Eficiencia de reducción (\%)} = \frac{70 \text{ (UNT)} - 32 \text{ (UNT)}}{32 \text{ (UNT)}} \times 100$$

Por lo tanto, la eficiencia es de 54.29 %.

Anexo 9. Cálculo para determinar el costo de tratabilidad

Los valores comparativos respecto al costo del polvo de moringa en masa por volumen de agua tratada y el sulfato de aluminio; fueron calculados a partir del costo del mercado y teniendo como referencia la dosis utilizada (cabe mencionar que la dosis optima del sulfato de aluminio se obtuvo de referencia bibliográficas con características similar del agua cruda que se evaluó en esta tesis), que finalmente se escaló hasta ser expresada en metros cúbicos de agua tratada.

INSUMOS	PRECIO EN SOLES kg	DOSIS EN kg/m ³	COSTO EN kg/m ³
<i>Moringa oleifera</i>	S/ 100.00	0.70	70
Sulfato de aluminio	S/ 2.72	0.144	0.39

Fuente: Elaboración propia, 2019

Anexo 10. Parámetros establecidos según Estándares de calidad ambiental para agua - Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido
Conductividad	(μ S/cm)	2 500	
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	> 4	
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5	
Temperatura	$^{\circ}$ C	Δ 3	

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

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

Anexo 11. Parámetros establecidos según Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
pH	Unidad de pH	6.5-8.5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: D.S 003-2010-MINAM