



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE
LA MORINGA (*Moringa oleífera*) y NEEM (*Azadirachta
indica*) PARA EL AGUA DE ABASTECIMIENTO
COMUNITARIA LA ESTACADA-DAULE**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

**Trabajo de titulación presentado como requisito para
la obtención del título de
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTOR
PÁRRAGA PONCE KERLLY LISBETH

TUTOR
ING. DIEGO MUÑOZ NARANJO, M.Sc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **MUÑOZ NARANJO DIEGO IVÁN**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LA MORINGA (*Moringa oleífera*) y NEEM (*Azadirachta indica*) PARA EL AGUA DE ABASTECIMIENTO COMUNITARIA LA ESTACADA-DAULE** , realizado por la estudiante **PÁRRAGA PONCE KERLLY LISBETH**; con cédula de identidad N° **0930125067** de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Guayaquil, 24 de noviembre del 2021



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LA MORINGA (*Moringa oleífera*) y NEEM (*Azadirachta indica*) PARA EL AGUA DE ABASTECIMIENTO COMUNITARIA LA ESTACADA-DAULE”**, realizado por la estudiante **PÁRRAGA PONCE KERLLY LISBETH** el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Dra. Emma Jácome Murillo
PRESIDENTE

Ing. Luis Morocho Rosero
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Yoansy García Ortega
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Diego Muñoz Naranjo
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 24 de noviembre del 2021

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo se lo dedico a Dios gracias a su infinita bendición me ha permitido culminar mis estudios y a mis padres quienes con su amor y esfuerzo me han motivado en cada etapa de mi vida.

En especial a mi padre, quien, con sus consejos, su amor y apoyo ha sido el pilar fundamental en esta meta.

Agradecimiento

Mi mayor agradecimiento a Dios por brindarme salud, sabiduría y fortaleza a lo largo de la carrera, a la Universidad Agraria y a los docentes por la formación y las enseñanzas transmitidas.

A mi tutor Ing. Diego Muñoz Naranjo y al Ing. Luis Morocho Rosero por sus orientaciones en el desarrollo del presente proyecto y cada una de las personas que de una manera u otra ayudaron a su realización.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **PÁRRAGA PONCE KERLLY LISBETH**, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **“EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LA MORINGA (*Moringa oleífera*) y NEEM (*Azadirachta indica*) PARA EL AGUA DE ABASTECIMIENTO COMUNITARIA LA ESTACADA-DAULE ”** para optar el título de **INGENIERA AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 24 noviembre del 2021

PÁRRAGA PONCE KERLLY LISBETH
C.I. 0930125067

Índice general

| | |
|--|-----------|
| APROBACIÓN DEL TUTOR | 2 |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN | 3 |
| Dedicatoria..... | 4 |
| Agradecimiento | 5 |
| Autorización de Autoría Intelectual | 6 |
| Índice general | 7 |
| Índice de tablas | 10 |
| Índice de figuras..... | 12 |
| Resumen | 14 |
| Abstract..... | 15 |
| 1. Introducción | 16 |
| 1.1. Antecedentes del problema..... | 16 |
| 1.2. Planteamiento y formulación del problema | 18 |
| 1.2.1. Planteamiento del problema..... | 18 |
| 1.2.2. Formulación del problema..... | 18 |
| 1.3. Justificación | 19 |
| 1.4. Delimitación de la investigación..... | 20 |
| 1.5. Objetivo general | 20 |
| 1.6. Objetivos específicos | 20 |
| 1.7. Hipótesis | 21 |
| 2. Marco Teórico | 22 |
| 2.1. Estado del arte..... | 22 |
| 2.2. Bases teóricas | 24 |
| 2.2.1. Agua cruda..... | 24 |

| | |
|---|----|
| 2.2.2. Calidad del agua | 25 |
| 2.2.3. Microbiología del agua..... | 25 |
| 2.2.4. Parámetros físicos..... | 25 |
| 2.2.5. Parámetro químico | 28 |
| 2.2.6. Indicadores microbiológicos..... | 28 |
| 2.2.7. Tratamientos de agua..... | 29 |
| 2.3. Base legal..... | 36 |
| 2.3.1. Constitución de la República del Ecuador | 36 |
| 2.3.2. Código Orgánico del Ambiente | 37 |
| 2.3.3. Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD) | 38 |
| 2.3.4. Ley de Aguas, Codificación..... | 39 |
| 2.3.5. Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua 2014 | 40 |
| 2.3.6. Acuerdo ministerial N° 61. Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI | 41 |
| 2.3.7. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176:2013 | 41 |
| 3. Materiales y métodos..... | 44 |
| 3.1. Enfoque de la investigación | 44 |
| 3.1.1. Tipo de investigación..... | 44 |
| 3.1.2. Diseño de investigación | 44 |
| 3.2. Metodología | 45 |
| 3.2.1. Variables..... | 45 |
| 3.2.2. Tratamientos | 45 |
| 3.2.3. Diseño experimental..... | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.4. Recolección de datos..... | 46 |
| 3.2.5. Análisis estadístico | 57 |
| 4. Resultados..... | 58 |
| 4.1. Caracterización de la calidad de agua de abastecimiento..... | 58 |
| 4.2. Evaluación de la eficiencia de los tratamientos para su aplicación en la remoción de coliformes fecales en el agua de abastecimiento comunitario | 61 |
| 4.3. Comparación del tratamiento más eficiente con el cumplimiento de calidad de fuentes de agua para consumo humano y uso doméstico del Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo I | 74 |
| 4.4. Socialización con la comunidad “La Estacada” los beneficios de los tratamientos de origen orgánico..... | 74 |
| 5. Discusión..... | 77 |
| 6. Conclusiones | 79 |
| 7. Recomendaciones | 80 |
| 8. Bibliografía | 81 |
| 9. Anexos | 95 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1.Tratamientos para evaluar la actividad antimicrobiana en el agua de abastecimiento comunitario..... | 45 |
| Tabla 2.Recursos materiales empleados para el presente proyecto..... | 46 |
| Tabla 3. Equipos de laboratorio empleados para el presente proyecto | 46 |
| Tabla 4.Materiales de laboratorio y de campo | 47 |
| Tabla 5.Eschema de análisis de varianza ANOVA | 57 |
| Tabla 6.Caracterización inicial del agua río Daule-La Estacada | 59 |
| Tabla 7.Resultados Tratamiento 1 | 62 |
| Tabla 8.Resultados Tratamiento 2 | 62 |
| Tabla 9.Resultados Tratamiento 3 | 63 |
| Tabla 10.Resultados Tratamiento 4 | 63 |
| Tabla 11.Resultados Tratamiento 5 | 64 |
| Tabla 12.Resultados Tratamiento 6 | 65 |
| Tabla 13.Resultados Tratamiento 7 | 65 |
| Tabla 14.Resultados Tratamiento 8 | 66 |
| Tabla 15.Resultados Tratamiento 9 | 66 |
| Tabla 16.Media del resultado experimental de los Tratamientos | 66 |
| Tabla 17.Relación agua cruda/agua tratada | 67 |
| Tabla 18. Incidencia de los tratamientos aplicados en el pH | 68 |
| Tabla 19. Incidencia de los tratamientos aplicados en la Turbidez | 69 |
| Tabla 20.Incidencia de los tratamientos aplicados en los Sólidos Disueltos | |
| Totales | 70 |
| Tabla 21. Incidencia de los tratamientos aplicados en la Conductividad eléctrica | |
| | 71 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 22. Incidencia de los tratamientos aplicados en los coliformes fecales.. | 72 |
| Tabla 23. Eficiencia de los mejores tratamientos | 73 |
| Tabla 24. Comparación del tratamiento más eficiente con la Normativa ambiental..... | 74 |
| Tabla 25. Taxonomía de <i>Escherichia coli</i> | 95 |
| Tabla 26. Taxonomía de la especie <i>Moringa oleífera</i> | 96 |
| Tabla 27. Análisis elemental y porcentaje de materia orgánica contenida en las semillas de <i>Moringa oleífera</i> | 96 |
| Tabla 28. Taxonomía <i>Azadirachta indica</i> | 98 |
| Tabla 29. Contenido de aminoácidos en <i>Azadirachta indica</i> | 98 |
| Tabla 30. Principales componentes activos del Neem..... | 99 |
| Tabla 31. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y uso doméstico | 100 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Procedimiento para extracción de material pulverizado de Moringa y Neem en laboratorio | 53 |
| Figura 2. Procedimiento de aplicación de los tratamientos de Moringa y Neem | 56 |
| Figura 3. Diagrama de barras: Caracterización inicial parámetro pH..... | 59 |
| Figura 4. Diagrama de barras: Caracterización inicial parámetro Turbidez | 59 |
| Figura 5. Diagrama de barras: Caracterización inicial parámetro sólidos disueltos | 60 |
| Figura 6. Diagrama de barras: Caracterización inicial parámetro conductividad eléctrica..... | 60 |
| Figura 7. Diagrama de barras: Caracterización inicial parámetro coliformes fecales | 60 |
| Figura 8. Media obtenida para pH..... | 68 |
| Figura 9. Media obtenida para Turbidez | 69 |
| Figura 10. Media obtenida para Sólidos Disueltos Totales | 70 |
| Figura 11. Media obtenida para Conductividad eléctrica | 71 |
| Figura 12. Media obtenida para coliformes fecales..... | 72 |
| Figura 13. Diagrama de barras: Eficiencia de los mejores resultados obtenidos | 73 |
| Figura 14. Comunidad La Estacada-Daule. | 95 |
| Figura 15. Micrografía SEM de (a) semilla de Moringa oleífera (b) partícula dispersada en agua superficial antes del tratamiento (c) partícula de flóculos después del tratamiento | 97 |
| Figura 16. Mecanismo de coagulación y sedimentación del agua utilizando proteínas catiónicas de Moringa oleífera (MOCP)..... | 97 |

| | |
|--|-----|
| Figura 17. Extracción del material pulverizado de las hojas de Neem | 101 |
| Figura 18.Extracción del material pulverizado de las semillas de Moringa | 101 |
| Figura 19. Pesaje de material pulverizado de Moringa y Neem | 102 |
| Figura 20. Aplicación de los Tratamientos de Moringa y Neem | 102 |
| Figura 21. Medición de turbidez e inoculación en las placas Petrifilm 3M | 103 |
| Figura 22.Conteo de colonias coliformes fecales | 103 |
| Figura 23.Resultados de los Tratamientos en estudio | 104 |
| Figura 24. Resultados 0 colonias: tratamiento T3 (Izq) y T6 (Der) | 104 |
| Figura 25.Socialización con la Comunidad La Estacada | 105 |
| Figura 26. Registro de asistentes en la socialización (1) | 106 |
| Figura 27.Registro de asistentes en la socialización (2) | 107 |
| Figura 28. Resultados DBO ₅ Inicial..... | 108 |
| Figura 29. Resultado de la DBO ₅ del mejor tratamiento (T6)..... | 109 |
| Figura 30.Análisis estadístico de coliformes fecales | 110 |
| Figura 31.Análisis estadístico de pH..... | 110 |
| Figura 32.Análisis estadístico de Turbidez..... | 110 |
| Figura 33.Análisis estadístico de conductividad eléctrica | 110 |
| Figura 34.Análisis estadístico de Sólidos Disueltos Totales | 111 |

Resumen

La contaminación microbiológica es una problemática en las fuentes de agua de consumo humano, especialmente para las comunidades rurales las cuales carecen del servicio de agua potable. Por tal motivo, existe la necesidad de desarrollar soluciones de tratamiento que sean sostenibles y no perjudiciales para la salud humana. El objetivo principal de este estudio fue evaluar la actividad antimicrobiana de la semilla de *Moringa oleífera* y las hojas de *Azadirachta indica* en el agua de abastecimiento comunitario. La caracterización inicial del agua del río Daule presentó los siguientes valores medios: pH 7.23, Turbidez 24.50 UNT, Demanda Bioquímica de Oxígeno 382.47 mg/l y coliformes fecales 58 UFC/100 ml; se utilizó un diseño completamente al azar de 9 tratamientos con 5 repeticiones. La aplicación del material pulverizado de semillas de Moringa en concentración de 0.1 g/L logró una remoción de 70,77% para el parámetro turbidez y con 4g/L se obtuvo una remoción de 89,43% coliformes fecales; con 2 g/L del material pulverizado de Neem se alcanzó una mayor remoción de coliformes fecales de 97,03% y de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) de 77,09% en 30 minutos. Además, este estudio implicó la socialización con la comunidad La Estacada acerca del proyecto investigativo y de los beneficios de los tratamientos de agua de tipo orgánico.

Palabras claves: coliformes fecales, *Moringa oleífera*, *Azadirachta indica*

Abstract

Microbiological contamination is a problem in water sources for human consumption, especially for rural communities which lack drinking water service. For this reason, there is a need to develop treatment solutions that are sustainable and not harmful to human health. The main objective of this study was to evaluate the antimicrobial activity of *Moringa oleifera* seed and *Azadirachta indica* leaves in community supply water. The initial characterization of the Daule river water presented the following mean values: pH 7.23, Turbidity 24.50 NTU, Biochemical Oxygen Demand 382.47 mg/l and fecal coliforms 58 CFU / 100 ml; A completely randomized design of 9 treatments with 5 repetitions was used. The application of the sprayed material of *Moringa* seeds in a concentration of 0.1 g/L achieved a removal of 70.77% for the turbidity parameter and with 4g/L a removal of 89.43% fecal coliforms was obtained; With 2 g/L of the pulverized *Neem* material, a greater removal of fecal coliforms of 97.03% and a Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) of 77.09% was achieved in 30 minutes. In addition, this study involved socialization with the La Estacada community about the research project and the benefits of organic water treatments.

Keywords: fecal coliforms , *Moringa oleífera*, *Azadirachta indica*

1. Introducción

1.1. Antecedentes del problema

El líquido vital en la supervivencia de los seres vivos y de los ecosistemas se distribuye en un 70% en la superficie mundial. La distribución del agua a nivel mundial es un 97.5% agua salada y 2.5% agua dulce, esta última subdividida en 1.9% glaciares, 0.5% agua subterránea y 0.1% agua superficial (Auge;2007; Fernández, 2017). La Asamblea Nacional General de las Naciones Unidas declaró como derecho humano el acceso al agua potable y al saneamiento. Así también, se establece en el Objetivo 6 de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) (UNESCO, 2019).

Sin embargo, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el 2019 indicó que 3 de cada 10 personas carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura. De forma similar, los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) en el 2015 revelaron que “Sólo el 39% de la población mundial utilizó servicios de saneamiento gestionados de forma segura y que 2 de cada 5 personas vivían en zonas rurales” (Organización Mundial de la Salud,2017; UNESCO, 2019).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), en el 2019 a nivel nacional el 67,8% de la población utilizaba suministros seguros de agua para beber, del cual el 76.9% correspondía al área urbana y el 23.1% al área rural, en el caso del Cantón Daule la distribución de estos servicios se centra sólo en el área urbana (Gobierno Autónomo Descentralizado Ilustre Municipalidad del cantón Daule, 2015).

Por muchas décadas se ha utilizado productos químicos para potabilizar el agua los cuales a largo plazo ponen en riesgo la salud de la población, por ello se surge la necesidad de buscar alternativas como los coagulantes naturales, estos no

generan cambios bruscos de pH, en comparación con los compuestos químicos como el Sulfato de Aluminio o Hierro (Banchón et al., 2016).

En cuanto a la calidad del agua superficial, los indicadores microbiológicos determinan la presencia de algunos microorganismos en el agua, como es el caso de coliformes fecales que resultan de la actividad antropogénica, es decir, provienen de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales, actividades agropecuarias (Jaque y Potocí, 2015).

En el “Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule en la provincia del Guayas desde el punto de vista físico, químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico” publicado por Guayamabe (2013) se realizaron 15 muestreos, de los cuales se determinó la presencia de coliformes fecales desde los 240 hasta $2,4 \times 10^5$ NMP/100 ml, así mismo se estableció que el 86,7% de los valores determinados están por encima de los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico según la legislación ecuatoriana.

De igual manera, monitoreos efectuados en los últimos años en el río Daule, sector Puente Lucía, se demostró contaminación del agua por el uso de fitosanitarios, hidrocarburos, descargas residuales provenientes de actividad industrial y agrícola, lo que resulta en impactos nocivos para la biodiversidad y la población de dicha zona (Ormaza y Zambrano, 2015).

Las aguas superficiales del río Daule sirven de consumo humano para la comunidad rural La Estacada que no está dentro de la cobertura de agua de la planta potabilizadora inaugurada en 2019 situada en la cabecera parroquial Los Lojas; La Estacada y muchas otras comunidades rurales utilizan el agua del río para su consumo, el único tratamiento que le dan son pastillas de cloro para desinfectarla y la hierben para beberla, en otros casos solo dejan que precipiten los sólidos

sedimentables (Gobierno Autónomo Descentralizado Ilustre Municipalidad del cantón Daule, 2015).

1.2. Planteamiento y formulación del problema

1.2.1. Planteamiento del problema

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), el nivel de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) del cantón Daule es del 75% (Gobierno Autónomo Descentralizado Ilustre Municipalidad del cantón Daule, 2015). En la Parroquia rural Los Lojas la provisión del agua para consumo humano únicamente se distribuye en la cabecera parroquial.

Según el censo INEC 2010, en la Parroquia Los Lojas, el agua de procedencia de la red pública era de apenas 2%, muchas comunidades rurales de la parroquia se proveen del líquido vital del río, vertientes, acequia o canal (aproximadamente el 55%), a la misma, un 42% de la población le pone cloro al agua como tratamiento para ser consumida.

El presente estudio se basa en la actual problemática que aqueja a muchas zonas rurales que no poseen agua apta para el consumo. Se busca evaluar la actividad antimicrobiana de Moringa (*Moringa oleífera*) y Neem (*Azadirachta indica*) en la remoción de coliformes fecales en el agua del río Daule de la cual se abastece la comunidad La Estacada, situada a la ribera del mismo, ya que experimentos previos han demostrado que las semillas de Moringa y las hojas pulverizadas de Neem remueven en alto porcentaje la turbidez y coliformes fecales, mostrando una solución práctica, económica y de fácil accesibilidad.

1.2.2. Formulación del problema

¿Cuál es la efectividad antimicrobiana de la semilla de Moringa (*Moringa oleífera*) y hojas de Neem (*Azadirachta indica*) en la remoción de coliformes fecales del agua de abastecimiento en la Comunidad La Estacada-Daule?

1.3. Justificación

La carencia del servicio de agua potable en zonas rurales como es el caso de la comunidad La Estacada de la Parroquia Los Lojas perteneciente al Cantón Daule en la Provincia del Guayas, es una problemática que desmejora en épocas lluviosas, se incrementa la turbidez del agua del río debido a las partículas en suspensión, lo que impide en ciertas horas poder aprovechar el agua para ser consumida.

Es de conocimiento que en la Parroquia hay un déficit de servicios básicos, tan sólo un 2% de la población se provee de agua de la red pública, y que las comunidades rurales utilizan el agua del río Daule para consumo, actividades domésticas y uso agrícola, agua que no tiene un tratamiento adecuado para ser consumida lo que pone en riesgo la salud de la población.

Por ello, se busca soluciones en beneficio de estas poblaciones, actualmente existen compuestos químicos para tratar el agua como el sulfato de Aluminio que resulta costoso para estas poblaciones, además el uso de cloro en forma de pastillas pueden resultar nocivo si se dosifica inadecuadamente provocando efectos adversos en la salud humana. Al contrario de estos, se ha comprobado que la semilla de *Moringa oleífera* y las hojas de *Azadirachta indica* tienen propiedades coagulantes y bactericidas en el agua (Martín et al., 2013).

Por consiguiente, se busca evaluar la actividad antimicrobiana de extractos de especies vegetativas Moringa y Neem en el agua utilizada para consumo de la

comunidad “La Estacada”, este método es factible, amigable con el ambiente, y no compromete la salud de las personas.

1.4. Delimitación de la investigación

- Espacio: Este proyecto se realizó en la Provincia de Guayas, Cantón Daule, Parroquia Los Lojas, Comunidad “La Estacada” situada en las coordenadas 2°00'23.2"S 79°57'21.0"W, Zona 17S.
- Tiempo: Este estudio llevó un periodo de 3 meses.
- Población: Comunidad “La Estacada” con 128 habitantes (PDOT Daule,2015)

1.5. Objetivo general

Evaluar la actividad antimicrobiana de la Moringa (*Moringa oleífera*) y Neem (*Azadirachta indica*) mediante análisis de laboratorio para el agua de abastecimiento comunitaria La Estacada-Daule.

1.6. Objetivos específicos

- Caracterizar el agua del río Daule en parámetros físicos, químico y microbiológico mediante análisis de laboratorio para evaluar la calidad de agua de abastecimiento de la comunidad La Estacada.
- Evaluar la eficiencia de los tratamientos para su aplicación en la remoción de coliformes fecales en el agua de abastecimiento comunitario.
- Comparar el tratamiento más eficiente con el cumplimiento de los “Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y uso doméstico” del Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo I.
- Socializar con la comunidad “La Estacada” los beneficios de los tratamientos de origen orgánico.

1.7. Hipótesis

La aplicación de Moringa (*Moringa oleífera*) y Neem (*Azadirachta indica*) permite la remoción de coliformes fecales del agua de abastecimiento de la comunidad La Estacada-Daule.

2. Marco Teórico

2.1. Estado del arte

Alternativas ecológicas se han aplicado en el tratamiento de agua de consumo humano. Caldera et al. (2007) evaluaron la eficiencia de las semillas de *M. oleífera* como coagulante natural en la potabilización de aguas, provenientes de la planta de tratamiento, Estado Zulia-Venezuela, las concentraciones óptimas del coagulante para valores de turbidez inicial de 75 y 150 NTU a 14,9 y 8,5 NTU, fueron de 500 ppm y 400 ppm, respectivamente obteniendo porcentajes de remoción de 80,1% y 94,3%.

De forma similar, Sáenz (2015) utilizó semilla de *M. oleífera* como ayudante de reducción de turbidez en agua para consumo humano en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Caraz (Perú), demostrando la eficiencia como coagulante natural primario, redujo la turbiedad de 30 NTU a 2 NTU.

De modo que, Banchón, Baquerizo, Muñoz y Zambrano (2016) mencionan que los coagulantes naturales como la *M. oleífera* ayudan en la remediación de aguas residuales industriales o potabilización del agua, permiten la desestabilización de coloides (sólidos suspendidos) y alcanzan a remover hasta un 99% de turbidez. Otra ventaja de los biocoagulantes es la no alteración del pH y la eficiencia en la adsorción de metales pesados.

Por su parte, Hernández et al. (2016) expresan que la eficacia del extracto de la semilla de *M. oleífera* depende de los parámetros pH y temperatura del agua. Las condiciones alcalinas son más favorables que las acídicas y a mayor temperatura del agua, más efectiva es la coagulación.

Así por ejemplo, Tunggolou y Payus (2017) compararon la eficiencia de los extractos de semillas de *M. oleífera* y sulfato de aluminio en el tratamiento del agua

de pozo que se utiliza para el consumo en Malasia, los resultados del estudio revelaron la dosis óptima :15 mg/l para *M. oleífera* y 55 mg/l para Sulfato de aluminio con un 91,17% y un 78,72% de eliminación de turbidez respectivamente, este estudio reveló que *M. oleífera* como coagulante no afectó el pH de las muestras de agua a diferencia del sulfato de aluminio.

Así mismo, Moreno (2018) en su trabajo “Aplicación de semilla de *Moringa oleífera* Lam, como alternativa coagulante de agua almacenada, en el Municipio de Zirándaro-México”, se obtuvo valores iniciales para el parámetro de turbidez de 101.66 NTU, luego con el tratamiento de *M. oleífera* al 100% disminuyó a 10.60 NTU, su porcentaje de remoción total fue de 97% utilizando 2.5 ml de solución floculante.

Adicionalmente, varios investigadores verificaron también la presencia de propiedades bactericidas en las semillas de *M. oleífera*. Dasgupta, Mitra y Kumar (2016) evaluaron la actividad antimicrobiana del extracto de 10 ml de semilla de *Moringa oleífera* logró eliminar un 93,2% para *E. coli* y 96,2% *Bacillus subtilis*.

Así como Ortiz et al. (2018) diseñaron un filtro potabilizador ecológico para comunidades rurales, utilizando la *M. oleífera* que actúa como biocoagulante para la desinfección y eliminación de coliformes fecales de hasta un 100%.

De forma similar, Virk (2019) desarrolló un kit de purificación de agua utilizando semillas de *M. oleífera* para determinar la actividad antibacteriana contra bacterias patógenas *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*. El tiempo mínimo y la cantidad de semillas necesarios para la actividad antibacteriana de semillas se optimizó y se observó que una sola bolsa de inmersión que contenía 100 mg de polvo de semilla de *M. oleífera* era capaz de erradicar el 99,9% de la carga microbiana de 1 L de agua en un lapso de 5 minutos.

También se ha obtenido buenos resultados en el tratamiento de Municipios aguas residuales. Por ejemplo ,Thanh y Thi (2018) en Ha Noi- Vietnam, con el método de fraccionamiento de proteínas de las semillas de *M. oleífera* tuvieron remoción de turbidez del 95,44% a la dosis óptima de 80 mg/L y *E. coli* 99,1% en dosis de 120 mg/ L de coagulante. Del mismo modo, en Nigeria, Adelodun et al. (2020) obtuvieron una remoción máxima de turbidez, DBO₅ y DQO de 94.44%, 68.72%, y 57.61% respectivamente, usando una dosis de *M.oleífera* de 150 mg/L.

En la India, el aceite extraído de *Azadirachta indica* con etanol mostró una reducción microbiana de 99% de agua subterránea, 98% de agua de pozo, 96% de lago y 95% de agua de río a una dosis mínima de 5 ml/l a 12 horas de tiempo de tratamiento (Joshi y Sahu, 2014).

Algunas hierbas naturales como Tulsi, Neem, Amla son efectivas en la purificación del agua, Rajesh (2016) por Método de difusión (método de Kirby-Bauer) eliminó de *E. coli* en un 70.22% usando 1% concentración de extracto de Neem , la eliminación máxima se encontró a los 32 minutos.

Las hojas de *Azadirachta indica* actúan como desinfectante y acción antimicrobiana de muchos tipos de gérmenes, en la Península Arábiga, Abdullah, Salem y Hassan (2017) midieron el efecto de las hojas pulverizadas después de añadir 2 g/100 ml , se observó una disminución del pH de 8 a 5,8 y 7, lo que demostró que estas hojas deben ser agregadas en cantidades específicas y se evidenció la eficacia de las hojas de Neem pulverizadas eliminando en un 100% bacterias coliformes y *E. coli* en aguas residuales.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua cruda

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (2011) la define:

“Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas” (p.1).

2.2.2. Calidad del agua

La calidad del agua es un término dado en función del uso que se le asigna (agua potable, recreación, uso agrícola o industrial), lo que implica necesariamente la existencia de estándares de calidad específicos para los distintos usos (Organización Mundial de la Salud, 2010).

La calidad del agua de un cuerpo superficial depende de múltiples factores, directos o indirectos, unos pueden revertir los efectos de la contaminación y, por lo tanto, mejorarla. Entre los factores que reducen la calidad del agua destacan las descargas directas de aguas residuales domésticas, agropecuarias o industriales; lixiviados resultantes de la disposición inadecuada de los residuos sólidos en el suelo, indirectamente por escorrentía pueden llegar a los cuerpos de agua y los acuíferos (WHO, 2006).

2.2.3. Microbiología del agua

El potencial grupo bacteriano bioindicador de calidad del agua es el de las bacterias coliformes y enterobacterias, son bacterias anaerobias facultativas, no esporulantes, productoras de gas y fermentadoras de lactosa, las cuales generan ácidos como producto final provenientes del tracto gastrointestinal de animales y humanos capaces de sobrevivir y reproducirse en el agua. Otras bacterias consideradas como contaminantes del agua pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Gallionella*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Bordetella*, *Neisseria*, *Moraxella* y *Acinetobacter* (Ríos, Agudelo, y Gutiérrez, 2017).

2.2.4. Parámetros físicos

2.2.4.1. Olor

El olor en el agua puede utilizarse de manera subjetiva para describir cualitativamente su estado, contenido y calidad , existen ciertos aromas característicos que tipifican algunas fuentes u orígenes (Grupo de Estudio Técnico Ambiental, 2011).

2.2.4.2. Color

El color del agua se debe a la presencia de iones metálicos naturales, materia orgánica, sustancias húmicas, residuos industriales en solución, coloidales y al material suspendido. El color del agua dependerá de factores como la temperatura, el pH, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados. El agua potable debe ser incolora (Organización Mundial de Salud, 2006; Escobar , 2018).

2.2.4.3. Temperatura

La temperatura del agua tiene mucha influencia en la solubilidad de sales, la biodegradación de la materia orgánica siendo muy importante para la calidad de las aguas de un sistema fluvial (Gil, Celeidys y Montaña, 2018).

2.2.4.4. Potencial de Hidrógeno

Bartomeu Sánchez (2010) define al pH como:

Una forma conveniente de expresar el número de iones de Hidrógeno (Ácido) de una solución (p1.).

El potencial de hidrógeno es la forma más común de expresar la acidez y la alcalinidad. Las Normas internacionales para el agua potable de la Organización Mundial de Salud de 1958 sugirieron que un pH inferior a 6,5 o superior a 9,2 afectaría notablemente a la potabilidad del agua. Así también, en la primera Guía para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se estableció como valor de referencia para el pH un intervalo de 6,5 a 8,5 (OMS, 2006).

2.2.4.5. Sólidos Disueltos Totales

Es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, sólidos coloidales y disueltos en forma molecular contenida en el agua, también a la presencia de minerales, metales que dan olor, color, sabor al agua que los contiene (Jímenez, 2001; Toasa, 2012).

Los sólidos disueltos totales (SDT) son el residuo resultante de la evaporación una muestra de agua previamente filtrada a través de una fibra de vidrio con abertura de 1.5 micras. El agua se evapora y el residuo se lleva hasta 180°C. Los SDT son expresados en mg/L.

Según estándares de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU no se recomienda el agua con SDT de más de 500 mg/L para el consumo humano, ya que las altas cantidades de TDS en el agua potable pueden afectar el sabor, el olor y el color del agua (United States Environmental Protection Agency, sf).

2.2.4.6. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) del agua determina la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica, se expresa como siemens por metro S/m o micro siemens por centímetro $\mu\text{S}/\text{cm}$, a una temperatura de 25°C. La conductividad del agua se relaciona con el contenido de sales disueltas en estas muestras de agua, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica. La solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, así también, la conductividad varía con la temperatura del agua (Sánchez, 2019).

La conductividad eléctrica en el agua se debe a la ionización de sólidos inorgánicos disueltos y se convierten en una medida de STD. Es el índice básico para verificar la idoneidad del agua para fines agrícolas. Rizvi , Deeksha, y Varun, 2016 (citado por Gil, Vizcano y Montaña, 2018).

2.2.4.7. Turbidez

La turbidez es una expresión de la propiedad óptica del agua que hace que la luz se disperse o se absorba en lugar de transmitirse sin cambio de dirección a través de la muestra del agua, hace referencia a la presencia de partículas en suspensión o coloides que reducen la transparencia del agua, este parámetro es evaluado mediante el uso de un turbidímetro; se mide en unidades de turbidez nefelométrica (NTU) (Bracho y Fernandez, 2017; Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, 2018).

2.2.5. Parámetro químico

2.2.5.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) determina la cantidad de oxígeno necesaria para degradación bioquímica de compuestos orgánicos presentes en una muestra de agua. La DBO₅ es expresada como una medida de la concentración de oxígeno disuelto requerido para la oxidación bioquímica de compuestos orgánicos presentes en el agua, el método estándar de análisis es el que mide el proceso reducción de oxígeno disuelto en cinco días (Ramírez y Maldonado, 2019).

2.2.6. Indicadores microbiológicos

2.2.6.1. Coliformes fecales

Son un grupo de bacterias, comprenden el género *Escherichia* y en menor grado, especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. Son aerobias o anaerobias facultativas, capaces de fermentar la lactosa con producción de gas, dentro de las 24 horas a 44.5°C, indican un riesgo potencial para la salud pública por contaminación fecal. Las pruebas más relevantes utilizadas para la identificación del grupo Coliformes, es la hidrólisis de la lactosa. En comunidades rurales las fuentes de agua de consumo pueden verse afectadas por este indicador, debido a

un mal manejo de los sistemas sépticos y el estiércol usado como fertilizantes (OMS, 1995; Martínez et al., 2009; Jacobo, 2019).

2.2.6.2. *Escherichia coli*

Escherichia coli, es género de bacteria habitante normal del intestino humano, es un indicador de contaminación fecal de aguas. Las cepas patógenas de *E. coli* causan infecciones del tracto intestinal (generalmente agudas), siendo *E. coli* enterotoxigénica la cepa más frecuentemente asociada a diarrea en niños menores de 5 años (Apella y Araujo, 2005). La taxonomía de *E. coli* se puede ver en la Tabla 25.

2.2.6.3. *Coliformes totales*

Se le denomina coliformes totales al grupo de bacterias bacilos Gram negativos, no formadoras de esporas, capaces de fermentar la lactosa con producción de gas dentro de las 48 horas a 35°C. Son parte de la flora intestinal, aunque también se encuentran distribuidas en la naturaleza, es un indicativo de contaminación del agua (Rodríguez, Asmundis y Ayala, 2018).

2.2.7. Tratamientos de agua

En el tratamiento del agua intervienen de diferentes procesos; la complejidad de estos dependerá de las características del agua cruda, los tratamientos de aguas residuales o consumo humano se complementan con procesos físicos, químicos o biológicos (Salamanca, 2014).

Los principales procesos empleados en el tratamiento de agua para consumo humano son: desarenación, coagulación, floculación, filtración y desinfección (Sandoval y Sisa, 2020).

A continuación, se describe los principales tratamientos de agua.

2.2.7.1. *Pretratamiento*

El pretratamiento prepara el efluente removiendo sólidos, materia flotante y arena que puedan comprometer los equipos mecánicos o alterar el sistema en niveles posteriores de tratamiento (Caminati y Caqui, 2013).

2.2.7.2. Tratamiento primario

En este tratamiento se busca eliminar la mayor cantidad posible de materia suspendida (por medios físicos complementados con químicos) que no haya sido retenida en el pretratamiento. Dentro de las operaciones unitarias más utilizadas son la sedimentación, flotación, floculación y neutralización (Chavez de Allain, 2012).

2.2.7.2.1. Coagulación

Proceso de desestabilización química de las partículas coloidales, basado en la neutralización de las partículas suspendidas en el agua a través de la agregación de coagulantes químicos y orgánicos (Salazar, Rojas y Carrillo, 2016, citado por Iglesias, 2018).

2.2.7.2.2. Coagulantes químicos

Los coagulantes químicos más empleados en el tratamiento de agua residual y potable son las sales de aluminio y de hierro cal, polímeros debido a que estos son efectivos, accesibles, manipulación, aplicación (USEPA, 2002).

2.2.7.2.3. Coagulantes orgánicos

Los coagulantes naturales se extraen los compuestos bioactivos (proteínas polisacáridos, mucílagos, entre otros) de las plantas y animales, permiten la desestabilización de material coloidal sin alterar bruscamente el pH, son libres de toxicidad, producen menos cantidad de lodo residual lo que los convierte en amigables con el ambiente (Banchón et al. ,2016; Fuentes, Molina y Ariza, 2017).

2.2.7.2.4. Floculación

La floculación es el proceso seguido de la coagulación, consiste en la agitación lenta del agua con coagulante aglomerándose en flóculos y el aumento de la densidad de estos para facilitar su sedimentación.

Las sustancias floculantes permiten aglomerar los coloides en forma de red, si se realiza una agitación rápida, esta rompe las uniones y difícilmente se vuelven a formar en el tamaño óptimo (Andía, 2000, citado por Carrera e Infante, 2015).

2.2.7.3. Tratamiento secundario

En este tratamiento se pretende eliminar compuestos biológicos que no se pudieron eliminar en el tratamiento físico, se busca eliminar la contaminación orgánica disuelta mediante una sedimentación secundaria. El tratamiento secundario tiene por finalidad reducir los niveles de contaminación química (DQO) y biológica (DBO_5) a través de procesos químicos y/o biológicos. Básicamente, se convierte la materia orgánica en fangos (reactor biológico) y se decanta los sólidos en suspensión que resultan del reactor biológico (Barahona, 2019).

2.2.7.4. Tratamiento terciario

Para Chavez de Allain (2012) el tratamiento terciario busca eliminar contaminantes orgánicos no biodegradables y nutrientes minerales (fosfatos, nitritos y nitratos), algunos tratamientos terciarios son: ósmosis inversa, nitrificación e intercambiador iónico.

2.2.7.5. Desinfección

El hipoclorito de sodio es el agente oxidante más utilizado para la desinfección debido a su precio y accesibilidad, su acción bactericida se debe a la destrucción de las enzimas de los microorganismos patógenos. En dosificaciones adecuadas no es nocivo para los humanos. Sin embargo, estudios lo relacionan con cáncer de

vejiga, el cloro es un producto químico peligroso de manejar cuando está concentrado y produce un gas venenoso (López, Romano y Triana, 2005).

2.2.7.6. *Moringa (Moringa oleífera)*

Moringa oleífera es un género de arbustos y árboles perteneciente a la familia *Moringáceas*, es originario de Sur de los Himalayas, al Norte de la India, crecen hasta una altura de 5 a 12 metros, sus vainas miden de 30-120 cm de largo y se cosechan hasta dos veces al año. El árbol se desarrolla mejor en tierras bajas en condiciones semiáridas con suelos arenosos o limosos, y fácilmente tiende a adaptarse a nuevas condiciones climáticas, todos sus órganos son susceptibles de aprovechamiento (Acebo y Tumbaco, 2017).

La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura afirma que *M. oleífera* se encuentra dispersa en una gran parte del planeta: India, Etiopía, Filipinas y Sudán, y se está cultivando en África oriental, occidental y austral, Asia tropical, América Latina, el Caribe, Florida y las islas del Pacífico.

La taxonomía de *Moringa oleífera* se puede Ver en la Tabla 26.

2.2.7.6.1. Hoja *Moringa oleífera*

Las hojas de *M. oleífera* son pinnadas y están divididas en folíolos dispuestos sobre un raquis, contienen cantidades importantes de β -caroteno, vitamina C, Calcio (Ca^{2+}), Potasio (K^+) y compuestos antioxidantes naturales del tipo ácido ascórbico, flavonoides, fenólicos y carotenoides (Benitez y Gómez, 2019).

Por su parte (Castellanos y Martín, 2020) expresa que las hojas tienen cualidades nutritivas sobresalientes con un contenido de proteína del 27%, además de cantidades significativas de Hierro y Fósforo.

2.2.7.6.2. Características de las semillas de *Moringa oleífera*

Las semillas de *M. oleífera* son de forma redonda y color castaño oscuro, su tamaño varía entre 1.5 a 3 cm de diámetro, poseen una cáscara globular semipermeable con tres alas blanquecinas, las semillas individuales varían en peso entre 0.15 y 0.3 gramos. Un árbol de *Moringa oleífera* puede producir entre 15.000 y 25.000 semillas por año (Pérez et al., 2010; Adegbe , Larayetan y Omojuwa , 2016; Leone et al., 2016).

Según Adegbe, Larayetan, & Omojuwa (2016) Aproximadamente el 70 % del peso total de la semilla está representada por el endospermo. La semilla contiene 17 aminoácidos, 8 aminoácidos (aa) son apolares, 9 (aa) son polares en mayor o menor grado, esto depende de la carga que tenga el grupo radical de cada (aa).

De estos 9 (aa) ,5 son fuertemente polares: Histidina (His), Lisina (Lis) y Arginina (Arg) llamados aminoácidos catiónicos (carga positiva) y los aminoácidos aniónicos (carga negativa) el ácido Glutámico (Glu) y el ácido Aspártico (Asp), los cuales le otorgan a la proteína activa de la semilla de *Moringa* ser un polielectrolito, contribuyendo al proceso de coagulación y floculación, debido a que estos (aa) se suelen encontrar en la superficie exterior de la proteína e interactuando con partículas coloidales causantes de la turbidez del agua (Campos, 2020).

Ndabigengesere, Narasiah y Talbot (1995) llevaron a cabo el análisis elemental y porcentaje de materia orgánica de la semilla de *Moringa oleífera* , como se puede ver en la Tabla 27.

2.2.7.6.3. Mecanismo de coagulación floculación con *Moringa oleífera*

Ndabigengesere et al. (1995) estudió la eficiencia y los mecanismos de coagulación de *M. oleífera* en agua turbia. Afirmó que el componente activo era una proteína dimérica con propiedades coagulantes muy eficientes, incluso con residuo orgánico 5 veces menor que se encuentra en agua tratada con aluminio. Reveló

que las semillas sin cáscara de *M. oleífera* eran más eficientes para la coagulación y el biocoagulante tampoco alteraba el pH y la dosificación óptima para la coagulación era de 0,5 a 1 mg /L; la extracción del componente activo de la semilla de la *Moringa oleífera*.

Las semillas de *Moringa oleífera* contienen proteínas solubles en agua de carga positiva, cuando estas se agregan al agua cruda actúan como imanes y atraen partículas cargadas en su mayoría negativamente tales como arcilla, limo y otras partículas presentes en el agua. Las proteínas catiónicas de Moringa colisionan y neutralizan las partículas en una estructura de red dando lugar a la formación de flóculos (Ver en la Figura 15 y la Figura 16) , los cuales se pueden eliminar dejándolos sedimentar y luego filtrar el agua tratada (Adedayo et al., 2019).

2.2.7.6.4. Principio activo antimicrobiano de *Moringa oleífera*

Estudios bacteriológicos demostraron la actividad antimicrobiana de los extractos de semillas de *M. oleífera*, los cuales flocculan bacterias Gram positivas y Gram negativas. El principal ingrediente responsable de dicha actividad es el 4-(4'-O-acetil- α -L-ramnopiranosiloxi)-isotiocionato de bencilo, el cual tiene acción bactericida sobre varias especies microbiológicas patógenas (Mahamadou, 2014).

En una investigación realizada en Kenya se demostró la actividad antimicrobiana de extractos de semillas de *M. oleífera* sobre las bacterias *Salmonella typhii*, *Vibrio cholerae* y *Escherichia coli*, causantes de la fiebre tifoidea, el cólera y la gastroenteritis, respectivamente (Mahamadou, 2014)

Las semillas sin cáscara contienen alrededor del 8-10% de 4 (u-L-ramnosiloxi) isotiocianato de bencilo, pero esta cantidad se produce a partir de *M. oleífera* únicamente cuando se agrega ácido ascórbico durante el agua extracción (Eilert, Wolters y Nahrstedt, 1981).

La fusión de membranas entre las membranas externa e interna es el mecanismo dominante de acción bactericida de MOCP (Proteína Catiónica de Moringa Oleífera). La funcionalidad del MOCP como agente antimicrobiano se debe a dos características estructurales clave.

Primero, contiene una red carga positiva que facilita la interacción inicial con membranas microbianas. Tener una alta densidad de lípidos aniónicos es un rasgo característico de las membranas bacterianas, entonces MOCP y otros antimicrobianos catiónicos los péptidos se dirigen generalmente a las membranas bacterianas.

MOCP también tiene un motivo anfifílico de hélice-bucle-hélice que permite su incorporación a las membranas bacterianas. Debido a estos atributos, MOCP es capaz de eliminar selectivamente a muchos microbios, incluidos los patógenos transmitidos por el agua que son potencialmente perjudicial para la salud humana (Shebek et al., 2015).

2.2.7.7. *Neem (Azadirachta indica)*

Es un árbol de la familia Meliaceae, es un árbol de hoja perenne que se encuentra en la mayoría países tropicales. Es una especie originaria de India y Birmania, creciendo en regiones tropicales y semitropicales. Se desarrolla en climas sub-húmedos y semiáridos, se adapta a temperaturas de muy bajas hasta 1°C y soporta temperaturas altas de 49°C, durante miles de años, debido a las propiedades beneficiosas sobre la salud humana el Neem ha sido reconocido en la tradición India (Mohammad, 2012).

La taxonomía de Neem (*Azadirachta indica*) se puede visualizar en la Tabla 28 y el contenido de aminoácidos de (*Azadirachta indica*) en la Tabla 29

2.2.7.7.1. Hoja de Neem (*Azadirachta indica*)

Las hojas de *Azadirachta indica* son de color verde claro, miden de 20-40 cm de largo, presenta entre 8 a 19 foliolos, lanceolados, serrados, con ápice acuminado. Es de hoja perenne, pero bajo severa sequía puede arrojar la mayor parte o casi todas sus hojas. Posee propiedades bactericidas, antiinflamatorias, antivirales, antipiréticas, insecticidas y fungicidas, se ha demostrado una cierta actividad antimicrobiana de extractos de Neem sobre diferentes microorganismos como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y bacteriófagos (López et al., 2007; Mohammad, 2012).

2.2.7.7.2. Principio activo antimicrobiano de *Azadirachta indica*

El principal agente activo es el Tetranortriterpeno conocido como azadiractina cuya fórmula química es (C₃₃H₄₄O₁₆). También contiene limonoides como nimbina, nimbolina y melantriol compuestos que tienen actividad biocida contra microorganismos e insectos patógenos (Vega, 2016).

Azadirachta indica tiene actividad antimicrobiana a través del efecto inhibitorio sobre el crecimiento microbiano al alterar la integridad de la membrana celular bacteriana (Sarah et al., 2019).

Los principales componentes activos del Neem se detallan en la Tabla 30.

2.3. Base legal

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador

TÍTULO II

DERECHOS Capítulo primero

Principios de aplicación de los derechos

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida (p.13).

Art. 32.- La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir (p.17).

Art. 264.- Los Gobiernos Municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determinen la ley: numeral 4.- “Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (p.86).

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos: numeral 4.- Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural (p.89).

Sección sexta. Agua

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua (p.123).

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico (p.123).

2.3.2. Código Orgánico del Ambiente

CAPÍTULO II DE LAS FACULTADES AMBIENTALES DE LOS GOBIERNOS AUTÓNOMOS DESCENTRALIZADOS

Art. 26.- Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales las siguientes facultades, que ejercerán en las áreas rurales de su respectiva circunscripción territorial, en concordancia con las políticas y normas emitidas por la Autoridad Ambiental Nacional:

8. Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido (p.18).

Art. 27.- Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales en materia ambiental. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales el ejercicio de las siguientes facultades, en concordancia con las políticas y normas emitidas por los Gobiernos Autónomos Provinciales y la Autoridad Ambiental Nacional: 10. Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido (p.19).

Art. 30.- Objetivos del Estado. Los objetivos del Estado relativos a la biodiversidad son:

7. Adoptar un enfoque integral y sistémico que considere los aspectos sociales, económicos, y ambientales para la conservación y el uso sostenible de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos, en coordinación con la Autoridad Única del Agua (p.20).

CAPÍTULO V

CALIDAD DE LOS COMPONENTES ABIÓTICOS Y ESTADO DE LOS COMPONENTES BIÓTICOS

Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción (p.55).

Art. 196.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades competentes en la materia (p. 55).

2.3.3. Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y

Descentralización (COOTAD)

Capítulo IV

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural

Sección Primera

Art. 63.- Naturaleza jurídica.- Los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales son personas jurídicas de derecho público, con autonomía política, administrativa y financiera. Estarán integrados por los órganos previstos en este Código para el ejercicio de las competencias que les corresponden. La sede del gobierno autónomo descentralizado parroquial rural será la cabecera

parroquial prevista en la ordenanza cantonal de creación de la parroquia rural (p.34).

Art. 65.- Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado parroquial rural. - Los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales ejercerán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de otras que se determinen:

- a) Planificar junto con otras instituciones del sector público y actores de la sociedad el desarrollo parroquial y su correspondiente ordenamiento territorial, en coordinación con el gobierno cantonal y provincial en el marco de la interculturalidad y plurinacionalidad y el respeto a la diversidad;
- b) Planificar, construir y mantener la infraestructura física, los equipamientos y los espacios públicos de la parroquia, contenidos en los planes de desarrollo e incluidos en los presupuestos participativos anuales;
- c) Planificar y mantener, en coordinación con los gobiernos provinciales, la vialidad parroquial rural;
- d) Incentivar el desarrollo de actividades productivas comunitarias la preservación de la biodiversidad y la protección del ambiente;
- e) Gestionar, coordinar y administrar los servicios públicos que le sean delegados o descentralizados por otros niveles de gobierno;
- f) Promover la organización de los ciudadanos de las comunas, recintos y demás asentamientos rurales con el carácter de organizaciones territoriales de base;
- g) Gestionar la cooperación internacional para el cumplimiento de sus competencias; y,
- h) Vigilar la ejecución de obras y la calidad de los servicios públicos (p.35).

2.3.4. Ley de Aguas, Codificación.

Art. 1.- Las disposiciones de la presente Ley regulan el aprovechamiento de las aguas marítimas, superficiales, subterráneas y atmosféricas del territorio nacional, en todos sus estados físicos y formas (p.1).

Art. 13.- Para el aprovechamiento de los recursos hidrológicos, corresponde a la Secretaria Nacional Del Agua:

- a) Planificar su mejor utilización y desarrollo;
- b) Realizar evaluaciones e inventarios;
- c) Delimitar las zonas de protección;
- d) Declarar estados de emergencia y arbitrar medidas necesarias para proteger las aguas;
- e) Propender a la protección y desarrollo de las cuencas hidrográficas (p.2).

Art. 36.- Preferencias para las concesiones.- Las concesiones del derecho de

aprovechamiento de aguas se efectuarán de acuerdo al siguiente orden de preferencia:

- a. Para el abastecimiento de poblaciones, para necesidades domésticas y abrevadero de animales;
- b. Para agricultura y ganadería;
- c. Para usos energéticos, industriales y mineros; y,
- d. Para otros usos (p.5).

Art. 39.- Las concesiones de agua para consumo humano, usos domésticos y saneamientos de poblaciones, se otorgarán a los Municipios, Consejos Provinciales, Organismos de Derecho Público o Privado y particulares, de acuerdo a las disposiciones de esta Ley (p.5).

Art. 55.- Las personas obligadas a la utilización de aguas pagarán la tarifa respectiva, la utilicen o no, debiendo tomarse en cuenta para establecer dicha tarifa, la amortización del capital invertido en el canal y obras complementarias, los gastos de operación y mantenimiento y el tiempo necesario de utilización, en las proporciones y condiciones que serán regulados en el reglamento, que, elaborado por el Consejo Secretaría Nacional Del Agua, deberá ser expedido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (p.7).

2.3.5. Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del

Agua 2014

TITULO III

DERECHOS, GARANTIAS Y OBLIGACIONES CAPITULO I

DERECHO HUMANO AL AGUA

Art. 57.- Definición. El derecho humano al agua es el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura. Forma parte de este derecho el acceso al saneamiento ambiental que asegure la dignidad humana, la salud, evite la contaminación y garantice la calidad de las reservas de agua para consumo humano. El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. Ninguna persona puede ser privada y excluida o despojada de este derecho. El ejercicio del derecho humano al agua será sustentable, de manera que pueda ser ejercido por las futuras generaciones. La Autoridad Única del Agua definirá reservas de agua de calidad para el consumo humano de las presentes y futuras generaciones y será responsable de la ejecución de las políticas relacionadas con la efectividad del derecho humano al agua (p.10).

Art. 58.- Exigibilidad del derecho humano al agua. Las personas, comunidades, pueblos, nacionalidades, colectivos y comunas podrán exigir a las autoridades correspondientes el cumplimiento y observancia del derecho humano al agua, las mismas que atenderán de manera prioritaria y progresiva sus pedidos. Las autoridades que incumplan con el ejercicio de este derecho estarán sujetas a sanción de acuerdo con la ley (p.10).

2.3.6. Acuerdo ministerial N° 61. Reforma Texto Unificado Legislación

Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI

CAPÍTULO VIII

CALIDAD DE LOS COMPONENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS

SECCIÓN I

DISPOSICIONES GENERALES

SECCIÓN III

CALIDAD DE COMPONENTES ABIÓTICOS

Art. 208 Componentes abióticos. - Entiéndase a los componentes sin vida que conforman un espacio físico que pueden ser alterados de su estado natural por actividades antrópicas, siendo entre otros: el agua, el suelo, los sedimentos, el aire, los factores climáticos, así como los fenómenos físicos (p.75).

Art. 209 De la calidad del agua. - Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. La evaluación y control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores; dichos lineamientos se encuentran detallados en el Anexo I.

En cualquier caso, la Autoridad Ambiental Competente, podrá disponer al Sujeto de Control responsable de las descargas y vertidos, que realice muestreos de sus descargas, así como del cuerpo de agua receptor.

Toda actividad antrópica deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición físico-química y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componentes, conllevará las sanciones que correspondan a cada caso (p.76).

2.3.7. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176:2013

AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO

5. INSPECCIÓN

5.1 Muestreo

5.1.1 Características del equipo de muestreo

5.1.1.1 Se debe consultar la NTE INEN 2169 Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras para el muestreo en situaciones específicas; los lineamientos dados aquí ayudan en la selección de materiales de aplicación general. Los constituyentes químicos (determinantes) en el agua, que son analizados para evaluar la calidad del agua, en un rango de concentración desde nanogramos o trazas hasta grandes cantidades. Los problemas que con mayor frecuencia se presentan son la adsorción en las paredes del equipo para toma de muestra o en los recipientes, la contaminación anterior al muestreo causada por un inadecuado lavado del equipo para toma de muestra o de los recipientes y la contaminación de la muestra por el material del que está hecho el equipo para toma de muestra o el recipiente (p.4).

a) El recipiente tiene que proteger la composición de la muestra de pérdidas debidas a adsorción y volatilización, o de la contaminación por sustancias extrañas. El recipiente usado para recoger y guardar la muestra se debe elegir luego de considerar, por ejemplo: su resistencia a temperaturas extremas, resistencia a la rotura, facilidad para cerrar y reabrir, tamaño, forma, peso, disponibilidad, costo, facilidad para el lavado y la reutilización (p.4).

b) Se deben tomar precauciones cuando las muestras se conservan por congelación, especialmente si se usan recipientes de vidrio. Se recomienda el uso de recipientes de polietileno de alta densidad para la determinación en el agua de: silicio, sodio, alcalinidad total, cloruro, conductancia específica, pH y dureza. Para los elementos sensibles a la luz, se debe usar vidrio absorbente de luz. El acero inoxidable se debe usar para muestras con temperaturas y/o presiones altas, o cuando se muestree para concentraciones de trazas de material orgánico.

c) Los recipientes de vidrio son recomendados para la determinación de compuestos químicos orgánicos y de especies biológicas, y los recipientes plásticos para la determinación de radionucléidos. Es importante anotar que el equipo de muestreo disponible tiene muchas veces relleno de neopreno y válvulas lubricadas con aceite. Este material no es adecuado para recolectar muestras que sean usadas para el análisis orgánico y microbiológico (p.4).

d) Aparte de estas características físicas deseables, descritas anteriormente, los recipientes usados para recolectar y guardar las muestras, se deben seleccionar tomando en cuenta los siguientes criterios predominantes (especialmente cuando los constituyentes a ser analizados están presentes como trazas):

d.1) Reducir la contaminación en la muestra de agua causada por el material del que está hecho el recipiente y la tapa, por ejemplo: la migración de los constituyentes inorgánicos del vidrio (especialmente del vidrio suave), de los compuestos orgánicos de los materiales plásticos y de los elastómeros (de las tapas de vinilo plastificado, y de las envolturas de neopreno) (p.5).

d.2) Facilidad para limpiar y tratar las paredes de los recipientes, a fin de reducir la superficie de contaminación por trazas de metales pesados o radionucléidos (p.5).

d.3) El material del cual están hechos los recipientes debe ser inerte química y biológicamente, para prevenir o reducir la reacción entre los constituyentes de la muestra y el recipiente (p.5).

5.1.1.2 Líneas de muestreo

a) Las líneas de muestreo son generalmente usadas en muestreos automáticos para proporcionar muestras a los analizadores continuos o monitores. Durante el tiempo de permanencia, la muestra puede considerarse como almacenada en un recipiente acoplado a la línea de muestreo. Por eso, las guías para la selección del material de los recipientes se aplican también a las líneas de muestreo (p.5).

5.1.2 Tipos de recipiente para muestras

5.1.2.1 Recipientes normales

a) Son adecuadas las botellas de polietileno y las de vidrio de borosilicato para la toma de muestras en las que se realizará el análisis de los parámetros físicos y químicos de las aguas naturales. Otros materiales químicamente más inertes, por ejemplo: politetrafluoroetileno (PTFE), son preferidos pero su uso no está muy extendido en los análisis de rutina. La tapa de tornillo, en las botellas de boca angosta y ancha se debe acoplar con tapas y tapones de plástico inerte o tapones de vidrio esmerilado (propenso a trabarse con las soluciones alcalinas). Si las muestras son transportadas en caja al laboratorio para los análisis, la tapa de la caja debe ser construida para prevenir el aflojamiento de los tapones, lo que puede producir derramamientos y/o contaminación de la muestra (p.5).

5.1.2.2 Recipientes especiales

a) A las consideraciones ya mencionadas se suma el almacenamiento de muestras que contienen materiales foto sensitivos, incluidas las algas, que requieren ser protegidas de la exposición a la luz. En estos casos, se recomiendan los recipientes de materiales opacos o de vidrio no actínico, y deben ser colocados en cajas a prueba de luz durante el almacenamiento por largos períodos. La recolección y el análisis de las muestras que contengan gases disueltos o constituyentes que puedan alterarse por aireación plantea un problema específico. Las botellas de boca angosta para análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) deben tener tapones de vidrio esmerilado para minimizar la inclusión de aire, y se requiere de un sellante especial durante el transporte (p.5).

5.1.2.3 Recipientes para el análisis de contaminantes orgánicos, en trazas

a) Las botellas para muestras en las que se analizarán contaminantes orgánicos en trazas, deben ser de vidrio, debido a que los recipientes plásticos interfieren con la alta sensibilidad del análisis. La tapa debe ser de vidrio o de politetrafluoroetileno (PTFE) (p.6).

5.1.2.4 Recipientes para el análisis microbiológico

b) Los recipientes deben ser de vidrio o de plástico de la mejor calidad y estar libres de sustancias tóxicas. Para análisis de rutina es suficiente que tengan una capacidad de 300 cm³. Los recipientes se deben tapar con tapas de vidrio esmerilado o tapas de tornillo, y si es necesario con bandas elásticas de silicona, que resistan esterilizaciones repetidas a 160°C (p. 6).

3. Materiales y métodos

3.1. Enfoque de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de carácter bibliográfica, de campo y laboratorio, la cual se realizó con el fin de evaluar la eficiencia de extractos de la semilla de Moringa y hojas de Neem en el tratamiento de agua de abastecimiento comunitario.

- **Bibliográfica:** Para la realización de este proyecto investigativo se recopiló información a través de varias fuentes: artículos científicos, revistas científicas, libros online, tesis de grado, los cuales se analizaron y se obtuvieron bases teóricas, metodologías y procedimientos técnicos en relación al tema de estudio.
- **De campo:** Previamente a la experimentación, se acudió al lugar de estudio para realizar la recolección de muestras del agua, donde a través de la observación y el diálogo con la comunidad se obtuvo un precedente de la calidad de agua con la que se abastece la comunidad.
- **Experimental:** En el laboratorio se procedió a evaluar la eficiencia de los extractos de la semilla de Moringa y Neem (tratamientos) para remover coliformes fecales en el agua de consumo de la comunidad.

3.1.2. Diseño de investigación

La presente investigación es de carácter experimental, ya que se caracterizó física, química y microbiológicamente el agua de abastecimiento de la comunidad “La Estacada” en el cantón Daule de la provincia del Guayas, también se determinó la dosificación óptima de los extractos de la semilla de *Moringa oleífera* y hojas de *Azadirachta indica* para la depuración de agua de abastecimiento comunitario.

3.2. Metodología

3.2.1. Variables

3.2.1.1. Variable independiente

- Dosificaciones de Moringa (*Moringa oleífera*) y de Neem (*Azadirachta indica*)

3.2.1.2. Variable dependiente

- pH
- Turbidez (UNT)
- Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Sólidos Disueltos Totales -SDT (mg/l)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno -DBO₅ (mg/l)
- Coliformes fecales (UFC/100 ml)

3.2.2. Tratamientos

Los tratamientos evaluados en este estudio son 9, básicamente se agrupan en Moringa, Neem y la combinación de ambos.

Tabla 1. Tratamientos para evaluar la actividad antimicrobiana en el agua de abastecimiento comunitario.

| Tratamiento | Concentración (g/L) |
|---------------------|-----------------------|
| T0 Testigo absoluto | Sin aplicación alguna |
| T1 Moringa | 0.1 |
| T2 Moringa | 0.4 |
| T3 Moringa | 4.0 |
| T4 Neem | 0.2 |
| T5 Neem | 0.5 |
| T6 Neem | 2.0 |
| T7 Moringa +Neem | 0.1+ 0.5 |
| T8 Moringa +Neem | 0.1+ 1.0 |
| T9 Moringa)+Neem | 0.1+ 2.0 |

Párraga, 2021

3.2.3. Diseño experimental

Para el presente estudio se planteó un diseño completamente al azar con 9 tratamientos y 5 repeticiones, se trabajó con un alfa de 5% de significancia.

3.2.4. Recolección de datos

Se llevó a cabo la recolección de muestras del agua de la ribera del río Daule, el punto de muestreo correspondió al sitio donde un gran grupo de habitantes de la Comunidad La Estacada toman el agua para su consumo, se recolectaron muestras de agua de 1L por cada parámetro (físico, químico y microbiológico) para su respectivo análisis y posterior tratamiento con *Moringa oleífera* y *Azadirachta indica*.

3.2.4.1. Recursos

En la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4 se detallan los equipos, materiales y sustancias de laboratorio y de campo que se utilizaron en el presente estudio experimental.

Tabla 2. Recursos materiales empleados para el presente proyecto

Recursos materiales

- Computador
- Impresora Epson EcoTank L3150
- Resma de hojas
- Pendrive

Párraga, 2021

Tabla 3. Equipos de laboratorio empleados para el presente proyecto

| Equipos de Laboratorio | Modelo | Capacidad |
|------------------------------|----------------------|-------------|
| Turbidímetro | Hach (2100P) | 0 -1000 NTU |
| Medidor multiparámetro | Hach (HQ40D) | pH: 2-14 |
| Medidor TSD | GlowGeek (YL-TDS2-A) | 0-9999 ppm |
| Balanza analítica | Sartorius | 60-250 g |
| Incubadora | POL EKO APARATURA | 5°C -100°C |
| Contador de colonias digital | POL EKO (LKB2002) | |

Párraga, 2021

Tabla 4. Materiales de laboratorio y de campo

| Cantidad | Descripción |
|------------------------------|--|
| • 1 docena | • Guantes látex (vinilo) |
| • 1 docena | • Mascarillas KN95 |
| • 1 unidad | • Espátula |
| • 1 unidad | • Mortero y mazo |
| • 1 unidad | • Tamiz N°10 (2 mm) |
| • 3 unidades | • Vidrio reloj 75 mm |
| • 3 unidades | • Pipeta 10 ml. |
| • 1 unidad | • Probeta 100 ml. |
| • 9 unidades | • Vasos precipitados 1000 ml. |
| • 1 unidad | • Varilla de vidrio de 0,6 x 40 cm |
| • 25 ml. | • Solución buffer pH 4.0, 7.0 y 10.0 |
| • 1 unidad | • Piseta |
| • 1 galón | • Agua destilada |
| • 250 gramos | • Semillas de Moringa |
| • 100 gramos | • Hojas de Neem |
| • 1 unidad | • Frasco de vidrio borosilicato 1L. |
| • 6 unidades | • Envase de plástico PET ámbar 1L. |
| • 4 unidades | • Envases estériles PET 100 ml. |
| • 2 cajas (25 unidades/caja) | • Placas Petrifilm 3M coliformes fecales |

Párraga, 2021

3.2.4.2. Métodos y técnicas

Muestreo

Recipientes para el muestreo

Se utilizó una botella de plástico polietileno tereftalato (PTFE) ámbar de 1 litro de capacidad para la recolección de la muestra de agua.

Llenado del recipiente

Para fines de análisis de parámetros físicos y químicos, la muestra se recolectó llenando completamente el envase, de tal forma que no exista aire sobre la muestra. La muestra recolectada para análisis microbiológico no se llenó completamente de modo que se deje un espacio de aire.

Los recipientes se identificaron con la fecha, hora de muestreo y tipo de análisis a realizarse y se refrigeraron las muestras inmediatamente en una caja térmica a una temperatura de 4°C.

Transporte

Durante la transportación, las muestras se protegieron de la luz en la caja térmica. Al arribo al laboratorio, se analizaron las muestras, se conservó bajo condiciones evitando cualquier contaminación externa y cambios en su contenido.

- **Caracterización física, química y microbiológica del agua de abastecimiento comunitario**

Medición de pH

- Se empezó con la calibración del equipo siguiendo las instrucciones del fabricante para el medidor de pH y para el almacenamiento y preparación de los electrodos para su uso.
- Se conectó la sonda al medidor. Se aseguró de que la tuerca de retención del cable estuviese conectada correctamente al medidor. Se encendió el medidor y se calibró el equipo.
- Se preparó las soluciones buffer (solución tampón pH 4.0, 7.0 y 10.0) frescas en matraces.
- Se enjuagó la sonda con agua destilada y secar con una toalla de papel.
- Se colocó la sonda en la solución buffer de pH y se agitó ligeramente.
- Se pulsó medición, y se repitió los pasos de enjuague con agua destilada y de medición para recoger el número mínimo de puntos de calibración especificados en la calibración.
- Se pulsó Done (TERMINADO) Y STORE (GUARDAR) la calibración.

Procedimiento de medición

- Se conectó la sonda al medidor y se encendió el medidor
- Se acondicionó la sonda en la muestra
- Se enjuagó la sonda con agua destilada y secó con toalla de papel

- Se colocó la sonda en la muestra, se agitó suavemente asegurándose de sumergir el manguito de unión en la muestra.
- Se leyó y registró la medición

Medición de Sólidos disueltos totales

- Se aseguró que las baterías hayan estado cargadas y el equipo haya sido calibrado.
- Se encendió con el botón ON/OFF y se cambió las unidades de medición con el botón SHIFT.
- Luego, en una probeta se midió un volumen de 100 ml de la muestra de agua y se vertió en un vaso de precipitación
- Se retiró la protección del electrodo.
- Seguidamente, se sumergió el electrodo en la muestra, hasta el nivel indicado, asegurando que el equipo permanezca recto, sin tocar el fondo o las paredes del vaso.
- Se movió ligeramente la muestra para homogenizar y sacar burbujas de aire, y se esperó 2 minutos aproximadamente para que el equipo realice la medición.
- Se presionó la tecla HOLD para guardar la medida registrar en la libreta de laboratorio.
- Luego, se enjuagó el electrodo con agua destilada y se secó delicadamente y cubrió el electrodo.
- Al finalizar las mediciones se apagó el equipo con el botón ON/OFF y desconectó.

Medición de Conductividad eléctrica

- Se aseguró que las baterías estén cargadas y el equipo haya sido calibrado.

- Luego, se encendió con el botón ON/OFF y se cambió las unidades de medición con el botón SHIFT, presionando de manera constante hasta encontrar “ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ”
- Se procedió a retirar la protección del electrodo.
- Luego, en una probeta se midió un volumen de 100 ml de la muestra de agua y se vertió en un vaso de precipitación.
- Seguidamente se sumergió el electrodo en la muestra, hasta el nivel indicado, asegurando que el equipo permanezca recto, sin tocar el fondo o las paredes del vaso.
- Se agitó ligeramente la muestra para homogenizar y sacar burbujas de aire y se esperó 2 minutos aproximadamente para que el equipo realice la medición.
- Se presionó la tecla HOLD para guardar la medida y registró en la libreta de laboratorio.
- Luego, se enjuagó el electrodo con agua destilada y se secó delicadamente y cubrió el electrodo.
- Al finalizar las mediciones se apagó el equipo con el botón ON/OFF y desconectó.

Medición de la Turbidez

- Para la medición de Turbidez las muestras debieron estar a temperatura ambiente.
- Se tomó en cuenta que el equipo esté conectado, calibrado y cargado.
- Se agitó las muestras en sus recipientes.
- En una celda perfectamente limpia, se adicionó la muestra hasta donde indica la misma y tapó, agitó y desechó su contenido. Se repitió la operación.

- Luego, se adicionó cuidadosamente la muestra en la celda de tal manera que no forme burbujas sujetando la celda por la parte superior, evitando el contacto con la parte inferior ya que hubiese interferido en la medición.
- Se tapó la celda, y limpió de tal manera que no quede suciedad, en sus paredes externas.
- Luego, se colocó la celda con muestra en el portacelda, asegurándose que la celda entrara hasta el fondo de la porta celda ,ver Figura 21.
- Se alineó la celda y se esperó respuesta después de 6 segundos.
- Se registró el dato en la libreta o registro de mediciones en laboratorio.
- Por último, se retiró la celda, se desechó la muestra, y se enjuagó 3 veces con agua destilada y se secó con toalla de papel.

Determinación de DBO₅

En la recolección de la muestra de agua para la Demanda Bioquímica de Oxígeno se usó envase de vidrio ámbar. Se conservó la muestra a una temperatura de 0°C a 4°C desde el momento de la recolección.

Las muestras se llevaron a un laboratorio acreditado por el SAE para su respectivo análisis (Ver Figura 28).

Determinación de coliformes fecales

La presencia de coliformes fecales se determinó a través de placas para Recuento de Coliformes Petrifilm 3M. La conservación de las placas fue a temperatura ambiente antes de abrirlas. Una vez abiertas y luego de ser utilizadas, las bolsas se cerraron y conservaron a $\leq 25^{\circ}\text{C}$. No se requirió ajuste de pH ya que la muestra de agua tenía un pH >5 .

Inoculación:

- Se colocó la placa Petrifilm en una superficie plana, se levantó el film superior. Con una pipeta colocada de forma perpendicular a la placa Petrifilm, se colocó 1 ml de la muestra en el centro del film inferior.
- Se bajó el film superior con cuidado evitando introducir burbujas de aire, sin dejarlo caer.
- Con la cara lisa hacia abajo, se colocó el aplicador en el film superior sobre el inóculo. Con cuidado, se ejerció presión sobre el aplicador para repartir el inóculo sobre el área circular antes de que se forme el gel. No se recomienda girar ni deslizar el aplicador, se esperó al menos un minuto a que solidifique el gel (Ver Figura 21).

Incubación:

Se incubó las placas caras arriba en pilas de hasta 20 placas. El tiempo de incubación fue según el Método validado AFNOR 3M 01/2-09/89C: 24h +/- 2h a 44°C +/- 1°C.

Interpretación:

Se realizó la lectura según la aprobación AFNOR para coliformes fecales (certificado número 3M 01/2-09/89C: se contó todas las colonias rojas con burbujas de gas luego de transcurridas las 24 horas , como se puede ver en la Figura 22.

Extracción del material pulverizado de *Moringa oleífera*

Para la extracción del componente activo de la especie *M. oleífera* se utilizó la metodología propuesta por (Okuda et al, 2001).

Selección de la materia prima: Se recolectaron semillas de *M. oleífera* de vainas secas, seleccionando que estén libres de plagas, se quitaron las semillas de las vainas y posteriormente fueron descascaradas manualmente.

Secado: Se dejó secar al ambiente por 48 horas previamente a su extracción.

Trituración: Se trituró la semilla con ayuda de un mortero de madera y un mazo de piedra, a fin de reducir su tamaño.

Molienda: Las semillas trituradas pasaron a molerse en molino manual hasta obtener un polvo fino.

Tamizado: El material pulverizado pasó a través de un tamiz Norma ASTM E11 N°10 con el fin de obtener partículas de 2mm de tamaño.

Almacenamiento: El material resultante del tamiz se almacenó en un recipiente estéril para su posterior empleo , ver Figura 17.

Extracción del material pulverizado de la hoja de Neem (*Azadirachta indica*)

Selección de la materia prima: Se recolectaron hojas de Neem (*Azadirachta indica*) sanas y libres de deformaciones,

Secado: Se dejó secar al ambiente por 48 horas previamente a su extracción.

Trituración: Las hojas secas de Neem se rompieron en pequeños trozos manualmente y luego se trituraron en polvo con un mortero de madera y mazo de piedra.

Tamizado: El material pulverizado pasó a través de un tamiz N° 10 con el fin de obtener partículas de 2mm de tamaño (Ver Figura 18).

Almacenamiento: El material resultante del tamiz se almacenó en un recipiente estéril y en un lugar libre de humedad para su posterior empleo.

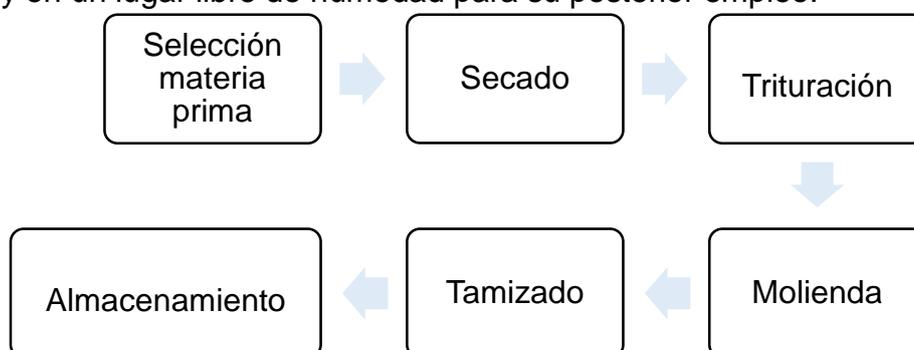


Figura 1. Procedimiento para extracción de material pulverizado de Moringa y Neem en laboratorio

Párraga,2021

Aplicación de los tratamientos

Tratamientos con Moringa

Tratamiento 1

En un vidrio reloj y con ayuda de la balanza analítica, se pesó 0.1g de material pulverizado de Moringa, se midió en una probeta 1000 ml de muestra de agua, luego se añadieron en un vaso precipitado de 1000 ml. Se identificó el tratamiento (T1, M 0.1%).

Tratamiento 2

En un vidrio reloj y con ayuda de la balanza analítica, se pesó 0.4 g de material pulverizado de Moringa, se midió en una probeta 1000 ml de muestra de agua, luego se añadió en un vaso precipitado de 1000 ml. Se identificó el tratamiento (T2, M 0.4%).

Tratamiento 3

En un vidrio reloj y con ayuda de la balanza analítica, se pesó 4.0 g de material pulverizado de Moringa, se midió en una probeta 1000 ml de muestra de agua, luego se añadieron en un vaso precipitado de 1000 ml. Se identificó el tratamiento (T3, M 4.0%).

Tratamientos con Neem

Tratamiento 4

En un vidrio reloj y con ayuda de la balanza analítica, se pesó 0.2g de material pulverizado de Neem, se midió en una probeta 1000 ml de muestra de agua, luego se añadieron en un vaso precipitado de 1000 ml. Se identificó el tratamiento (T4, N 0.2%).

Tratamiento 5

En un vidrio reloj y con ayuda de la balanza analítica, se pesó 0.5 g de material pulverizado de Neem, se midió en una probeta 1000 ml de muestra de agua, luego se añadieron en un vaso precipitado de 1000 ml. Se identificó el tratamiento (T5, N 0.5%).

Tratamiento 6

En un vidrio reloj y con ayuda de la balanza analítica, se pesó 2.0 g de material pulverizado de Neem, se midió en una probeta 1000 ml de muestra de agua, luego se añadieron en un vaso precipitado de 1000 ml. Se identificó el tratamiento (T6, N 2.0%).

Tratamientos con Moringa y Neem

Tratamientos 7

En un vidrio reloj y con ayuda de la balanza analítica, se pesó 0.1 g de material pulverizado de Moringa y 0.5 g de material pulverizado de Neem, se midió en una probeta 1000 ml de muestra de agua, luego se añadieron en un vaso precipitado de 1000ml. Se identificó el tratamiento (T7, M 0.1+N 0.5%).

Tratamiento 8

En un vidrio reloj y con ayuda de la balanza analítica, se pesó 0.1 g de material pulverizado de Moringa y 1 g de material pulverizado de Neem, se midió en una probeta 1000 ml de muestra de agua, luego se añadieron en un vaso precipitado de 1000 ml. Se identificó el tratamiento (T8, M 0.1+N 1%).

Tratamiento 9

En un vidrio reloj y con ayuda de la balanza analítica, se pesó 0.1 g de material pulverizado de Moringa y 2.0 g de material pulverizado de Neem, se midió en una probeta 1000 ml de muestra de agua, luego se añadieron en un vaso precipitado de 1000 ml. Se identificó el tratamiento (T9, M 0.1 +N 2.0%).

Luego, cada uno de los tratamientos se realizó de forma manual una agitación rápida por 20 segundos, una luego agitación lenta por 5 minutos y se dejó sedimentar por 30 minutos, ver Figura 20. Por último, para la determinación de Coliformes fecales se inoculó 1 ml de muestras tratadas en las placas petrifilm, se incubó a 44°C y se interpretaron los resultados pasada las 24 horas.

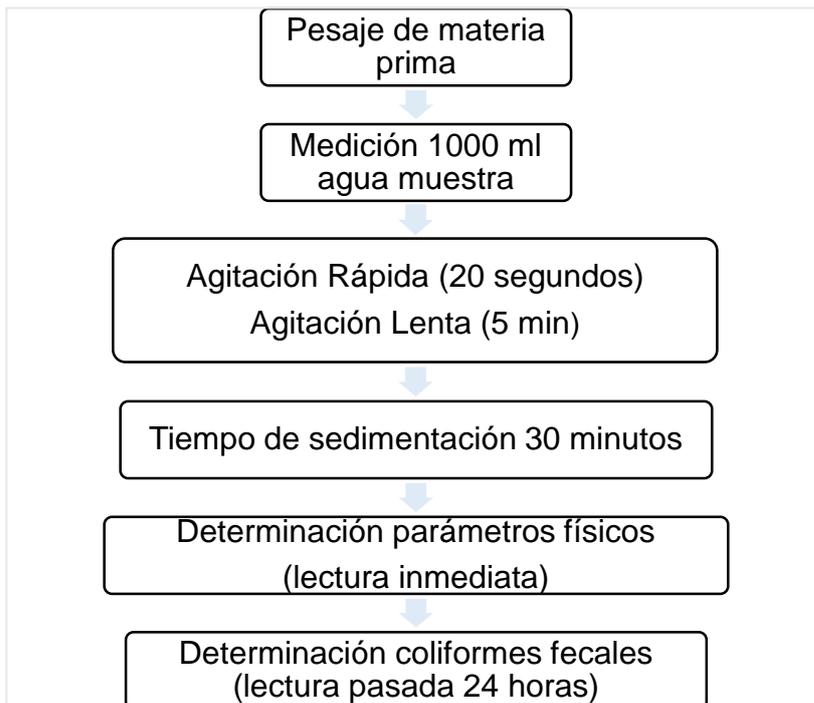


Figura 2. Procedimiento de aplicación de los tratamientos de Moringa y Neem Párraga, 2021

- **Eficiencia de los tratamientos**

Se realizó la estimación de la eficiencia de los tratamientos propuestos utilizando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0} * 100$$

Donde:

C₀ = Es la concentración inicial de pH, SDT, Conductividad, Turbidez, DBO5 y Coliformes fecales.

C = Es la concentración final de pH, SDT, Conductividad, Turbidez, DBO5 y Coliformes fecales.

3.2.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos en el presente estudio se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar alguna variabilidad significativa entre los tratamientos propuestos. El esquema de análisis de varianza ANOVA a implementar se detalla en la Tabla 5.

Las hipótesis que se establecen en el presente estudio son las siguientes:

Hipótesis nula (H_0): Ninguno de los tratamientos remueve coliformes fecales: $H_0: T_1 \dots T_9 = 0$

Hipótesis alternativa (H_1): Al menos uno de los tratamientos remueve coliformes fecales: $H_1: T_1 \dots T_9 \neq 0$

Tabla 5. Esquema de análisis de varianza ANOVA

| Fuente de variación | Fórmula | Desarrollo | Grados de libertad |
|----------------------------|----------------|-------------------|---------------------------|
| Tratamiento | (T-1) | (10-1) | 9 |
| Error | (N-T) | (50-10) | 40 |
| Total | (N-1) | (50-1) | 49 |

Párraga, 2021

4. Resultados

4.1. Caracterización de la calidad de agua de abastecimiento

Para la recolección de las muestras, se acudió a la comunidad y se ubicó el punto de muestreo en el que los habitantes en su mayoría se abastecen del agua del río Daule. Se realizó un muestreo simple, para luego caracterizar y obtener los datos de la calidad agua presente en la zona de estudio.

Para la caracterización del agua de abastecimiento se tomó en consideración las especificaciones establecidas según la Norma Técnica 2176:2013 Técnicas de Muestreo y la INEN 2169:2013 Muestreo, Manejo y Conservación de Muestras para cada tipo de análisis, para lo cual se utilizó 6 envases de plástico PET ámbar de 1L, los cuales se usaron para recolectar las muestras de agua superficial a una profundidad de 20 cm aproximadamente, luego, se las etiquetó con el nombre de lugar de muestreo, fecha y hora ; por último las muestras fueron colocadas en un cooler de espuma flex.

Una vez obtenidas las muestras se procedió a trasladarlas al laboratorio de suelos, plantas y agua de la Universidad Agraria del Ecuador y se determinaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua. Los procedimientos para la determinación de cada parámetro se encuentran en el apartado: métodos y técnicas.

Los valores obtenidos de las mediciones efectuadas se registraron en una libreta de laboratorio y posteriormente en una hoja de Excel diseñada para el presente proyecto. A continuación, se detallan los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológico obtenidos en el punto de muestreo obteniendo 5 mediciones iniciales.

Tabla 6. Caracterización inicial del agua río Daule-La Estacada

| Réplicas | pH | Turbidez (NTU) | Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | Coliformes Fecales (UFC/100 ml) |
|----------|------|----------------|---|----------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 7,26 | 26,00 | 97 | 47 | 53 |
| 2 | 7,35 | 10,50 | 155 | 73 | 54 |
| 3 | 7,03 | 39,00 | 121 | 58 | 65 |
| 4 | 7,31 | 29,00 | 118 | 57 | 61 |
| 5 | 7,20 | 18,00 | 107 | 49 | 56 |
| Promedio | 7,23 | 24,50 | 119,6 | 56,8 | 58 |

Párraga, 2021

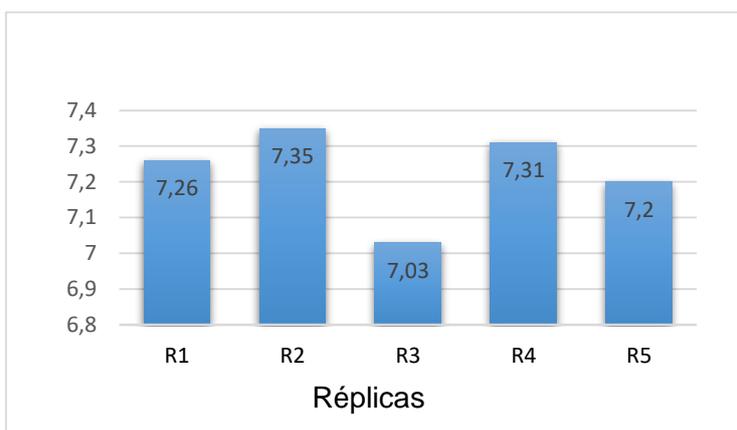


Figura 3. Diagrama de barras: Caracterización inicial parámetro pH Párraga, 2021

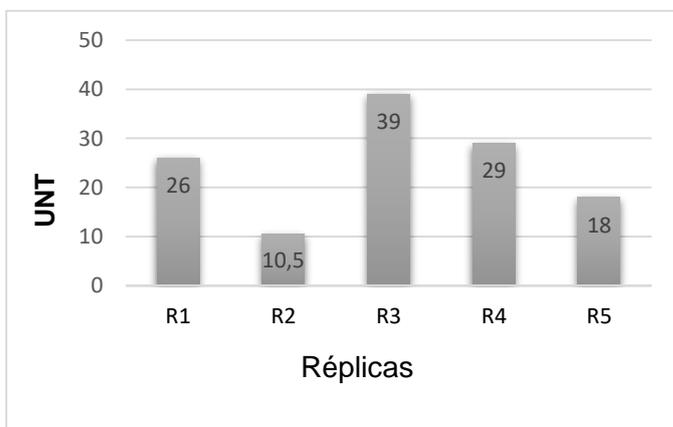


Figura 4. Diagrama de barras: Caracterización inicial parámetro Turbidez Párraga, 2021

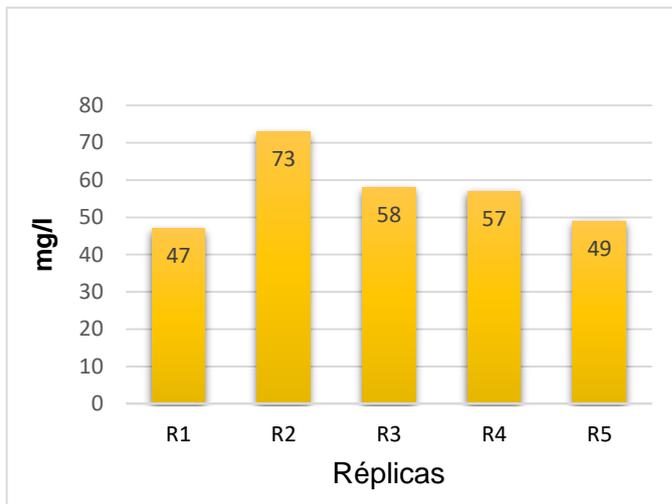


Figura 5. Diagrama de barras: Caracterización inicial parámetro sólidos disueltos Párraga, 2021

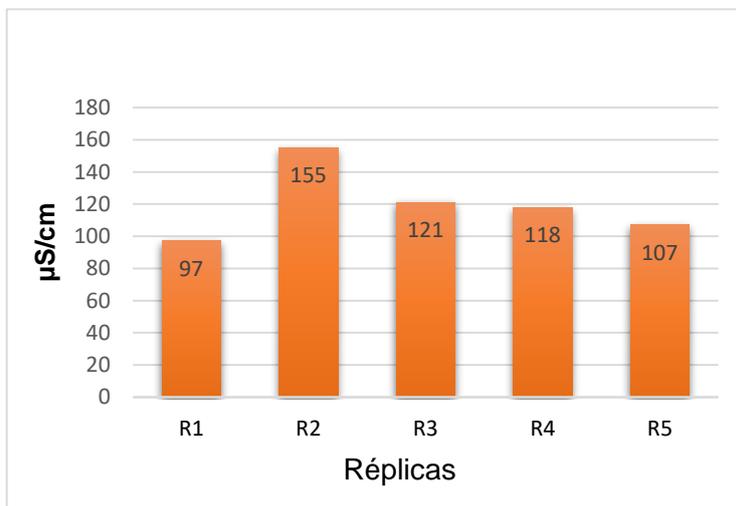


Figura 6. Diagrama de barras: Caracterización inicial parámetro conductividad eléctrica Párraga, 2021

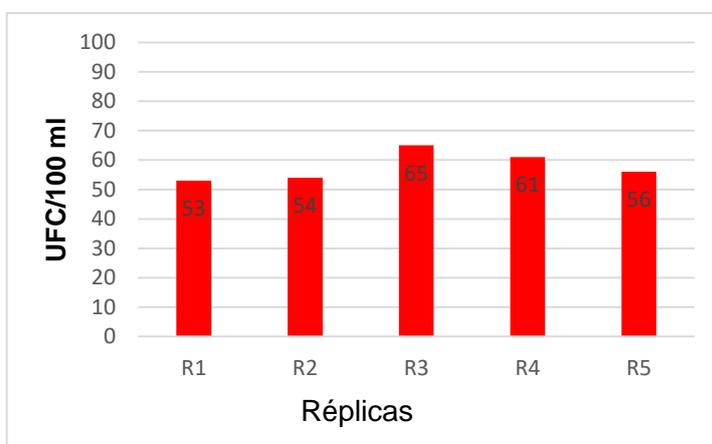


Figura 7. Diagrama de barras: Caracterización inicial parámetro coliformes fecales Párraga, 2021

La caracterización inicial del agua mostró para el parámetro pH un mínimo de 7,03 y un máximo de 7,35 con un promedio de 7,23 es decir un pH neutro; para el parámetro turbidez un mínimo de 10,5 UNT y un máximo de 39 UNT y de promedio 24,50 UNT. Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) alcanzaron un promedio de 56,8 mg/l y la conductividad eléctrica 119,6 μ S/cm. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) fue 382,47 mg/l según el resultado proporcionado por el Laboratorio.

El indicador microbiológico coliformes fecales tuvo un promedio de 58 UFC/100 ml. La caracterización inicial del agua en función de los parámetros analizados se encontró dentro de los límites máximos permisibles según los Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y uso doméstico (Tabla 1) del Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1.

4.2. Evaluación de la eficiencia de los tratamientos para su aplicación en la remoción de coliformes fecales en el agua de abastecimiento comunitario

Para cada grupo de Tratamiento: Moringa (T1, T2, T3); Neem (T4, T5, T6) y Moringa + Neem (T7, T8, T9) se utilizó una muestra inicial distinta tomadas al azar, las cuales corresponden a las 3 primeras muestras iniciales como se puede ver en la Tabla 6.

Tratamiento 1

En la Tabla 7 se muestran los resultados del Tratamiento 1, en este ensayo se obtuvo una ligera disminución del pH, así también, un valor final de 7,60 UNT removiendo el 70,77% la turbidez del agua con respecto al valor inicial; con este tratamiento no existió reducción de coliformes fecales.

Tabla 7. Resultados Tratamiento 1

| Parámetro | Valor inicial | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | \bar{x} |
|---|---------------|------|------|------|------|------|-----------|
| pH | 7,26 | 7,25 | 7,23 | 7,24 | 7,24 | 7,26 | 7,24 |
| Turbidez (UNT) | 26,00 | 7,61 | 7,58 | 7,60 | 7,61 | 7,59 | 7,60 |
| Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 97 | 93 | 93 | 93 | 93 | 93 | 93 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | 47 | 46 | 44 | 44 | 45 | 46 | 45 |
| Coliformes fecales (UFC/100ml) | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |

Párraga, 2021

Tratamiento 2

Con la aplicación del tratamiento 2, se observó una disminución de la turbidez de 26 a 8,50 UNT logrando un 67,31% de remoción, a su vez, incrementaron ligeramente los sólidos disueltos totales; el pH y la conductividad eléctrica no variaron. Con respecto a los coliformes fecales hubo una reducción de 22,64%.

Tabla 8. Resultados Tratamiento 2

| Parámetro | Valor inicial | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | \bar{x} |
|---|---------------|------|------|------|------|------|-----------|
| pH | 7,26 | 7,22 | 7,19 | 7,25 | 7,21 | 7,20 | 7,21 |
| Turbidez (UNT) | 26,00 | 8,50 | 8,70 | 8,45 | 8,30 | 8,55 | 8,50 |
| Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 97,00 | 97 | 98 | 96 | 96 | 98 | 97 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | 47 | 52 | 48 | 51 | 53 | 51 | 51 |
| Coliformes fecales (UFC/100ml) | 53 | 41 | 44 | 40 | 43 | 37 | 41 |

Párraga, 2021

Tratamiento 3

En este ensayo se observó que al aumentar la concentración de Moringa oleífera después del rango de trabajo (0.1- 0.4 g/L) se generó un efecto adverso al buscado, pues la turbidez superó el valor inicial de 26 UNT hasta 38,8 UNT.

De forma similar, los valores de sólidos disueltos totales y de conductividad eléctrica aumentaron en un 86 y 89 % respectivamente.

El tratamiento 3 logró una mayor remoción de coliformes fecales con respecto a los Tratamientos (T1 y T2) alcanzando una remoción de 89,43%.

Tabla 9.Resultados Tratamiento 3

| Parámetro | Valor inicial | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | ̄ |
|----------------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| pH | 7,26 | 7,2 | 7,26 | 7,22 | 7,24 | 7,19 | 7,22 |
| Turbidez (UNT) | 26,00 | 38,8 | 39 | 37,5 | 37,9 | 36,8 | 38 |
| Conductividad eléctrica (μS/cm) | 97 | 182 | 178 | 180 | 181 | 179 | 180 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | 47 | 87 | 90 | 89 | 91 | 88 | 89 |
| Coliformes fecales (UFC/100ml) | 53 | 10 | 9 | 0 | 0 | 0 | 5,6 |

Párraga,2021

Tratamiento 4

En este tratamiento se obtuvo una reducción de Turbidez, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales logrando una remoción de 14.95%, 24.52% y 23.29% respectivamente.

De forma similar, se obtuvo una ligera disminución de coliformes fecales con un 16,67%.

Tabla 10.Resultados Tratamiento 4

| Parámetro | Valor inicial | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | ̄ |
|----------------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| pH | 7,35 | 7,04 | 7,02 | 7,02 | 7,01 | 7,02 | 7,02 |
| Turbidez (UNT) | 10,50 | 8,92 | 8,93 | 8,93 | 8,92 | 8,93 | 8,93 |
| Conductividad eléctrica (μS/cm) | 155 | 117 | 118 | 119 | 115 | 116 | 117 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | 73 | 55 | 58 | 55 | 56 | 56 | 56 |
| Coliformes fecales (UFC/100ml) | 54 | 46 | 44 | 45 | 41 | 48 | 44,8 |

Párraga,2021

Tratamiento 5

Se evidencia una ligera disminución de pH de 7,35 a 7,02 con una remoción de 4.49%, no existió un cambio brusco de pH debido a que la concentración empleada no fue muy alta para causar dicho cambio.

Los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica presentaron una ligera remoción de 8,22% y 8,39% respectivamente.

Tabla 11.Resultados Tratamiento 5

| Parámetro | Valor inicial | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | ̄x |
|---------------------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|
| pH | 7,35 | 7,03 | 7,02 | 7,01 | 7,02 | 7,02 | 7,02 |
| Turbidez (UNT) | 10,50 | 8,91 | 8,93 | 8,94 | 8,92 | 8,95 | 8,93 |
| Conductividad eléctrica (μ S/cm) | 155 | 143 | 139 | 142 | 141 | 145 | 142 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | 73 | 67 | 68 | 65 | 69 | 66 | 67 |
| Coliformes fecales (UFC/100ml) | 54 | 10 | 11 | 13 | 11 | 10 | 11 |

Párraga, 2021

Tratamiento 6

En este ensayo dentro de los tratamientos de Neem se evidenció mayor remoción de turbidez de 16,95%; en cuanto a los sólidos disueltos totales y conductividad se incrementó en alrededor del 60% para ambos. La remoción de coliformes fecales alcanzó el 97,03% (ver Figura 24).

Además, con la aplicación de este tratamiento se obtuvo una reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) de 382,47 mg/L a 87,64 mg/L representado por una remoción de 77,09%.

Tabla 12.Resultados Tratamiento 6

| Parámetro | Valor inicial | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | ̄x |
|---------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| pH | 7,35 | 7,03 | 7,02 | 7,01 | 7,01 | 7,03 | 7,02 |
| Turbidez (UNT) | 10,50 | 8,65 | 8,85 | 8,63 | 8,73 | 8,72 | 8,72 |
| Conductividad eléctrica (μ S/cm) | 155 | 249 | 255 | 253 | 250 | 247 | 250,8 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | 73 | 117 | 115 | 118 | 116 | 119 | 117 |
| Coliformes fecales (UFC/100ml) | 54 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1,6 |

Párraga,2021

Tratamiento 7, 8 y 9

Los tratamientos T7, T8, T9 se emplearon combinando la concentración 0.1g/L de Moringa más las concentraciones 0,2; 0,5 y 1,0 g/L de Neem respectivamente.

En todos los ensayos se observó una disminución del pH de 7,03 a 6,98 UNT; la turbidez también decreció de 39 UNT a 29 UNT con el tratamiento (T7), a 27 UNT con el tratamiento (T8) y a 28 UNT con el tratamiento (T9). En los tratamientos (T7, T8 y T9) se observó una escasa remoción de coliformes fecales.

Los sólidos disueltos totales y la conductividad tuvieron un gran aumento a medida que aumentaron las concentraciones de Neem.

Tabla 13.Resultados Tratamiento 7

| Parámetro | Valor inicial | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | ̄x |
|---------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| pH | 7,03 | 7,01 | 6,99 | 6,98 | 6,98 | 6,96 | 6,98 |
| Turbidez (UNT) | 39 | 28 | 30 | 30 | 29 | 28 | 29 |
| Conductividad eléctrica (μ S/cm) | 121 | 205 | 200 | 189 | 201 | 203 | 199,6 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | 58 | 93 | 95 | 92 | 96 | 94 | 94 |
| Coliformes fecales (UFC/100ml) | 65 | 47 | 45 | 59 | 54 | 46 | 51,6 |

Párraga,2021

Tabla 14. Resultados Tratamiento 8

| Parámetro | Valor inicial | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | \bar{x} |
|--|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|
| pH | 7,03 | 6,98 | 6,99 | 7,01 | 6,96 | 6,98 | 6,98 |
| Turbidez (UNT) | 39 | 29 | 28 | 26 | 27 | 25 | 27 |
| Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) | 121 | 298 | 301 | 306 | 300 | 297 | 300,4 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | 58 | 144 | 146 | 145 | 147 | 143 | 145 |
| Coliformes fecales (UFC/100ml) | 65 | 48 | 50 | 55 | 53 | 48 | 50,8 |

Párraga, 2021

Tabla 15. Resultados Tratamiento 9

| Parámetro | Valor inicial | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | \bar{x} |
|--|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|
| pH | 7,03 | 7,01 | 6,98 | 6,99 | 6,97 | 6,97 | 6,98 |
| Turbidez (UNT) | 39 | 28 | 29 | 28 | 28 | 27 | 28 |
| Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) | 121 | 398 | 401 | 403 | 400 | 400 | 400,4 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | 58 | 200 | 201 | 200 | 200 | 199 | 200 |
| Coliformes fecales (UFC/100ml) | 65 | 43 | 48 | 51 | 47 | 50 | 47,8 |

Párraga, 2021

Tabla 16. Media del resultado experimental de los Tratamientos

| Parámetros | Media del resultado experimental de cada Tratamiento | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Valor inicial | T1 | T2 | T3 | Valor inicial | T4 | T5 | T6 | Valor inicial | T7 | T8 | T9 |
| pH | 7,26 | 7,24 | 7,21 | 7,22 | 7,35 | 7,02 | 7,02 | 7,02 | 7,03 | 6,98 | 6,98 | 6,98 |
| Turbidez (UNT) | 26 | 7,60 | 8,50 | 38 | 10,5 | 8,93 | 8,93 | 8,72 | 39 | 29 | 27 | 28 |
| Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) | 97 | 93 | 97 | 180 | 155 | 117 | 142 | 250,8 | 121 | 199,63 | 300,4 | 400,4 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | 47 | 45 | 51 | 89 | 73 | 56 | 67 | 117 | 58 | 94 | 145 | 200 |
| Coliformes fecales (UFC/100ml) | 53 | 53 | 41 | 5,6 | 54 | 44,8 | 11 | 1,6 | 65 | 51,6 | 50,8 | 47,8 |

Párraga, 2021

En la Tabla 17 se puede observar la relación entre el agua cruda y el agua resultante de cada uno de los tratamientos, con la aplicación del tratamiento 1 se obtuvo una relación significativa de 3,42 en el parámetro turbidez y con el tratamiento 6 una relación de 33,75 para coliformes fecales.

Tabla 17. Relación agua cruda/agua tratada

| Parámetros | Relación agua cruda/agua tratada | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 |
| pH | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,05 | 1,05 | 1,05 | 1,01 | 1,01 | 1,01 |
| Turbidez(UNT) | 3,42 | 3,06 | 0,68 | 1,18 | 1,18 | 1,20 | 1,34 | 1,44 | 1,39 |
| Conductividad eléctrica (µS/cm) | 1,04 | 1,00 | 0,54 | 1,32 | 1,09 | 0,62 | 0,61 | 0,40 | 0,30 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/l) | 1,04 | 0,92 | 0,53 | 1,30 | 1,09 | 0,62 | 0,62 | 0,40 | 0,29 |
| Coliformes fecales (UFC/100 ml) | 1,00 | 1,29 | 9,46 | 1,21 | 4,91 | 33,75 | 1,26 | 1,28 | 1,36 |

Párraga,2021

Análisis de Varianza

Se aplicó el Diseño Completamente al Azar, se aplicaron nueve tratamientos con cinco repeticiones cada uno, con la finalidad de conocer cuál era el más eficiente en la remoción de coliformes fecales.

Análisis de Varianza para pH

El análisis de varianza para el potencial de hidrógeno demuestra que al menos un tratamiento afecta en el pH de las muestras de agua en estudio.

En efecto, el Test de Tukey demuestra que los tratamientos 7, 8 y 9 producen mayor variación pH 6,98 seguido de los tratamientos 4, 5 y 6 con pH de 7,02.

Tabla 18. Incidencia de los tratamientos aplicados en el pH

| Tratamiento | Medias | |
|-------------|--------|---|
| T7 | 6,98 | A |
| T8 | 6,98 | A |
| T9 | 6,98 | A |
| T5 | 7,02 | A |
| T6 | 7,02 | A |
| T4 | 7,02 | A |
| T2 | 7,21 | B |
| T3 | 7,22 | B |
| T0 | 7,23 | B |
| T1 | 7,24 | B |
| E.E | 0,02 | |
| CV | 0,60 | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)
Párraga,2021

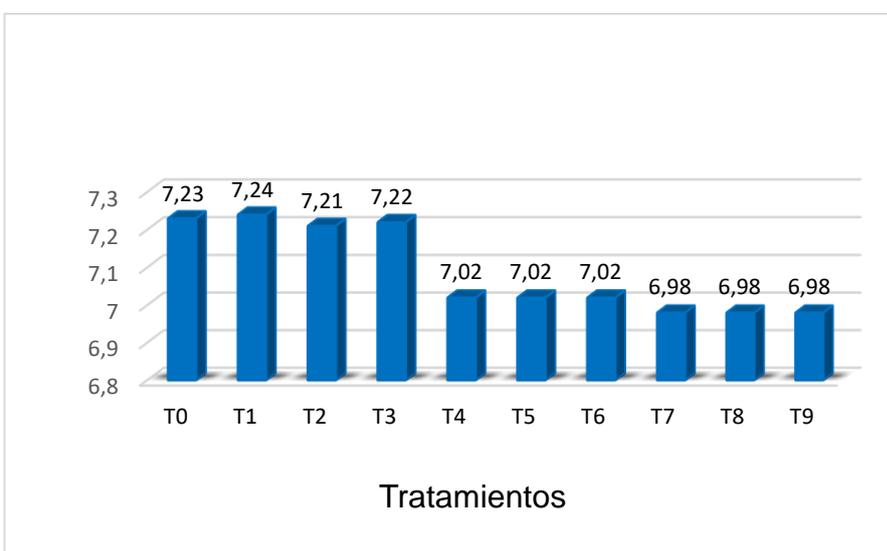


Figura 8. Media obtenida para pH
Párraga,2021

Análisis de Varianza para Turbidez

El análisis de varianza indica que al menos un tratamiento remueve la turbidez y el Test de Tukey demuestra que el tratamiento 1 produce mayor remoción con una media de 7,60 UNT seguido de los tratamientos T2 (8,50 UNT), T6 (8,72 UNT), T4 y T5 (8,93 UNT). De forma contraria el tratamiento 3 generó un aumento significativo de 38 UNT.

Tabla 19. Incidencia de los tratamientos aplicados en la Turbidez

| Tratamiento | Medias(UNT) | |
|-------------|-------------|---|
| T1 | 7,60 | A |
| T2 | 8,50 | A |
| T6 | 8,72 | A |
| T4 | 8,93 | A |
| T5 | 8,93 | A |
| T0 | 24,50 | B |
| T8 | 27,00 | B |
| T9 | 28,00 | B |
| T7 | 29,00 | B |
| T3 | 38,00 | C |
| E.E | 1,57 | |
| C.V | 18,51 | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)
Párraga,2021

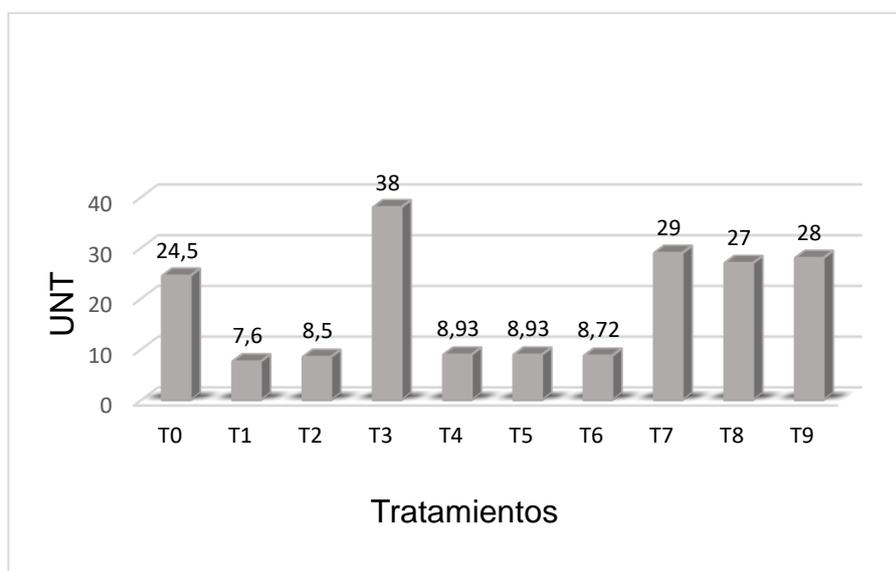


Figura 9. Media obtenida para Turbidez
Párraga,2021

Análisis de Varianza para Sólidos Disueltos Totales

El análisis de varianza para SDT indica que al menos un tratamiento produce cambios en las muestras de agua en estudio. El Test de Tukey demuestra que la media de los tratamientos 1 y 2 es menor (45 y 51 mg/l) con respecto al valor inicial (47 mg/l) produciendo una remoción de SDT; los demás tratamientos aumentan la media, sobre todo, el tratamiento 8 (145 mg/l) y tratamiento 9 (200 mg/l).

Tabla 20. Incidencia de los tratamientos aplicados en los Sólidos Disueltos Totales

| Tratamiento | Medias(mg/l) | | | | | | | | |
|-------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|--|
| T1 | 45,00 | A | | | | | | | |
| T2 | 51,00 | A | B | | | | | | |
| T4 | 56,00 | | B | | | | | | |
| T0 | 56,80 | | B | | | | | | |
| T5 | 67,00 | | | C | | | | | |
| T3 | 89,00 | | | | D | | | | |
| T7 | 94,00 | | | | D | | | | |
| T6 | 117,00 | | | | | E | | | |
| T8 | 145,00 | | | | | | F | | |
| T9 | 200,00 | | | | | | | G | |
| E.E | 1,58 | | | | | | | | |
| C.V | 3,83 | | | | | | | | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)
Párraga, 2021

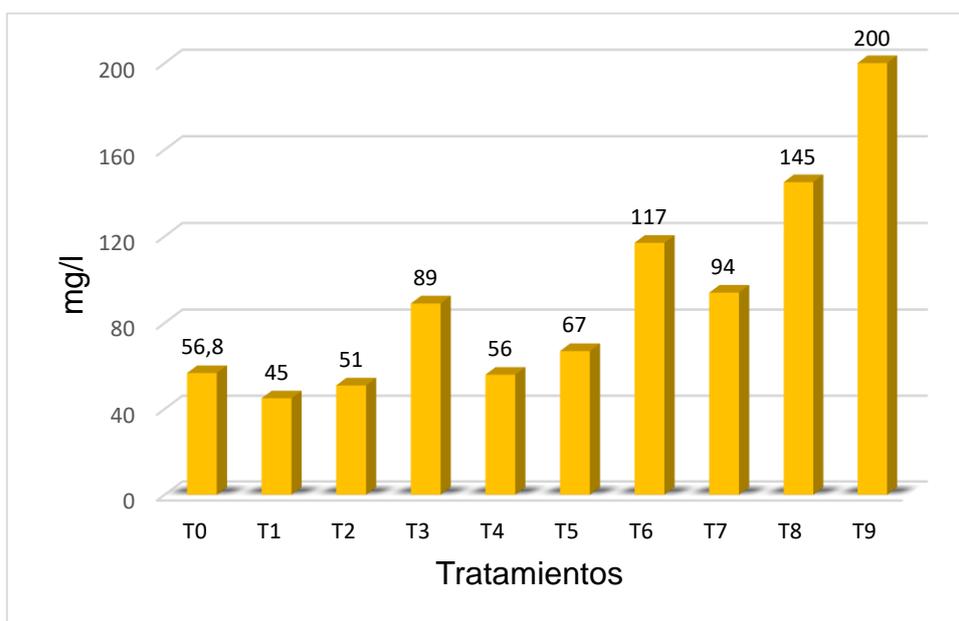


Figura 10. Media obtenida para Sólidos Disueltos Totales

Párraga, 2021

Análisis de Varianza para Conductividad eléctrica

El análisis de varianza para conductividad eléctrica indica que al menos un tratamiento influye en la conductividad eléctrica de las muestras de agua en estudio. El Test de Tukey demuestra que los tratamientos 1 y 2 (93 y 97 $\mu\text{S}/\text{cm}$) producen una variación menor con respecto al valor inicial 97 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir los demás tratamientos aumentan la media para conductividad eléctrica, con mayor media los

tratamientos 8 (300,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y 9 (400,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$), observándose que a mayor cantidad de sólidos disueltos totales mayor será la conductividad eléctrica.

Tabla 21. Incidencia de los tratamientos aplicados en la Conductividad eléctrica

| Tratamiento | Medias($\mu\text{S}/\text{cm}$) | |
|-------------|-----------------------------------|---|
| T1 | 93,00 | A |
| T2 | 97,00 | A |
| T4 | 117,00 | B |
| T0 | 119,60 | B |
| T5 | 142,00 | C |
| T3 | 180,00 | D |
| T7 | 199,60 | E |
| T6 | 250,80 | F |
| T8 | 300,40 | G |
| T9 | 400,40 | H |
| E.E | 3,34 | |
| C.V | 3,93 | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)
Párraga,2021

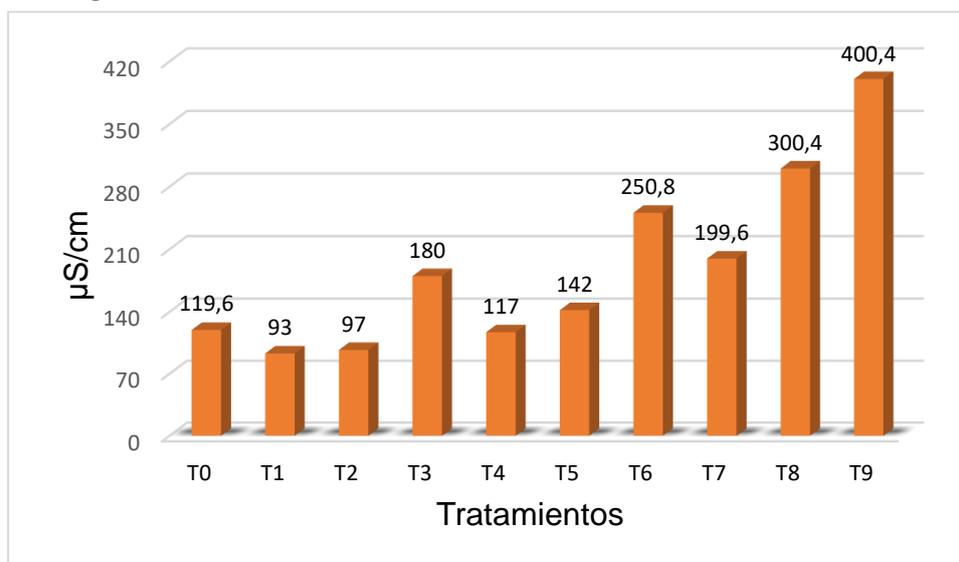


Figura 11. Media obtenida para Conductividad eléctrica
Párraga,2021

Análisis de Varianza para coliformes fecales

En la Figura 26 se muestran los resultados obtenidos al aplicar ANOVA (prueba F) con relación a coliformes fecales presentó un valor p menor al nivel de significancia de 0.05.

Por lo tanto, se rechaza la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis alternativa es decir al menos un tratamiento remueve coliformes fecales. Según los resultados del

Test de Tukey aplicado para la variable coliformes fecales indica que el mejor tratamiento fue T6 aplicando Neem en concentración de 2g/l (ver Figura 8).

Tabla 22. Incidencia de los tratamientos aplicados en los coliformes fecales

| Tratamiento | Medias(UFC/100ml) | | | | | | |
|-------------|-------------------|---|---|---|---|---|---|
| T6 | 1,60 | A | | | | | |
| T3 | 5,60 | A | B | | | | |
| T5 | 11,00 | | B | | | | |
| T2 | 41,00 | | | C | | | |
| T4 | 44,80 | | | C | D | | |
| T9 | 47,80 | | | C | D | E | |
| T8 | 50,80 | | | | D | E | F |
| T7 | 51,60 | | | | D | E | F |
| T1 | 53,00 | | | | | E | F |
| T0 | 57,80 | | | | | | F |
| E.E | 1,55 | | | | | | |
| C.V | 9,52 | | | | | | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

Párraga,2021

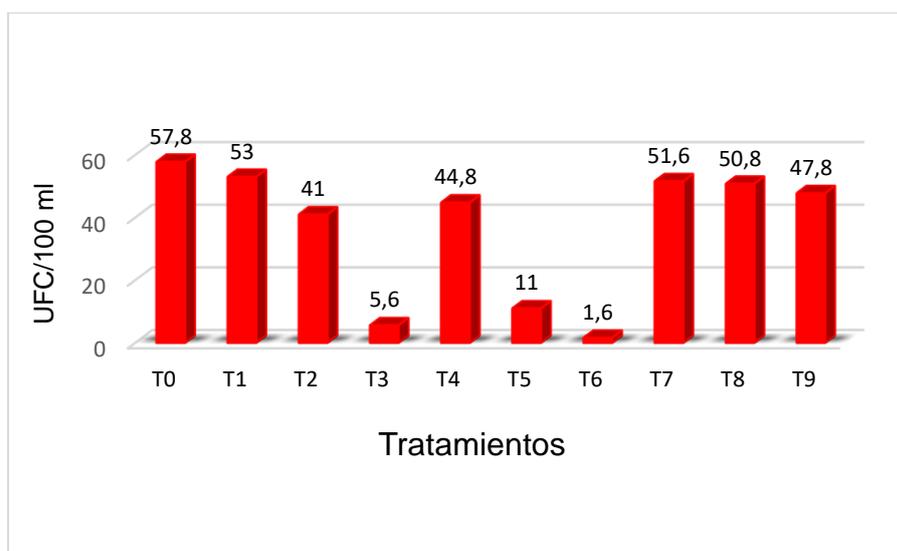


Figura 12. Media obtenida para coliformes fecales

Párraga,2021

Eficiencia de los Tratamientos

Se realizó la estimación de la eficiencia de los mejores resultados obtenidos, la ecuación utilizada para obtener el porcentaje de eficiencia se puede visualizar en el apartado Métodos y Técnicas.

Tabla 23. Eficiencia de los mejores tratamientos

| Parámetros | Porcentaje de remoción (%) | | | |
|---|----------------------------|-------|-------|-------|
| | T1 | T3 | T5 | T6 |
| Turbidez (UNT) | 70,77 | - | 14,95 | 16,95 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l) | NA | NA | NA | 77,09 |
| Coliformes fecales (UFC /100 ml) | 0 | 89,43 | 79,63 | 97,03 |

Nota: El signo (-) significa que existió un incremento en el parámetro correspondiente.

En la Tabla 22 se muestran los resultados del cálculo de la eficiencia de los tratamientos de esta manera se da a conocer la remoción de los contaminantes con respecto a los parámetros analizados, con respecto al tratamiento 1 tuvo una remoción de la turbidez del 70,77%. En el tratamiento 3 se obtuvo una remoción de coliformes fecales del 89,43%. En el tratamiento 5 se logró una remoción de turbidez de 14,95% y coliformes fecales de 79,63%. Y con el tratamiento 6 se obtuvo una remoción para la Turbidez 16,95%, DBO₅ de 77,09% y para coliformes fecales del 97,03%.

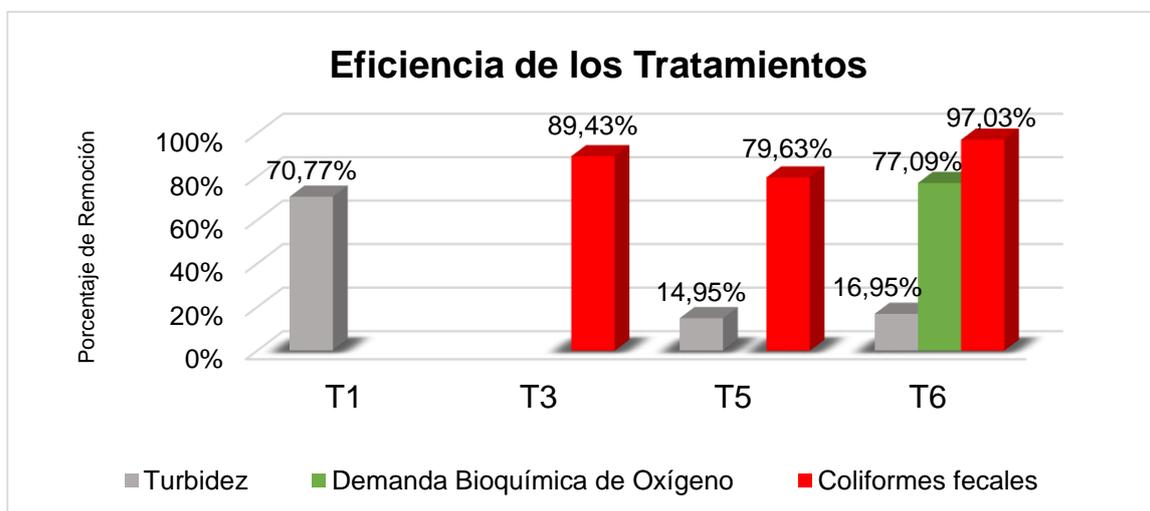


Figura 13. Diagrama de barras: Eficiencia de los mejores resultados obtenidos Párraga,2021

4.3. Comparación del tratamiento más eficiente con el cumplimiento de calidad de fuentes de agua para consumo humano y uso doméstico del Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo I

Tabla 24. Comparación del tratamiento más eficiente con la Normativa ambiental

| Parámetro | Media del resultado experimental | Reforma A.M 097-A, Anexo 1 Tabla 1 | Cumplimiento |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|--------------|
| pH | \bar{x} 0: Inicial = 7,23 \bar{x} T6: Neem 2.0% = 7,02 | 6-9 | C |
| Turbidez (UNT) | \bar{x} 0: Inicial = 24,50 \bar{x} T6: Neem 2.0% = 8,72 | 100 | C |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l) | T0 Inicial = 382,47 \bar{x} T6: Neem 2.0% = 87,64 | <2 | NC |
| Coliformes fecales (UFC/100ml) | \bar{x} 0: inicial = 57,80 \bar{x} T6: Neem 2.0% = 1,60 | 1000 | C |

Párraga, 2021

Se comparó los resultados del mejor tratamiento con la Tabla 1 “Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y uso doméstico” del AM 097-A (2015).

Como se puede ver en la Tabla 23, los parámetros pH, turbidez y coliformes fecales se encuentran dentro de los límites permisibles. En el caso de los parámetros sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica no se encuentran dentro de la presente tabla por ello no se consideran en la comparación. Con la aplicación del tratamiento 6 la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) disminuyó de 382,47mg/l a 87,64 mg/l, sin embargo, no cumple con el valor permisible.

4.4. Socialización con la comunidad “La Estacada” los beneficios de los tratamientos de origen orgánico.

Debido a la pandemia y con el fin de dar cumplimiento a las medidas de distanciamiento, la socialización se realizó de casa en casa, en la misma se dio a

conocer el proyecto investigativo el cual le permite a la comunidad tener conocimiento de la calidad de agua que consumen.

Dado el objetivo principal del presente trabajo es evaluar la actividad antimicrobiana de la Moringa (*Moringa oleífera*) y Neem (*Azadirachta indica*) para el agua de abastecimiento se informó a la comunidad La Estacada la propiedad de las semillas de Moringa de ser biocoagulante debido a la presencia de aminoácidos los cuales interactúan con los coloides que causan la turbidez, favoreciendo al proceso de coagulación y su remoción.

Adicionalmente, se explicó que debido al compuesto 4-(4'-O-acetil- α -L-ramnopiranosiloxi)-isotiocionato de bencilo se elimina microorganismos patógenos como son los coliformes fecales. De forma similar, se dio a conocer la propiedad antimicrobiana de las hojas de Neem capaces de reducir en alto porcentaje coliformes fecales y otros microorganismos patógenos.

Como parte de socialización, se llevó a cabo un diálogo con la comunidad la cual en su mayoría expresó desconocer sobre los coliformes fecales y su presencia en el agua del río Daule la cual consumen. Los habitantes de la comunidad manifestaron que después de recoger el agua a través de bombas, la almacenan en tanques y baldes, dejan sedimentar los sólidos y aplican cloro para luego utilizarla, en su mayoría hierben el agua para beberla y una minoría compran agua embotellada.

Por lo antes mencionado, se comunicó a los habitantes que la calidad del agua del río Daule no es recomendable beberla debido a altas concentraciones de coliformes fecales y que, ante ello, estudios investigativos han demostrado que especies vegetales como las hojas de Neem tienen la capacidad de eliminar dichos

microorganismos patógenos para la salud humana, como es el género coliformes y la especie *Escherichia coli* causante de enfermedades gastrointestinales.

Finalmente, se participó a los habitantes acerca de las ventajas y beneficios de los tratamientos orgánicos propuestos en el proyecto investigativo, entre ellos: la poca alteración del pH del agua, bajo costo, fácil accesibilidad, gran porcentaje de remoción de bacterias patógenas y sobre todo que no tienen efecto nocivo en la salud humana.

La información que se impartió durante la socialización fue muy bien receptada por la comunidad, en la Figura 25 se puede visualizar la socialización y el registro de los asistentes en la Figura 26 y la Figura 27.

5. Discusión

En el presente estudio la caracterización inicial del agua demostró una turbiedad relativamente baja de 26-39 UNT, al aplicar 4,0 g/L del biocoagulante generó un efecto opuesto al evaluado provocando una saturación debido a que al exceder la concentración óptima no habrá interacción con las partículas coloidales de cargas opuestas, de tal manera, se produce al exceder la concentración de coagulantes químicos como lo señalan Castrillón y Giraldo (2012).

En cambio, al emplear 0,1 g/L del material pulverizado de *Moringa oleífera* disminuyó la turbidez de 26 UNT a 7,60 UNT alcanzando un 70,77% de remoción, resultados similares a los de Acevedo (2019) en su estudio en el cual utilizó una concentración de 5,5 mg de Moringa disminuyó el valor inicial de 27,8 UNT a un valor final de 3,4 UNT logrando una reducción de la turbidez de 87,7%.

Por su parte, Castillo y Avendaño (2020) estudiaron la capacidad biocoagulante de la semilla de Moringa en aguas del río Sama aplicando una concentración de 0,2 g/L se redujo la turbidez inicial de entre 48,6 UNT a 3,71 UNT obteniendo una remoción de turbidez de 92,37%, lo que refleja que a mayor turbidez mayor cantidad de biocoagulante y remoción.

En cuanto a la evaluación de la actividad antimicrobiana de las semillas de *Moringa oleífera*, utilizando 4g/L se alcanzó el 92,45% en la remoción de coliformes fecales lo que se asemeja al estudio de Núñez (2017) que al aplicar 100 ml de solución de *M. oleífera* en 900 ml de muestra de agua obtuvo una remoción de más del 90% en coliformes fecales (*E.coli*) y los resultados de Thanh y Thi (2018) mediante método de fraccionamiento de proteínas de las semillas de *M. oleífera* en el tratamiento de aguas residuales municipales eliminó *E. coli* 99,1% con una concentración de 120 mg/L de coagulante.

Con respecto a las hojas pulverizadas de Neem (*Azadirachta indica*) a una concentración de 2 g/L, disminuyeron de una media de 57,80 a 1,60 UFC/100 ml, logrando una remoción del 97,03% semejante al trabajo de Abdullah, Salem y Hassan (2017) que después de añadir 2 g/100ml eliminaron 100% de bacterias coliformes y *E. coli* examinadas en aguas residuales, observándose una disminución del pH de 8 a 5,8 y 7, a diferencia del presente estudio el potencial de hidrógeno disminuyó ligeramente de 7,37 a 6,9.

Por su parte, Aguirre, Piraneque y Cruz (2018), usaron una concentración de 1.5 g/L *M oleífera* obteniendo una reducción de turbidez 126,6 UNT a 4,1 UNT con remoción del 95%, luego del tratamiento de las muestras de agua, se observó que *Azadirachta indica* removió 99,2% coliformes fecales, porcentajes de remoción disímiles al presente estudio (Tratamientos 7, 8 y 9) en los que se obtuvo baja remoción de coliformes fecales como resultado de la aplicación combinada del biocoagulante de Moringa el cual inhibe la actividad antimicrobiana de Neem.

En el presente proyecto investigativo se demostró la actividad antimicrobiana de las hojas de Neem logrando una remoción de coliformes fecales de 97,03% y de las semillas de Moringa con 89,43% presentando porcentajes de reducción eficientes, emulando los trabajos de los autores mencionados.

6. Conclusiones

La caracterización del agua en parámetros físicos químico y microbiológico del río Daule en la comunidad La Estacada, presentó los siguientes resultados: pH 7,23, turbidez (24,50 UNT), Sólidos Disueltos Totales (56,8 mg/l), Conductividad eléctrica (119,6 μ S/cm), Demanda Bioquímica de Oxígeno (382,47 mg/l) y coliformes fecales (58 UFC/100ml); resultados por debajo de los límites máximos permisibles según el criterio calidad de fuentes de agua para consumo humano y uso doméstico del AM 097-A a excepción de la DBO₅.

En cuanto a la eficiencia de los tratamientos evaluados, la aplicación de 0.1 g/L de material pulverizado de Moringa alcanzó una reducción en la turbidez de hasta 70.77 % con poca alteración en el potencial de hidrógeno (pH); y en concentración de 4g/L se obtuvo una remoción de 89.43% coliformes fecales en 30 minutos.

Se determina que las hojas pulverizadas de la especie *Azadirachta indica* en concentración de 2g/L es el tratamiento más indicado para la remoción de coliformes fecales alcanzando el 97,03% en un tiempo de 30 minutos.

Por último, se socializó a la comunidad La Estacada sobre el objetivo del presente proyecto investigativo, la propiedad antimicrobiana de las semillas de Moringa y las hojas de Neem en la remoción de coliformes fecales y los beneficios de los tratamientos de agua de tipo orgánico.

7. Recomendaciones

Se sugiere emplear concentraciones entre 0.1 y 1 g/L de Moringa en la remoción de turbidez en aguas de turbiedad baja. Por lo contrario, se recomienda utilizar concentraciones entre 2 y 4 g/L de Moringa en la remoción de coliformes fecales.

También, se recomienda evaluar la eficiencia de *Azadirachta indica* en la remoción de mayor cantidad de colonias coliformes fecales.

Se recomienda evaluar la actividad antimicrobiana del material pulverizado de Moringa y de Neem en la remoción de la especie *Escherichia coli*, género de coliformes más representativo de las fuentes de contaminación fecal.

Para optimización de los tratamientos combinados de Moringa y Neem empleados en el presente estudio se recomienda primero aplicar el biocoagulante a base de Moringa para obtener remoción de turbidez y posteriormente aplicar Neem para la remoción de coliformes fecales.

Se recomienda continuar con las socializaciones a la comunidad en general y en especial a las comunidades rurales sobre la contaminación física química y microbiológica del agua de los ríos, fundamentalmente, se evite el consumo de la misma debido a la presencia de microorganismos patógenos que pueden representar un riesgo en la salud de la población.

8. Bibliografía

- Abdullah, G., Salem, S. y Hassan, H. (2017). The effect of using Neem leaf powder in the treatment of gray wastewater and well water. Recuperado de <https://www.globe.gov/documents/10157/16a6a18d-45a0-4918-90a3-f6115b6d1e25>
- Acebo, K., y Tumbaco, D. (2017). "Eficiencia De Biocoagulante a base de semilla de Moringa Oleífera para aplicación de tratamiento de agua usando como fuente de captación el Rio Guayas". Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/27909/1/MORINGA.pdf>
- Acevedo Picón, E. D. (2019). Uso de semillas de moringa (moringa oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de Rio Negro, Rio De Oro y Quebrada Floridablanca, Santander.
- Adedayo, O., Abdulkarem, F., Yusuff, A., Lala, M., y Okewale, A. (2019). Response surface methodology approach to optimization of process parameter for coagulation process of surface water using Moringa oleífera seed. *South African Journal of Chemical Engineering*,(28),46-51.doi: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2019.02.002>
- Adegbe, A., Larayetan, R., y Omojuwa, T. (2016). Proximate Analysis, Physicochemical Properties and Chemical Constituents Characterization of Moringa Oleifera (Moringaceae) Seed Oil Using GC-MS Analysis. *Scientific & Academic Publishing*,6(2), 23-28.doi: 10.5923/j.chemistry.20160602.01
- Adelodun, B., Ogunshina, M. S., Ajibade, F. O., Abdulkadir, T. S., Bakare, H. O., y Choi, K. S. (2020). Kinetic and Prediction Modeling Studies of Organic Pollutants Removal from Municipal Wastewater, *MDPI*,12(7).doi: <https://doi.org/10.3390/w12072052>

- Aguirre, S., Piraneque, N., y Cruz, R. (2018). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua. *Información tecnológica*.29(3), 59-70.doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>
- Apella, M., & Araujo, P. (2005). *Microbiología de agua*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54543261/leccion_4_02_Capitulo_02-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1630605699&Signature=cUrEm1s865vwrrjgdfvv7izBIs0-8bKav5Q46Dioq2gvYcphLneLKgEqRWA2ybkO4U5iqBJqQN2Ys0Bergm0fRnDMpscTjPxgeVxvGKQUnQPDr4CUTCGrfS~xrCTxJmilYF
- Auge, M. (2007). Agua fuente de vida. Obtenido de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/Agua-fuente-de-vida.pdf>
- Banchón, C.; Baquerizo, R.; Muñoz, D. y Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*,7(4), 111-126.doi:10.29019/enfoqueute.v7n4.118
- Barahona , J. (2019). Proyecto de una Estación Depuradora de Aguas Residuales Urbanas.(Tesis de pregrado). Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/92282/fichero/TFG-2282-BARAHONA.pdf>
- Bartomeu Sánchez, J. R. (2010). pH-metros y otros instrumentos de medida electroquímica. Recuperado de <https://www.uv.es/bartomeu/material/museo/instru/pdf/10.pdf>
- Benitez, J., Fortunato, R.,Gómez, N. y Radice,S. (2019). Antecedentes vigentes del uso de Moringa oleifera para consumo humano. Recuperado de <https://rsa.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/2019/04/2016-12-21-Documento-Moringa-oleifera-RSA.pdf>

- Bracho, F. I., & Fernandez, R. M. (2017). Evaluación de la calidad de las aguas para consumo humano en la comunidad venezolana de San Valentín, Maracaibo. *Revista Minería y Geología*, 33(3), 339-349. doi:ISSN: 1993-8012
- Bravo, M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales.(Tesis de grado).Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5609>
- Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J., y Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas de Moringa oleifera como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Boletín Del Centro De Investigaciones Biológicas*, 41(2). Recuperado de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/76>
- Caminati, A., y Caqui, R. (2013). Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la Universidad de Piura.(Tesis de pregrado) . Recuperado de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1738/ING_526.pdf
- Campos, H. (2020). Efecto coagulante de la semilla de moringa (moringa oleífera) para clarificar agua del canal monsefú, centro poblado callanca, distrito monsefú, 2019. (Tesis de pregrado).Recuperado de <https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/304/1/TESIS%20CAMPOS%20CASTRO.pdf>
- Carrera, G. e Infante, R. (2015). Influencia del pH, concentración de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno y turbidez en efluente de lavado de pulpa de la planta papelera trupal s.a. Recuperado de <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3254>

- Castellanos, L., y Martín, M. (2020). Desarrollo de un coagulante orgánico a partir de la semilla de moringa para la empresa comercial dacetex ltda. Recuperado de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7789/1/6151576-2020-I-IQ.pdf>
- Castillo Cohaila, Marcial Alfredo, y Avendaño Cáceres, Edgardo Óscar. (2020). Efecto de las semillas de moringa (*Moringa oleifera* lam.) en las condiciones para la clarificación del agua del río sama. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(1), 47-57. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v86i1.272>
- Castillo Cohaila, M. A., & Avendaño Cáceres, E. Ó. (2020). Efecto de las semillas de moringa (*Moringa oleifera* lam.) en las condiciones para la clarificación del agua del río sama. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(1), 47-57.
- Dasgupta, S., Mitra, S., y Kumar, N. (2016). Evaluation of the antimicrobial activity of *Moringa oleifera* seed extract as a sustainable solution for potable water. *RSC Advances*, 6,25918-25926.doi:<https://doi.org/10.1039/C6RA04011J>
- Eilert, U., Wolters, B., y Nahrstedt, A. (1981). The antibiotic principle of seeds of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*. *National Library of Medicine*,42(1),55-61.doi: 10.1055 / s-2007-971546.
- Escobar, D. (2018). Características físico-químicas del agua potable que se consume en el centro Alto Trujillo, distrito El Porvenir, Provincia Trujillo, Departamento La Libertad, Perú. Recuperado de <http://www.dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10605/Escobar%20Villanueva%20Dalhin%20Itamar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Etcheverry, N., y Roja, M. (2003). Neem, la Planta Asombrosa. Recuperado de <http://www.tlahui.com/medic/medic18/neem.htm>

- Fernández, A., y du Mortier, C. (2017). Evaluación de la condición del agua. Recuperado de https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/01_Capitulo_01.pdf
- Fuentes, N., Molina, E., y Ariza, C. (2017). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1238>
- Gandiwaa, M., Ncube, M., Mguni, L. y Hlabanganaa, N. (2020). Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment: (Moringa Oleifera-Cactus Opuntia-alum blend). *South African Journal of Chemical Engineering*, 34, 158-164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005>
- Gil, J., Vizcano, C., y Montaña, N. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *Dialnet*, 79(1), 111-119.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Ilustre Municipalidad del cantón Daule. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Daule. Recuperado de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0960000490001_PDyOT%20DAULE%20-%202015-2025%20FASE%20DIAGN%C3%93STICO_13-03-2015_11-30-32.pdf
- Grupo de Estudio Técnico Ambiental. (2011). Parámetros Organolépticos. Recuperado de

http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf

Guayamabe, J. (2013). Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule en la provincia del Guayas desde el punto de vista físico, químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico. (Tesis doctoral). Recuperado de <https://accedacris.ulpgc.es/handle/10553/11262>

Hernández, S., Niguelie, Z., Gómez, M., y González, C. (2016). Eficacia de la semilla de Moringa oleífera en el aclaramiento del agua. *Revista Universidad y Ciencia*, 9(14), 31. doi: 10.5377/uyc.v9i14.4557

Iglesias, M. (2018). Optimización de los procesos de coagulación – floculación en la planta de potabilización perteneciente al cantón Cañar. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30444>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 1 108:2011. Recuperado de <http://www.pudeleco.com/files/a16057d.pdf>

Jacobo, M. (2019). Determinación de la eficiencia del proceso de potabilización utilizando diferentes concentraciones de sulfato de aluminio e hipoclorito, mediante el porcentaje de remoción bacteriana (coliformes totales y fecales), turbidez y calidad microbiológica. (Tesis pregrado). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8597/Bijaclmm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jaque, E., y Potocí, C. (2015). Evaluación del índice de calidad de agua (ICA) de la microcuenca del río Chibunga, en variaciones estacionales, provincia de Chimborazo – Ecuador, durante el periodo 2014. (Tesis pregrado). Recuperado de

http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4077/1/236T0132%20UDCT_FCI.pdf

- Jímenez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México*. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA126&lpg=PA126&dq=tama%C3%B1os+de+s%C3%B2lidos+suspendidos&source=bl&ots=ISyB_OHvzC&sig=8JkA0G32MhE6hA4mUrh0DMM0cal&hl=es&sa=X&ei=iIRwT7mC42TtwfXPXoDA&ved=0CDgQ6AEwBDgU#v=onepage&q=tama%C3%B1os%20de%20
- Joshi, J., y Sahu, O. (2014). Azadirachta Indica Leaves as Antibacterial Treatment on Drinking Water. *Science and Education Publishing*,2(2),36-40.doi: 10.12691/ijcn-2-2-3
- Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., y Simona, B. (2016). Moringa oleifera Seeds and Oil: Characteristics and Uses for Human Health. *Int. J. Mol. Sci*,17(12),2141.doi: 10.3390/ijms17122141
- López, M., Romano, E., y Triana, J. (2005). El agua. Recuperado de <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/253/1/495.pdf>
- López, Y., Ángulo, M., Martínez, C., Soto, J., y Chaidez, C. (2007). Efecto antimicrobiano de extractos crudos de neem (Azadirachta indica A. Juss) y venadillo (Swietenia humilis Zucc) contra E. coli, S. aureus y el bacteriófago P22. *medigraphic.com*,32(4).Recuperado de <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=14314>
- Malacatus, C., Guerrero, R., y Llerena, C. (2017). Generación de efluentes en el proceso de extracción de aceite crudo de Palma en el Ecuador. *Revista científica Dominio de las Ciencias*, 3(4), 459-469. doi:ISSN: 2477-8818

- Martín, C., Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E., y Puls, J. (2013). Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera*. Una revisión crítica. *Pastos y Forrajes*, 36(2), 137-149. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000200001&lng=es&nrm=iso. ISSN 0864-0394.
- Martínez, A., Fonseca, K., Ortega, J., y García, C. (2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. *Química viva*, 8(1), 35-47. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86311258005>
- Mohammad , A. (2012). Antimicrobial Potential of *Azadirachta indica* Against Pathogenic Bacteria and Fungi. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1(4). Recuperado de <https://www.phytojournal.com/archives/2012/vol1issue4/PartA/10.1.pdf>
- Mohammad , A. (2016). Therapeutics Role of *Azadirachta indica* (Neem) and Their Active Constituents in Diseases Prevention and Treatment. *Hindawi Publishing Corporation*. doi: 10.1155/2016/7382506
- Mahamadou , A. (2014). Propiedades fungicida, bactericida y aglutinante de las semillas de *Moringa oleifera* Lam. Recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/726/A0058.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moreno , G. (2018). Aplicación de semilla de *Moringa oleifera* Lam, como alternativa coagulante de agua almacenada en el municipio de Zirándaro, Gro. Recuperado de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/95033/UAEM-FaPUR-TESIS_GEMMA_ARINTZY_MORENO_CABRERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ndabigengesere, A., Narasiah, K., y Talbot, B. (1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. Recuperado de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/004313549400161Y#:~:text=The%20efficiency%20and%20properties%20of,most%20widely%20used%20industrial%20coagulant.&text=The%20mechanism%20of%20coagulation%20with,neutralization%20of%20the%20colloidal%20c>

NTE INEN 1202:2013. (s.f.). Norma Técnica Ecuatoriana *NTE INEN 1202:2013*.

Agua. Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO₅). Recuperado de <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-1202-AGUAS.-DEMANDA-BIOQU%C3%8DMICA-DE-OX%C3%8DGENO-DBO5.pdf?x42051>

Núñez Enríquez, E. R. (2017). *Evaluación del rango óptimo de tamaño de partícula de semilla triturada de Moringa oleifera Lam. durante procesos de coagulación-floculación* (Bachelor's thesis, Quito).

Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W., y Okada, M. (2001). Isolation and characterization of coagulant extracted from moringa oleifera seed by salt solution. *Elsevier Science*, 35(2),405-410.doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00290-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00290-6)

Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). Objetivos del Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. (s.f.). Cultivos tradicionales Moringa. Recuperado de <http://www.fao.org/traditional->

crops/moringa/es/#:~:text=D%C3%B3nde%20se%20encuentra,y%20las%20isl
as%20del%20Pac%C3%ADfico.

Organización Mundial de la Salud. (1995). *Guías para la calidad de agua potable*
Segunda Edición. Recuperado de
[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/37736/9243544608-
spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/37736/9243544608-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Organización Mundial de la Salud. (2010). Reconocimiento del acceso al agua
segura y limpia y a servicios de saneamiento como un derecho humano.
Recuperado de
https://www.who.int/water_sanitation_health/recognition_safe_clean_water/es/

Organización Mundial de la Salud. (2017). Directrices para la calidad del agua
potable, cuarta edición, que incorpora el primer apéndice. Recuperado de
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

Organización Mundial de Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*.
Recuperado de
https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
(2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los
Recursos Hídricos 2019. Recuperado de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

Ormaza, F., y Zambrano, C. (2015). Contaminación bacteriana en el río Daule; el
caso del cantón Palestina, Ecuador. Recuperado de
<http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/2202>

Ortiz, D., Rodríguez, J., Rodríguez, E., y Santos, E. (2018). Diseño de un filtro
potabilizador ecológico para comunidades rurales, utilizando la Moringa
Oleifera. *Revista lasallista de investigación*, 15(2), 118. doi: 10.22507/rli.v15n2a9

- Paredes, P. (2013). El uso de Moringa Oleifera como material natural para el tratamiento del agua potable en países en vía de Desarrollo. *Yachana Revista Científica*, 2(2).doi: <https://doi.org/10.1234/yach.v2i2.63>
- Pérez, A., Sánchez, T., Armengol, N., y Reyes, F. (2010). Características y potencialidades de Moringa oleifera, Lamark: Una alternativa para la alimentación animal,33(4). Recuperado de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CU2010V00029>
- Piojan, M. (2004). El neem. *OFFARM*,23(5),128-133.Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-el-neem-13061804>
- Rajesh, R. (2016). Role of some Natural Herbs in Water Purification. *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)*,9(3),38-39. Recuperado de <http://www.iosrjournals.org/iosr-jac/papers/vol9-issue3/Version-1/F0903013839.pdf>
- Ramírez, M., y Maldonado, V. (2019). Estimación de la demanda bioquímica de oxígeno en efluentes utilizando la técnica de espectrofotometría. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/23172/RamirezMu%20F1ozMartinFelipe2019.pdf;jsessionid=00C6F820408A1312C0F9220249A463F8?sequence=1>
- Ríos , S., Agudelo, R., & Gutiérrez, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Obtenido de http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/10714/1/RiosSandra_2017_PatogenosIndicadoresMicrobiologicos.pdf

- Rizvi , N., Deeksha, K., y Varun, K. (2016). World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental, Chemical, Ecological. *Geological and Geophysical Engineering*,10(1),10.
- Rodríguez, S., Asmundis, C., y Ayala, M. (2018). Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme (Corrientes, Argentina). *Revista veterinaria*,29(1). Recuperado de <http://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/view/2779/0>
- Rojas, S., y Sastoque, Y. (2007). Desarrollo de un prototipo de un instrumento nefelométrico para medir la turbidez. Recuperado de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/40939.pdf>
- Sáenz, W. (2015). Utilización de la semilla natural moringa oleífera como ayudante de la coagulación en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Caraz provincia de Huaylas Ancash.Recuperado de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1692?show=full>
- Saini, R., Sivanesan, I. y Keum, Y. Phytochemicals of Moringa oleífera: a review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. *3 Biotech* 6, 203 (2016).doi:10.1007/s13205-016-0526-3
- Salamanca, E. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano. *Módulo Arquitectura Cuc*, 17(1), 29-48.doi:<https://doi.org/10.17981/moducuc.17.1.2016.02>
- Sánchez, C. (2019). Análisis espacio temporal de los parámetros fisicoquímicos de la quebrada las Delicias, cerros orientales de Bogotá. Recuperado de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15060/1/2019-analisis_fisicoquimico_quebrada.pdf

- Sandoval, D., y Sisa, B. (2020). Evaluación del sistema de tratamiento de agua para consumo humano en el barrio Aglla parroquia Checa. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21278/1/CD%2010794.pdf>
- Sarah, R., Tabassum, B., Idrees, N., y Kamil, M. (2019). Bioactive Compounds Isolated from Neem Tree and Their Applications. doi: 10.1007/978-981-13-7154-7_17
- Scheutz, F., & Strockbine, N. (2015). Escherichia. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm01147>
- Shebek, K., Schantz, A., Sines, I., Lauser, K., y Velegol, S. (2015). The Flocculating Cationic Polypeptide from Moringa oleifera Seeds Damages Bacterial Cell Membranes by Causing Membrane Fusion. *Langmuir*, 31(15),4496-502. doi: 10.1021/acs.langmuir.5b00015.
- Thanh Hoa, N., y Thi Hue, C. (2018). Enhanced water treatment by Moringa oleifera seeds extract as the bio-coagulant: role of the extraction method. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 67 (7), 634-647. doi: <https://doi.org/10.2166/aqua.2018.070>
- Toasa, F. (2012). Validación de los métodos de ensayo para fenoles, tensoactivos, solidos suspendidos y total de sólidos disueltos (TDS). Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/894/1/T-UCE-0017-19.pdf>
- Tunggolou, J., y Payus, C. (2017). Moringa oleifera as coagulant used in water purification process for consumption. *Earth Sciences e Pakistan*, 1(2),1-3. doi: 10.26480/ESP.02.2017.01.03
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2018). Guía de monitoreo participativo de la calidad del agua. Recuperado de

<https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/guia-monitoreo-participativo-calidad-agua-digital.pdf>

United States Environmental Protection Agency. (s.f.). Drinking Water Regulations and Contaminants. Recuperado de <https://www.epa.gov/sdwa/drinking-water-regulations-and-contaminants>

Vega, C. (2016). Identificación de metabolitos bioactivos de Neem. doi: 10.5377/calera.v14i23.2659

Virk, A. K. (2019). Development and efficacy analysis of a Moringa oleifera based potable water purification kit. *Journal of Water Process Engineering*, 27, 37-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.11.005>

World Water Assessment Programme & UNESCO. (2015). Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2015: Agua para un mundo sostenible. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2015-water-for-a-sustainable-world/>

9. Anexos



Figura 14. Comunidad La Estacada-Daule.
Google maps,2021

Tabla 25. Taxonomía de *Escherichia coli*

Taxonomía de *Escherichia coli*

| | |
|---------|-------------------------|
| Dominio | Bacteria |
| Reino | Bacteria |
| Filo | Proteobacteria |
| Clase | Gamma proteobacteria |
| Orden | Enterobacteriales |
| Familia | Enterobacteriaceae |
| Género | <i>Escherichia</i> |
| Especie | <i>Escherichia coli</i> |

Scheutz y Strockbine,2015

Tabla 26. Taxonomía de la especie *Moringa oleífera*
Taxonomía *Moringa oleífera*

| | |
|----------|-------------------------|
| Reino | <i>Plantae</i> |
| División | <i>Magnoliophyta</i> |
| Subclase | <i>Dilleniidae</i> |
| Familia | <i>Moringaceae</i> |
| Género | <i>Moringa</i> |
| Especie | <i>Moringa oleífera</i> |

Bravo,2017

Tabla 27. Análisis elemental y porcentaje de materia orgánica contenida en las semillas de *Moringa oleífera*

| Moringa oleífera | Análisis elemental | | | Porcentaje de materia orgánica | | |
|---------------------|--------------------|---------------|---------------|--------------------------------|-------------|-------------------|
| | Carbono (%) | Hidrógeno (%) | Nitrógeno (%) | Proteína (%) | Lípidos (%) | Carbohidratos (%) |
| Semilla con cáscara | 54.8 | 8.5 | 6.1 | 36.7 | 34.6 | 5 |
| Semilla sin cáscara | 53.3 | 7.7 | 5.0 | 21.7 | 21.1 | 5.5 |

Ndabigengesere, Narasiah y Talbot ,1995

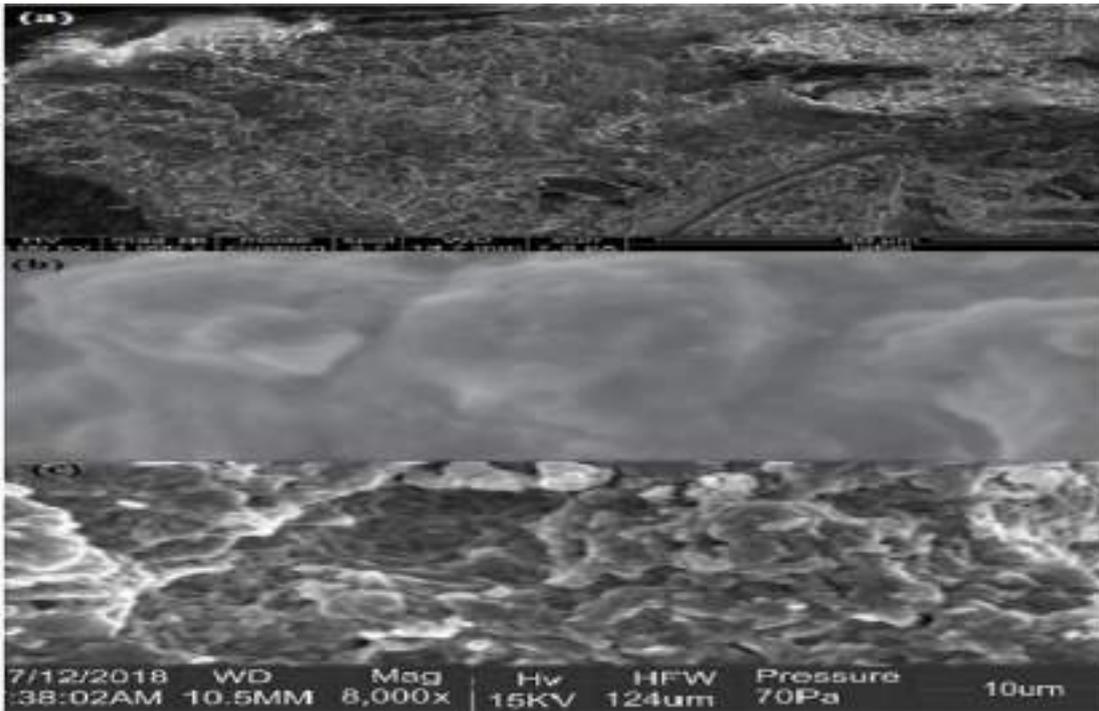


Figura 15. Micrografía SEM de (a) semilla de Moringa oleífera (b) partícula dispersada en agua superficial antes del tratamiento (c) partícula de flóculos después del tratamiento
Adedayo et al.,2019

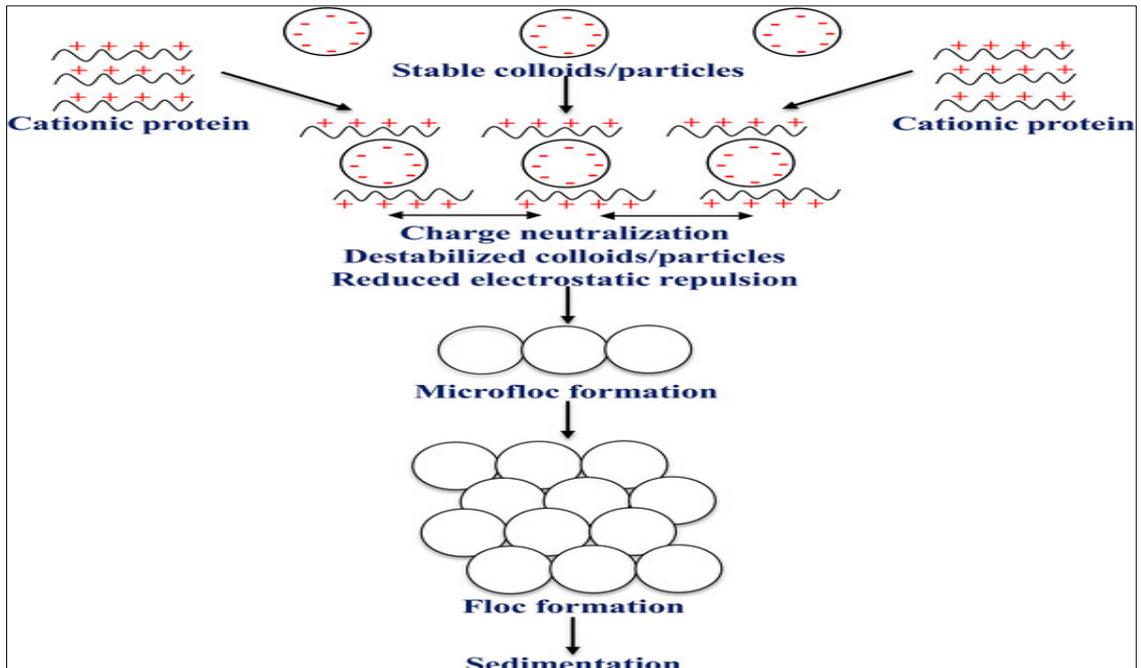


Figura 16. Mecanismo de coagulación y sedimentación del agua utilizando proteínas catiónicas de Moringa oleífera (MOCP)
Saini, Sivanesan y Keum, 2016

Tabla 28. Taxonomía *Azadirachta indica*

| Taxonomía <i>Azadirachta indica</i> | |
|--|---------------------------|
| Orden | Rutales |
| Suborden | Rutinae |
| Familia | Meliaceae |
| Subfamilia | Melioideae |
| Tribu | Melieae |
| Género | <i>Azadirachta</i> |
| Especie | <i>Azadirachta indica</i> |

Mohammad, 2016

Tabla 29. Contenido de aminoácidos en *Azadirachta indica*

| Aminoácidos | Porcentaje (%) |
|--------------------|-----------------------|
| Alanina | 1,2 |
| Aspargina | 3,4 |
| Aspártico | 2,7 |
| Triptófano | 1,4 |
| Taurina | 7,0 |
| Valina | 2,9 |

Etcheverry y Roja, 2003

Tabla 30. Principales componentes activos del Neem

| Compuesto | Actividad |
|--------------------|---|
| Azadiractina | Repelente, antihormonal de insectos plaga y antiprotozoica. |
| Mahmmodina | Antimicrobiana |
| Meliantriol | Repelente de insectos plaga |
| Naheedina | Antimicrobiana |
| Nimbidina | Antibacteriana, antiulcerogénica, antidiabética, antifúngica, antiinflamatoria. |
| Nimbinato de sodio | Diurética, espermicida y antiartrítica. |
| Salanina | Repelente de insectos plaga |

 Piojan,2004

Tabla 31. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y uso doméstico

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Criterio de Calidad |
|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | Sustancias solubles en hexano | mg/l | |
| Aceites y grasas | | | 0,3 |
| Arsénico | As | mg/l | 0,1 |
| Coliformes Fecales | NMP | NMP/ 100 ml | 1000 |
| Bario | Ba | mg/l | 1 |
| Cadmio | Cd | mg/l | 0,02 |
| Cianuro | CN- | mg/l | 0,1 |
| Cobre | Cu | mg/l | 2 |
| | | Unidades de Platino Cobalto | |
| Color | color real | | 75 |
| Cromo hexavalente | Cr+6 | mg/l | 0,05 |
| Fluoruros | F- | mg/l | 1,5 |
| Demanda Química de Oxígeno | DQO | mg/l | <4 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | DBO5 | mg/l | <2 |
| Hierro Total | Fe | mg/l | 1,0 |
| Mercurio Total | Hg | mg/l | 0,006 |
| Nitratos | NO ₃ | mg/l | 50,0 |
| Nitritos | NO ₂ | mg/l | 0,2 |
| | | Unidades de pH | |
| Potencial de Hidrógeno | pH | | 6-9 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0,01 |
| Selenio | Se | mg/l | 0,01 |
| Sulfatos | SO ₄ ⁻ | mg/l | 500 |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo | TPH | mg/l | 0,2 |
| | Unidades Nefelométricas de Turbiedad | UNT | |
| Turbiedad | | | 100 |

Tabla 1 Reforma al Acuerdo Ministerial 097-A ,Libro VI, Anexo I.

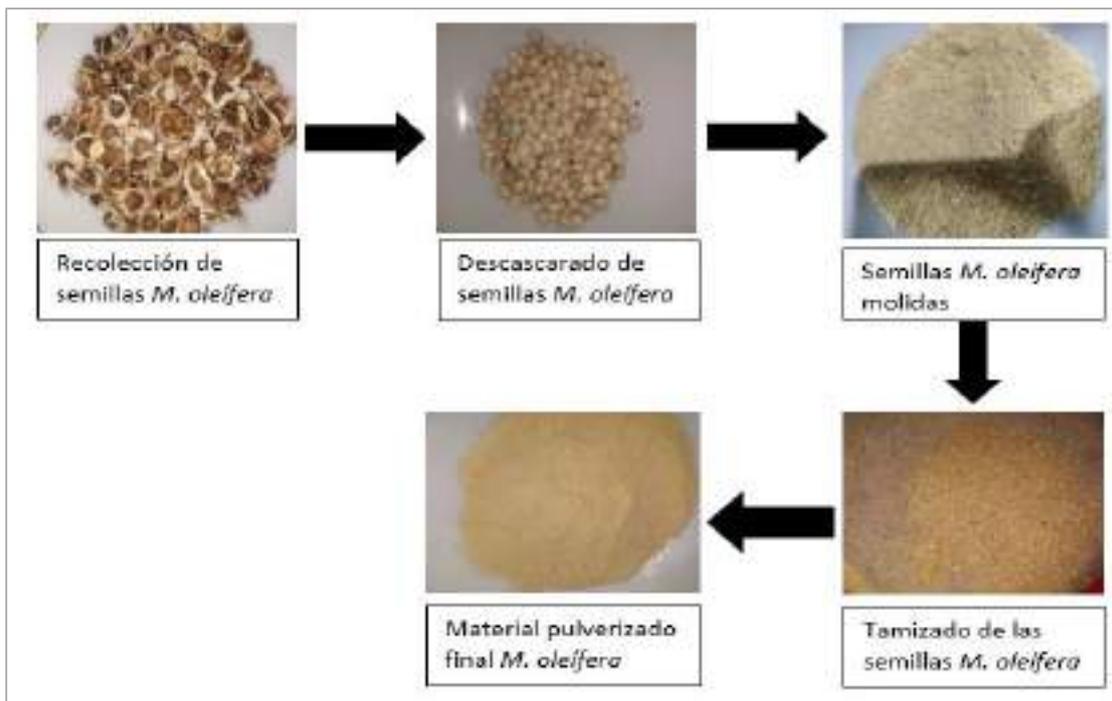


Figura 18. Extracción del material pulverizado de las semillas de Moringa
Párraga, 2021

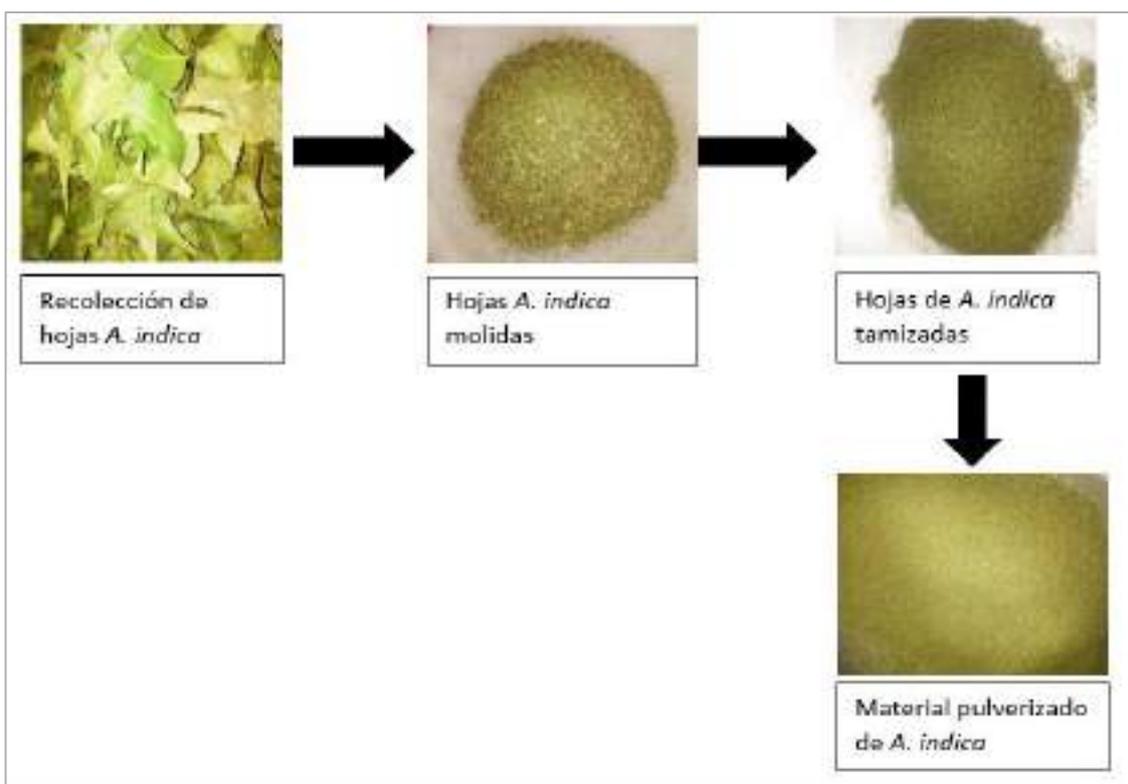


Figura 17. Extracción del material pulverizado de las hojas de Neem
Párraga, 2021



Figura 19. Pesaje de material pulverizado de Moringa y Neem
Párraga,2021



Figura 20. Aplicación de los Tratamientos de Moringa y Neem
Párraga,2021



Figura 21. Medición de turbidez e inoculación en las placas Petrifilm 3M
Párraga,2021



Figura 22. Conteo de colonias coliformes fecales
Párraga,2021

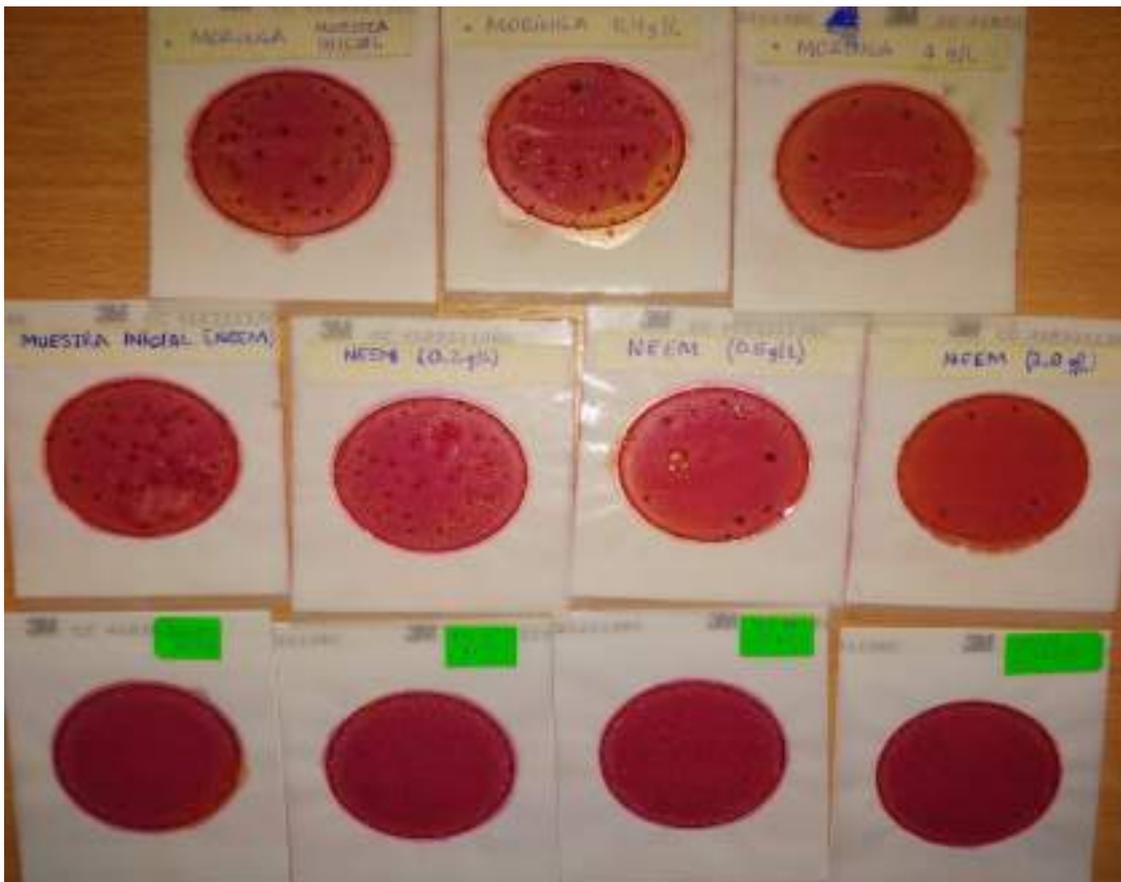


Figura 23. Resultados de los Tratamientos en estudio
Párraga,2021

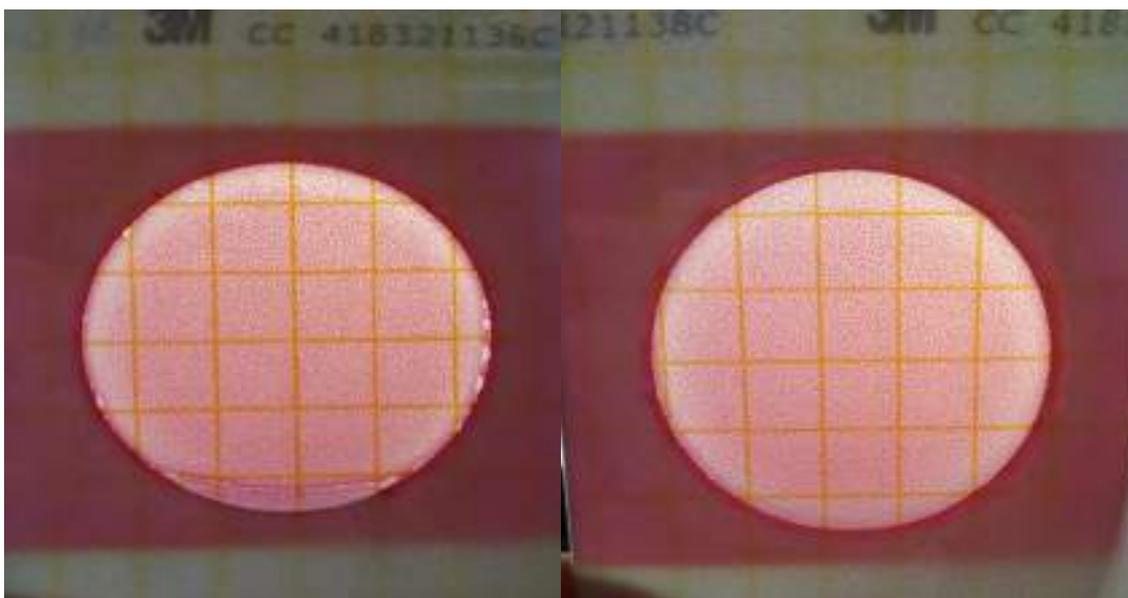


Figura 24. Resultados 0 colonias: tratamiento T3 (Izq) y T6 (Der)
Párraga,2021



Figura 25. Socialización con la Comunidad La Estacada
Párraga, 2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

REGISTRO DE ASISTENCIA

SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO:
EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LA MORINGA (*Moringa oleifera*) y NEEM (*Azadirachta indica*) PARA EL AGUA DE ABASTECIMIENTO COMUNITARIA LA ESTACADA-DAULE.

| NOMBRES Y APELLIDOS | No. CÉDULA | FIRMA |
|-------------------------|-------------|------------------------|
| Angel Romero Glorioso | 094201211-0 | Angel Romero |
| Yolanda Huacón H. | 094155048-2 | Yolanda H.H. |
| Katherine Vargas H. | 0924 2088-0 | Katherine Vargas H. |
| Maria Romero Huacón | 096201223-5 | Maria Romero H. |
| Lolav Huacón Herrera | 095215493-8 | No FIRMA |
| Hector Huacón Herrera | 0910218286 | Hector Huacón H. |
| Laura Correa | 09256005549 | Laura Correa |
| Richard Huacón? | 0915087515 | [Firma] |
| José Barba | 0951248411 | [Firma] |
| GEORGE CARLHANS | 0918082413 | [Firma] |
| Kevin Barba | 0915904936 | Kevin Barba |
| Franklin Huacón | 0922240940 | Franklin H. |
| Alfredo de Cevallos H. | 0910079243 | Alfredo de Cevallos H. |
| Ricardo Cevallos | 0915451645 | [Firma] |
| José M. Cevallos | 0913651014 | José M. Cevallos H. |
| CÉSAR CHÉVERO SÁNCHEZ | 0953241193 | José Luis |
| Alfonso Correa Alvarado | 091159349-9 | .ACA |

Figura 26. Registro de asistentes en la socialización (1)
Párraga, 2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

REGISTRO DE ASISTENCIA

SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO:
EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LA MORINGA (*Moringa oleifera*) y NEEM (*Azadirachta indica*) PARA EL AGUA DE ABASTECIMIENTO COMUNITARIA LA ESTACADA-DAULE.

| NOMBRES Y APELLIDOS | No. CÉDULA | FIRMA |
|-------------------------|------------|----------------------|
| Bartolo Herrera Castro | 0910423166 | Bartolo Herrera C. |
| Rosa Herrera | 0911770401 | Rosa Herrera |
| Emilia Pineda | 0907606022 | No Firma |
| Yralexis Pineda | 0973893780 | No Firma |
| Arturo Pineda | 0904946555 | |
| Germania Pineda E. | 0911042364 | No Firma |
| Mauro Herrera | 0918404296 | |
| Jania Correa C. | 0923865038 | Jania Correa C. |
| Juan Correa | 0924841006 | |
| Sesenia Ordoñez | 0929407351 | Sesenia Ordoñez |
| Alex Correa | 0923758031 | Alex Correa |
| Hector Adolfo Correa A. | 0909189815 | Hector Adolfo Correa |
| Katty Herrera E. | 0916420904 | Katty Herrera |
| Katherine Vargas | 0923873970 | Katherine Vargas |
| Juan Moran | 090628 | |
| Primitio Pachay | 0906972856 | |
| JUAN MORAN | 0925077004 | Juan Moran |

Figura 27.Registro de asistentes en la socialización (2)
Párraga,2021



INFORME DE ENSAYO
ANÁLISIS AGUAS
No. 21-1090



| DATOS DEL CLIENTE | | | | | | |
|--|----------------------------|---------------------------|---|--------------------------------|--|--------------------------------|
| Empresa: SNTA. SERILY PÁRRAGA | | | | | | |
| Dirección: Guayaquil | | | | | | |
| Persona de Contacto: Srta. Serily Párraga | | | | | | |
| DATOS DE LA MUESTRA | | | | | | |
| (3) Tipo de Muestra/Ítem de Ensayo: Agua Natural | | | (3) Fecha/Hora Toma de Muestra: 29 de septiembre del 2021 / 9:50 | | | |
| (3) Tipo toma de Muestra/Procedimiento: Puntual Simple | | | (3) Cantidad de Muestra / Condición del ítem de ensayo: 1000 mL / La muestra presenta turbidez además de sólidos suspendidos | | | |
| (3) Lugar/Punto de Toma de Muestra: La Estacada - Las Lajas - Guale | | | (3) Muestra Tomada por: La muestra fue tomada por el cliente Srta. Serily Párraga. | | | |
| Código de Identificación de la Muestra: 1919-21 | | | Fecha/Hora de Recepción de Muestra: 29 de septiembre del 2021 / 11:00 | | | |
| RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS | | | | | | |
| Desviaciones/Adiciones/Exclusiones a los Procedimientos: NS | | | Cond. Amb. del Laboratorio: 25.7 °C 30.9% HR | | | |
| Parámetro | Resultados Unidades | Incert. Ko29 Unidad | (4) Valores de Referencia | (4) Declaración de Conformidad | Método de Ensayo | Fecha de Análisis |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | 381.47 mgO ₂ /l | 27.45 mgO ₂ /l | - | - | FEI-IPSONARY/13-9 S.M. Ed. 2365 2210 B. 2017 | 29/09/2021 al 08/10/2021 |

No Detectado Resultado por debajo del límite de Detección del método.

(1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación por el SAE.

(2) Parámetro ACREDITADO cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.

(3) Información proporcionada por el cliente, el laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.

(4) Declaración de conformidad:

- En el presente informe de ensayo NO SE REALIZA declaración de conformidad.

Cuando el cliente es responsable de la toma de muestra, los resultados aplican en las condiciones que estas fueron recibidas por el laboratorio.

Firmado digitalmente
por JEAN PIERRE
ZAMBRANO MOREIRA
Fecha: 2021.10.07
10:19:25 -05'00'
JEFE DE LABORATORIO ANALÍTICO

Firmado digitalmente
por MARLON
FRANCISCO WILLIAMS
FRANCO
Fecha: 2021.10.07
13:19:28 -05'00'
DIRECTOR TÉCNICO
AUTORIZACIÓN DEL INFORME

- Este informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad con la autorización por escrito de IPSONARY S.A.

PS1918-01
Fecha: 18/09/2020

IPSONARY S.A.
29 de Junio Manz. E Solar D4 • Telf. 593-4-6033531 / 6013532
Email: serviciosambientales@ipsomary.com • www.ipsomary.com • Guayaquil, Ecuador
Página 1 de 2

Figura 28. Resultados DBO₅ Inicial Párraga, 2021



INFORME DE ENSAYO
ANÁLISIS AGUAS
No. 21-1188



| DATOS DEL CLIENTE | | | | | | |
|--|---------------------------|--------------------------|--|--------------------------------|---|-----------------------------------|
| Empresa: FERRILY VARRAGA | | | | | | |
| Dirección: Guayaquil | | | | | | |
| Persona de Contacto: Srta. Fecliy Varraga | | | | | | |
| DATOS DE LA MUESTRA | | | | | | |
| (1) Tipo de Muestra/Ítem de Ensayo: Agua Natural | | | (2) Fecha/Hora Toma de Muestra: 20/10/2021 / 16:40 | | | |
| (3) Tipo toma de Muestra/Procedimiento: Porcional Simple | | | Cantidad de Muestra / Condición del ítem de ensayo: 1000 ml / Muestra con escasa presencia de color amarillo. | | | |
| (3) Lugar/Punto de Toma de Muestra: La Estación - Las Lejas - Dacia | | | (3) Muestra Tomada por: Muestra tomada por el cliente Srta. Fecliy Varraga. | | | |
| Código de Identificación de la Muestra: 1471-21 | | | Fecha/Hora de Recepción de Muestra: 19 de octubre del 2021 / 16:40 | | | |
| RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS | | | | | | |
| Desviaciones/Adiciones/Exclusiones a los Procedimientos: N/A | | | | | Cond. Amb. del Laboratorio: 24.8°C 42.00RH | |
| Parámetro | Resultados Unidades | Incert. E-2s Unidad | (4) Valores de Referencia | (4) Declaración de Conformidad | Método de Ensayo | Fecha de Análisis |
| Demanda Química de Oxígeno | 87.64 mgO ₂ /L | 4.29 mgO ₂ /L | - | - | FEI/IP300887/13-9 S.M. Ed. 23ab 5210 B, 2017 | 20/10/2021 16:40 21/10/2021 |

No detectado Resultado por debajo del límite de detección del método.

(1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación por el IAB.

(2) Parámetro ACREDITADO cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.

(3) Información proporcionada por el cliente, el laboratorio no es responsable por la información proporcionada por el cliente.

(4) Declaración de conformidad:

-En el presente Informe de Ensayo NO SE REALIZA declaración de conformidad.

Cuando el cliente es responsable de la toma de muestra, los resultados aplican en las condiciones que estas fueron recibidas por el laboratorio.



Firmado digitalmente
por JEAN PIERRE
ZANBRANO MOREIRA
Fecha: 2021.10.27
09:03:03 -0500'

JEFE DE LABORATORIO ANALÍTICO



Firmado digitalmente
por MARLON
FRANCISCO VILLAMAR
FRANCO
Fecha: 2021.10.27
09:03:25 -0500'

DIRECTOR TÉCNICO
AUTORIZACIÓN DEL INFORME

- Este informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad con la autorización por escrito de IPSOMARY S.A.

PGI/038-64
Fecha: 18/09/2020

IPSOMARY S.A.
79 de junio Manz. | Solar 04 • Telf. 593-4-6013531 / 6013532
Email: servicios@ipsomary.com • www.ipsomary.com • Guayaquil, Ecuador
Página 1 de 2

Figura 29. Resultado de la DBO₅ del mejor tratamiento (T6)
Párraga, 2021

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|--------------------|----|----------------|-------------------|------|
| Coliformes fecales | 50 | 0,98 | 0,97 | 9,52 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|----------|----|---------|--------|---------|
| Modelo | 20991,70 | 9 | 2332,41 | 193,24 | <0,0001 |
| Tratamiento | 20991,70 | 9 | 2332,41 | 193,24 | <0,0001 |
| Error | 482,80 | 40 | 12,07 | | |
| Total | 21474,50 | 49 | | | |

Figura 30. Análisis estadístico de coliformes fecales
Párraga, 2021

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| pH | 50 | 0,89 | 0,87 | 0,60 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|------|----|---------|-------|---------|
| Modelo | 0,62 | 9 | 0,07 | 37,62 | <0,0001 |
| Tratamiento | 0,62 | 9 | 0,07 | 37,62 | <0,0001 |
| Error | 0,07 | 40 | 1,8E-03 | | |
| Total | 0,69 | 49 | | | |

Figura 31. Análisis estadístico de pH
Párraga, 2021

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Turbidez | 50 | 0,92 | 0,91 | 18,51 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|---------|----|--------|-------|---------|
| Modelo | 5925,44 | 9 | 658,38 | 53,70 | <0,0001 |
| Tratamiento | 5925,44 | 9 | 658,38 | 53,70 | <0,0001 |
| Error | 490,46 | 40 | 12,26 | | |
| Total | 6415,90 | 49 | | | |

Figura 32. Análisis estadístico de Turbidez
Párraga, 2021

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| C.E. | 50 | 1,00 | 0,99 | 3,93 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|-----------|----|----------|--------|---------|
| Modelo | 454961,38 | 9 | 50551,26 | 906,91 | <0,0001 |
| Tratamiento | 454961,38 | 9 | 50551,26 | 906,91 | <0,0001 |
| Error | 2229,60 | 40 | 55,74 | | |
| Total | 457190,98 | 49 | | | |

Figura 33. Análisis estadístico de conductividad eléctrica
Párraga, 2021

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| SDT | 50 | 1,00 | 0,99 | 3,83 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|-----------|----|----------|--------|---------|
| Modelo | 110804,88 | 9 | 12311,65 | 991,28 | <0,0001 |
| Tratamiento | 110804,88 | 9 | 12311,65 | 991,28 | <0,0001 |
| Error | 496,80 | 40 | 12,42 | | |
| Total | 111301,68 | 49 | | | |

Figura 34. Análisis estadístico de Sólidos Disueltos Totales
Párraga, 2021