



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO MEDIANTE LA  
REUTILIZACION DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniera Ambiental

**AUTORA: GENESIS IVETTE ANCHUNDIA OLVERA**

**TUTOR: MGTR. KEVIN MIGUEL VELIZ IBARRA**

Guayaquil-Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, **GENESIS IVETTE ANCHUNDIA OLVERA** con documento de identificación N°  
**0943774471** manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad  
Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el  
presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



**Génesis Ivette Anchundia Olvera**


**C.C. No.: 0943774471**

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, **GENESIS IVETTE ANCHUNDIA OLVERA** con documento de identificación No. **0943774471**, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy la autora del tema de trabajo de titulación: Diseño de un sistema de riego por goteo mediante la reutilización del agua residual doméstica , el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

**Génesis Ivette Anchundia Olvera**

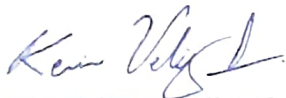
**C.C. No.: 0943774471**

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Kevin Miguel Veliz Ibarra** con documento de identificación N° **1205387374**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Diseño de un sistema de riego por goteo mediante la reutilización del agua residual doméstica, realizado por Génesis Ivette Anchundia Olvera con documento de identificación N° 0943774471, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



**Mgtr. Kevin Miguel Veliz Ibarra**

**1205387374**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis va dedicada a mis padres, quienes siempre han sido mi mayor fuente de motivación y apoyo a lo largo de este camino. Su amor incondicional y sacrificio ha sido lo que me ha impulsado a lograr cada meta que me he propuesto.

A mi querida familia, por su comprensión, paciencia y ánimo en los momentos más difíciles, la confianza que ellos han puesto en mí me ha dado las fuerzas para superar cualquier obstáculo.

A mis amigos, por compartir conmigo momentos de alegría, risas y preocupaciones a lo largo de este trayecto, su amistad, su compañía y sus palabras de aliento en los momentos que más lo he necesitado, han sido fundamentales para no rendirme y seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco principalmente a Jehová Dios por permitirme culminar esta etapa, ya que sin el nada sería posible.

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional para cumplir todos mis objetivos, con su cariño y amor me han impulsado a perseguir mis metas y nunca rendirme.

A mis abuelos paternos y maternos por su ánimo y apoyo cuando más lo he necesitado y a mi tío quién también contribuyó a que yo pudiera culminar esta etapa académica.

A mis mejores amigos, por darme su ánimo y acompañarme en toda esta etapa.

Y para finalizar agradezco a todos mis docentes, por transmitirme los conocimientos necesarios para llegar hasta aquí.

## RESUMEN

El riego por goteo es una técnica eficiente y sostenible, que permite la distribución precisa de agua a las plantas, optimizando el consumo hídrico y la productividad agrícola, se destaca su adaptabilidad, permitiéndole instalar en una variedad de terrenos y su versatilidad.

Los residuos plásticos como las botellas, representan una significativa fuente de contaminación ambiental. La reutilización de estas botellas en la construcción de sistemas de riego por goteo, contribuye a reducir la contaminación, y aprovechar un recurso abundante y de bajo costo.

Este proyecto consiste en diseñar un sistema de riego por goteo, innovador y sostenible, aprovechando la reutilización del agua residual doméstica, la integración de materiales reciclados, mitigar los impactos negativos en el medio ambiente, y promover la sostenibilidad.

Se caracterizó el agua residual doméstica, mediante análisis de laboratorio, y determinando sus características físicas, químicas, y microbiológicas, considerando la Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola, y la tabla 4: Parámetros de los niveles de la calidad de agua para riego, ambas obtenidas del acuerdo ministerial 097-A en su anexo 1 Recurso agua.

Se implemento un tratamiento de agua, consiste en un proceso químico de coagulación y floculación, y un proceso físico de separación por sedimentación, separando partículas, y eliminando sólidos del agua, reduciendo el contenido de sedimentos o turbidez.

Este diseño de sistema de riego es una medida ambiental y sostenible, para mejorar la eficiencia hídrica en la agricultura, reducir la dependencia de los recursos hídricos convencionales, y promover la conservación del medio ambiente.

**Palabras clave:** Agua residual doméstica, reutilización, riego por goteo, medio ambiente.

## ABSTRACT

Drip irrigation is an efficient and sustainable technique, which allows the precise distribution of water to plants, optimizing water consumption and agricultural productivity. Its adaptability stands out, allowing it to be installed in a variety of terrains and its versatility.

Plastic waste, such as bottles, represents a significant source of environmental pollution. The reuse of these bottles in the construction of drip irrigation systems contributes to reducing pollution and taking advantage of an abundant and low-cost resource.

This project consists of designing an innovative and sustainable drip irrigation system, taking advantage of the reuse of domestic wastewater, the integration of recycled materials, mitigating negative impacts on the environment, and promoting sustainability.

The domestic wastewater is characterized, applying the respective laboratory analyses, and determining its physical, chemical, and microbiological characteristics. Considering Table 3: Water quality criteria for agricultural irrigation, and Table 4: Parameters of the levels of the quality of water for irrigation, both obtained from Acuerdo ministerial 097-A.

A water treatment was implemented, it consists of a chemical process of coagulation and flocculation, and a physical process of separation by sedimentation, separating particles, and eliminating solids from the water, reducing the content of sediments or turbidity.

This irrigation system design is an environmental and sustainable measure to improve water efficiency in agriculture, reduce dependence on conventional water resources, and promote environmental conservation.

**Keywords:** Domestic wastewater, reuse, drip irrigation, environmental.



## ÍNDICE

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS .....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT .....	VIII
ÍNDICE .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIV
CAPÍTULO I.....	1
1.INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 PROBLEMA DE ESTUDIO.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA .....	4
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
1.5 MARCO HIPOTÉTICO.....	5

1.5.1 Marco Hipotético General .....	5
1.5.2 Marco Hipotético Específico.....	5
CAPITULO II .....	6
2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	6
2.1 Componentes de un sistema de riego por goteo .....	6
2.2 Características del riego por goteo .....	7
2.3 Ventajas del riego por goteo.....	7
2.4 Residuos plásticos .....	8
2.5 Propiedades del plástico reciclado .....	8
2.6 Importancia del reciclaje de plástico .....	8
2.7 Aprovechamiento de aguas residuales y de lluvia.....	9
2.8 Tratamiento de aguas residuales .....	9
2.9 Diseño del sistema de riego por goteo.....	10
2.9.1 Impacto ambiental y económico.....	10
2.10 Marco legal.....	11
CAPITULO III .....	17
3. METODOLOGÍA .....	17
3.1 Tipos de investigación.....	17
3.2 Investigación analítica.....	17
3.3 Investigación descriptiva.....	18
3.4 Investigación de laboratorio .....	19
3.5 Recolección de muestras .....	20
3.6 Consumo de agua .....	21
3.7 Análisis en el laboratorio.....	21
3.8 Pruebas de tratabilidad .....	30
3.9 Índice de calidad del agua .....	33
CAPITULO IV .....	40

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1 Análisis de aguas residuales domésticas antes del tratamiento.....	40
4.1.1 Parámetros físicos .....	40
4.1.2 Parámetros químicos .....	42
4.1.3 Parámetros microbiológicos.....	45
4.2 Tratabilidad del agua residual doméstica.....	46
4.3 Análisis de aguas residuales post-tratamiento.....	47
4.3.1 Parámetros físicos .....	47
4.2.2 Parámetros químicos .....	49
4.2.3 Parámetros microbiológicos.....	54
4.3 Resultados del consumo de agua.....	55
4.3 Resultados obtenidos del cálculo de índice de calidad del agua ICA .....	56
4.4 Diseño del sistema de riego por goteo .....	58
4.5 Análisis de costos .....	59
4.5.1 Costos fijos.....	59
4.6 Comprobación de hipótesis .....	61
4.7 Discusión.....	63
CAPITULO V .....	65
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
5.1 CONCLUSIONES .....	65
5.2 RECOMENDACIONES .....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS.....	76
Anexo 1. Muestras evaluadas en el laboratorio.....	76

Anexo 2. Registro de uso de equipos, reactivos usados en el laboratorio.....	76
Anexo 3. Vista general de todos los materiales usados.....	77
Anexo 4. Medición de parámetros físicos, químicos y bioquímicos .....	77
Anexo 5. Muestras evaluadas en el espectrofotómetro .....	78
Anexo 6. Reactivos utilizados en el tratamiento de las muestras.....	78
Anexo 7. Reactivos usados para corregir pH .....	79
Anexo 8. Proceso de coagulación y floculación .....	79
Anexo 9. Realizando el test de jarras .....	80
Anexo 10. Muestras de agua luego de su tratamiento.....	80
Anexo 11. Implementación del sistema de riesgo.....	81
Anexo 12. Vista general de sistema de riego en un jardín .....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros que se medirán en agua residual doméstica .....	23
Tabla 2. Clasificación del ICA.....	39
Tabla 3. Resultados de parámetros físicos obtenidos en las muestras .....	40
Tabla 4. Resultados de parámetros químicos obtenidos en las muestras .....	42
Tabla 5. Resultados de parámetros microbiológicos obtenidos en las muestras.....	46
Tabla 6. Resultados de parámetros físicos postratamiento en las muestras .....	48
Tabla 7. Resultados de parámetros químicos postratamiento en las muestras .....	50
Tabla 8. Resultados de parámetros microbiológicos postratamiento en las muestras .....	54
Tabla 9 cálculo del ICA en la muestra 1 .....	56
Tabla 10 cálculo del ICA en la muestra 2 .....	57
Tabla 11 cálculo del ICA en la muestra 3 .....	57
Tabla 12. Cálculo de costos e ingresos para cantidades usadas en el sistema de riego .....	60
Tabla 13. Datos de costos fijos y variables .....	60

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Ubicación de toma de muestras .....	4
Ilustración 2. Curva de calidad Coliformes fecales.....	34
Ilustración 3. Curva de calidad de nitratos .....	35
Ilustración 4. Curva de calidad de pH .....	35
Ilustración 5. Curva de calidad de temperatura.....	36
Ilustración 6. Curva de calidad de sólidos disueltos .....	36
Ilustración 7. Curva de calidad de turbidez.....	37
Ilustración 8. Curva de calidad de la demanda bioquímica de oxígeno.....	37
Ilustración 9. Curva de calidad de % de saturación .....	38
Ilustración 10. Curva de calidad de fosfatos .....	38
Ilustración 11. Gráfico de barras de turbidez .....	41
Ilustración 12. Gráfico de barras de sólidos disueltos totales .....	41
Ilustración 13. Gráfico de barras de temperatura .....	42
Ilustración 14. Gráfico de barras de ph .....	43
Ilustración 15. Gráfico de barras de conductividad eléctrica .....	43
Ilustración 16. Gráfico de barras de boro.....	44
Ilustración 17. Gráfico de barras de cobalto .....	44
Ilustración 18. Gráfico de barras de selenio.....	44

Ilustración 19. Gráfico de barras de sulfatos .....	45
Ilustración 20. Gráfico de barras de nitratos .....	45
Ilustración 21. Gráfico de barras parámetros microbiológicos .....	46
Ilustración 22. Gráfico de barras de turbidez postratamiento .....	48
Ilustración 23. Gráfico de barras de sólidos totales postratamiento.....	49
Ilustración 24. Gráfico de barras de temperatura postratamiento .....	49
Ilustración 25. Gráfico de barras de pH postratamiento.....	51
Ilustración 26. Gráfico de barras de conductividad eléctrica postratamiento .....	51
Ilustración 27. Gráfico de barras de boro postratamiento .....	52
Ilustración 28. Gráfico de barras de cobalto postratamiento.....	52
Ilustración 29. Gráfico de barras de selenio postratamiento .....	53
Ilustración 30. Gráfico de barras de sulfatos postratamiento .....	53
Ilustración 31. Gráfico de barras de nitratos postratamiento .....	54
Ilustración 32. Gráfico de barras de coliformes fecales postratamiento .....	55
Ilustración 33. Diseño del sistema de riego por goteo .....	59
Ilustración 34. Gráfica de costos variables y total .....	61
Ilustración 35. Gráfica de resultados de hipótesis.....	62

# CAPÍTULO I

## 1.INTRODUCCIÓN

El siglo XXI ha traído muchos desafíos sin precedentes para la gestión de los recursos naturales, entre los que destaca el agua como elemento fundamental tanto para el desarrollo humano como para la sostenibilidad ambiental. A medida que la población mundial sigue en aumento y la demanda de agua incrementa, la disponibilidad de este recurso fundamental se ve cada vez más involucrada, intensificada por fenómenos como el cambio climático y la contaminación (Cárdenas, 2018).

Todos los continentes han sido afectados por la escasez de agua. Casi una quinta parte de la población mundial, aproximadamente 1.200 millones de individuos, residen en áreas con escasez de agua, y 500 millones de individuos se encuentran en peligro de extinción. Alrededor de una cuarta parte de la población mundial sufre de escasez económica de agua en países que carecen de infraestructura para transportar agua desde ríos y acuíferos. (Leenhardt et al., 2023).

El agua juega un papel importante en la seguridad alimentaria y es un insumo esencial para la producción agrícola. La productividad por unidad de tierra en la agricultura de secano es en promedio al menos el doble que en la agricultura de riego, lo que permite una mayor intensificación de la producción y una mayor diversificación de los cultivos (Fundación AQUAE, 2021).

Las aguas residuales domésticas generadas por las actividades humanas diarias son un valioso recurso hídrico que no se utiliza plenamente. Reutilizarlas en la agricultura mediante sistemas de riego por goteo no sólo alivia la escasez de agua, sino que también ayuda a mejorar el



tratamiento de las aguas residuales. Puede ser una solución sostenible y reducir la contaminación ambiental. Sin embargo, diseñar un sistema de riego por goteo que incorpore aguas residuales domésticas requiere una consideración cuidadosa de varios factores, incluida la calidad del agua tratada, la eficiencia del riego y los impactos ambientales y de salud pública (Lander Rodríguez, 2020).

Con el estudio actual que se realiza se pretende aprovechar las aguas residuales domésticas generadas y con ello implementar un sistema de riego por goteo que permita comprobar lo viable que es aplicarlo para la vegetación existente en el jardín de una vivienda.

### **1.1 PROBLEMA DE ESTUDIO**

Aproximadamente mil millones de toneladas de aguas residuales ingresan a cuerpos de agua, contaminadas de metales pesados, solventes, aceites, grasas, productos de limpieza, ácidos, materiales radiactivos, fertilizantes, pesticidas y otras sustancias químicas (Benavides Sanchez, 2022).

Un estudio reciente encontró que las aguas residuales agregan alrededor de 6,2 millones de toneladas de nitrógeno a las costas de todo el mundo cada año, afectando a la flora y fauna marina, además de contribuir a la proliferación nociva de algas (Salazar, 2022).

Las aguas residuales domésticas presentan patógenos, materia orgánica, sólidos, detergentes, nitrógeno y fósforo (Arellano, 2009). Estos compuestos afectan su capacidad para emplearse en otros procesos, como actividades agrícolas.

La deficiencia y el exceso de agua suministrada a actividades agrícolas pueden causar daños irremediables, siendo un recurso valioso para otras actividades humanas, con un acceso limitado. El monopolio del agua es un problema que sucede alrededor del mundo, en donde

distintos actores, como sistemas de cultivos, se lo quitan a comunidades o zonas locales (Assumpta, 2022).

Los problemas más habituales derivados del uso del agua para riego se relacionan con sus niveles de parámetros tales como el boro, micronutriente esencial para el desarrollo de las plantas, cobalto que aumenta la resistencia de las semillas en la sequía, selenio que fortalece el sistema de defensa de las plantas (Martínez, 2022).

El problema de estudio en la investigación es la disposición actual que se le da a las aguas residuales domésticas, ya que se pueden aprovechar mejor mediante su reutilización y así contribuir a una mejor gestión de los recursos hídricos, evitando terribles efectos como pueden ser, la eutrofización, olores indeseables y contaminación a otras fuentes de agua.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La urgente necesidad de abordar los desafíos correlacionados de la escasez de agua, la gestión de desechos y la sostenibilidad agrícola justifica esta investigación. La disponibilidad mundial de agua dulce está siendo afectada por el crecimiento demográfico, la urbanización y el cambio climático. La contaminación de las fuentes de agua superficiales y subterráneas y la mala gestión de las aguas residuales empeoran esta situación.

Este proyecto proporciona la base conceptual para el diseño de un sistema de riego por goteo innovador y sostenible que aprovecha tanto residuos sólidos como líquidos. La integración de materiales reciclados y fuentes alternativas de agua no solo promueve la sostenibilidad, sino que también contribuye a mitigar los impactos negativos en el medio ambiente.

### 1.3 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA

El sitio de estudio donde se realizaron los puntos de muestreo se encuentra ubicado en el suroeste de la ciudad de Guayaquil, entre la 27 ava y 28 ava de las calles Bolivia, parroquia Febres Cordero.



*Ilustración 1- Ubicación de toma de muestras*

### 1.4 OBJETIVOS

#### 1.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de riego por goteo haciendo un uso eficiente del agua residual doméstica y así minimizar el impacto ambiental.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el agua residual doméstica mediante la evaluación física química y microbiológica para reconocer las cargas contaminantes.
- Realizar pruebas de tratabilidad a las aguas residuales domésticas, mediante el desarrollo de evaluaciones experimentales para su aprovechamiento en el sistema de riego.
- Determinar la rentabilidad del proyecto mediante un análisis de costos para verificar la viabilidad técnica y financiera.

## **1.5 MARCO HIPOTÉTICO**

### **1.5.1 Marco Hipotético General**

- ¿La implementación de un sistema de riego por goteo que aproveche de forma efectiva el agua residual doméstica, reducirá la demanda de agua potable y minimizar el impacto ambiental asociado con la descarga de aguas residuales?

### **1.5.2 Marco Hipotético Específico**

- ¿La evaluación integral de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua residual doméstica permitirá un reconocimiento preciso de las cargas contaminantes presentes?

- ¿La realización de pruebas de tratabilidad a las aguas residuales domésticas, a través del desarrollo de evaluaciones experimentales, permitirá determinar la viabilidad y eficacia de utilizar estas aguas tratadas en un sistema de riego?

- ¿Al realizar el análisis de costos, será posible determinar la rentabilidad del proyecto y verificar su viabilidad técnica y financiera, así como los beneficios económicos derivados de sus resultados?

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

El riego por goteo es una técnica eficiente y sostenible que permite la distribución precisa de agua a las plantas, optimizando el consumo hídrico y mejorando la productividad agrícola. Este proyecto busca diseñar un sistema de riego por goteo que utilice materiales reciclados, específicamente botellas de plástico como residuos sólidos, y aguas residuales y de lluvia como residuos líquidos (Valdivieso Vidal, 2013)

Este método de irrigación que consiste en distribuir el agua directamente a las raíces de las plantas a través de pequeños orificios o emisores que gotean agua lentamente, con ello se busca minimizar la evaporación del agua y reducir su desperdicio (Macedo Jiménez, 2021).

Este puede ser automatizado para proporcionar agua a las plantas en momentos específicos del día, es una opción económica a largo plazo, para reducir consumo de agua y de energía (Zuluaga Mejía et al., 2022).

#### **2.1 Componentes de un sistema de riego por goteo**

Los componentes principales que componen un sistema de riego por goteo son:

- El sistema de distribución se compone de cuatro partes: el distribuidor de la línea principal, los cabezales, la línea de goteo y los conectores que conectan la línea de goteo al colector.
- El componente que se utiliza para limpiar el agua de riego por goteo se conoce como filtro. Se utilizan filtros de discos, filtros de malla y separadores de arena.
- Regulador de presión: reduce la presión del colector de agua a la presión que necesita la línea de goteo para funcionar.

- Las válvulas y los manómetros son los componentes que se utilizan para abrir y cerrar el área de cultivo. El medidor mide el uso y el flujo de agua del sistema de riego.
- Inyectores químicos: donde se realiza la desinfección o pulverización de fertilizantes, y sustancias para evitar la obstrucción del sistema (Vargas-Rodríguez et al., 2021).

## **2.2 Características del riego por goteo**

El sistema de riego por goteo se caracteriza primordialmente por:

- Requiere menos agua en comparación con el riego por aspersión
- Menos gastos de energía en el bombeo.
- Un uso eficiente del agua.
- Bajos costos de trabajo y mantenimiento y una amplia automatización.
- El sistema de goteo aplica fertilizantes de manera eficiente (Alvarez Benaute et al., 2022).

## **2.3 Ventajas del riego por goteo**

Automatización del sistema. Casi no requiere esfuerzo para operar, fertilizar y desherbar. El riego por goteo evita regar áreas no deseadas y previene la aparición y crecimiento de malezas. Además, reducir el contacto directo de hojas, tallos y frutos con el agua (humedad) previene la propagación de enfermedades (Guerrero-Guio et al., 2019).

Adaptabilidad. Se puede instalar en una variedad de condiciones de terreno y es extremadamente versátil para usar con una variedad de condiciones de agua y salinidades del suelo (Cherlinka, 2021).

Es altamente eficiente y permite el uso combinado de riego y maquinaria agrícola, recolección y fumigación. Al utilizar únicamente el agua que necesita el cultivo, se consigue un alto nivel

de riego uniforme. La alta frecuencia de riego, pero los bajos caudales ayudan a mantener niveles óptimos de humedad en la zona de las raíces de la planta, lo que permite un desarrollo uniforme de las raíces. Obtenga más información sobre nutrición vegetal (Bolaños Zea, 2019).

#### **2.4 Residuos plásticos**

Las botellas de plástico representan una significativa fuente de contaminación ambiental. La reutilización de estas botellas en la construcción de sistemas de riego por goteo no solo contribuye a reducir la contaminación, sino que también aprovecha un recurso abundante y de bajo costo. El plástico de las botellas puede ser transformado en tuberías, goteros y otros componentes necesarios para el sistema (Pittaluga & Pirrocco, 2021).

#### **2.5 Propiedades del plástico reciclado**

Es crucial entender las propiedades físicas y químicas del plástico reciclado para asegurar la durabilidad y eficacia del sistema. Consideraciones como resistencia a la intemperie, flexibilidad y durabilidad son fundamentales para garantizar un rendimiento a largo plazo del sistema de riego (Gerena et al., 2023).

#### **2.6 Importancia del reciclaje de plástico**

El reciclaje del plástico es de suma importancia porque, al ser un material que tarda mucho en descomponerse (dependiendo de su tipo específico), suele tener muchos impactos negativos en la ecología de los residuos (Benavides Sanchez, 2022).

Sin embargo, además del incremento de su uso en los últimos treinta años, la Asociación de Industriales del Plástico señala una serie de ventajas a tener en cuenta que nos ofrece el uso del plástico frente a otros materiales. Además, de alguna manera también ayudan a proteger mejor el medio ambiente (Arteplastica, 2014).

Su uso en diversos medios de transporte ahorra combustible debido a su bajo peso, lo que conlleva una emisión siete veces menos de carbono y permite la reutilización de envases y bolsas.

Alta proporción de reciclaje de plástico. El plástico postindustrial se recicla en un 95% y los residuos domésticos en un 12,5% que tiene mayor capacidad calorífica que el carbón o la madera (Arteplastica, 2014).

El notable aumento del consumo de plástico en la sociedad moderna, que se estima que aumenta un 4% cada año, se ha producido en paralelo al desarrollo tecnológico de estos materiales, y su uso está aumentando en las zonas rurales y en los envases tradicionales. en paralelo. El consumo mundial de materiales plásticos aumenta de 4.444 millones de toneladas en 1978 a 60 millones de toneladas en 2000, de las cuales el 50% queda excluidode Estados Unidos y el resto se dividirá a partes iguales entre Europa y Japón. El consumo de botellas de botellas de plástico en España en el año 2000 ascendió a 4.444 piezas, lo que supuso 2 millones de toneladas (Bolaños Zea, 2019).

## **2.7 Aprovechamiento de aguas residuales y de lluvia**

La utilización de aguas residuales tratadas y aguas de lluvia como fuente de riego presenta beneficios ambientales y económicos. Las aguas residuales, una vez tratadas adecuadamente, pueden proporcionar nutrientes adicionales a las plantas (Banco Mundial, 2020). Por otro lado, la captación de aguasde lluvia contribuye a la gestión sostenible del recurso hídrico y reduce la dependencia de fuentes convencionales (FAO, 2013).

## **2.8 Tratamiento de aguas residuales**

Es esencial implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales para eliminar



contaminantes y garantizar la seguridad de las plantas y del entorno. Tecnologías como filtros microbiológicos y procesos físico-químicos pueden ser aplicados según la naturaleza de los contaminantes presentes (Portales González et al., 2016).

## **2.9 Diseño del sistema de riego por goteo**

El diseño del sistema debe contemplar la distribución eficiente del agua a las plantas, considerando factores como la topografía del terreno, la calidad del suelo y los requerimientos hídricos de los cultivos. Además, se deben integrar los componentes fabricados con botellas de plástico reciclado, asegurando una instalación fácil y una operación confiable (Zamudio et al., 2020).

### **2.9.1 Impacto ambiental y económico**

Se realiza un análisis del impacto ambiental comparativo entre el sistema propuesto y los métodos convencionales de riego. Además, se evalúa la viabilidad económica del proyecto, considerando los costos de implementación y los beneficios a largo plazo, como el ahorro de agua y la mejora de la productividad agrícola (Pérez, 2021).

Este marco teórico proporciona la base conceptual para el diseño de un sistema de riego por goteo innovador y sostenible que aprovecha tanto residuos sólidos como líquidos. La integración de materiales reciclados y fuentes alternativas de agua no solo promueve la sostenibilidad, sino que también contribuye a mitigar los impactos negativos en el medio ambiente (Cansi & Cruz, 2020).

## **2.10 Marco legal**

### **Constitución del Ecuador**

Se establece como la Ley fundamental de Ecuador, a la que está sometida toda la legislación ecuatoriana, donde se establecen las normas fundamentales que amparan los derechos, entró en vigor, reemplazando a la anterior Constitución de 1998, desde su publicación en el Registro Oficial el 20 de octubre de 2008.

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 (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

- Ítem N. ° 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 (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Art. 282.- El Estado regulará el uso y manejo del agua de riego para la producción de alimentos, bajo los principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad ambiental (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento

de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

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. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

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 (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

### **Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente**

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 (Tulsma, 2017).

Art. 210.- Prohibición. - De conformidad con la normativa legal vigente:

- a) Se prohíbe la utilización de agua de cualquier fuente, incluida las subterráneas, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados
- b) Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación;
- c) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, en quebradas secas o nacimientos de cuerpos hídricos u ojos de agua
- d) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual no esté en capacidad de soportar la descarga; es decir que, sobrepase la capacidad de carga del cuerpo hídrico (Tulsma, 2017).

Art. 211.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. - La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados. Las actividades productivas, se sujetarán a lo dispuesto en el presente Libro y a la normativa técnica que para el efecto emita la Autoridad Ambiental Nacional (Tulsma, 2017).

La gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento establecidos en este Libro (Tulsma, 2017).

### **Acuerdo ministerial 097- A**

#### 5.1.3 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes, se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en la TABLA 3 y la TABLA 4.

Los criterios de calidad admisibles para las aguas destinadas a uso agrícola se presentan en la TABLA 3.

TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA			
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	Película Visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr <sup>++</sup>	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

**Fuente:** (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2017)

TABLA 4: PARÁMETROS DE LOS NIVELES DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO				
PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN *		
		Ninguno	Ligero Moderado	Severo
<u>Salinidad: (1)</u>	<u>milimhos/cm</u>	<u>0,7</u>	<u>0,7-3,0</u>	<u>&gt;3,0</u>
<u>CE (2) SDT</u>	<u>mg/l</u>	<u>450</u>	<u>450-2000</u>	<u>&gt;2000</u>
<u>(3)</u>				
<u>Infiltración: (4)</u>				
<u>RAS=0-3yCE=</u>		<u>0, 7</u>	<u>0, 7-0, 2</u>	<u>&lt;0, 2</u>
<u>RAS=3-6yCE=</u>		<u>1,</u>	<u>1, 2-0,</u>	<u>&lt;0, 3</u>
<u>RAS=6-</u>		<u>2</u>	<u>3,1,9 0</u>	<u>&lt;0,5</u>
<u>RAS=12-</u>		<u>2,9</u>	<u>2,9-1, 3</u>	<u>&lt;1,3</u>
<u>20yCE=</u>		<u>5,0</u>	<u>5,0-2, 9</u>	<u>&lt;2, 9</u>
<u>Toxicidad por iones</u>	<u>meq/l</u>	<u>3,0</u>	<u>3,0-9,0</u>	<u>≥9</u>
<u>específicos (5) Sodio:</u>	<u>meq/l</u>	<u>3,0</u>	<u>3,0</u>	<u>≥10</u>
<u>Irriación superficial RAS (6)</u>	<u>meq/l</u>	<u>4,0</u>	<u>4,0-10,0</u>	
<u>Aspersión</u>	<u>meq/l</u>	<u>3,0</u>	<u>3,0 0,7-</u>	<u>&gt;3</u>
<u>Cloruros:</u>	<u>mg/l</u>	<u>0,7</u>	<u>3,0</u>	
<u>Irriación superficial</u>				
<u>Aspersión</u>				
<u>Boro:</u>				
<u>Efectos misceláneos (7)</u>				
<u>Nitrógeno (N NO<sub>3</sub> )</u>	<u>mg/l</u>	<u>5,0</u>	<u>5,0-30,0</u>	<u>≥30</u>
<u>Bicarbonato (HCO<sub>3</sub> ) Solo</u>				
<u>aspersión</u>	<u>meq/l</u>	<u>1,5</u>	<u>1,5-8,5</u>	<u>≥8,5</u>
<u>pH</u>	<u>Rango normal</u>		<u>6,5-8,4</u>	

\* Es el grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.

(1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos  
(2) CE =Conductividad eléctrica del agua de regadío (1milimhos/cm=1000micromhos/cm)  
(3) SDT = Sólidos disueltos totales  
(4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo  
(5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos  
(6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada  
(7) Afecta a los cultivos susceptibles

Fuente: (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2017)

## **CAPITULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

El proyecto de investigación consiste en reutilizar el agua residual doméstica mediante la implementación de un sistema de riego por goteo, es de tipo experimental teniendo como unidad de análisis la cantidad de aguas residuales domésticas provenientes de una vivienda ubicada en el cantón de Guayaquil, que descarga sus efluentes en el sistema de alcantarillado. Se capta un porcentaje del agua descargada, para su tratamiento y posible aprovechamiento para huertos familiares, jardines, plantas domésticas, ornamentales, etc.

La caracterización del agua residual doméstica es un proceso esencial para comprender su composición y evaluar su impacto ambiental, se realiza una evaluación física, química y microbiológica, se tomó metodología de análisis del estándar método y referencia de criterios de calidad límites máximos permisibles del acuerdo ministerial 097-A, Anexo 1, tabla 3 y 4.

#### **3.1 Tipos de investigación**

Se propone considerar los siguientes tipos de investigación que son; la analítica, descriptiva y de laboratorio.

#### **3.2 Investigación analítica**

Este es un tipo especial de investigación que requiere el uso de habilidades de pensamiento crítico y la evaluación de datos e información relacionados con el proyecto.

Determinar la relación de causa y efecto entre dos o más variables, es utilizado para determinar los factores más relevantes durante la investigación, para descubrir información que respalde la investigación existente para fortalecer la validez de sus resultados.



### **3.2.1 Importancia de la investigación analítica**

El objetivo de la investigación analítica es combinar muchos detalles sutiles para desarrollar ideas más confiables.

La investigación analítica explica por qué se debe confiar en una declaración. Averiguar por qué sucedió algo es complicado. Debe ser capaz de evaluar críticamente la información.

Este tipo de información es útil para validar una teoría o apoyar una hipótesis. Esto le ayuda a reconocer una afirmación y decidir si es cierta o no (Moreno, 2021).

### **3.3 Investigación descriptiva**

Se trata de describir las características de un grupo demográfico sin enfocarse en las razones detrás de un fenómeno específico. En otras palabras, "explica" el tema de investigación sin entrar en "por qué" sucede (Rodríguez, 2024).

#### **3.3.1 Principales características**

- ✓ La investigación descriptiva es un enfoque de investigación cuantitativa que busca obtener datos cuantificables para el análisis estadístico de muestras de población. Esta es una herramienta de investigación de mercado popular que le ayuda a comprender y describir diferentes segmentos demográficos.
- ✓ Estudios transversales: Los estudios descriptivos suelen analizar diferentes partes de un mismo grupo.
- ✓ Base para investigaciones futuras: Se pueden utilizar una variedad de métodos para investigar más a fondo los datos recopilados y analizados durante una investigación descriptiva. Además, ayuda a determinar el tipo de técnicas de investigación que se utilizarán en estudios futuros (Muguira, 2023).

### **3.3.2 Ventajas de la investigación descriptiva**

- ✓ Variedad de datos: la información recopilada incluye datos cualitativos y cuantitativos, lo que permite una comprensión integral del tema de investigación. En consecuencia, se recopilan datos que no se esperaban y que son diversos, diversos y completos.
- ✓ Entorno natural: la investigación descriptiva permite realizar investigaciones en el entorno natural de los encuestados, lo que garantiza la recopilación de datos confiables y de alta calidad.
- ✓ Rápido y económico de realizar: la recopilación de datos es rápida y económica debido a que los tamaños de muestra son comunes en los estudios descriptivos.
- ✓ Forma la base para la toma de decisiones: porque los datos recopilados en la investigación descriptiva representan una población más grande y son sólidos, es fácil tomar decisiones basadas en el análisis estadístico de estos datos. (Mugira, 2023).

### **3.4 Investigación de laboratorio**

Es un tipo de investigación que utiliza metodología de investigación científica. El proceso de inspección se lleva a cabo en un lugar específico con equipos y dispositivos que apoyan la inspección de objetos controlando variables y condiciones ambientales (Conrado, 2021).

#### **3.4.1 Ventajas de la Investigación de laboratorio**

- ✓ Exactitud. La investigación de laboratorio es la forma más precisa de probar hipótesis sacando conclusiones causales (causa/efecto) que permite determinar relaciones entre las variables que se estudian.
- ✓ Manipulación de variables. Trabajar con variables se facilita determinando cuáles son dependientes y cuáles son independientes dentro de un proceso.

- ✓ Replicación. Este es el tipo de investigación que puede replicarse fácilmente en diferentes campos.
- ✓ Repetible. Los resultados son repetibles y pueden comprobarse y verificarse fácilmente.
- ✓ Entorno gestionado. Se logra mejores resultados porque tiene control sobre las condiciones y variables.
- ✓ Rapidez. Esto puede llevar a situaciones que en la naturaleza llevarían mucho tiempo, por lo que los resultados son predecibles (Rodríguez, 2024).

### **3.5 Recolección de muestras**

- Se identificó las fuentes de agua residual doméstica que se utiliza en el sistema de riego.
- Se seleccionó los puntos de muestreo representativos.
- Examinar la disponibilidad de aguas residuales existentes.

Como se toma muestras de agua para análisis se debe tener en cuenta el volumen que como mínimo se debe de analizar que es de 500 ml, también se elegirá el momento adecuado para la recolección, considerando factores estacionales y eventos climáticos, es importante que este procedimiento se realice antes de las seis horas desde que se hizo la recolección de la muestra, y etiquetar cada botella de muestra con información relevante, como la ubicación, la fecha y la hora del muestreo (Agrocalidad, 2018).

El objetivo es analizar su composición y propiedades, los resultados indican que las aguas grises contienen materiales orgánicos, detergentes, partículas de alimentos y otros contaminantes, además, se observaron altas cargas de nutrientes en estas muestras.

Este análisis es relevante para comprender la calidad de las aguas residuales domésticas y su potencial reutilización o tratamiento adecuado, los resultados podrían contribuir a estrategias sostenibles de gestión del agua y mejorar la salud ambiental.

### **3.5.1 Numero de muestras**

En este estudio se recolectaron tres muestras de aguas residuales domésticas, cada una con un volumen de 4 litros, específicamente aguas grises, estas aguas grises se recolectaron de tres puntos de generación durante las actividades diarias de una vivienda.

- a) Muestra 1: agua proveniente de la lavadora
- b) Muestra 2: agua de lavamanos
- c) Muestra 3: agua usada en higiene personal

### **3.6 Consumo de agua**

El consumo de agua se determinó utilizando el factor de consumo de agua por habitante al día (0.24 m<sup>3</sup>/per cápita/día), obtenido del Municipio de Guayaquil (Municipio de Guayaquil, 2022).

$$\text{Consumo de agua} = n \text{ personas} * FC$$

- n personas: Cantidad de personas que habitan en la vivienda
- FC: factor de consumo de agua

El presente estudio se aprovecha el agua residual generada en una vivienda de la ciudad de Guayaquil donde habitan 3 personas.

### **3.7 Análisis en el laboratorio**

Una vez en el laboratorio, registrar la recepción de la muestra y seguir los procedimientos de seguridad establecidos.

Realiza los análisis requeridos según los parámetros específicos de la muestra, como pruebas químicas, microbiológicas y físicas.

- Determinar sus parámetros físicos, químicos, microbiológicos, metales y compuestos orgánicos persistentes.
- Medir la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica y la turbidez.
- Estos parámetros proporcionan información sobre las propiedades físicas del agua.
- Analizar concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- • Analizar la presencia y concentración de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes.

Se tendrá en cuenta al seleccionar los parámetros que se van a evaluar la Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola, y la tabla 4: Parámetros de los niveles de la calidad de agua para riego, ambas obtenidas del acuerdo ministerial 097-A.

Se elaboró la tabla 1 donde se menciona los parámetros medidos para este estudio tomados del Libro VI del TULSMA (Acuerdo Ministerial No. 097-A)

**Tabla 1. Parámetros que se medirán en agua residual doméstica**

<b>Tipo de parámetro</b>	<b>Parámetro</b>	<b>L.M. P</b>
<b>Parámetros físicos</b>	Turbidez	---
	Sólidos disueltos totales	*450-2000 mg/l
	Temperatura	*10-21°C
<b>Parámetros Químicos</b>	PH	*6-9
	Conductividad eléctrica	*0,7-3,0 milimhos/cm
	Boro	0,75 mg/l
	Cobalto	0,01 mg/l
	Selenio	0,02 mg/l
	Sulfatos	250 mg/l
	Nitratos	---
<b>Parámetros microbiológicos</b>	Coliformes fecales	1000 NMP/100 ml

**\*Corresponden a un grado de restricción ligero a moderado.**

Los parámetros propuestos se definieron de acuerdo a una revisión de estudios previos, estableciendo que estos pueden ser determinantes en la producción de un cultivo, porque puede haber especies muy sensibles a niveles altos de concentración y afectar la productividad de un cultivo. Es necesario partir de un análisis de agua para conocer el estado actual de este recurso, realizar las correcciones necesarias, optimizar su uso, y evitar problemas de toxicidad durante el desarrollo del cultivo, evitando la degeneración de la estructura del suelo (Almachi & Guachi, 2020; Lopez & Camacho, 2024; Olivieri, 2020; Quispe, 2016).

### **3.7.1 Metodología para medir parámetros físicos en agua residual doméstica**

#### **Alcalinidad**

Para ello se utiliza el pH-metro, que es una alternativa rápida y precisa (pH-metro PCE-PH 23, 2020).

- a. Calibración del pH-metro: Se siguen instrucciones específicas del fabricante para la calibración adecuada del equipo.
- b. Preparación de muestras: Se recolecta una muestra del agua residual que se va a analizar en un recipiente limpio y etiquetado con su información como; número de la muestra, hora en la que fue recolectada, etc.
- c. Medición del pH: Se sumerge el electrodo del pH-metro en la muestra y se espera a que la lectura se estabilice, asegurándonos que no toque las paredes del recipiente, y que se encuentre completamente sumergido.
- d. Determinación de la alcalinidad: Se calcula la alcalinidad en forma de equivalentes de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) utilizando mediciones de pH con tablas de correlación o fórmulas de conversión específicas.
- e. Seguridad y mantenimiento del equipo: Después de su uso. Se limpia el electrodo del pH-metro y se guarda siguiendo las instrucciones de fábrica para asegurar su precisión y duración.

#### **Turbidez**

El equipo estándar utilizado para medir la turbidez, es el turbidímetro, para ello se seguirán los siguientes pasos (turbidímetro PCE, 2021).

- a. Preparación del equipo: Asegurarse que el equipo esté limpio y correctamente calibrado.

- b. Recolectar una muestra representativa y etiquetarla respectivamente con sus datos relevantes, en caso de ser necesario agitar la muestra para asegurar su distribución uniforme de las partículas suspendidas antes de medir la turbidez.
- c. Introducir la sonda del turbidímetro en la muestra de agua residual y esperar a que el dispositivo estabilice la lectura.
- d. Llevar un registro del valor de la turbidez que nos indica en la pantalla del equipo.
- e. Analizar los datos obtenidos para identificar anomalías en la turbidez, y determinar si se requiere algún tratamiento adicional.

### **Sólidos totales**

El dispositivo que mide el contenido total de sólidos en las aguas residuales se llama "estufa secadora" u "horno de secado". Esta herramienta se utiliza para determinar la cantidad de sólidos en muestras de aguas residuales mediante evaporación y pesaje (Estufa de secado VWR ® VENTI-Line ® con convección forzada VL 53, VL 115, 2020).

- a. Para la preparación de las muestras se debe recolectar una muestra representativa de aguas residuales domésticas en un recipiente limpio y etiquetarlo adecuadamente con información como el lugar y la fecha del muestreo.
- b. En caso de ser necesario se debe filtrar la muestra para eliminar partículas grandes en el aire que puedan interferir con las mediciones de sólidos totales.
- c. Pesar la muestra en un recipiente de vidrio limpio y seco en una balanza analítica de precisión y registrar su masa.
- d. Verter una cantidad conocida de muestra de aguas residuales en un recipiente pesado y registrar la masa combinada de la muestra y el recipiente.



- e. Secado de la muestra: Colocar el recipiente que contiene la muestra en un horno secador precalentado a una temperatura constante y controlada (normalmente entre 103 y 105 °C).
- f. Secar completamente la muestra en una secadora durante un período de tiempo (generalmente de 24 a 48 horas) hasta que se haya evaporado toda la humedad, pesar la muestra seca: Una vez que la muestra esté completamente seca, retirar el recipiente de la secadora y enfriar a temperatura ambiente en un desecador.
- g. Una vez que la muestra y el recipiente se hayan enfriado a temperatura ambiente, pesarlos nuevamente en la misma balanza analítica y registrar la masa.
- h. Calcular Sólidos Totales: Restar la masa del recipiente original de la masa del recipiente seco para obtener la masa de sólidos secos presentes en la muestra.
- i. Informar los resultados en miligramos o gramos por litro (mg/L o g/L) como sólidos totales, dependiendo de la cantidad de muestra utilizada y el volumen de la muestra original.

El horno secador es una herramienta fundamental en el análisis de aguas residuales para determinar la cantidad de sólidos totales, brindando información importante sobre la calidad y composición de la muestra. Es importante seguir los procedimientos de seguridad estándar al trabajar con equipos de laboratorio y muestras de aguas residuales.

### **Sólidos sedimentables**

Para medir los sólidos sedimentables en las aguas residuales se utilizan habitualmente unos dispositivos llamados "conos de Imhoff". El cual es un dispositivo sencillo que mide la cantidad de sólidos que se sedimentan en una determinada cantidad de agua durante un período de tiempo (Ingeniería Científica Bionanomolecular SA. de CV, 2024).

Los pasos básicos para medir sólidos sedimentables utilizando un cono Imhoff son los siguientes:

- a. Preparación del cono Imhoff: Limpiar el cono Imhoff para asegurarse de que no haya residuos ni contaminación que puedan afectar la precisión de la medición.
- b. Colocar el cono en posición vertical y asegurarse de que esté nivelado.
- c. Preparación de muestras: Recoger una muestra representativa de aguas residuales domésticas en un recipiente limpio y etiquetarlo con su información respectiva, de ser necesario agitar la muestra brevemente antes de comenzar la medición para garantizar que los sólidos en suspensión se distribuyan uniformemente.
- d. Llenado del cono: Llenar el cono Imhoff con la muestra de agua residual hasta la marca de llenado que se muestra en el cono. Es importante evitar la formación de burbujas de aire durante este proceso.
- e. Período de sedimentación: Deja reposar la muestra en el cono Imhoff durante un período de tiempo específico, típicamente de 30 a 60 minutos. Durante este tiempo, los sólidos suspendidos en la muestra se asientan en el fondo del cono debido a la gravedad.
- f. Medición de los sólidos sedimentables: Después del período de sedimentación, observar el nivel de los sólidos sedimentados en el cono Imhoff. Este nivel se mide como la distancia desde la parte inferior del menisco hasta la interfaz entre el agua clara y los sólidos sedimentados, registrar esta medida como la altura de los sólidos sedimentados en milímetros (mm).

## **PH**

- a. Preparación del equipo: Asegurarse de tener un medidor de pH calibrado y funcionando. Si es necesario, calibre el medidor usando tampones estándar a pH 4,01 y pH 7,00 según las instrucciones del fabricante (pH-metro PCE-PH 23, 2020).
- b. Preparación de muestras: Recoger una muestra representativa de aguas residuales domésticas en un recipiente limpio y etiquetarlo con su información respectiva.
- c. Medición de pH: Encender el medidor de pH y sumergir el electrodo en la muestra de agua residual. Asegurando que el electrodo esté completamente sumergido y no toque las paredes del recipiente.
- d. Esperar hasta que el pH se estabilice. Esto puede tardar unos pocos segundos. Registrar el valor de pH que se muestra en la pantalla del medidor.
- e. Registro y análisis de datos: Analizar los datos adquiridos para identificar tendencias y anomalías en el pH de las aguas residuales domésticas y determinar si se requiere tratamiento adicional.

## **Conductividad eléctrica**

Preparación del equipo: Asegurarse de tener el medidor de conductividad calibrado y en funcionamiento. De ser necesario calibrar el medidor usando una solución de calibración de conductividad estándar de acuerdo con las instrucciones del fabricante (conductímetro PCE, 2017).

- a. Preparación de muestras: Recoger una muestra representativa de aguas residuales domésticas en un recipiente limpio y etiquetarlo adecuadamente con información como el lugar y la fecha del muestreo, de ser necesario agitar la muestra brevemente antes de la medición para garantizar una distribución uniforme de los componentes.

- b. Medición de conductividad eléctrica: Encender el medidor de conductividad eléctrica y sumergir la sonda en la muestra de agua residual. Verificar que la sonda esté completamente sumergida en el agua y sin tocar las paredes del recipiente, esperar hasta que la medición de la conductividad eléctrica se estabilice. Esto puede tardar unos pocos segundos. Registrar el valor de conductividad eléctrica que se muestra en la pantalla del medidor.
- c. Registro y análisis de datos: Registrar los resultados de las mediciones de conductividad eléctrica junto con toda la información relevante sobre la muestra.
- d. Analizar los datos adquiridos para identificar tendencias y anomalías en la conductividad de las aguas residuales domésticas y determinar si se requiere tratamiento adicional.

### **Coliformes fecales**

La medición de coliformes fecales en aguas residuales domésticas implica realizar un análisis microbiológico para determinar la presencia y concentración de bacterias indicadoras de contaminación fecal, como *Escherichia coli* (*E. coli*) (IRC wash, 2017).

- a. Preparación de equipos y materiales: Asegurarse de contar con todos los equipos y materiales necesarios, incluidos medios de cultivo específicos, pipetas, placas de petri, incubadoras, autoclaves, etc. para la detección de coliformes fecales, asegurarse también de que todos los materiales estén adecuadamente esterilizados para evitar la contaminación cruzada.
- b. Preparación de muestras: Recolectar una muestra representativa de aguas residuales domésticas en un recipiente estéril y etiquetarlo adecuadamente con información como el lugar y la fecha del muestreo. Si es necesario, mantener las muestras refrigeradas y procesar lo antes posible.

- c. Dilución de muestra: Dependiendo de la concentración esperada de bacterias coliformes fecales en la muestra, puede ser necesario diluir la muestra para obtener un recuento bacteriano detectable en el medio de cultivo, preparar diluciones seriadas de la muestra en agua esterilizada.
- d. Inoculación del medio: Utilizando una técnica de siembra adecuada (por ejemplo, método de inyección en placa), transferir una alícuota de la dilución de la muestra a una placa de Petri que contenga medio selectivo para coliformes fecales, como: el agar selectivo de E. coli.
- e. Incubar las placas a una temperatura adecuada (generalmente entre 35-37°C) durante 24-48 horas.
- f. Recuento de colonias: Después del período de incubación, contar el número de colonias en la placa que presentan características típicas de bacterias coliformes fecales, registrar el número de colonias por unidad de volumen de la muestra original.
- g. Confirmación de colonias: Realizar pruebas bioquímicas o moleculares adicionales para confirmar la identidad de colonias sospechosas de coliformes fecales, utilizar pruebas de producción de gas, pruebas de indol o técnicas de PCR específicas de E. coli.
- h. Análisis y reporte de datos: Reportar los resultados de manera clara y concisa, indicando la concentración de coliformes fecales detectada en la muestra de agua residual doméstica.

### **3.8 Pruebas de tratabilidad**

El tratamiento del agua representa uno de los mayores beneficios para la agricultura, ya que, al ser tratada, el agua se adapta a las necesidades específicas de los cultivos, eliminando los excesos que suelen presentarse en el agua sin tratar.

Para separar los compuestos suspendidos y disueltos (turbidez) del agua, se utiliza la coagulación-floculación, un método de pretratamiento convencional que se utiliza comúnmente con sedimentación.

Estos compuestos incluyen minerales suspendidos, orgánicos, patógenos, iones metálicos, fosfatos, fluoruros y radionucleidos. La concentración de los reactivos químicos (floculantes y coagulantes) debe ajustarse de manera precisa a la composición del agua (Acura, 2023).

### **3.8.1 Proceso de floculación y coagulación**

Con el fin de mejorar su capacidad de eliminación de partículas, la coagulación-floculación es una técnica química de tratamiento del agua que se aplica generalmente antes de un proceso físico de separación, que suele hacerse por sedimentación o filtración.

La coagulación forma una masa gelatinosa que atrapa (o une) partículas y aumenta su tamaño para que puedan quedar atrapadas en el filtro o sedimentar. Esto hace que la coagulación neutralice las cargas.

La floculación mueve o agita tales partículas suavemente, lo que las une formando masas mayores que sedimentan o se filtran con más facilidad. Juntos, obtendremos un mejor resultado.

En este proceso veremos la separación de partículas que habitan en el manto seleccionado, lo cual nos ayuda a filtrarla de una forma más fácil y rápida (Acura, 2023b).

### **3.8.2 Sedimentación**

El origen, la composición, la carga, el tamaño, la forma y la densidad de las partículas suspendidas en agua varían significativamente. La acción de fuerzas físicas sobre las partículas mismas mantiene a las partículas más pequeñas en suspensión.

Los sólidos del agua con un alto contenido de sedimentos o turbidez se eliminan mediante sedimentación. El proceso de sedimentación es simple y requiere poco material y habilidades. Sin embargo, requiere mucho tiempo, por lo que necesita recipientes o estanques grandes (García-Astillero, 2018).

### **3.8.3 Diseño del sistema de riego por goteo**

- a. Definir la distribución de las áreas de cultivo y determinar la disposición de las botellas de plástico para crear el sistema de riego por goteo.
- b. Establecer la ubicación de los puntos de liberación de agua y la cantidad necesaria para cada planta.

Diseñar el sistema de válvulas para distribuir el agua de manera eficiente **Goteo** (Diseño Agronómico del Sistema de Riego Por Goteo | Intagri S.C., s. f.).

### **3.8.4 Recopilación de materiales:**

- a. Recolectar botellas de plástico para utilizar como goteros y tubos.
- b. Adquirir tuberías, conectores y otros accesorios necesarios para construir el sistema.

### **3.8.5 Preparación de botellas de plástico:**

- a. Lavar y desinfectar las botellas de plástico.
- b. Corta las botellas en formas que permitan un flujo constante de agua (pueden ser perforadas o cortadas de manera que actúen como goteros).

### **3.8.6 Construcción del sistema de riego.**

- a. Colocar las botellas de plástico en el suelo cerca de las plantas, asegurando de que el agua se libere directamente en la zona de la raíz.
- b. Conectar las botellas a las tuberías principales que distribuirán el agua desde la fuente de agua (agua residual o agua de lluvia).

- c. Canalizar las aguas residuales hacia el sistema de riego, asegurándose de que estén debidamente filtradas y tratadas en el laboratorio para eliminar posibles contaminantes.

#### **3.8.7 Pruebas y ajustes:**

- a. Realizar pruebas para asegurar de que el sistema funciona correctamente.
- b. Realizar ajustes según sea necesario, como cambiar la ubicación de los goteros o modificar el flujo de agua.

#### **3.8.8 Monitoreo continuo.**

- a. Monitorear constantemente el rendimiento del sistema y realizar ajustes según sea necesario.
- b. Evaluar el impacto ambiental y los ahorros de recursos logrados a través de la reutilización de residuos y la gestión eficiente del agua.

#### **3.8.9 Evaluación gastos asociados con la instalación, operación y mantenimiento del sistema a lo largo de su vida útil.**

- a. Incluir el costo de equipamiento, tuberías de goteo, goteros, filtros, bombas, válvulas y otros componentes del sistema.
- b. Incluir costos de mano de obra relacionados a la instalación del sistema, colocación de tuberías, instalación de goteros, etc.
- c. Incluir costos variables de cualquier insumo adicional necesario para el funcionamiento del sistema.

### **3.9 Índice de calidad del agua**

El Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos Americanos (ICA-NSF) señala la calidad del agua a la fecha de la evaluación, este

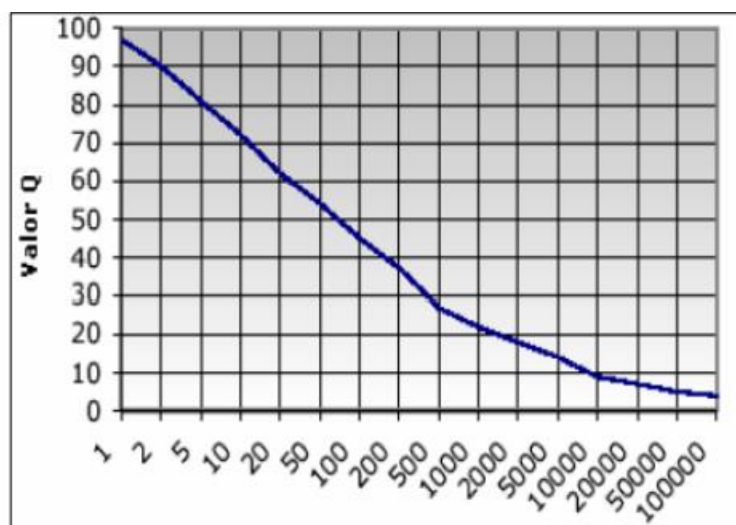


utiliza una suma lineal ponderada del efecto de las variables de respuesta y los resultados son expresados en forma numérica entera, en una escala de 0 a 100 (Aguirre et al., 2016).

Las siguientes etapas se utilizaron para desarrollar el ICA: La primera etapa fue crear una escala de calificación que se ajustara a cada uso del agua. La segunda implicaba la creación de una escala de calificación para cada parámetro de tal manera que se pudiera establecer una relación entre los diversos parámetros y su impacto en el nivel de contaminación. Después de crear estas escalas, se desarrollaron modelos matemáticos para cada uno de los parámetros, que convierten los datos físicos en los índices de calidad correspondientes para cada parámetro ( $I_i$ ). Se introdujeron pesos o factores de ponderación ( $W_i$ ) según su orden de importancia respectiva para modelar este hecho, ya que algunos parámetros son más importantes que otros en su influencia en la calidad del agua (Loné, 2016).

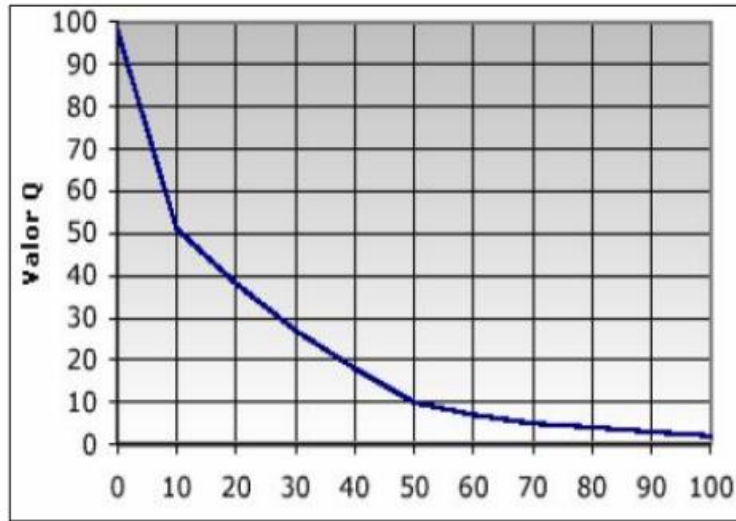
En las siguientes figuras establecidas por Brown (1970), se presenta las curvas para determinar el respectivo valor Q (valor de calidad) de cada parámetro a analizar:

***Ilustración 2. Curva de calidad Coliformes fecales***



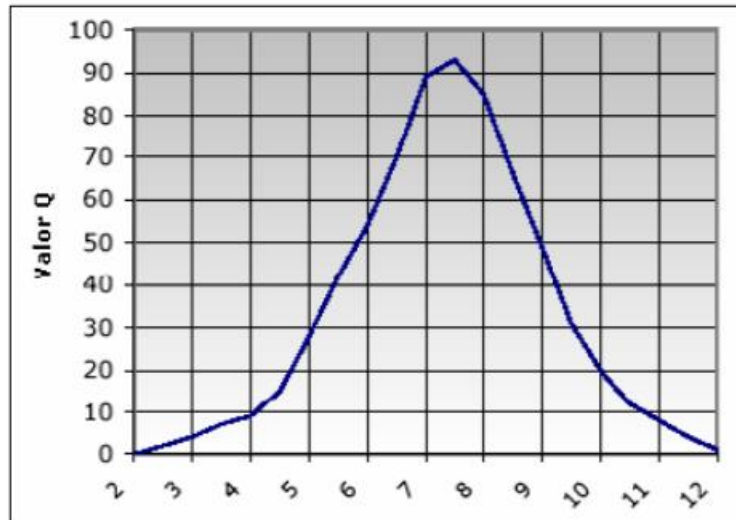
Fuente: (Brown R. M., 1970).

*Ilustración 3. Curva de calidad de nitratos*



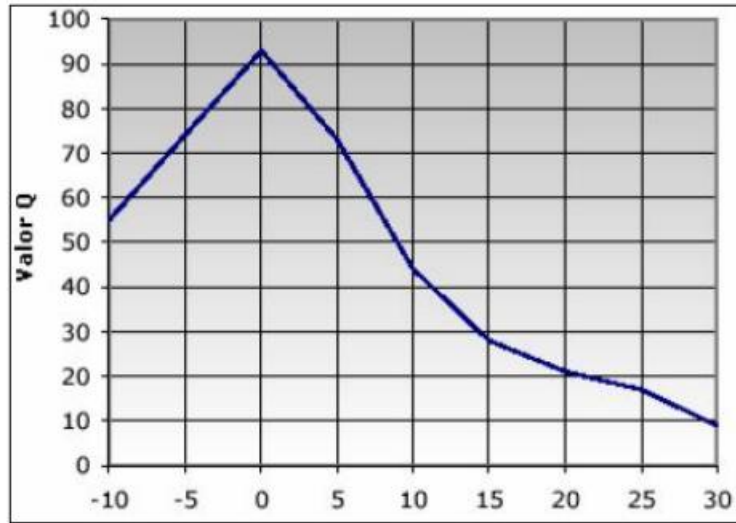
Fuente: (Brown R. M., 1970).

*Ilustración 4. Curva de calidad de pH*



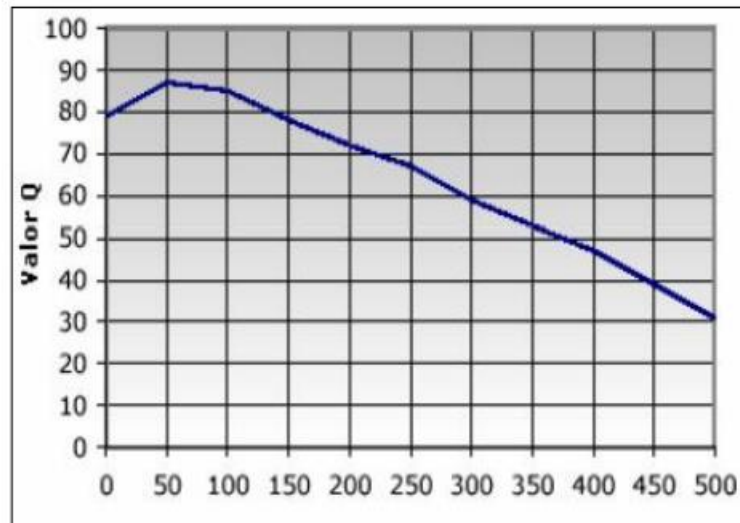
Fuente: (Brown R. M., 1970).

*Ilustración 5. Curva de calidad de temperatura*



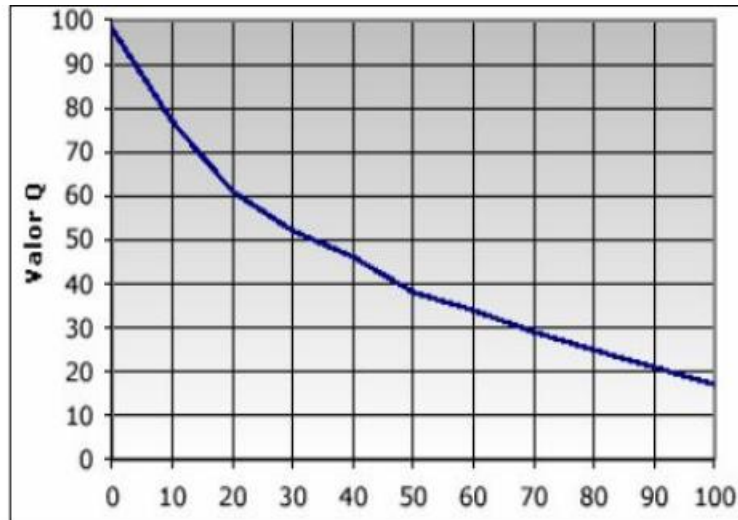
Fuente: (Brown R. M., 1970).

*Ilustración 6. Curva de calidad de sólidos disueltos*



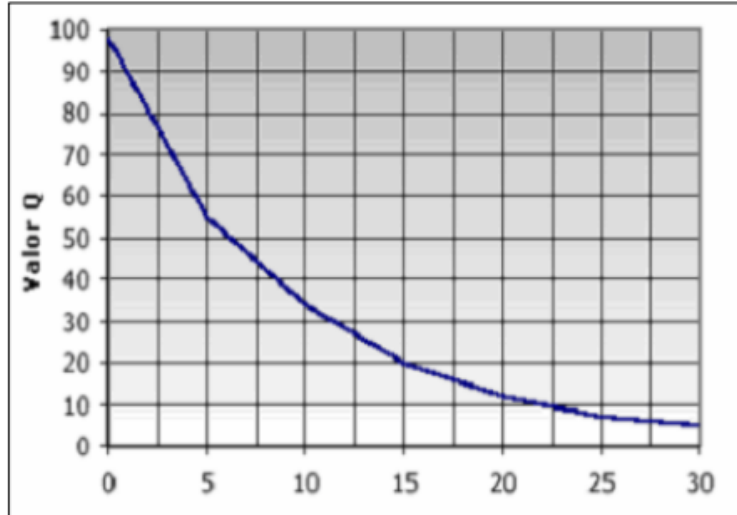
Fuente: (Brown R. M., 1970).

*Ilustración 7. Curva de calidad de turbidez*



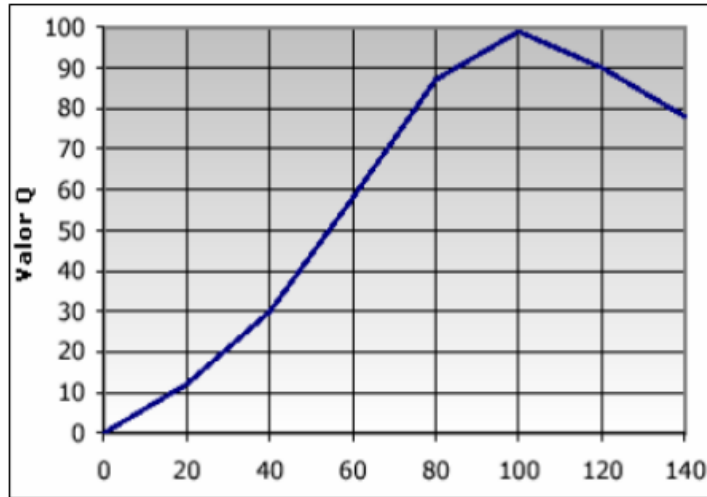
Fuente: (Brown R. M., 1970).

*Ilustración 8. Curva de calidad de la demanda bioquímica de oxígeno*



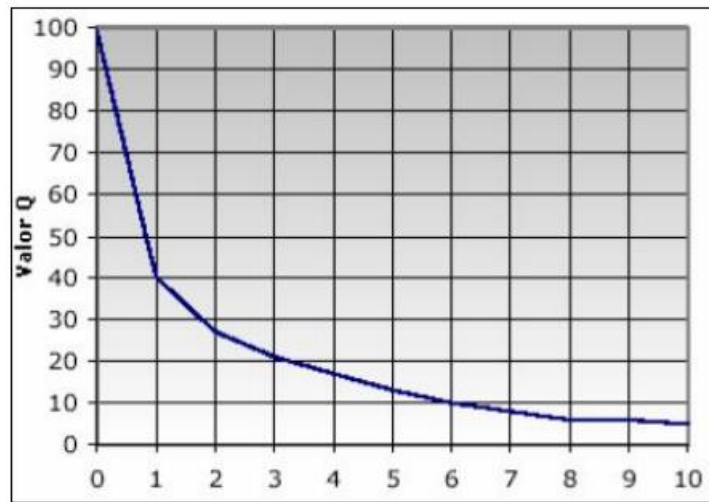
Fuente: (Brown R. M., 1970).

*Ilustración 9. Curva de calidad de % de saturación*



Fuente: (Brown R. M., 1970).

*Ilustración 10. Curva de calidad de fosfatos*



Fuente: (Brown R. M., 1970).

Para calcular el Índice de Brown (1970), se utilizará el método aditivo que consiste en la suma lineal ponderada de los subíndices de cada parámetro de calidad y los pesos o porcentajes asignados a cada parámetro (Brown R. M., 1970).

$$WQI = \sum_{i=1}^n \text{Sub}_i W_i$$

Donde:

- WQI: Índice de calidad de agua.
- $W_i$ : Pesos relativos asignados a cada parámetro ( $\text{Sub}_i$ ), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.
- $\text{Sub}_i$ : Subíndice del parámetro  $i$ .
- $n$ : Número de parámetros.

Se sustituyen todos estos datos a la ecuación, de esta manera se obtiene el ICA, que debe de ser un número entre 0 y 100, donde cero representa la calidad de agua muy mala y 100 representa la calidad de agua excelente.

**Tabla 2. Clasificación del ICA**

Escala de color	Rango
Excelente	91-100
Buena	71-90
Media	51-70
Mala	26-50
Muy mala	0-25

Fuente: Samboni Ruiz, N.E, Carvajal Escobar, Y. y Escobar J.C (2007).

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Análisis de aguas residuales domésticas antes del tratamiento

Los resultados de la evaluación física, química y microbiológica, que fueron realizados en el laboratorio en las muestras de agua residual doméstica clasificadas en:

Muestra 1: agua proveniente de la lavadora

Muestra 2: agua de lavamanos

Muestra 3: agua usada en higiene personal

Antes del tratamiento son los siguientes:

##### 4.1.1 Parámetros físicos

En la muestra 1 los sólidos disueltos totales y temperatura se encuentran dentro del límite máximo permisible, mientras que la turbidez sobrepasa el límite máximo permisible.

En la muestra 2 la cantidad de sólidos disueltos totales y temperatura se mantienen dentro del rango establecido, mientras que la turbidez sigue sobrepasando lo permitido.

En la muestra 3 la cantidad de sólidos disueltos totales y temperatura se sigue manteniendo dentro del rango, mientras que la turbidez sobrepasa.

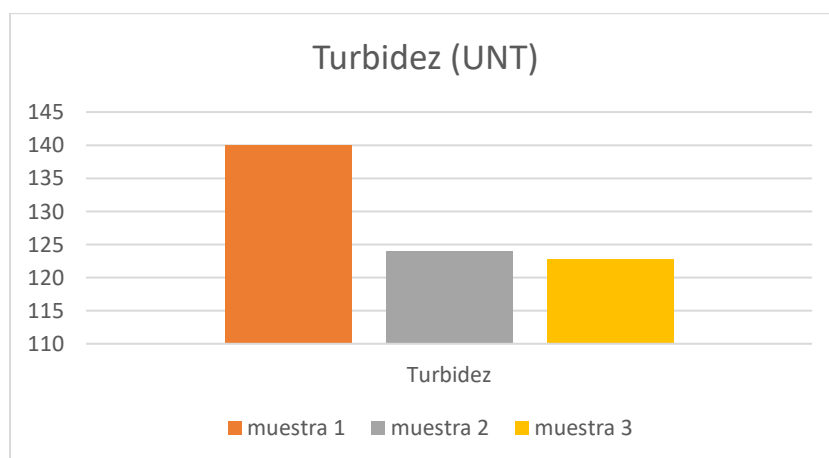
**Tabla 3. Resultados de parámetros físicos obtenidos en las muestras**

<b>Parámetro evaluado</b>	<b>Resultado muestra 1</b>	<b>Resultado muestra 2</b>	<b>Resultado muestra 3</b>	<b>L.M.P.</b>
<b>Turbidez</b>	140 UNT	124 UNT	122,85 UNT	---

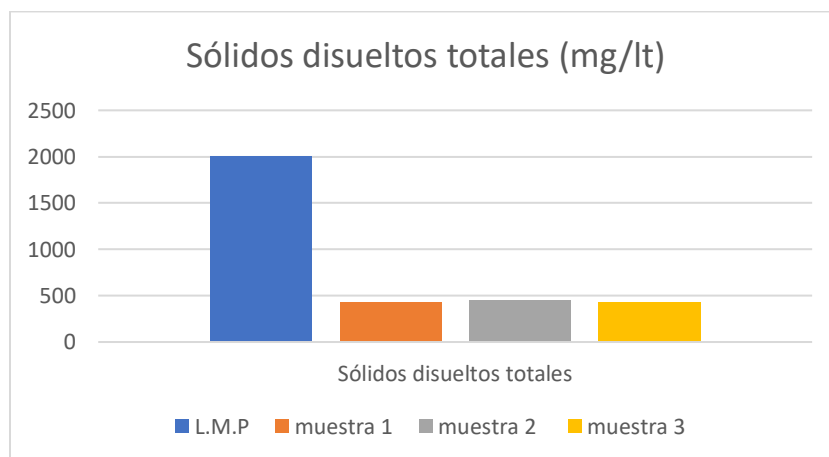
<b>Sólidos disueltos totales</b>	432 mg/lt	450 mg/lt	434 mg/lt	*450-2000 mg/lt
<b>Temperatura</b>	18 °C	19 °C	18 °C	*10-21°C

**\*Corresponden a un grado de restricción ligero a moderado.**

*Ilustración 11. Gráfico de barras de turbidez*

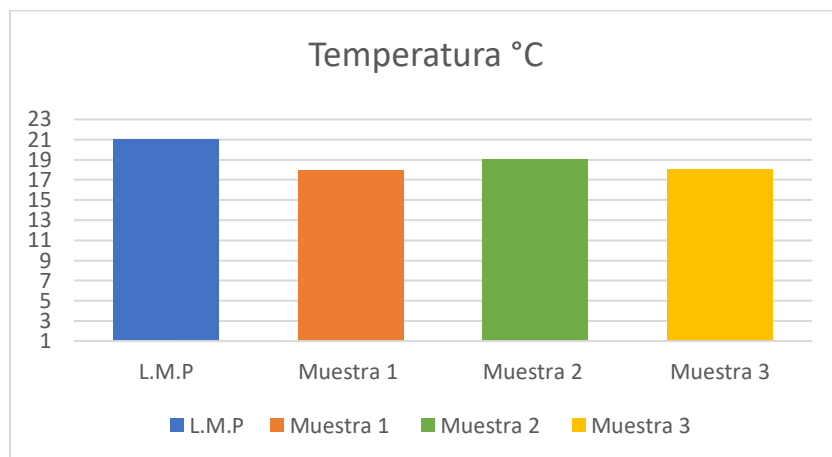


*Ilustración 12. Gráfico de barras de sólidos disueltos totales*





**Ilustración 13. Gráfico de barras de temperatura**



#### 4.1.2 Parámetros químicos

En la muestra 1 en la medición de sus parámetros químicos, el pH, la conductividad eléctrica, el boro, y los sulfatos se mantienen dentro del límite máximo permisible, mientras que el cobalto y selenio sobrepasan el límite máximo permisible.

En la muestra 2 en la medición de sus parámetros químicos, el pH, el boro y los sulfatos se mantienen dentro del límite máximo permisible, mientras que el cobalto, conductividad eléctrica y selenio sobrepasan el límite máximo permisible.

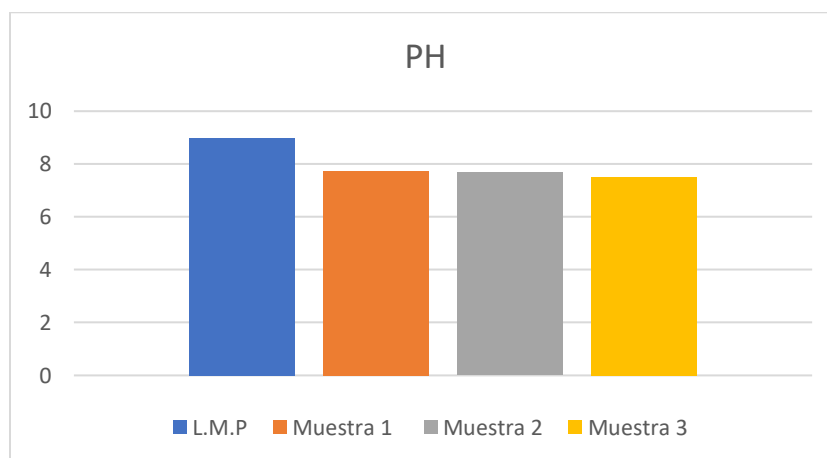
En la muestra 3 en la medición de sus parámetros químicos, el pH, el boro y los sulfatos se mantienen dentro del límite máximo permisible, mientras que el cobalto, conductividad eléctrica y selenio sobrepasan el límite máximo permisible.

**Tabla 4. Resultados de parámetros químicos obtenidos en las muestras**

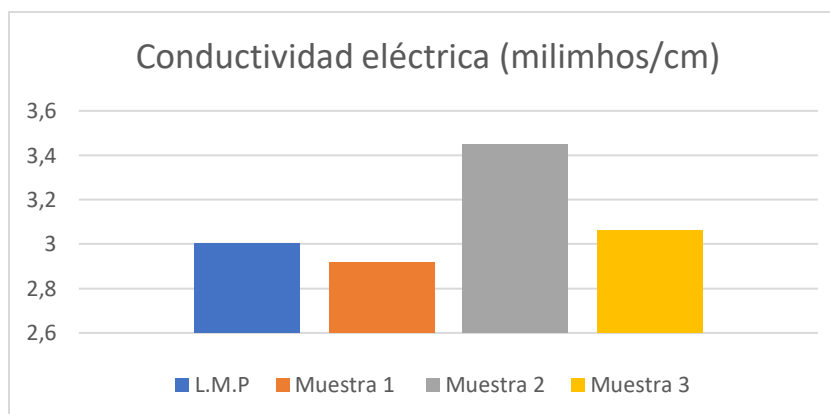
Parámetro evaluado	Resultado muestra 1	Resultado muestra 2	Resultado muestra 3	L.M.P.
Ph	7,75	7,68	7,49	6-9

<b>Conductividad eléctrica</b>	2,92 milimhos/cm	3,45 milimhos/cm	3,06 milimhos/cm	0,7-3,0 milimhos/cm
<b>Boro</b>	0,3 mg/lt	0,1 mg/lt	0,5 mg/lt	0,75 mg/lt
<b>Cobalto</b>	0,04 mg/lt	0,10 mg/lt	0,07 mg/lt	0,01 mg/lt
<b>Selenio</b>	0,04 mg/lt	0,07 mg/lt	0,05 mg/lt	0,02 mg/lt
<b>Sulfatos</b>	0,12 mg/lt	2 mg/lt	3 mg/lt	250 mg/lt
<b>Nitratos</b>	0,4 mg/lt	2,9 mg/lt	0,8 mg/lt	---

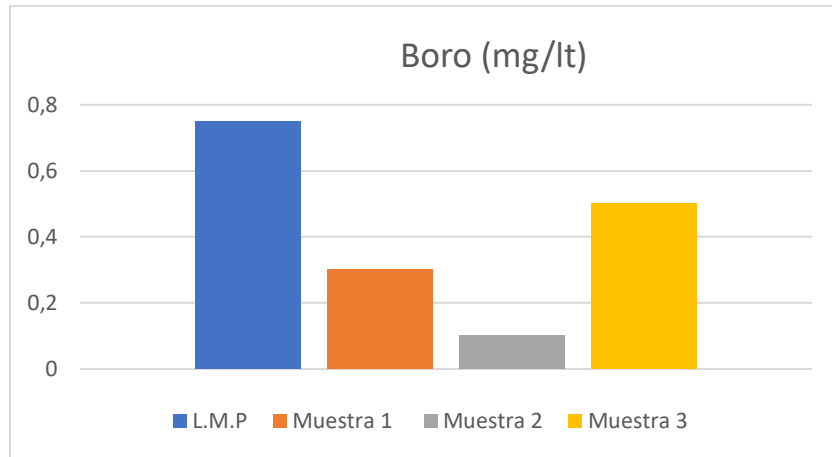
*Ilustración 14. Gráfico de barras de ph*



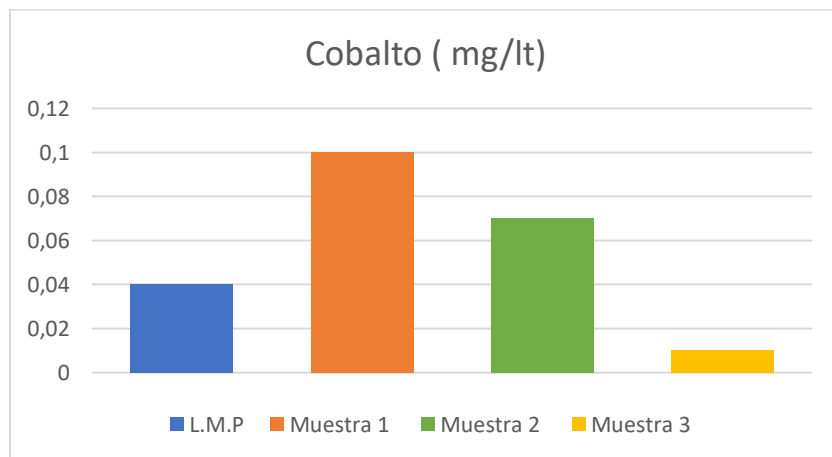
*Ilustración 15. Gráfico de barras de conductividad eléctrica*



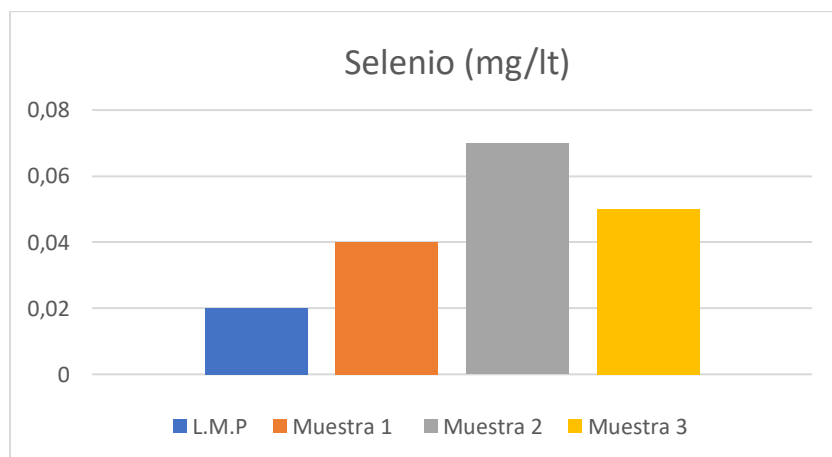
**Ilustración 16. Gráfico de barras de boro**



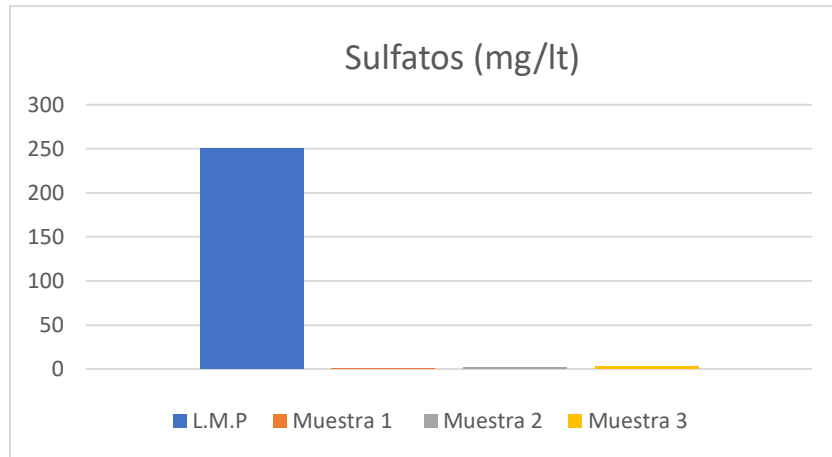
**Ilustración 17. Gráfico de barras de cobalto**



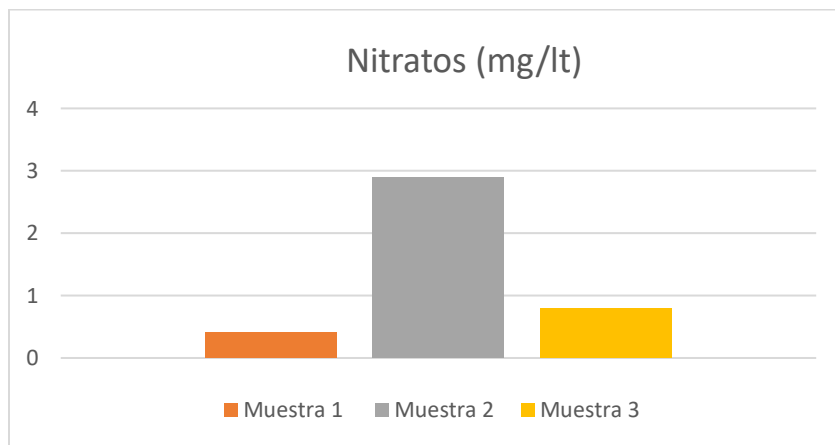
**Ilustración 18. Gráfico de barras de selenio**



**Ilustración 19. Gráfico de barras de sulfatos**



**Ilustración 20. Gráfico de barras de nitratos**



#### **4.1.3 Parámetros microbiológicos**

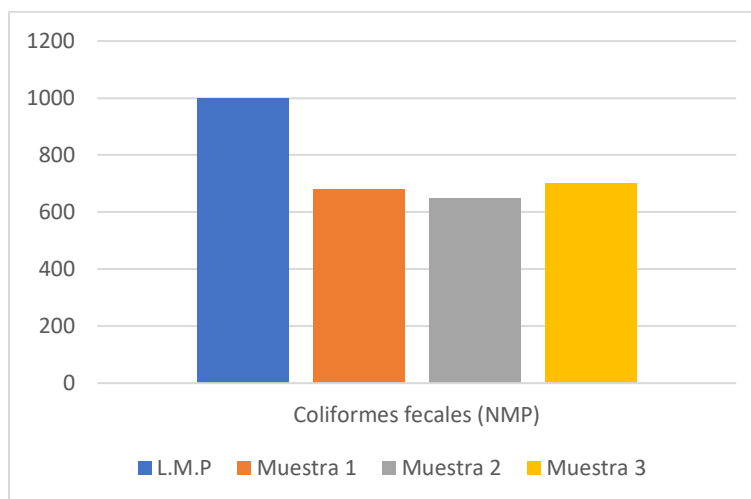
En la muestra 1, muestra 2 y muestra 3 los resultados que se obtuvieron no logran sobrepasar los límites máximos permisibles.

Finalmente se concluye que los parámetros sólidos disueltos totales, Ph, sulfatos y coliformes fecales están dentro de los rangos de la normativa vigente (Documento\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015). Mientras que los parámetros turbidez, conductividad eléctrica, Boro, Cobalto y Selenio, no cumplen con los niveles requeridos.

**Tabla 5. Resultados de parámetros microbiológicos obtenidos en las muestras**

<b>Parámetro evaluado</b>	<b>Resultado muestra 1</b>	<b>Resultado muestra 2</b>	<b>Resultado muestra 3</b>	<b>L.M.P.</b>
<b>Coliformes fecales</b>	680 NMP	650 NMP	700 NMP	1000 NMP/100 ml

*Ilustración 21. Gráfico de barras parámetros microbiológicos*



#### **4.2 Tratabilidad del agua residual doméstica**

Se realizó el proceso de coagulación y floculación, usando como reactivo el Sulfato de Aluminio ( $Al_2(SO_3) 18H_2O$ ) que se considera un coagulante estándar más comúnmente utilizado en el tratamiento de agua porque es fácil de fabricar. Su rango de pH óptimo varía entre 5,5 y 8,0 unidades de pH, lo que ha reducido el trabajo necesario para lograr el ajuste del pH del líquido después del tratamiento del agua.

La cantidad de coagulante que se utiliza debe determinarse de antemano mediante una prueba de jarra, etc., ya que se producirá una inversión de carga si se agrega más de lo necesario.

Esto hace que el coloide vuelva a cargarse negativamente y no se logra eliminar la turbiedad. Lo mismo ocurre si el pH del líquido está fuera del rango óptimo para el coagulante utilizado. Sin embargo, si la cantidad de coagulante es insuficiente, la carga no se neutraliza completamente y se minimiza la formación de flóculos.

### **4.3 Análisis de aguas residuales post-tratamiento**

En 3 muestras colocadas en vasos de precipitación, se colocó cantidades diferentes de sulfato de aluminio, de 3 ml, 5ml, 10 ml, 15 ml de  $Al_2(SO_4)_3$  respectivamente. Se lo agitó rápidamente por 1 minuto y luego por otros 10 minutos más lentamente. Dejándolo reposar por un tiempo hasta que precipiten los flóculos. Por observación, se consideró que la dosis del 3 ml de sulfato de aluminio al 2% era la óptima.

#### **4.3.1 Parámetros físicos**

En la muestra 1 luego del tratamiento que se realizó se pudo obtener que se mejoró la turbidez, temperatura y la cantidad de sólidos disueltos totales que cumple con los límites máximos permisibles.

En la muestra 2 luego del tratamiento que se realizó se pudo obtener que la turbidez y temperatura cumplen con los límites máximos permisibles, mientras que la cantidad de sólidos disueltos totales es menor a los límites establecidos.

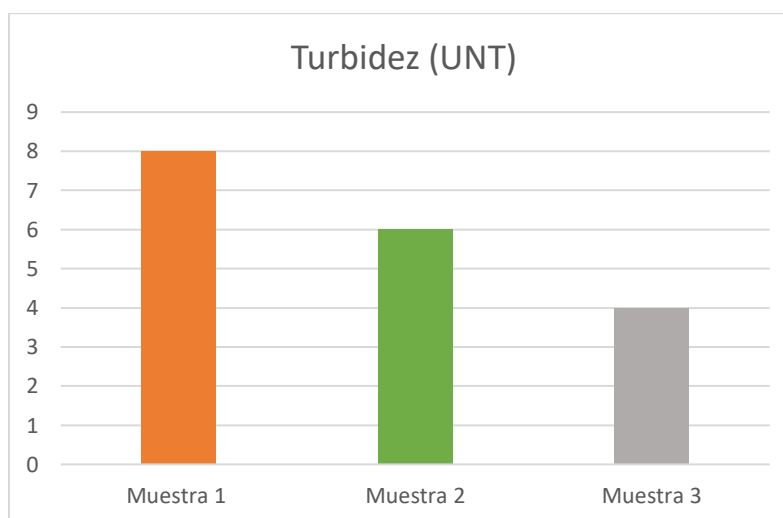
En la muestra 3 luego del tratamiento que se realizó se pudo obtener que la turbidez y temperatura cumplen con los límites máximos permisibles, mientras que la cantidad de sólidos disueltos totales es menor a los límites establecidos.

**Tabla 6. Resultados de parámetros físicos postratamiento en las muestras**

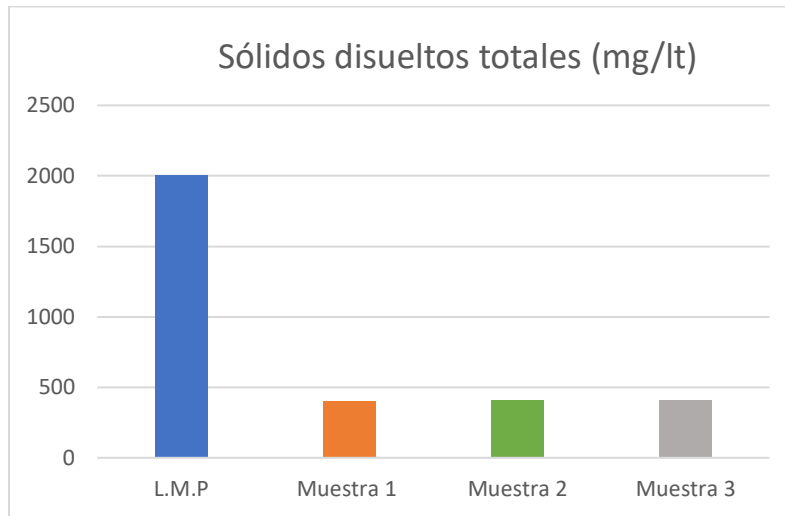
<b>Parámetro evaluado</b>	<b>Resultado muestra 1</b>	<b>Resultado muestra 2</b>	<b>Resultado muestra 3</b>	<b>L.M.P.</b>
<b>Turbidez</b>	0.75 UNT	0.60 UNT	0.49 UNT	---
<b>Sólidos disueltos totales</b>	400 mg/l	410 mg/l	407 mg/l	*450-2000 mg/l
<b>Temperatura</b>	19 °C	20 °C	18 °C	*10-21 °C

**\*Corresponden a un grado de restricción ligero a moderado.**

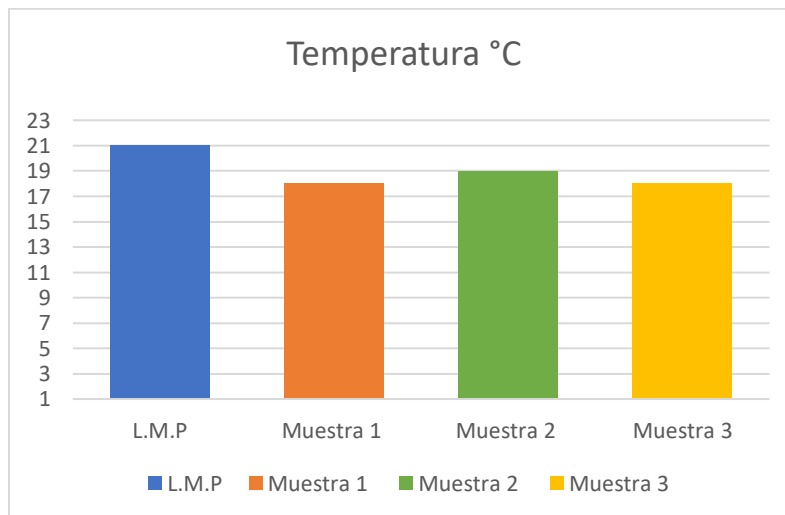
*Ilustración 22. Gráfico de barras de turbidez postratamiento*



**Ilustración 23. Gráfico de barras de sólidos totales postratamiento**



**Ilustración 24. Gráfico de barras de temperatura postratamiento**



#### **4.2.2 Parámetros químicos**

De acuerdo a los resultados que se muestran en la tabla, obtenemos que en la muestra 1 el pH, conductividad eléctrica, boro, selenio, sulfatos, están dentro del límite máximo permisible, mientras que el cobalto presenta un valor muy bajo respecto a su límite máximo permisible.



En la muestra 2 el pH, conductividad eléctrica, boro, selenio y sulfatos están dentro del límite máximo permisible, mientras que el cobalto y selenio sobrepasan los límites máximos permisibles.

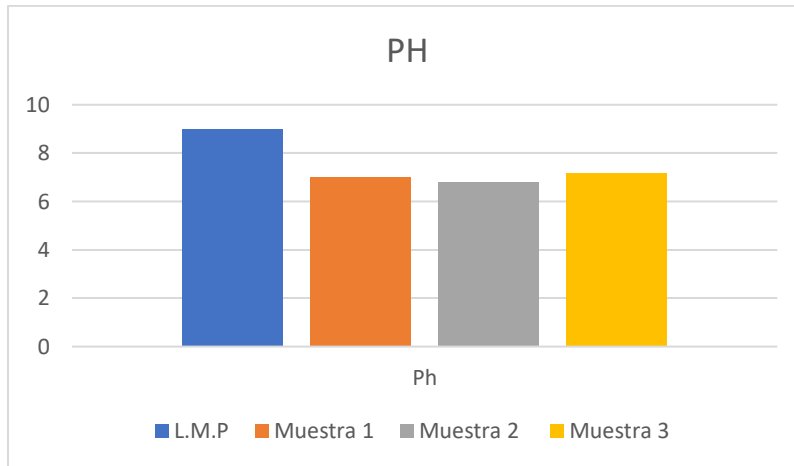
En la muestra 3 el pH, conductividad eléctrica, boro, selenio, sulfatos y cobalto están dentro del límite máximo permisible.

**Tabla 7. Resultados de parámetros químicos postratamiento en las muestras**

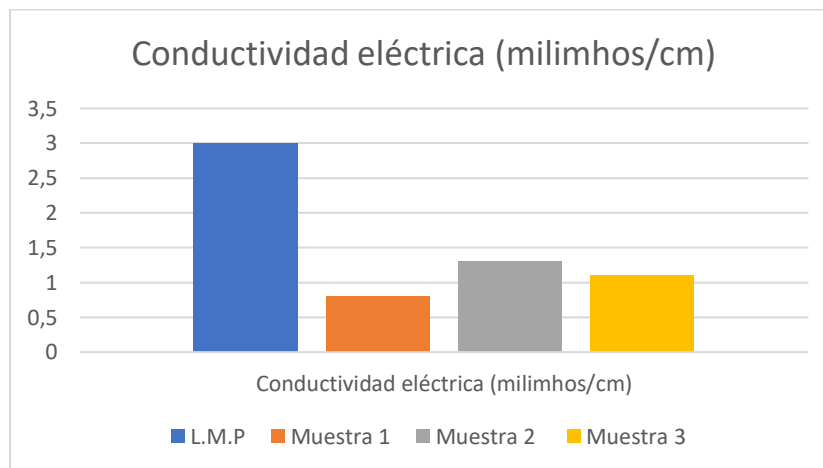
<b>Parámetro evaluado</b>	<b>Resultado muestra 1</b>	<b>Resultado muestra 2</b>	<b>Resultado muestra 3</b>	<b>L.M.P.</b>
<b>Ph</b>	7	6,80	7,20	*6-9
<b>Conductividad eléctrica</b>	0,8 milimhos/cm	1,3 milimhos/c m	1,1 milimhos/cm	*0,7-3,0 milimhos/cm
<b>Boro</b>	0,5 mg/lt	0,1 mg/lt	0,2 mg/lt	0,75 mg/lt
<b>Cobalto</b>	0,03	0,02 mg/lt	0,01 mg/lt	0,01 mg/lt
<b>Selenio</b>	0,02	0,03 mg/lt	0,01 mg/lt	0,02 mg/lt
<b>Sulfatos</b>	0,10	0,09 mg/lt	0,07 mg/lt	250 mg/lt
<b>Nitratos</b>	0,7 mg/lt	0,2 mg/lt	---	0,5 mg/lt

**\*Corresponden a un grado de restricción ligero a moderado.**

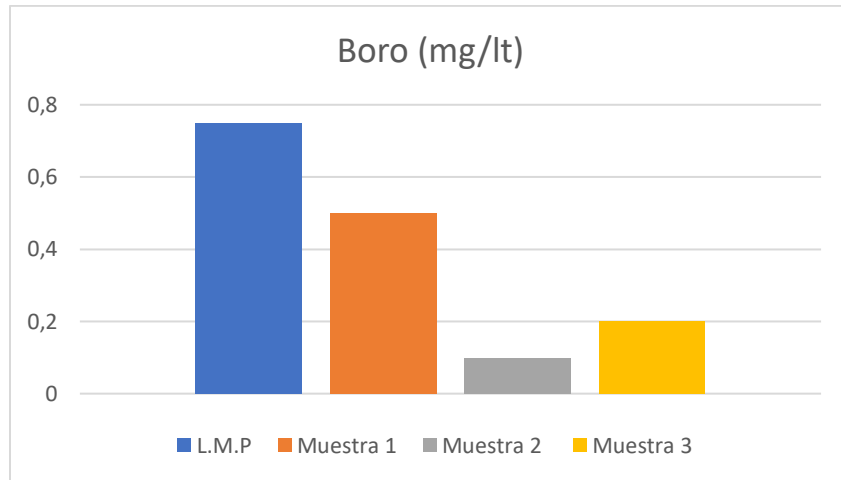
***Ilustración 25. Gráfico de barras de pH postratamiento***



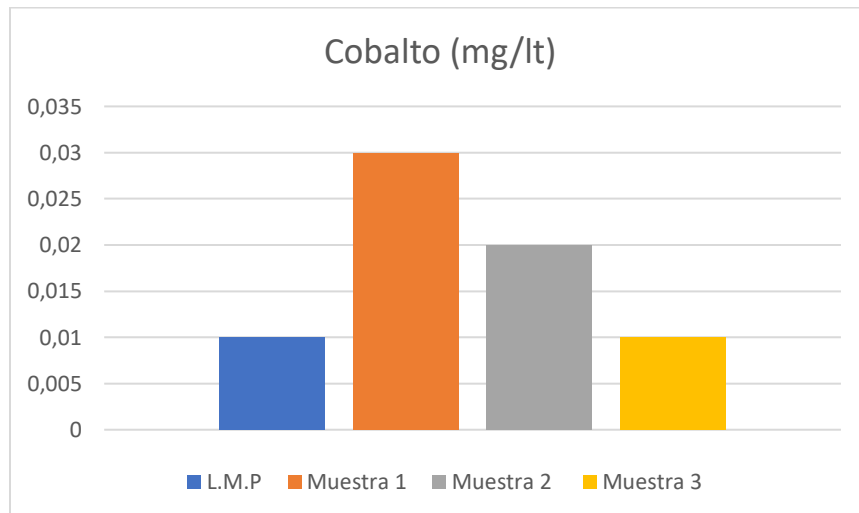
***Ilustración 26. Gráfico de barras de conductividad eléctrica postratamiento***



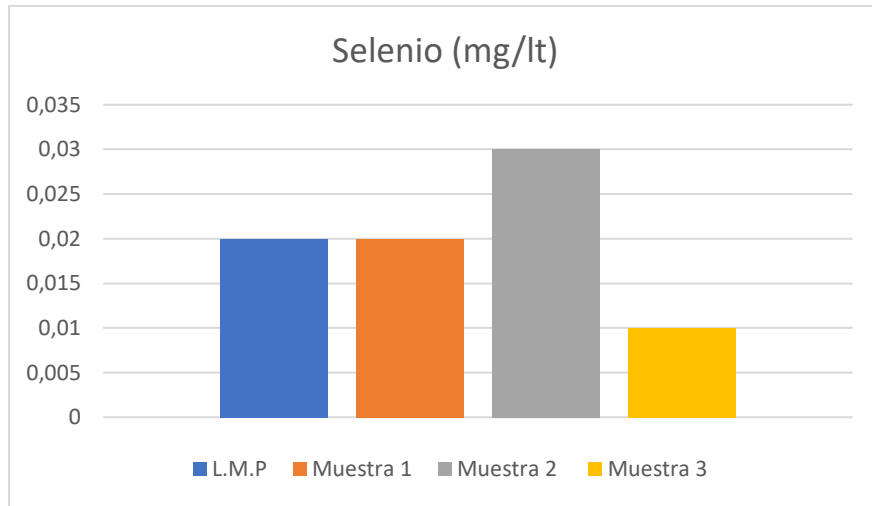
**Ilustración 27. Gráfico de barras de boro postratamiento**



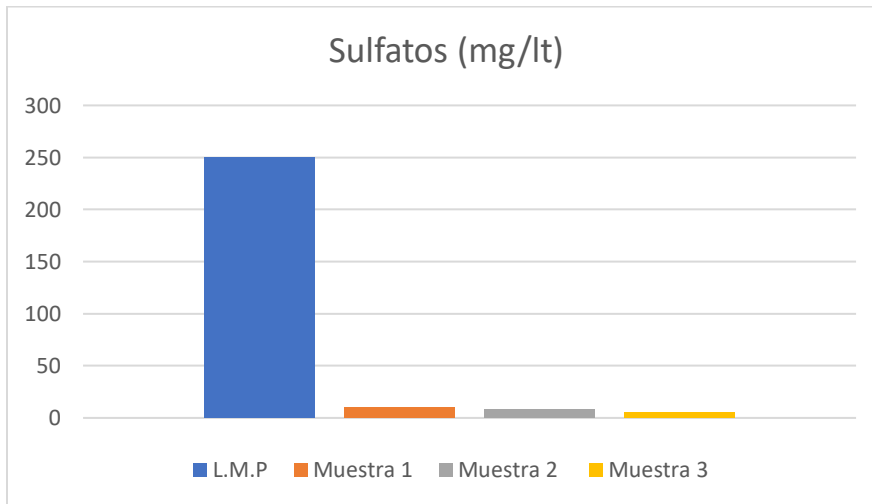
**Ilustración 28. Gráfico de barras de cobalto postratamiento**



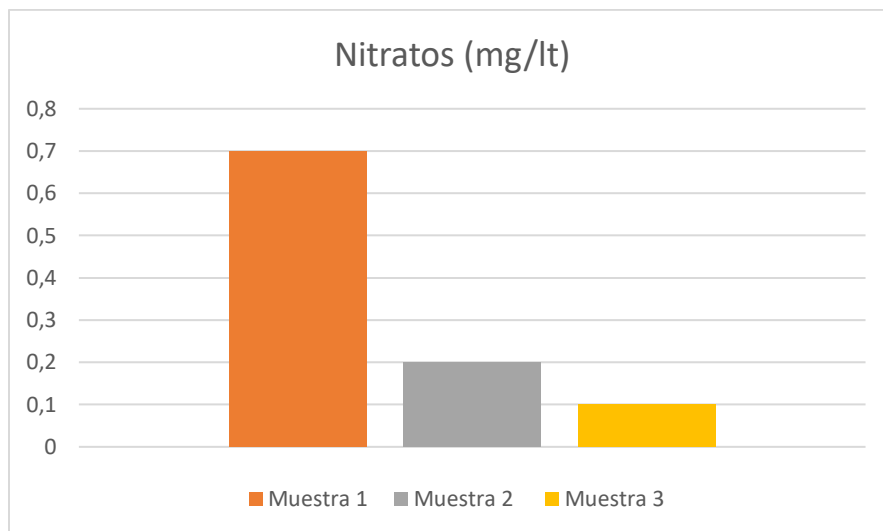
**Ilustración 29. Gráfico de barras de selenio postratamiento**



**Ilustración 30. Gráfico de barras de sulfatos postratamiento**



**Ilustración 31. Gráfico de barras de nitratos postratamiento**



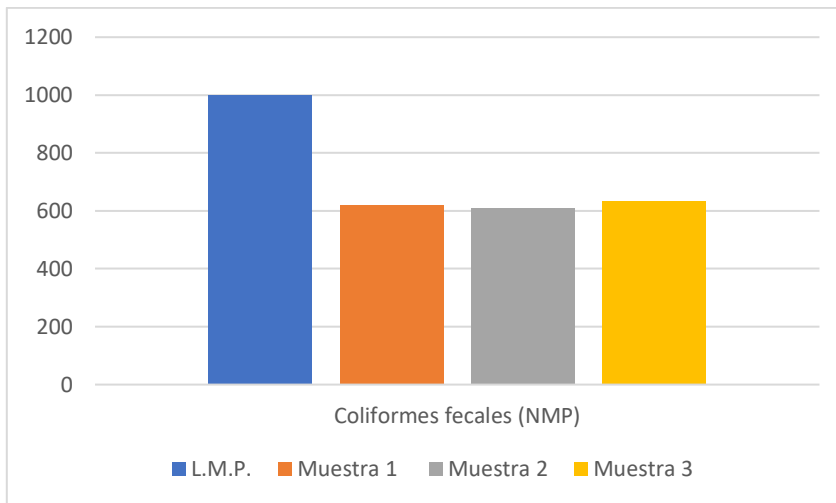
#### 4.2.3 Parámetros microbiológicos

Luego del tratamiento que se realizó a las muestras, el parámetro evaluado de coliformes fecales, en la muestra 1, muestra 2 y muestra 3 siguen cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos.

**Tabla 8. Resultados de parámetros microbiológicos postratamiento en las muestras**

Parámetro evaluado	Resultado muestra 1	Resultado muestra 2	Resultado muestra 3	L.M.P.
Coliformes fecales	620 NMP	611 NMP	633 NMP	1000 NMP/100 ml

**Ilustración 32. Gráfico de barras de coliformes fecales postratamiento**



### 4.3 Resultados del consumo de agua

En el presente estudio se aprovecha el agua residual generada en una vivienda de la ciudad de Guayaquil donde habitan 3 personas, por ello reemplazamos los valores en la fórmula del factor de consumo de agua por habitante al día (0.24 m<sup>3</sup>/per cápita/día), obtenido del Municipio de Guayaquil (Municipio de Guayaquil, 2022).

$$\text{Consumo de agua} = n \text{ personas} * FC$$

- n personas: Cantidad de personas que habitan en la vivienda
- FC: factor de consumo de agua

Obteniendo de esta manera que:

$$\text{Consumo de agua} = 3 * 0.24 \text{ m}^3/\text{per cápita/día}$$

$$\text{Consumo de agua} = 0.72 \text{ m}^3/\text{per cápita/día}$$

$$\text{Consumo de agua} = 0.72 * 1000 \text{ lts}$$

$$\text{Consumo de agua} = 720 \text{ lts/día}$$

Comparamos este valor con la cantidad de agua potable que utilizan otras ciudades diariamente, este supera el promedio recomendado por la Organización Mundial de la Salud, que es de 100 litros al día, cada persona consume en promedio 140,7 litros de agua al día, aunque aumenta a 250 litros durante el verano cuando la cantidad de agua disponible disminuye en los reservorios (Gcoba, 2023).

De los 720 litros que se consumen de agua, se están aprovechando 16 litros, que es la cantidad requerida para este sistema, de esta manera obtenemos que el 2.22% de toda la cantidad generada en la vivienda está siendo aprovechada, mediante su reutilización en el sistema, en vez de usar agua potable lo cual aumentaría el consumo de agua.

#### **4.3 Resultados obtenidos del cálculo de índice de calidad del agua ICA**

Se obtuvieron los índices de calidad aplicando la ecuación respectiva, los cuales indican la sumatoria de los valores correspondientes a los 6 parámetros que se midieron en las 3 muestras de agua residual doméstica, como sólo se contaban con 6 parámetros del ICA, para obtener el peso faltante lo que se hizo fue dividir para el total de los parámetros presentes, sumando a cada  $W_i$  la cantidad de 0.063.

**Tabla 9 cálculo del ICA en la muestra 1**

Parámetros	Resultados	Unidades	Valor Q	$W_i$	Subtotal
pH	7		88	0.17	15.25
Turbidez	0.75	UNT	95	0.14	13.62
Coliformes fecales	620	NMP	25	0.22	5.58
Temperatura	19	°C	25	0.16	4.08
SDT	400	mg/lt	48	0.13	6.40

Nitratos	0.7	mg/lt	93	0.16	15.19
				1.00	60.1

**Tabla 10 cálculo del ICA en la muestra 2**

Parametros	Resultados	Unidades	Valor Q	Wi	Subtotal
pH	6.8		70	0.17	12.13
Turbidez	0.6	UNT	94	0.14	13.47
Coliformes fecales	611	NMP	25	0.22	5.58
Temperatura	20	°C	20	0.16	3.27
SDT	410	mg/lt	49	0.13	6.53
Nitratos	0.5	mg/lt	92	0.16	15.03
				1	56.0

**Tabla 11 cálculo del ICA en la muestra 3**

Parametros	Resultados	Unidades	Valor Q	Wi	Subtotal
pH	7.2		90	0.17	15.60
Turbidez	0.49	UNT	92	0.14	13.19
Coliformes fecales	633	NMP	25	0.22	5.58
Temperatura	18	°C	23	0.16	3.76
SDT	407	mg/lt	47	0.13	6.27
Nitratos	0.1	mg/lt	90	0.16	14.70
				1	59.1



Al realizar el cálculo del ICA en las 3 muestras de agua residual doméstica, se obtuvo como resultado valores de 60,1 en la primera muestra, 56,0 en la segunda muestra, y 59,1 en la tercera muestra, que nos indica que el agua se encuentra en una calidad media, luego de realizar el tratamiento.

Una calidad media o moderada, está dentro de un rango aceptable, que nos indica que el agua no presenta problemas mayores o que podría ser un peligro para el ser humano y el medio ambiente, más bien esto sugiere hacer monitoreos o acciones para que todos los indicadores de calidad del agua cumplan con los estándares establecidos.

#### **4.4 Diseño del sistema de riego por goteo**

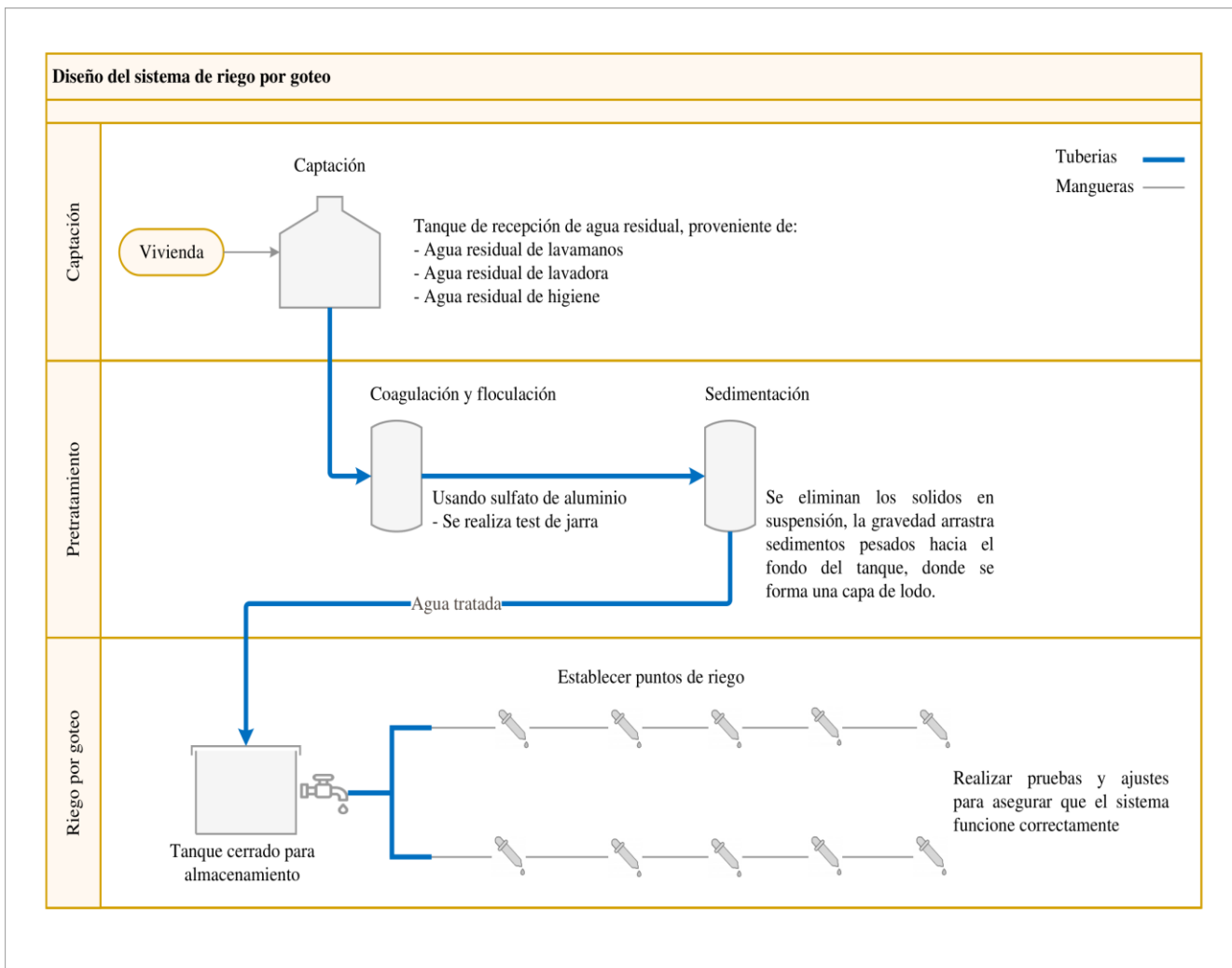
Se dividió en 3 fases que son; captación, pretratamiento y riego por goteo.

Captación: se recepta el agua residual doméstica proveniente de distintos puntos de la vivienda tales como; agua de la lavadora, agua de lavabos, y agua usada en higiene personal.

Pretratamiento: se realizó como tratamiento del agua residual doméstica, el test de jarras usando como reactivo el sulfato de aluminio  $Al_2 SO_3$ , esto permitió realizar el proceso de coagulación y floculación lo que sedimentó los sólidos suspendidos.

Riego por goteo: se establecen los puntos de ubicación donde se va a instalar el sistema de riego, se preparan los implementos que se van a utilizar en el sistema tales como botellas de plástico, mangueras, tuberías, además se realizaron pruebas y ajustes para asegurar que el sistema funcione correctamente.

**Ilustración 33. Diseño del sistema de riego por goteo**



## 4.5 Análisis de costos

### 4.5.1 Costos fijos

Los materiales que se necesita para implementar un sistema de riego casero pueden variar de la calidad y el tamaño que se necesite instalar, las tuberías principales que se usan pueden ser de PVC o de polietileno, siendo el material que más costaría al momento de implementar dicho sistema.

Los demás accesorios que se usan en este sistema tales como goteros, válvulas y filtros son más económicos y fáciles de conseguir, se pueden encontrar en lugares como ferreterías, viveros, o tiendas en línea, la elección del tipo de material depende del presupuesto que uno tiene previsto, siendo unos más costosos, pero garantizando la necesidad de reemplazarlos constantemente, reutilizar botellas plásticas para implementarlas en este sistema, es vital pues así se puede reducir costos, con un material que puede estar fácilmente al alcance de todos.

**Tabla 12. Cálculo de costos e ingresos para cantidades usadas en el sistema de riego**

**CÁLCULO DE COSTOS E INGRESOS PARA DIFERENTES CANTIDADES**

Ingrese en cada fila las cantidades que quiera simular

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTOS FIJOS POR UNIDAD	COSTO VARIABLE	COSTO TOTAL (CF+CV)	COSTO MEDIO (CF+CV/CANTIDAD)
2	Tubos de PVC	\$ 50.00	\$ 40.00	\$ 245.00	\$ 122.50
3	Mangueras de jardín estándar	\$ 30.00	\$ 25.00	\$ 230.00	\$ 76.67
10	Goteros	\$ 6.83	\$ 15.00	\$ 220.00	\$ 22.00
12	Filtros	\$ 15.00	\$ 20.00	\$ 225.00	\$ 18.75
3	Válvulas de control	\$ 10.00	\$ 12.00	\$ 217.00	\$ 72.33
5	Accesorios adicionales	\$ 5.00	\$ 7.00	\$ 212.00	\$ 42.40
3	Reactivos para pretratamiento	\$ 30.00	\$ 40.00	\$ 245.00	\$ 81.67
1	Servicios básicos por mes	\$ 0.00	\$ 30.00	\$ 235.00	\$ 235.00

**Tabla 13. Datos de costos fijos y variables**

**DATOS**

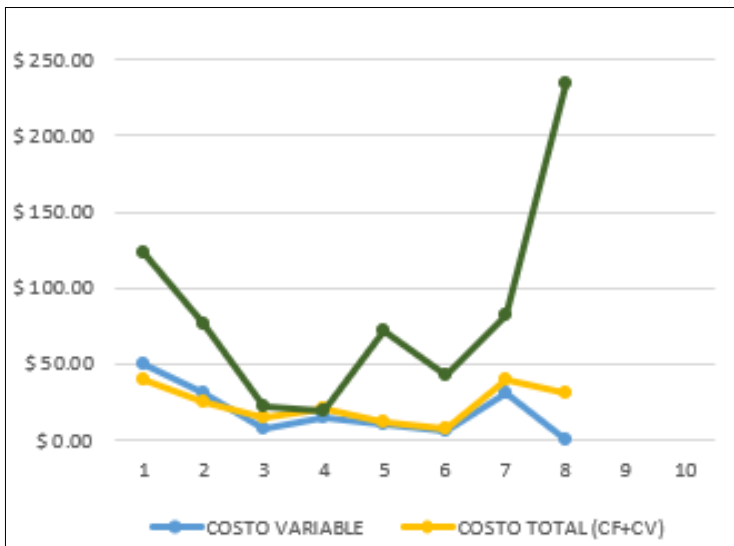
Costo Fijo	\$ 205.00	\$
Costo Variable	\$ 30.00	\$
Precio de Venta	\$ 58.75	\$

**Tabla 14. Resultados de costos variables, totales y medio**

**RESULTADOS**

COSTO VARIABLE TOTAL	\$120.00
COSTOS TOTALES (CF+CV)	\$325.00
COSTO MEDIO	\$81.25

**Ilustración 34. Gráfica de costos variables y total**



#### 4.6 Comprobación de hipótesis

Ho:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H1: Existe al menos un  $\mu_i$  distinto al resto

Código:

```
value<-
```

```
c(4.08,5.58,6.40,13.62,15.19,15.25,3.27,5.58,6.53,12.13,13.47,15.03,3.76,5.58,6.27,13.19,14.70,15.60)
```

```
group1 <- c(rep("Group1", 6), rep("Group2", 6), rep("Group3", 6))
```

```
my.dataframe<-data.frame(value, group1)
```

```
res.aov <- aov(value ~ group1, data = my.dataframe)
```

```
summary(res.aov)
```

```
TukeyHSD(res.aov)
```

Resultado: summary(res.aov)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
group1	2	1.5	0.763	0.03	0.971

Residuals 15 387.1 25.808

```
> TukeyHSD(res.aov)
```

Tukey multiple comparisons of means

95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = value ~ group1, data = my.dataframe)

```
$group1
```

```
diff lwr upr p adj
```

```
Group2-Group1 -0.685 -8.303429 6.933429 0.9704378
```

```
Group3-Group1 -0.170 -7.788429 7.448429 0.9981498
```

```
Group3-Group2 0.515 -7.103429 8.133429 0.9831659
```

Interpretación: Dado que el valor P es muy alto no existe evidencia suficiente para afirmar que el PH, turbidez, coliformes fecales, temperatura SDT y Nitratos afecten el índice de calidad del agua ICA.

### Ilustración 35. Gráfica de resultados de hipótesis



#### **4.7 Discusión**

El sistema de riego por goteo diseñado en este estudio es altamente eficiente en términos de utilización del agua y distribución uniforme a las raíces de las plantas. Los resultados obtenidos muestran una reducción significativa del consumo de agua en comparación con los métodos de riego tradicionales.

Se ha comprobado en otros estudios la efectividad del sulfato de aluminio como tratamiento para la remoción de partículas suspendidas.

Se puede inferir que el proceso de coagulación-floculación es una buena alternativa para la depuración de aguas residuales domésticas con altas cargas orgánicas (expresadas en DQO, SST y Algas). De acuerdo con los hallazgos de una investigación, demostraron que las sales férricas, como el cloruro férrico, son más efectivas en la eliminación de materia orgánica de las aguas residuales que las sales de aluminio, como el sulfato de aluminio, cuando se utilizan como coagulantes (López, 2016).

En comparación con otros sistemas de riego existentes, como puede ser el de aspersión, ya que este método si es colocado incorrectamente puede generar defectos significativos de riego en algunas zonas. Aunque son consideradas técnicas nuevas, requieren una inversión inicial mucho más grande (Quiroz, 2021).

En un análisis de sistema de riego por gravedad y goteo subsuperficial en el valle de Mexicali se demostró en el ámbito de la evaluación ambiental, los sistemas tradicionales de producción de riego por gravedad han aumentado el número de plagas y la densidad de malezas presentes en los cultivos de alfalfa, así como una mayor resistencia a los pesticidas.

El riego por goteo no sólo ofrece un retorno de la inversión superior en comparación con otros métodos de riego, sino que también brinda a los agricultores la oportunidad de gestionar sus cultivos de una manera sencilla y eficiente, aumentar el rendimiento y mejora de la calidad, ahorro significativo del agua, se distribuye uniformemente en todo tipo de suelo, se ahorra energía, y es de baja dependencia climática.

## **CAPITULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Luego de una caracterización integral de las aguas residuales, a través de la evaluación física, química y microbiológica es fundamental para comprender el grado de contaminación de las aguas residuales domésticas, así para adoptar medidas necesarias para su tratamiento.

La dosis óptima de la solución de reactivo que se utilizó dependió del grado de turbidez que las muestras presentaron, esta dosis se toma como el volumen indicado de coagulante a una concentración dada, lo que permitió lograr la formación de flóculos con mayor compactación y velocidad de sedimentación, resultando en una mayor proporción de coagulante, se pudo obtener una reducción de turbiedad en todas las muestras y cumplimiento del límite máximo permisible de la cantidad de sólidos disueltos totales.

El sistema de riego por goteo es eficiente en el uso del agua, al dirigir el riego a las raíces de las plantas, minimizando las pérdidas por evaporación y escorrentía. En comparación al sistema de riego convencional que desperdicia significativas cantidades del recurso hídrico.

No se alcanzaron a ver efectos negativos en el cultivo al implementar el sistema de riego, por lo tanto, se podría considerar como un posible potencial agrícola y ambiental

Se demuestra la sostenibilidad y viabilidad económica a largo plazo de los sistemas de riego por goteo, empleando aguas residuales domésticas pretratadas, incluyendo aspectos como las herramientas, mantenimiento de los equipos, instalación requerida, y la disponibilidad del recurso hídrico para su óptimo funcionamiento.



## 5.2 RECOMENDACIONES

Para obtener más opciones de tratamiento y mejorar el costo de instalación y operación, se recomienda explorar las variedades de coagulantes, ya sean naturales o químicos, tales como el cloruro férrico que es un coagulante químico eficaz para tratar aguas residuales, neutralizando las cargas eléctricas y facilitando la sedimentación de partículas. Entre los coagulantes naturales están los taninos que tienen la capacidad de unirse a las partículas en el agua y formar floculantes (Alfonso, 2023).

Los ensayos para ajustar el pH del agua permiten la idoneidad o no del agua empleada durante el riego, afectando la absorción de los nutrientes del suelo por las plantas. Pueden utilizarse diferentes métodos para ajustar el pH del agua para riego, se pueden utilizar productos químicos como el carbonato de calcio para reducir o aumentar el pH

Se recomienda adoptar un sistema de monitoreo y evaluación continua para seguir de cerca el rendimiento y los impactos del sistema de riego por goteo, explorando los efectos del agua residual a lo largo del tiempo, identificar técnicas de mejora y asegurar su sostenibilidad a largo plazo, realizar pruebas de campo periódicas para probar diversas configuraciones y ajustes de sistemas de riego por goteo y tratamiento de aguas residuales (GrowMax water, 2020).

Se recomienda aplicar otros tipos de tratamientos adicionales que ayuden a bajar las concentraciones de selenio y cobalto, como un proceso de filtrado que use adsorbentes específicos, como el carbón activado que puede ayudar a adsorber el selenio y el cobalto del agua permitiendo que estos no sobrepasen los límites máximos permisibles (Ceo, 2021).

## BIBLIOGRAFÍA

Acura, G. (2023c, agosto 25). ¿Qué es la coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales? Grupo Acura. <https://grupoacura.com/es/blog/coagulacion-floculacion/>

Aguirre, M. R., Vanegas, E. A., & García, N. (2016). Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(2), 39–43.

Alfonso. (2023, 15 octubre). Coagulante y Floculante en Tratamiento de Aguas: Comparativa. BLOG DALMAR PROTECCIONES y PINTURAS. <https://blog.proteccionespinturas.com/comparativa-coagulante-floculante-tratamiento-aguas/>

Almachi, S., & Guachi, T. (2020). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN SECTORES PRODUCTORES DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea*), EN LA PARROQUIA GUAYTACAMA, DEL CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2019 –2020 [Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>

Alvarez Benaute, L. M., Briceño yén, H., Valverde Rodríguez, A., & Aquino Jorge, N. (2022). Eficiencia del riego por goteo en el rendimiento de *Brassica spp.* *Manglar*, 18(4), 369–374. <https://doi.org/10.17268/manglar>

Arias, A. H., Ronda, A. C., Gomez, N., Pazos, R. S., Amalvy, J., Dimauro, R., ... & Marcovecchio, J. E. (2020). El impacto de los desechos plásticos y los microplásticos en la costa bonaerense.

Arteplástica. (2014). LA IMPORTANCIA DEL RECICLAJE DE PLÁSTICO. Arteplástica. [https://arteplastica.es/importancia-del-reciclaje-del-plastico/#:~:text=Nos permite reusar envases y,el carbón o la madera.](https://arteplastica.es/importancia-del-reciclaje-del-plastico/#:~:text=Nos+permite+reusar+envases+y,el+carbón+o+la+madera.)

Banco Mundial. (2020). El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial. In Banco Mundial. [http://www.uncrd.or.jp/env/spc/docs/Key note\\_Philippe Chalmin\\_World Waste Survey.pdf](http://www.uncrd.or.jp/env/spc/docs/Key+note_Philippe+Chalmin_World+Waste+Survey.pdf)

Benaute, L. M. A., Yen, H. B., Rodríguez, A. V., & Aquino, N. J. (2021). Eficiencia del riego por goteo en el rendimiento de Brassicas. *Manglar: Revista de Investigación Científica*, 18(4), 369-374.

Benavides Sanchez, L. Z. (2022). INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO, DRENAJE PLUVIAL Y PAVIMENTACIÓN DE LA URBANIZACIÓN LA PRADERA TERCERA ETAPA, PIMENTEL 2020 [Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/5475>

Bolaños Zea, J. J. G. (2019). Reciclado de plástico PET [Universidad Católica San Pablo]. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSP\\_d94ca22a5a9c5d56b159d7f7bdae6810](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSP_d94ca22a5a9c5d56b159d7f7bdae6810)

Bolaños Zea, J. J. G. (2019). Reciclado de plástico PET.

Cansi, F., & Cruz, P. M. (2020). “Agua nueva”: notas sobre sostenibilidad de la economía circular. *Sustainability Economic Social and Environmental*, 2, 49. <https://doi.org/10.14198/sostenibilidad2020.2.04>

Cárdenas, N. (2018). Importancia del agua en el siglo XXI. In Universidad Tecnica Particular de Loja (pp. 19–33). UTPL. <https://noticias.utpl.edu.ec/importancia-del-agua-en-el-siglo-xxi>

Castellanos, A. L., Bernal, E. O. S., Pérez, A. G., Pérez, A. G., Rangel, S. A. M., Morales, A. R. C., ... & Merino, L. H. R. (2021). Manual de usuario de POLICAN: observación y reducción de datos.

Ceo, S. T. (2021, 1 junio). Adsorción en carbón activado para el tratamiento de aguas residuales | Condorchem Enviro Solutions. Condorchem Enviro Solutions. <https://condorchem.com/es/blog/adsorcion-en-carbon-activado-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/>

Cervantes Peralta, M., Gutiérrez Rico, L. M., Reynoso Zárate, A. F., Canihua Rojas, J., López Galán, E. E., Munarriz Aedo, J. S., ... & Guerrero Lázaro, J. M. (2021). MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.

Cherlinka, V. (2021). Fertirrigación: Tecnología Agrícola Avanzada. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/fertirrigacion/>

Contyquim. (2022, 23 marzo). El coagulante en el tratamiento de aguas. Contyquim. <https://contyquim.com/blog/el-coagulante-en-el-tratamiento-de-aguas>

Diseño Agronómico del Sistema de Riego por Goteo | Intagri S.C. (s. f.). <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/diseño-agronómico-del-sistema-de-riego-por-goteo>

FAO. (2013). Captación Y Almacenamiento De Agua De Lluvia. In Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. <https://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>

Flores, P. (2020). La problemática del consumo de plásticos durante la pandemia de la COVID-19. South Sustainability, 1(2), e016-e016.

Fundación AQUAE. (2021). Causas de la escasez de agua en el mundo - Fundación Aquae. In Causas de la escasez de agua en el mundo. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/escasez-de-agua-en-el-mundo-naciones-unidas-advierte-que-la-demanda-crecera-hasta-un-30-por-ciento-en-2050/>

Gcoba. (2023, 28 junio). Así puede calcular cuánta agua potable consume al día. Primicias. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/calculadora-consumo-agua-potable/>

Gerena, A., Sánchez, L., Ariza, J., & Celis, L. (2023). EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DEL PLÁSTICO POSCONSUMO Y SU POSIBLE USO EN EL MANTENIMIENTO DE VIAS- ENFOQUE ENTREVISTAS Y ANALISIS DE ENSAYOS INTERNACIONALES. UNIVERSIDAD EAN.

GrowMax water. (2020, 19 junio). EL pH ACIDO. BLOG GrowMax Water. <https://growmaxwater.com/blog/es/el-ph-acido/>

Guerrero-Guio, J. C., Cabezas Gutiérrez, M., & Galvis Quintero, J. H. (2019). Efecto de dos sistemas de riego sobre la producción y uso eficiente del agua en el cultivo de papa variedad diacol capiro. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(1), 41–52. <https://doi.org/10.22490/21456453.3080>

Guio, J. C. G., Gutiérrez, M. C., & Quintero, J. H. G. (2020). Efecto de dos sistemas de riego sobre la producción y uso eficiente del agua en el cultivo de papa variedad diacol capiro. [effect of two irrigation systems on production and efficient use of water in potato crop diacol capiro variety] *Revista De Investigación Agraria y Ambiental*, 11(1), 41-51. <https://doi.org/10.22490/21456453.3080>

Hugues, R. T. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125-139.

Ibarra-Rondón, A. J., Fragoso-Castilla, P. J., Villero-Wolf, F. R., & Rodríguez-Jiménez, D. M. (2021). Efecto del uso de aguas residuales urbanas sobre el rendimiento y la calidad microbiológica del pimentón (*Capsicum annun L.*) cultivado en hidroponía. *Información Tecnológica*, 32(6), 93–100. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000600093>

Jaimes, W. D., Velásquez, J. F. O., Ortiz, C. A., Jaimes, W. D., Velásquez, J. F. O., & Ortiz, C. A. Dimensionamiento de un Sistema de Recolección y Aprovechamiento de Aguas Lluvias.

Lander Rodríguez, J. (2020). El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes. In *Iagua*.

Leenhardt, J., Marcondes, M. J., & Valdés, C. (2023). Agua: Panorama general. In *Banco Mundial (Issue 10)*. Banco Mundial. <https://doi.org/10.4000/artelogie.1263>

Loné, P. P. (2016, 29 septiembre). Indicadores de calidad del agua. *iAgua*. <https://www.iagua.es/blogs/pedro-pablo-lone/indicadores-calidad-agua>

López Machado, N. A., Domínguez Gonzalez, C. G., Barreto, W., Méndez, N., López Machado, L. J., Soria Pugo, M. G., ... & Montesinos, V. (2020). Almacenamiento de agua de lluvia en medios urbanos utilizando techos verdes. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 54-71.

Lopez, M., & Camacho, C. (2024). Evaluación de la calidad del agua para el uso de riego agrícola en la cuenca del río Chancay–Huaral, 2022 [Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/8846>

Macedo Jiménez, P. V. (2021). Respuesta del riego parcial en el cultivo de camote (*Ipomoea batatas*) mediante el sistema de riego por goteo subterráneo [UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5087>

Macedo Jiménez, P. V. (2021). Respuesta del riego parcial en el cultivo de Camote (*Ipomoea batatas*) mediante el sistema de riego por goteo subterráneo.

Martínez, C. A. C. (2020). Reducción de los desechos plásticos en Chile: Elementos para profundizar nuestra regulación. *Revista de Derecho Ambiental*, (14), 97-125.

Millar, R. A. (2019, Nov 04). El potencial del riego por goteo subterráneo. *El Mercurio*

Miranda Vega, J. V., & Rodríguez Aguilar, B. P. (2022). Manual de funcionamiento, mantenimiento y aplicaciones pedagógicas del equipo (pH metro multiparamétrico benchtop pH/conductivity meter y del Lactodensímetro) en el Laboratorio de Investigación en Lácteos de la Carrera de Agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).

Municipio de Guayaquil. (2022). CONSTRUCCIÓN DEL PUNTO DE CONEXIÓN DE AAPP CON EL ABASTECIMIENTO MEDIANTE REDES Y GUÍAS DOMICILIARIAS AL PROGRAMA HABITACIONAL DE LOTES MUNICIPALES Y LA COOP. REALIDAD DE DIOS. Oficio N° CID-72-22.

N. (2021). Eficiencia del riego por goteo en el rendimiento de *Brassica* spp. *Manglar*, 18(4), 369-374.

O. (2021). Impacto del riego por goteo subsuperficial en la eficiencia de uso del agua en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 49-57.

Olivieri, D. (2020). La calidad del agua para riego. SAB- Spa. <https://www.sabspa.com/es/la-calidad-del-agua-para-riego/>

Olivieri, D. (2021b, abril 13). La calidad del agua para riego - SAB spa. SAB Spa. <https://www.sabspa.com/es/la-calidad-del-agua-para-riego/>

Ortega, C. (2024, 15 enero). Investigación analítica: Qué es, importancia y ejemplos. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-analitica/>

Ortiz-Calle, R., Cartagena-Ayala, Y., Morillo-Velarde, R., Vásquez-Mejía, C., Romero-Anchapanta, M., Erique-Agila, D., ... & Torres-Fierro, P. (2021). Efecto del riego por goteo de bajo volumen en el rendimiento del cultivo de fréjol variedad “Rojo del Valle” en los andes ecuatorianos. *Manglar*, 18(3), 253-260.

Pastuña Pastuña, A. V., & Puchaicela Gualan, A. C. (2022). Manual de funcionamiento, mantenimiento y aplicación pedagógica de los equipos ph metro portátil con cuchilla para carne ape-ph8500-mt y ph metro para productos semi sólidos ph60s para el Laboratorio de investigación en cárnicos de la Carrera de Agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).

Pavón, J. F. B., Montoya, K. E. G., & Arauz, K. A. L. (2021). Sistema de riego por goteo automatizado y sostenible en zonas rurales de Nicaragua. *Revista Tecnología en Marcha*, 23.

Perez, R. (2021, 16 septiembre). El agua en la agricultura: importancia y manejo. iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/ricardo-perez/agua-agricultura-importancia-y->



Pittaluga, L., & Pirrocco, D. (2021). Análisis de la cadena de valor del plástico y el caucho en el Uruguay. In *Estudios y Perspectivas de la CEPAL* (Vol. 53, Issue 1). [www.cepal.org/apps](http://www.cepal.org/apps)

Portales González, A., Díaz Pérez, G., Moreira Pérez, D., & Salas, Y. T. (2016). Implementación de filtros microbiológicos en sistemas de cultivo intensivo de *Clarias gariepinus* con la tecnología holandesa de recirculación de agua. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 31(2), 18–18. <https://aquadocs.org/handle/1834/9086>

Quispe, J. (2016). Evaluación de la calidad físico, química y bacteriológica del agua de riego de la estación experimental de Cota Cota. Universidad Mayor de San Andrés, 1–150.

RAFAEL, N. A. J. (2022). Implementación de un sistema de riego por goteo con IOT para invernadero de pimiento en la finca Pozo (Doctoral dissertation, Universidad Agraria del Ecuador).

Ramalho, R. S. (2021). Tratamiento de aguas residuales. Reverté.

Revilla de Lucas, J. (2012). Turbidímetro portátil autónomo.

Salazar, M. (2023, 24 mayo). Nuevo informe revela la cadena de daños que provocan las aguas residuales al planeta. Noticias ambientales. [provocan-las-aguas-residuales-al-planeta/](https://www.noticiasambientales.com/aguas-residuales-al-planeta/)

Santiago, Q. F. L., Elena, I. K., & Carlos, M. G. (s. f.-b). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-)

03382017000300004#:~:text=EL%20%C3%8DNDICE%20DE%20CALIDAD%20DEL,propiedades%2C%20seg%C3%BAAn%20un%20inter%C3%A9s%20predeterminado

Soria, C. B., & Ruiz, M. Á. D. (2023, 28 abril). ¿Por qué es interesante hacer un análisis de agua de riego? Plataforma Tierra. <https://www.plataformatierra.es/innovacion/analisis-de-agua-de-riego-en-agricultura>

Vargas-Rodríguez, P., Dorta-Arnaiz, A., Fernández-Hung, K., & Méndez-Jocik. (2021). Considerations for the Rational Design of Drip Irrigation Systems. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4), 32–45. [bit.ly/3P7CyAN](https://bit.ly/3P7CyAN)

Velázquez, A. (2023, 23 febrero). ¿Qué es la Investigación Exploratoria? QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-exploratoria/>

Zabala Celi, J. L. (2018). La industria del reciclaje en la ciudad de Quito, propuesta de modelo de negocio para la industria de reciclaje de plástico PET (Master's thesis, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador).

Zamudio, L. M., Julieth, R. Z., Londoño, E., Gil, C. A., & Gallego, E. A. (2020). Proyecto de emprendimiento social “BIOPET.” In *Andrew’s Disease of the Skin Clinical Dermatology*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34908>

Zuluaga Mejía, C., Jaramillo Noreña, J. E., Aguilar Aguilar, P. A., Domínguez Pulgarín, C., Ortiz Muñoz, C., Sepúlveda Ortega, S. M., & Gómez Osorno, C. M. (2022). Riego y fertirriego: Riego por goteo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://agrosavia.repositoriodigital.com/handle/20.500.12324/37836>

# ANEXOS

## Anexo 1. Muestras evaluadas en el laboratorio



## Anexo 2. Registro de uso de equipos, reactivos usados en el laboratorio

UNIVERSIDAD SALESIANA		REGISTRO DE USO DE EQUIPOS, REACTIVOS Y MATERIALES DE LABORATORIO PRACTICA TESIS Y PROYECTO				Codigo
						Version
						Page
						1 de 1
Centro	Ingeniería Ambiental		Asignatura		Integración Curricular	
Tutor de Tesis	Ing. María de la Cruz Mora		Asesor de Laboratorio			
Tema de Tesis/ Proyecto	DISEÑO DE UN SISTEMA DE REGO POR GOTEO MESAJE Y LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA					
Procedimiento a realizar	Caracterización agua residual doméstica mediante la evaluación física y química para reconocer sus cargas contaminantes y realizar su tratamiento preliminar y para que sean aptos para usarlos en un sistema de riego.					
Fecha programada	Fecha Inicio	Fecha Final	Horario	Materia	Mesa Escolar	
	19/02/2019	19/02/2019			19/02/2019	
Varios	Cantidad	Material de laboratorio	Cantidad	Material de laboratorio	Cantidad	
PHmetro	1	Filtros de membrana	10	Car	100 gramos	
Espectrofotómetro	1	Papel filtro	1	Medidor de pH	1	20 ml
Módulo de registro de datos	1	Módulo	4	Soporte de aluminio	1	80 ml
Turbidímetro	1	Papel	2			
Balanza Motorizada	1	vaso de precipitación de capacidad de 500 ml	1			
Condensador	1	Medidor de pH	1			
Módulo de registro de datos	1	Concentrado de J.A	4			
		80 para medir calidades físicas	1			
Observaciones:						
Ing. María de la Cruz Mora	G.F. Arroyo Auz	Ing. Nelson Valle	Ing. Carmen Palacios			
Coordinadora de Laboratorio	Asesor de Laboratorio	Tutor Tesis	Coordinadora de Carrera			

### Anexo 3. Vista general de todos los materiales usados



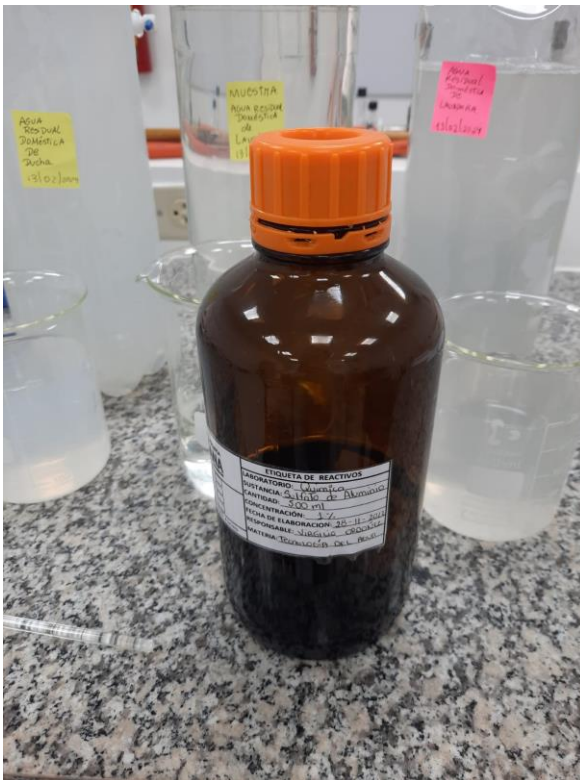
### Anexo 4. Medición de parámetros físicos, químicos y bioquímicos



## Anexo 5. Muestras evaluadas en el espectrofotómetro



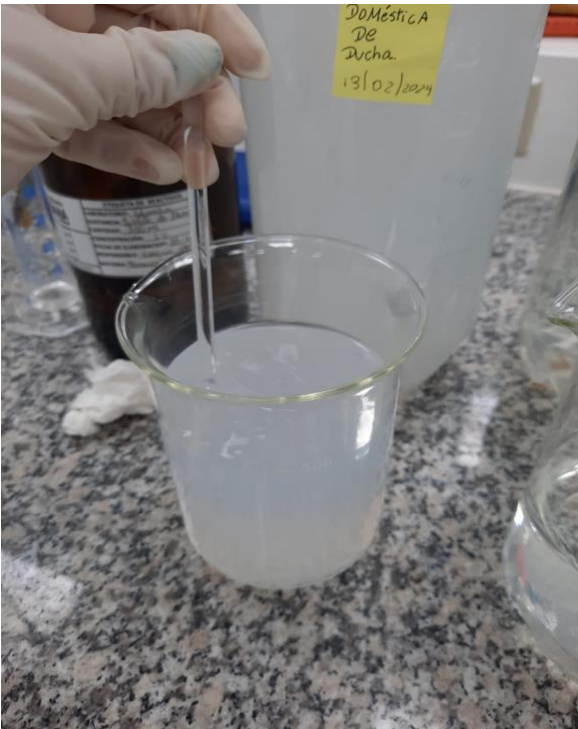
## Anexo 6. Reactivos utilizados en el tratamiento de las muestras



## Anexo 7. Reactivos usados para corregir pH



## Anexo 8. Proceso de coagulación y floculación



## Anexo 9. Realizando el test de jarras



## Anexo 10. Muestras de agua luego de su tratamiento



### Anexo 11. Implementación del sistema de riego



### Anexo 12. Vista general de sistema de riego en un jardín

