

**UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE
LA SELVA CENTRAL JUAN SANTOS ATAHUALPA**



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES DE CAFÉ MEDIANTE
SISTEMAS: FÍSICO, BIOLÓGICO Y DE COAGULANTES
NATURALES**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

AUTORAS

Sheyla Lizett Romero Soto

Jhissabell Saraid Vedia Pucuhuanca

ASESOR

PhD. Alex Rubén Huamán De La Cruz

Pichanaqui, Perú

2025

AGRADECIMIENTOS

A Dios, nuestra fuente de sabiduría y fortaleza, le agradecemos por ser guía en cada paso de este camino. Como dice Filipenses 4:13: “Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”, su amor y su gracia han hecho posible este logro.

Nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa y a los docentes de cada asignatura dictada durante toda nuestra vida universitaria, por cada una de las lecciones impartidas y aprendidas, que han contribuido de manera decisiva a la consolidación de nuestra formación profesional.

A nuestro asesor de tesis, PhD. Alex Rubén Huamán De La Cruz, por su guía constante, su orientación y su compromiso en el desarrollo y culminación de esta investigación

A nuestros jurados evaluadores, Dr. Daniel Martín Álvarez Tolentino, Dr. José Miguel Rutti Marín y Dr. Manuel Emilio Reátegui Inga, por su tiempo, dedicación y valiosos aportes, los cuales enriquecieron significativamente este trabajo de investigación y contribuyeron a nuestro crecimiento académico.

A nuestras familias, quienes nos brindaron apoyo emocional, motivación, comprensión y paciencia durante todo el proceso de investigación. Este logro también es de ustedes, porque han sido nuestro sostén en los momentos de mayor exigencia.

A nuestras mejores amigas Sally y Clendy, a nuestros amigos de estudios, por acompañarnos a lo largo de este proceso, por sus palabras de aliento y por creer en nosotras. Asimismo, a todas las personas que, de una u otra manera, han sido parte de este proceso, nuestro más sincero agradecimiento. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

DEDICATORIA

A mis padres, Faustino Romero y Yolanda Soto, así como a mis hermanos, Lisbeth, Kevin y Bedirjan, quienes son mi fuerza, guía e inspiración constante. Su amor incondicional y su apoyo infalible me motivan a dar siempre lo mejor de mí. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, por estar siempre presentes y por acompañarme en cada paso de este camino.

Sheyla

A mis padres Walter y Lucy, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, que con amor, sacrificio y confianza sembraron en mí el deseo de superarme. A mi familia que con su apoyo emocional y su presencia constante iluminaron este camino. Esta tesis es fruto del esfuerzo de todos.

Jhissabell

RESUMEN

El presente estudio evaluó la eficiencia de tres sistemas de tratamiento físico, biológico y de coagulantes naturales aplicados a las aguas mieles de café generadas durante el proceso de beneficio húmedo. Asimismo, se comparó la calidad del efluente tratado con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría III, Subcategoría D1: Riego de vegetales, aprobados mediante el D.S. N.° 004-2017-MINAM. La investigación se desarrolló en el distrito de Pichanaqui, región Junín, zona reconocida por su alta producción cafetalera. Se implementaron tres sistemas experimentales: un filtro físico conformado por capas de arena, grava y carbón; un filtro biológico constituido por las macrófitas acuáticas jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna minor*); y un sistema de coagulantes naturales elaborado a partir de almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta Crantz*). Las mediciones realizadas a los 7, 14 y 20 días de tratamiento evidenciaron que el sistema biológico obtuvo las mayores eficiencias en la remoción de demanda química de oxígeno (DQO) (99.5%) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) (99.7%), superando al sistema físico (77.3% y 83.8%) y al de coagulantes naturales (54.37% y 40.33%). Además, se registró una mejora significativa en los valores de pH y turbidez, acercándose a los límites establecidos por la normativa ambiental. En conclusión, el sistema biológico se destacó como la alternativa más eficiente, sostenible y de bajo costo para el tratamiento de aguas mieles de café, contribuyendo a la mitigación del impacto ambiental generado por la actividad cafetalera.

Palabras clave: aguas mieles de café, tratamiento biológico, coagulantes naturales, tratamiento físico, eficiencia de remoción.

ABSTRACT

The present study evaluated the efficiency of three physical, biological, and natural coagulant treatment systems applied to coffee honey waters generated during the wet processing process. Likewise, the quality of the treated effluent was compared with the values established in the Environmental Quality Standards (ECA) for water, Category III, Subcategory D1: Vegetable irrigation, approved by Supreme Decree No. 004-2017-MINAM. The research was conducted in the district of Pichanaqui, Junín region, an area recognized for its high coffee production. Three experimental systems were implemented: a physical filter made up of layers of sand, gravel, and charcoal; a biological filter consisting of the aquatic macrophytes water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and duckweed (*Lemna minor*); and a natural coagulant system made from plantain starch (*Musa paradisiaca*) and cassava (*Manihot esculenta* Crantz). The measurements taken at 7, 14, and 20 days of treatment showed that the biological system obtained the highest efficiencies in the removal of chemical oxygen demand (COD) (99.5%) and biochemical oxygen demand (BOD₅) (99.7%), surpassing the physical system (77.3% and 83.8%) and the natural coagulant system (54.37% and 40.33%). In addition, a significant improvement was recorded in pH and turbidity values, approaching the limits established by environmental regulations. In conclusion, the biological system stood out as the most efficient, sustainable, and low-cost alternative for the treatment of coffee honey waters, contributing to the mitigation of the environmental impact generated by coffee farming activity.

Keywords: Coffee honey wastewater, biological treatment, natural coagulants, physical treatment, removal efficiency.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1. Fundamentación del Problema.....	14
1.2. Formulación de Problema.....	15
1.2.1. Problema General.....	15
1.2.2. Problemas Específicos.....	15
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo General.....	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.4. Definición y Operacionalización de Variables.....	16
1.5. Hipótesis.....	17
1.5.1. Hipótesis General.....	17
1.6. Justificación.....	17
1.6.1. Ambiental.....	17
1.6.2. Social.....	17
1.6.3. Económico.....	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes.....	18
2.1.1. Internacional.....	18
2.1.2. Nacional.....	19
2.2. Bases Teóricas.....	20
2.2.1. Café.....	20
2.2.2. Parámetros Físicoquímicos.....	22

2.2.3. Humedales Artificiales.....	23
2.2.4. Tratamiento Biológico.....	24
2.2.5. Tratamiento Físico.....	27
2.2.6. Tratamiento de Coagulantes Naturales.....	28
2.2.7. Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua.....	31
CAPÍTULO III METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.1. Ámbito de Estudio.....	33
3.2. Tipo, Nivel y Diseño de Investigación.....	34
3.2.1. Tipo.....	34
3.2.2. Nivel.....	34
3.2.3. Diseño.....	34
3.3. Población y Muestra.....	35
3.3.1. Población.....	35
3.3.2. Muestra.....	35
3.4. Procedimientos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	35
3.4.1. Caracterización de los Parámetros Fisicoquímicos de las Aguas Mieles de Café.....	36
3.4.2. Implementación de los Sistemas de Tratamiento.....	38
3.4.3. Análisis de los Parámetros Fisicoquímicos.....	44
3.4.4. Evaluación de la Eficiencia de los Sistemas de Tratamiento.....	44
3.4.5. Comparación de la calidad del efluente tratado con el ECA para Agua.....	45
3.5. Análisis de Datos.....	45
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	46
4.1. Presentación de Resultados y Discusiones.....	46
4.1.1. Caracterización de los Parámetros Fisicoquímicos de las Aguas Mieles de Café.....	46
4.1.2. Análisis de los Parámetros Fisicoquímicos de Aguas Mieles de Café.....	47
4.1.3. Determinación del Porcentaje de Eficiencia de los Sistemas de Tratamiento.....	58
4.1.4. Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).....	59
4.2. Prueba de Hipótesis.....	61
CONCLUSIONES.....	62
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

ANEXOS	73
Anexo 1. Matriz de consistencia	73
Anexo 2. Panel fotográfico del procedimiento de tratamiento de aguas mieles de café.	75
Anexo 3. Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas	78
Anexo 4. Análisis de aguas mieles de café.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Procesos de obtención del café	21
Figura 2 Principales plantas acuáticas	25
Figura 3 Morfología de Eichhornia crassipes.....	26
Figura 4 Partes de planta acuática Lemna Minor	27
Figura 5 Partes de la yuca.....	30
Figura 6 Partes del plátano	31
Figura 7 Mapa de ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas mieles de café.....	33
Figura 8 Diseño experimental.....	34
Figura 9 Flujograma metodológico.	35
Figura 10 Recolección de las aguas mieles de café en la finca Cedro Cruz.....	36
Figura 11 Esquema de distribución de los sistemas de tratamiento de aguas mieles de café ..	38
Figura 12 Espacio acondicionado para la planta piloto.....	39
Figura 13 Dimensiones de los sistemas de tratamientos	40
Figura 14 Acondicionamiento con los sustratos en el sistema físico	40
Figura 15 Descarte de plátano y yuca.....	41
Figura 16 Extracción del almidón de Musa paradisiaca.....	42
Figura 17 Proceso de obtención de almidón de Manihot Esculenta Crantz	43
Figura 18 Proceso de gelificación.	44
Figura 19 Variación de la concentración del pH en los tres sistemas de tratamiento.	48
Figura 20 Variación de la concentración de alcalinidad en los sistemas de tratamiento.....	49
Figura 21 Variación de la concentración del OD en los sistemas de tratamiento.	50
Figura 22 Variación de la concentración de la CE en los sistemas de tratamiento.	51
Figura 23 Variación de la concentración de la turbidez en los sistemas de tratamiento.	52
Figura 24 Variación de la concentración del SST en los sistemas de tratamiento.	53

Figura 25 Variación de la concentración de nitrato en los sistemas de tratamiento.....	54
Figura 26 Variación de la concentración de fosfato en los sistemas de tratamiento.	55
Figura 27 Variación de la concentración de DBO ₅ en los sistemas de tratamiento.	56
Figura 28 Variación de la concentración del DQO en los sistemas de tratamiento.	57
Figura 29 Porcentaje de eficiencia de los parámetros fisicoquímicos en los sistemas de tratamiento.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Definición y operacionalización de variables.....	16
Tabla 2 ECA para agua (Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales)	32
Tabla 3 Descripción del muestreo realizado a las aguas mieles.....	37
Tabla 4 Método de referencia.....	37
Tabla 5 Parámetros medidos en campo	38
Tabla 6 Caracterización de las Aguas Mieles del Café.	47
Tabla 7 Comparación de la calidad del efluente tratado con el ECA para Agua, Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales.	60

INTRODUCCIÓN

El café es una de las bebidas de mayor consumo a nivel mundial y a su vez constituye una de las materias primas más relevantes en el comercio internacional (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2024). Durante el año 2024 las exportaciones de café y sus diferentes variedades han alcanzado un valor aproximado de 1 100 millones de dólares, cifra que representa un incremento superior al 30 % respecto a lo registrado en 2023 (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), 2025).

La caficultura constituye una de las actividades agrícolas más relevantes para el agricultor peruano, no solo por su contribución económica, sino también por su impacto social y ambiental en las regiones productoras (Díaz & Carmen, 2017). Este producto agrícola, genera enormes cantidades de residuos en distintas etapas de su proceso productivo.

En este contexto el proceso de beneficio húmedo (BH) demanda un elevado consumo de agua, requiriendo entre 15 y 20 L de agua para procesar cada kilogramo de café (International Coffee Organization (ICO), 2023). Estas aguas mieles generalmente son vertidas sin tratamiento, contienen un elevado nivel de acidez y una alta carga orgánica, lo que provoca una disminución del oxígeno disuelto, afectando a los cuerpos de agua superficial y subterráneo locales (ICO, 2023).

Debido a su elevada carga contaminante, el tratamiento de las aguas mieles de café constituye un desafío ambiental prioritario. Diversas investigaciones han desarrollado alternativas de remediación, entre ellas la fitorremediación, que emplea macrófitas acuáticas para remover contaminantes.

Por ejemplo Mohd et al. (2019) compararon un sistema con plantas (*E. crassipes* y *P. karka*) con un sistema sin plantas (arena y grava), el sistema plantado logró una remoción de 94% en sólidos suspendidos totales (SST) y 95% en la DQO, mientras que el sistema sin plantas alcanzó el 90% , y 82%, respectivamente. Asimismo, Garay & Rivero (2014) demostraron que el uso de la macrófita acuática (*E. crassipes*) en aguas residuales del beneficio húmedo de café en Cajamarca permitió remover 98.14% de sólidos totales (ST) y 86.57 % de DBO₅. De igual modo, Morales et al. (2020) reportaron que los filtros físicos mostraron mayor remoción de fosfatos (2 763 a 0.975 mg/L), los filtros biológicos de sólidos disueltos totales (SDT) (3 266 a 2.55 mg/L) y los filtros con coagulantes naturales de oxígeno disuelto (OD) (2.496 a 0.923 mg/L).

En la región Junín, especialmente en el distrito de Pichanaqui, la actividad cafetalera representa una importante fuente económica para numerosos productores, debido a que esta región constituye una de las principales zonas cafetaleras del país (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), 2021). Sin embargo, gran parte de las aguas residuales generadas durante el beneficio húmedo son vertidas sin un tratamiento adecuado, ocasionando impactos negativos sobre los cuerpos de agua y el entorno ambiental, debido a su elevada carga orgánica, acidez y presencia de sólidos suspendido (International Coffee Organization, 2023; Morales et al., 2020). Esta problemática evidencia la necesidad de implementar alternativas sostenibles y accesibles que permitan reducir la contaminación generada por la actividad cafetalera.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo general evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas mieles de café mediante sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales en el Distrito de Pichanaqui, región Junín. Los sistemas empleados fueron: un filtro físico compuesto por arena, piedra y carbón; un filtro biológico constituido por las macrófitas acuáticas (*E. crassipes*) y la lenteja de agua (*L. minor*); y un filtro con coagulantes naturales a base de almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*). Estas especies y materiales fueron seleccionados por su disponibilidad local, bajo costo y potencial para promover un tratamiento ambientalmente sostenible (Mena, 2021). La investigación se desarrolló en la planta piloto de la Asociación Valle Ninabamba, Pichanaqui, buscando aportar evidencia científica y tecnológica que oriente a los productores y autoridades locales hacia prácticas de manejo más sostenibles del recurso hídrico asociado a la caficultura.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Fundamentación del Problema

Según la FAO (2024), el café constituye como el principal producto tropical comerciable, y su producción involucra a aproximadamente 25 millones de hogares agrícolas, los cuales aportan cerca del 80 % de la producción mundial, concentrándose principalmente en países en desarrollo, donde representa una fuente clave de ingresos y sustento para los hogares.

El procesamiento del café demanda un elevado consumo de agua, en promedio se requieren entre 15 a 20 L de agua para procesar cada kg de café, ya que generalmente implica la disposición de los granos en canales alargados, donde son enjuagados de manera repetida mientras se realiza su remoción (ICO, 2023). Por ello, su proceso productivo debe asegurar la inclusión, eficiencia y sostenibilidad frente a nuestro entorno natural (FAO, 2021). Estas aguas mieles resultan altamente contaminantes debido a la elevada acidez y carga orgánica (Gallego & Mejía, 2016).

En el caso de Costa Rica la actividad productiva de café tiene gran relevancia para los agricultores, su producción ha incrementado en un 14.14 % beneficiando a más de 26 000 familias costarricenses (Instituto del Café de Costa Rica, 2023). No obstante, Montero & Sandí, (2009) mencionan que entre 1840 y 1910 se presentó una problemática por la alteración de las fuentes de agua locales debido al vertimiento de aguas residuales de café. Se reportaron efectos adversos en animales que morían de morriña, y en la salud humana, con casos de disentería o tifoidea, como consecuencia de la falta de tratamiento adecuado de estos efluentes.

En el Perú, la caficultura constituye una de las principales actividades agrícolas y fuentes de empleo para las familias rurales. La región Junín ocupa el segundo lugar en la producción nacional con 64.6 mil toneladas, equivalente al 21.2 % de la producción total del país, siendo superada únicamente por la región San Martín (Índice de Competitividad Regional (INCORE), 2025).

Estudios realizados en el país evidencian el alto potencial contaminante de estos efluentes. Garay & Rivero (2014) reportaron concentraciones de DBO_5 (5847 mg/L), sólidos totales (7977 mg/L) y pH alrededor de 5. Asimismo, Mohd et al. (2019) advierten que estos vertimientos generan impactos negativos en la vida acuática y en la salud humana, especialmente en zonas rurales donde no existen infraestructuras de tratamiento implementadas.

En este contexto, resulta imperativo promover tecnologías de tratamiento eficientes, económicas y ecológicamente viables que permitan reducir su carga residual antes del vertimiento al suelo o a los cuerpos de agua (Sengupta et al., 2020).

Si bien las tecnologías avanzadas han demostrado altas eficiencias en la remoción de contaminantes, su elevado costo y complejidad limitan su aplicación en comunidades rurales productoras. Por ello, se evaluaron alternativas de bajo costo y sostenibles, como los sistemas físicos, biológicos y de coagulantes naturales, que han mostrado eficiencias relevantes de remoción (Ibáñez et al., 2021; Morales et al., 2020; Romero, 2019). Estas soluciones representan una opción viable para pequeños productores de café del distrito de Pichanaqui, donde la sostenibilidad ambiental y económica del proceso cafetalero constituye un eje fundamental para el desarrollo local.

En este marco, la presente investigación adquiere especial relevancia al evaluar la eficiencia de tres sistemas de tratamiento (físico, biológico y de coagulantes naturales) para las aguas mieles del café en el distrito de Pichanaqui, contribuyendo al fortalecimiento de una caficultura ambientalmente responsable, sostenible y adaptada a las condiciones locales.

1.2. Formulación de Problema

1.2.1. Problema General

¿Entre los sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales cuál tiene mayor eficiencia en el tratamiento de aguas mieles de café?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los valores de los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café antes del tratamiento con sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales?
- ¿Cuáles son los valores de los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café después del tratamiento con sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales?
- ¿Cuál es el porcentaje de eficiencia del tratamiento de aguas mieles de café mediante sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales?
- ¿Los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) agua Categoría III, Subcategoría D1: Riego de vegetales establecido en el D.S. N.º 004-2017-MINAM?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas mieles de café mediante sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café antes del tratamiento con sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales.
- Analizar los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café después del tratamiento con sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales.
- Determinar el porcentaje de eficiencia del tratamiento de aguas mieles de café mediante sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales.
- Comparar los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) agua Categoría III, Subcategoría D1: Riego de vegetales, establecido en el D.S. N.° 004-2017-MINAM.

1.4. Definición y Operacionalización de Variables

Tabla 1

Definición y operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Independiente Sistemas de tratamiento	Son procesos que se realizan para reducir los contaminantes del agua, para así poder reaprovechar el agua residual (MITECO, 2021).	Tipos de tratamientos	Físico	-
			Biológico	-
			Coagulantes naturales	-
Dependiente: Calidad de aguas mieles de café	Las aguas mieles son los efluentes obtenidas del café después de pasar por el proceso de beneficio húmedo (Lee, 2020).	Parámetros fisicoquímicos	pH	-
			OD	mg/L
			DBO ₅	mg/L
			CE	μS/cm
			SST	mg/L
			Alcalinidad	mg/L
			Turbidez	NTU
			Nitratos	mg/L
			Fosfatos	mg/L
			DQO	mg/L

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

H₀: No existen diferencias significativas entre los sistemas de tratamiento (físico, biológico y de coagulantes naturales) en la eficiencia de tratamiento de las aguas mieles de café, evaluada mediante los parámetros fisicoquímicos.

H_a: Existen diferencias significativas entre los sistemas de tratamiento (físico, biológico y de coagulantes naturales) en la eficiencia de tratamiento de las aguas mieles de café, evaluada mediante los parámetros fisicoquímicos.

1.6. Justificación

1.6.1. Ambiental

En el aspecto ambiental, estas aguas mieles de café son altamente contaminantes y alteran la calidad del agua, por ello se propone el uso de las biotecnologías, ya que logran reducir la carga orgánica del efluente, además son amigables con el medio ambiente, utiliza plantas macrófitas y recursos de la zona de fácil obtención. Asimismo, el estudio permite evaluar la calidad del efluente tratado en relación con los valores establecidos en el ECA para Agua, Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales, con fines de reaprovechamiento agrícola.

1.6.2. Social

En el ámbito social, este estudio busca mejorar las condiciones de vida para las familias caficultoras, ya que se ven expuestas a condiciones sanitarias inadecuadas por la descarga directa de las aguas mieles de café. Este estudio permite reducir los riesgos para la salud, evitar la proliferación de vectores y malos olores, además fomenta la conciencia ambiental y la adopción de prácticas responsables dentro de la población.

1.6.3. Económico

En el aspecto económico, el estudio demuestra viabilidad de implementar sistemas de tratamiento con materiales de bajo costo y fácil acceso, como arena, piedra y carbón. Esta característica permite que los pequeños y medianos productores puedan implementar la tecnología sin incurrir en gastos elevados. Asimismo, el aprovechamiento del agua tratada para riego u otras actividades agrícolas representa un ahorro significativo en el uso de recursos hídricos y una mejora en la productividad. Por tanto, la propuesta no solo reduce costos operativos, sino que contribuye a la sostenibilidad económica del sector cafetalero en la región.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

Ibáñez et al. (2021) realizaron un estudio titulado “*Diseño de una planta de tratamiento de agua con miel de Kilamupi Café*”, con el objetivo de desarrollar una instalación que permita el tratamiento de las aguas mieles de café, a fin de mitigar los impactos ambientales y cumplir con los estándares ambientales. El sistema se basa en un proceso de filtración con capas de materiales (caliza, grava, arena y carbón activado), recolectaron muestras de aguas mieles de café producidas durante tres ciclos de lavado de café y aplicaron una metodología cuantitativa con un diseño experimental de un solo factor. Los resultados indicaron que el sistema de filtración logró reducir el nitrógeno total en un 98.61%, el fósforo total en un 97.59%, los sólidos suspendidos totales (SST) en un 97.55%, la demanda química de oxígeno (DQO) en un 98.15% y la turbidez en un 97.67%. Las concentraciones resultantes fueron de 2.78 mg/L para el nitrógeno total, 0.28 mg/L para el fósforo total, pH 7.58, 100 mg/L para los SST, 99 mg/L para la DBO₅, 2.4 mg/L para el oxígeno disuelto (OD), 26.83 NTU para la turbidez y 1658.75 mg/L para la DQO. Los valores cumplen con los límites permitidos establecidos por la normativa ambiental. El estudio concluyó que los procesos físicos y los materiales de los lechos filtrantes son eficaces para descontaminar las aguas mieles de café.

Mohd et al. (2019) realizaron un estudio de investigación titulado “*Phytoremediation of real coffee industry effluent through a continuous two-stage constructed wetland system*” con el objetivo de evaluar la eficiencia de un sistema de humedales construidos en dos etapas continuas para el tratamiento de efluentes generados por la industria del café. El sistema empleó las plantas acuáticas *Phragmites karka* y *Eichhornia crassipes*. El efluente del café utilizado tenía un valor de pH de 4.4, sólidos suspendidos totales (SST) de 339.9 mg/L, color de 1730 ADMI, demanda química de oxígeno (DQO) de 13000 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de 1720 mg/L. El sistema fue alimentado continuamente con el efluente del café a un caudal de 4.1 L/día, su tiempo de retención hidráulica fue de 3 días para el *P. karka* y 4 días al *E. crassipes*, durante 20 días. Los resultados evidenciaron una capacidad de fitorremediación de 94% en SST, 79% en color y 95% en DQO, demostrando que este sistema de dos etapas continuas posee potencial de fitorremediación para reducir la carga contaminante de los efluentes de café y mejorar su calidad antes de su disposición final.

Romero (2019) ejecutó un estudio titulado “*Evaluación del almidón de papa, yuca y banano como bio coagulantes para el tratamiento de aguas de una industria láctea*”, cuyo objetivo fue evaluar la aplicación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*), yuca (*Manihot esculenta*) y plátano (*Musa paradisiaca*) como coagulantes naturales en el tratamiento de efluentes generados en una planta procesadora de leche. La investigación utilizó un enfoque cuantitativo y evaluó los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO) para determinar la eficiencia de los bio coagulantes. Los resultados mostraron que el coagulante elaborado a partir de banano logró una reducción del 72.2 % en la DQO con una dosis de 2 ml, mientras que el almidón de papa alcanzó una eficiencia del 97.6 % en la DBO₅ con dosis de 2 ml y 6 ml. Estos resultados destacaron la capacidad de estos coagulantes naturales como posibles alternativas sostenibles frente a los coagulantes químicos convencionales. Se concluyó que los biocoagulantes basados en almidón vegetal ofrecen una opción viable para el tratamiento de aguas residuales en industrias lácteas.

2.1.2. Nacional

Morales et al. (2020) realizaron un estudio de investigación titulado “*Sistemas de tratamiento de aguas mieles de café en la Provincia de Rodríguez de Mendoza, Perú*” cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de tres sistemas de tratamientos para aguas residuales del lavado de café. Para ello compararon un sistema físico (PM2), sistema biológico (PM3) y un sistema con coagulantes (PM4). El estudio se llevó a cabo durante dos meses, realizaron muestreos cada quince días y procesaron los datos en el software R. Los resultados evidenciaron que el sistema físico obtuvo la mayor remoción del fosfato, reduciendo su concentración de 2.763 mg/L a 0.975 mg/L, el sistema biológico disminuyó la concentración de sólidos disueltos totales de 3.266 mg/L a 2.55 mg/L y el sistema de coagulantes redujo la concentración de oxígeno disuelto 2.496 mg/L a 0.923 mg/L. Los efluentes de café tratados con estos sistemas mostraron características aptas para su uso en el riego agrícola, dichas tecnologías tienen viabilidad práctica en contextos rurales cafetaleros.

Díaz et al. (2025) desarrollaron un estudio titulado “*Influencia de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la depuración de las aguas mieles del café provenientes del beneficio húmedo*”, cuyo objetivo fue determinar el efecto depurador de estas dos especies acuáticas sobre las aguas mieles del café. Para lo cual instalaron nueve unidades experimentales, cada una con 24 litros de aguas mieles de café, en tres recipientes se incorporaron 300 g de *E. crassipes*, en otros tres 300 g de *L. minor*, y los tres restantes se mantuvieron como grupo control. Durante un periodo de 28 días, monitorearon parámetros fisicoquímicos como pH, turbidez, conductividad eléctrica y demanda química de oxígeno (DQO). Los resultados

demonstraron que *E. crassipes* fue más eficiente en la disminución de la turbidez y la conductividad eléctrica, mientras que *L. minor* mostró un mejor rendimiento en la estabilización del pH y la reducción de la DQO. Ambas plantas acuáticas demostraron potencial para ser utilizadas en sistemas biológicos de tratamiento de aguas mieles de café.

2.2. Bases Teóricas

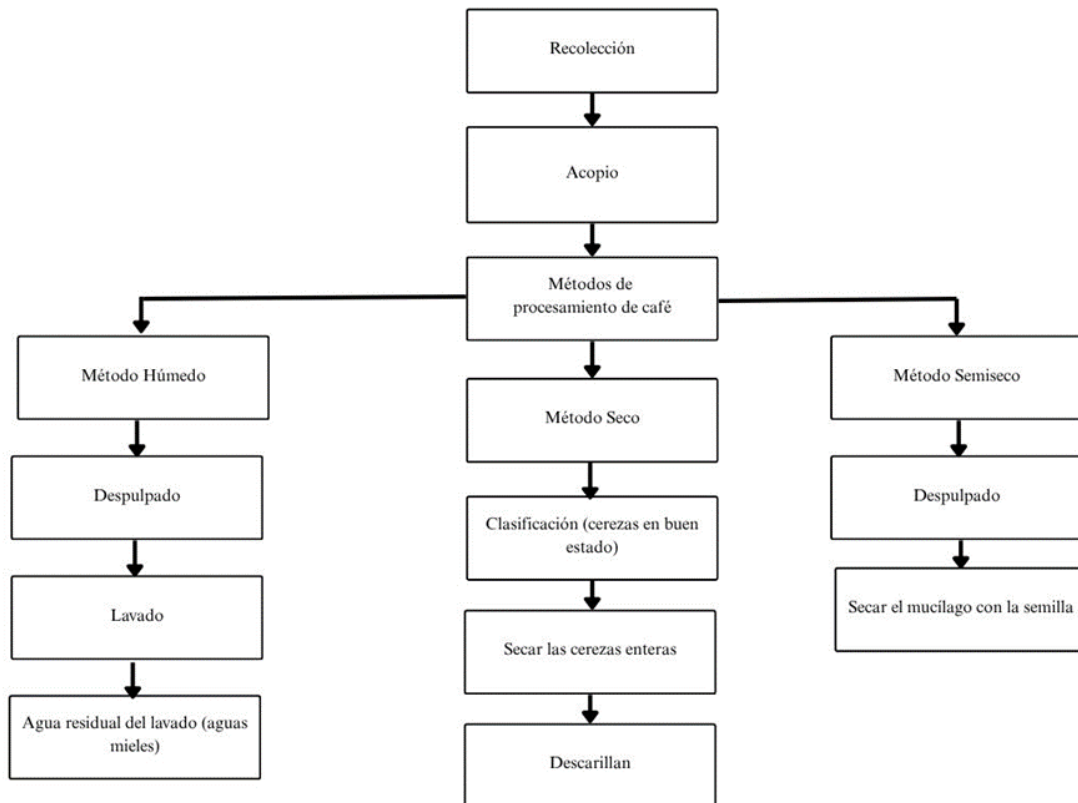
2.2.1. Café

El café es un producto agrícola, cultivada como parte de una tradición, es muy importante para la economía de un país ya que grandes producciones generan exportación y proporciona mayor desarrollo. Esta planta llega a medir doce metros dependiendo a su variedad, con hojas de color verduzca, flores blancas y frutos en forma de cerezo color rojo (Pérez & Merino, 2012). Existen muchas variedades de café, pero las que más se cultivan en el Perú son la castillas, caturra, geisha, Typica (INACAL, 2021).

2.2.1.1. Taxonomía: Según Acuña (2003) el café se encuentra dentro de la siguiente clasificación:

- **Reino** : *Plantae*
- **Filo** : *Magnoliophyta*
- **Clase** : *Magnoliopsida*
- **Orden** : *Rubiales*
- **Familia** : *Rubiacea*
- **Género** : *Coffea*

2.2.1.2. Métodos de Procesamiento de Café. En la actualidad existen tres métodos de procesamiento, las cuales dependen de las características que se busca consumir, ya que estos tienen procesos muy diferentes, que llega a afectar la acidez y dulzor del café. Estos métodos son: Método Húmedo(lavado), Seco (natural) y Semiseco (Honey) (Valerio, 2021; Vanegas, 2016), en la Figura 1 se puede observar el proceso de cada método de procesamiento.

Figura 1*Procesos de obtención del café*

2.2.1.1. Subproductos del Proceso del Café. En el método húmedo (el más usado por el agricultor) para la obtención de los granos del café, se generan residuos de pulpa de café y las aguas mieles. Los subproductos generan residuos sólidos y líquidos que están compuestos por la cafeína, ácido cloro génico y taninos, afectando a los afluentes de agua severamente y ocasionando efectos negativos en la salud de las personas (Suarez & Trochez, 2023).

2.2.1.2. Pulpa de Café. Después del despulpado del café en el método húmedo se genera gran cantidad de pulpa de café siendo el primer subproducto obtenido. Debido a esto se ha propuesto su reutilización en abono orgánico, pectinas, biocombustible, y en el cultivo de *Pleurotus pulmonarius* (Rodríguez, 2009).

2.2.1.3. Aguas Mieles de Café. Las aguas mieles de café son generadas después del beneficio húmedo, las cuales en muchos casos son vertidas sin ningún tipo de tratamiento, lo que puede afectar la salud de las personas y la vida acuática. Hoy en día se han caracterizado estas aguas mieles, reportándose valores elevados de DQO y DBO₅, además de color oscuro, olor característico y pH ácido (Rodríguez, 2009; Suarez & Trochez, 2023).

2.2.2. *Parámetros Fisicoquímicos*

2.2.2.1. pH. El pH es un parámetro fisicoquímico que expresa la concentración de iones hidrógeno en el agua, permitiendo determinar su carácter ácido o alcalino. Este parámetro influye directamente en la solubilidad de sustancias químicas y en los procesos biológicos de los ecosistemas acuáticos (American Public Health Association (APHA), 2023). En el Perú, el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua establece valores de pH generalmente comprendidos entre 6.5 y 8.5 para la protección de la vida acuática y el uso poblacional (MINAM, 2017a).

2.2.2.2. Alcalinidad. La alcalinidad representa la capacidad del agua para neutralizar ácidos, debido principalmente a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Este parámetro actúa como un sistema amortiguador que contribuye a la estabilidad del pH en los cuerpos de agua (Achinike et al., 2025).

2.2.2.3. Oxígeno Disuelto. El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno presente en el agua disponible para organismos acuáticos. Es uno de los parámetros más importantes para evaluar la calidad del agua, ya que valores bajos de OD pueden indicar contaminación orgánica y afectar significativamente la vida acuática (Insituto del Agua, 2013).

2.2.2.4. Conductividad Eléctrica. La conductividad eléctrica mide la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, la cual depende de la cantidad de sales y minerales disueltos en ella. Es un indicador indirecto de la cantidad de iones presentes y, por lo tanto, de la salinidad del agua. Valores altos de conductividad pueden sugerir contaminación o un elevado contenido de sólidos disueltos (Tratamos el agua, 2025).

2.2.2.5. Turbidez. La turbidez es la medida de la pérdida de transparencia del agua causada por partículas suspendidas. La turbidez elevada puede indicar contaminación, erosión del suelo o proliferación de algas. Además, puede dificultar la desinfección del agua potable y afectar los procesos fotosintéticos en ecosistemas acuáticos (Insituto del Agua, 2025).

2.2.2.6. Sólidos Suspendidos Totales. Los sólidos suspendidos totales (SST) son partículas que permanecen en suspensión en el agua y pueden incluir sedimentos, materia orgánica y otros materiales. Su presencia influye en la claridad del agua y puede transportar contaminantes que afectan la calidad general del recurso hídrico (Instituto del agua, 2025).

2.2.2.7.Nitrato. El nitrato es un ion inorgánico generado en el ciclo del nitrógeno durante la nitrificación. Su alta solubilidad favorece su acumulación en aguas sin tratamiento, promoviendo procesos de eutrofización y reduciendo el oxígeno disponible para la fauna acuática (ALMAWATECH, 2024).

2.2.2.8.Fosfato. El fosfato es un ion inorgánico que constituye una forma común de fósforo en aguas y efluentes. Aunque es esencial, su acumulación favorece la eutrofización, incrementa el crecimiento de algas y reduce el oxígeno disuelto, alterando el ecosistema acuático (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), 2025).

2.2.2.9.Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). La Demanda Bioquímica de Oxígeno es un indicador de calidad del agua que mide el oxígeno requerido por microorganismos aeróbicos para degradar materia orgánica. Valores elevados indican alta contaminación orgánica y posible disminución del oxígeno disponible para la vida acuática (EPA, 2012).

2.2.2.10.Demanda Química de Oxígeno. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un indicador de calidad del agua que mide el oxígeno necesario para oxidar materia orgánica y ciertos compuestos inorgánicos. Valores elevados reflejan alta contaminación y riesgo de agotamiento de oxígeno en ecosistemas acuáticos.(velp, 2020).

2.2.3. *Humedales Artificiales.*

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de aguas residuales diseñados y construidos por el ser humano con el propósito de replicar y optimizar los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los humedales naturales (Vymazal, 2010). Su funcionamiento se basa en la interacción entre vegetación acuática emergente, microorganismos asociados a las raíces y un medio poroso (arena, grava o material granular) que actúa como soporte y filtro. A través de estos componentes, los humedales artificiales logran la remoción de materia orgánica, nutrientes, sólidos suspendidos y metales pesados (Berego et al., 2022; Vymazal, 2010).

Según Mihret et al. (2024) estos sistemas representan una alternativa sostenible y de bajo costo operativo frente a las plantas convencionales, especialmente en zonas rurales o agroindustriales. En el caso de una planta cafetalera en Etiopía, Berego et al. (2022) demostraron que un humedal construido logró eficiencias superiores en DBO, DQO y SST, cumpliendo con estándares internacionales de descarga.

El diseño y clasificación de los humedales artificiales dependen fundamentalmente de la posición de la lámina de agua y del tipo de flujo hidráulico (Vymazal, 2022). Se distinguen principalmente dos tipos:

- **Humedales de flujo superficial:** El agua circula sobre el sustrato y entre la vegetación emergente, manteniendo contacto directo con la atmósfera. Son adecuados para remoción de nutrientes y control de patógenos (Montiel, 2014).
- **Humedales de flujo subsuperficial:** El agua circula por debajo del medio filtrante (grava o arena), evitando olores y proliferación de insectos, y favoreciendo procesos de filtración, adsorción y biodegradación anaerobia (Montiel, 2014).

2.2.4. Tratamiento Biológico

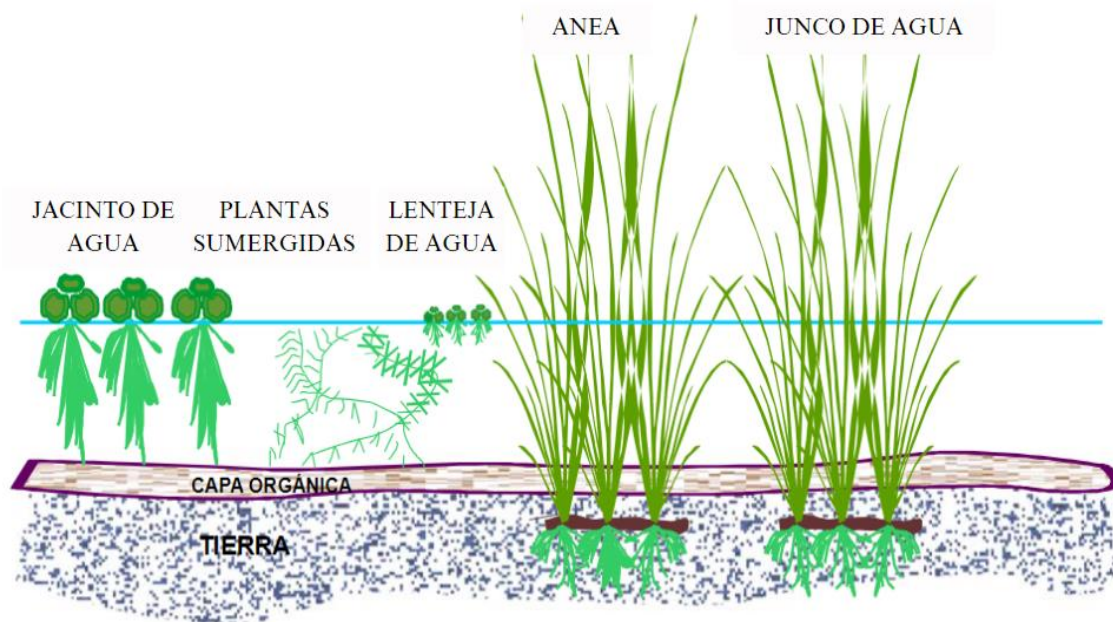
Los sistemas de tratamiento con plantas acuáticas han demostrado ser eficaces en la depuración de aguas residuales, al lograr la reducción de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes y metales pesados (León & Lucero, 2009). Asimismo, se caracterizan por su bajo costo de construcción, operación y mantenimiento, por lo cual son una alternativa accesible y sostenible para zonas rurales (Berego et al., 2022).

2.2.4.1. Plantas Acuáticas. Desempeñan un papel importante en el tratamiento de aguas residuales, debido a su rápido crecimiento, capacidad de absorción de nutrientes y bioacumulación de metales. (Rodríguez, 2009). En la Figura 2 se presentan las principales plantas acuáticas, las cuales se clasifican en:

- **Flotantes:** Se caracterizan por tener sus partes sintetizadoras sobre la superficie y sus raíces sumergidas en el agua, obtienen sus nutrientes y minerales del agua. Las especies que más destacan son el Jacinto de agua y lenteja de agua.
- **Sumergidas:** Se distinguen por crecer completamente sumergida en el agua y se ven rápidamente afectadas por la turbiedad.
- **Emergentes o anfibias:** Estas plantas crecen con raíces en el fondo, mientras que sus tallos y hojas emergen fuera del agua.

Figura 2

Principales plantas acuáticas



Nota. (Montiel, 2014).

2.2.4.2. Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*). Es una planta macrófitas flotante habitable en agua dulce, no enraizada, raíces sumergibles, de clima tropicales y subtropicales, en la Figura 3 observamos su morfología. Es originaria del Amazonas en América del Sur, mediante la introducción del hombre, se ha extendido en diferentes regiones con clima tropicales y subtropicales (Guevara & Ramírez, 2015).

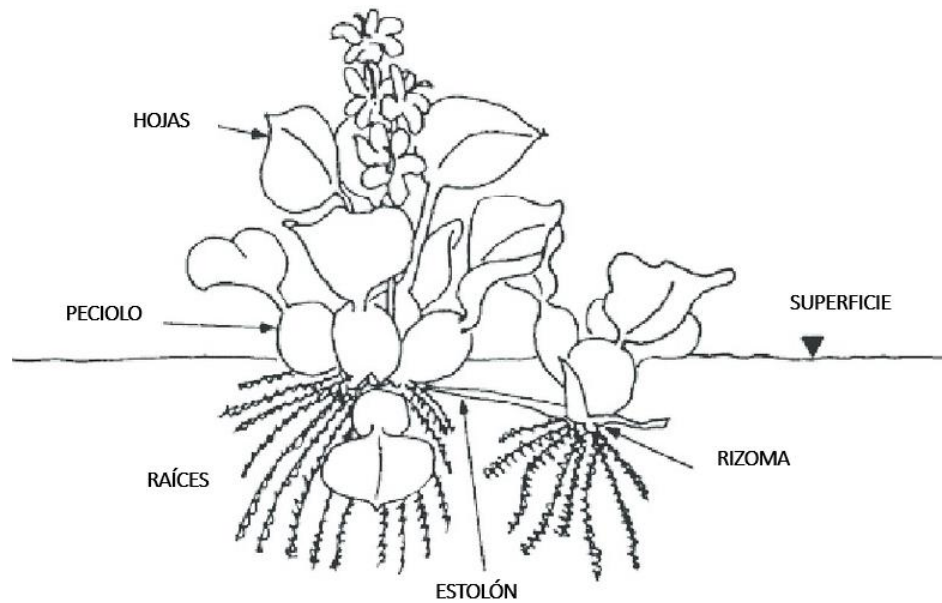
Su crecimiento es de manera rápida a temperatura de 20 a 30° C; su sistema de raíces tiene microorganismos que favorecen a su función depuradora, el cual retiene metales pesados, remueve compuestos orgánicos, disminuye el DBO₅ y DQO y solidos suspendidos (Jaramillo & Flores, 2012).

Según Rodríguez et al. (2022) la planta flotante *Eichhornia crassipes* se encuentra dentro de la siguiente clasificación:

- **Reino** : *Plantae*
- **División** : *Magnoliophyta*
- **Clase** : *Liliopsida*
- **Orden** : *Commelinales*
- **Género** : *Eichhornia*
- **Especie** : *E. crassipes*

Figura 3

Morfología de *Eichhornia crassipes*.



Nota. Lara (2012).

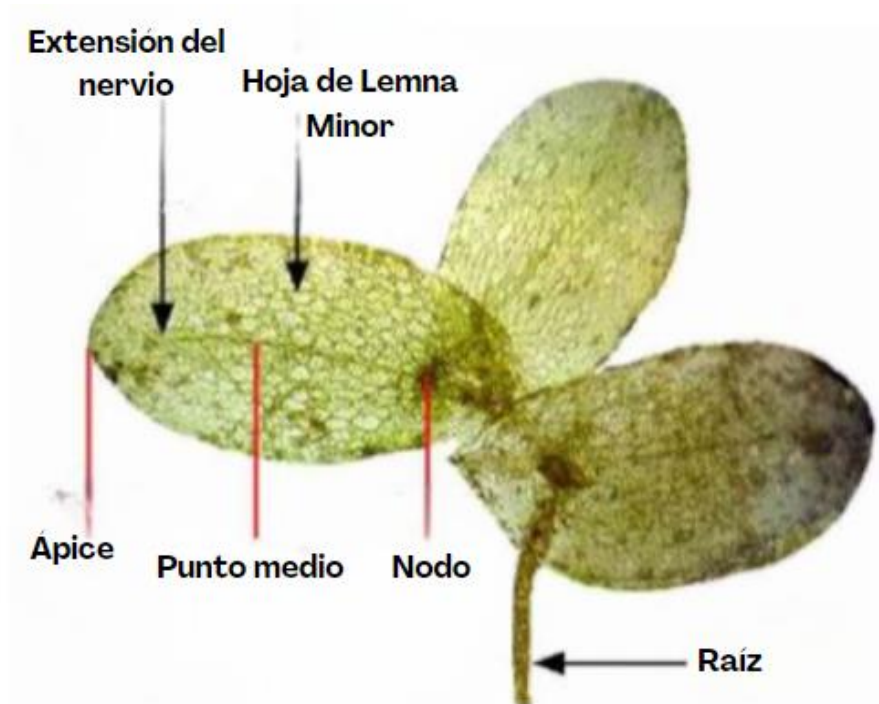
2.2.4.3. Lenteja de Agua (*Lemna minor*). La lenteja de agua es una planta de reproducción asexual, en la Figura 4 apreciamos las partes de la *Lemna minor*. Esta planta es habitable a una temperatura de 5 y 30° C, crecen de manera rápida con presencia de altos niveles de fosfato y nitrógeno. Además se adhiere fácilmente a un pH de 4.5 a 7.5 y tiene la capacidad de disminuir DBO₅, sólidos totales, fosfatos, también es acumuladora de cobre, selenio, cadmio y cobre (Arroyave, 2004).

Según León & Lucero (2009) la planta flotante *Lemna minor* se encuentra dentro de la siguiente clasificación:

- **Reino** : *Plantae*
- **División** : *Magnoliophyta*
- **Clase** : *Liliopsida*
- **Orden** : *Alismatales*
- **Género** : *Lemna*
- **Especie** : *L. minor*

Figura 4

Partes de planta acuática *Lemna Minor*



Nota. (Bermúdez & Pozo, 2006).

2.2.4.4. Combinación de Especies en Sistemas Acuáticos. La diversidad de especies en sistemas acuáticos es esencial para mantener la estabilidad ecológica y resistencia del ecosistema frente a enfermedades y plagas. La coexistencia de varias especies de plantas acuáticas en un sistema acuático aumenta la capacidad para disminuir contaminantes y mejorar su estabilidad en general (Martelo & Lara, 2012).

2.2.5. Tratamiento Físico

El tratamiento físico, también denominado filtro físico o filtración de medio granular, está conformado por medios filtrantes naturales como: suelo, arcillas, arenas, gravas, entre otros; compuestos por poros que contienen aire, agua y microorganismos u organismos pequeños (Arista & Peña, 2015). Puede realizarse como etapa única con el propósito de lograr una mayor reducción de materia orgánica en suspensión presentes en los efluentes (Otero, 2007).

2.2.5.1. Filtración Multicapa en Serie. La filtración multicapa consiste en la filtración del agua a través de varios estratos filtrantes superpuestos (Guerrero et al., 2003). Ibáñez et al., (2021) indican en su investigación que un sistema de filtración, donde el material del lecho filtrante está compuesto por un espesor de la capa piedra 10 cm, caliza 5 cm, grava 30 cm, arena 10 cm y carbón activado 12 cm, son la mejor opción viable para la depuración de aguas residuales de café. Asimismo, Morales et al., (2020) en su investigación utilizaron medios filtrantes que se conformó por 3 capas (0.18 m³ arena, 0.3 m³ piedra, 0.06 m³ carbón de madera) para disminuir material sedimentable, turbidez, DBO₅, DQO en aguas mieles de café.

2.2.6. Tratamiento de Coagulantes Naturales

Para este tratamiento se usa los coagulantes orgánicos (alginatos, almidón y derivados de la celulosa), estos al ser agregados al tratamiento entran a un desarrollo de desestabilización, dentro de la neutralización para reducir las partículas en suspensión (turbidez), así como también los sólidos suspendidos totales (Aguilar & Másmela, 2017; García et al., 2017).

2.2.6.1. Coloides. Los coloides son partículas microscópicas dispersas en un medio líquido, generalmente poseen un tamaño entre 1 nanómetro y 1 micrómetro lo que las hace permanecer suspendidas en el agua. Están conformados por materia orgánica, compuestos fenólicos, proteínas y otros sólidos finos que generan turbidez y una elevada contaminación (Khdary et al., 2015).

2.2.6.2. Coagulantes. Los coagulantes son sustancias químicas o naturales utilizadas en el tratamiento de aguas residuales para desestabilizar las partículas coloidales suspendidas, neutralizando sus cargas eléctricas y favoreciendo la formación de flóculos, los cuales pueden ser removidos mediante sedimentación o filtración (Tchobanoglous et al., 2014).

2.2.6.3. Flóculos. Los flóculos son agregados de partículas coloidales y sólidos suspendidos que se forman durante los procesos de coagulación y floculación, como resultado de la unión física y química de partículas desestabilizadas en el agua. Estas agrupaciones adquieren mayor tamaño y peso, facilitando su sedimentación y posterior remoción en los sistemas de tratamiento de aguas residuales (Tchobanoglous et al., 2014).

2.2.6.4. Almidón. El almidón, principal polisacárido de reserva energética en las plantas, está presente en cereales, tubérculos y algunas frutas. La cantidad de almidón varía según la madurez de la fuente; por ejemplo, en plátanos verdes, la concentración es mayor y disminuye a medida que maduran debido a la acción de enzimas como las amilasas, que transforman el almidón en productos de hidrólisis como sacarosa y fructosa (Núñez, 2009).

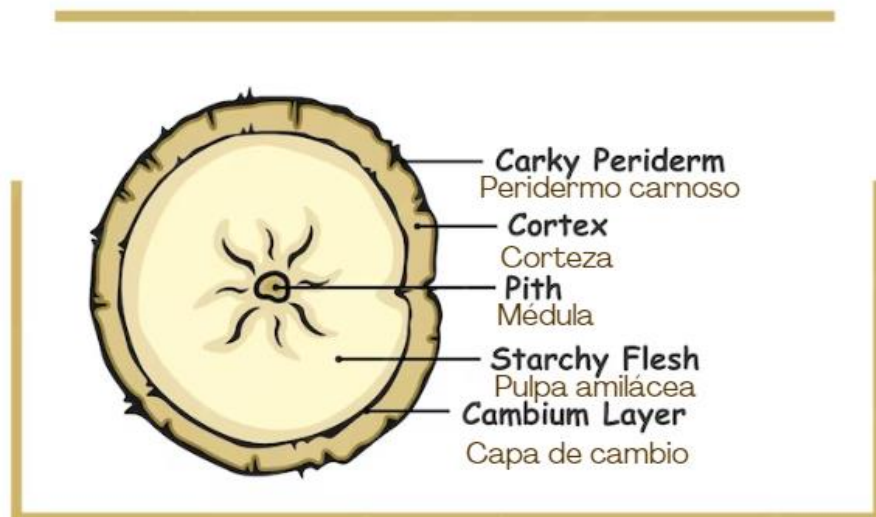
2.2.6.5. Proceso de Transición del Almidón. En la configuración de los almidones, es posible someterlos a diversas transformaciones con el fin de mejorar el rendimiento en la purificación del agua. Estas transformaciones se clasifican en tres procesos distintos (Romero, 2019).

2.2.6.6. Gelificación. La gelificación se describe como los cambios experimentados por los gránulos al ser sometidos al calor en un medio acuoso. La temperatura a la que los gránulos comienzan a hincharse se conoce como temperatura de gelificación. En este proceso, la presencia de amilosa es esencial, ya que se disuelve en el agua, provocando la expansión de los gránulos y formando una pasta de almidón con una viscosidad elevada. Si esta pasta se expone al calor durante un período prolongado, entra en una segunda fase donde se observa la fragmentación de los gránulos, resultando en una disminución de la viscosidad y dando lugar a la formación de un gel o gelificación (Cabrera & Ramírez, 2014; Romero, 2019).

2.2.6.6.1. Yuca (*Manihot esculenta Crantz*). La yuca prospera en diversas condiciones tropicales, ya sea en los trópicos calurosos y húmedos de las tierras bajas, en las zonas tropicales de altitud media o incluso en los sub trópicos con inviernos fríos y veranos lluviosos. Su versatilidad como cultivo se refleja en su capacidad para crecer tanto a nivel del mar como a altitudes de hasta 1800 msnm, manteniéndose en rangos de temperatura que oscilan entre 20 y 30 °C. No se limita exclusivamente al consumo humano; gracias a sus componentes, puede transformarse en almidón y otros productos derivados. El 80% del peso de la raíz está compuesto principalmente por la pulpa, que alberga el almidón. Este almidón se clasifica como un polímero natural, cuyos gránulos se organizan en estructuras macromoleculares dispuestas en capas (Cabrera & Ramírez, 2014; Romero, 2019).

Figura 5

Partes de la yuca

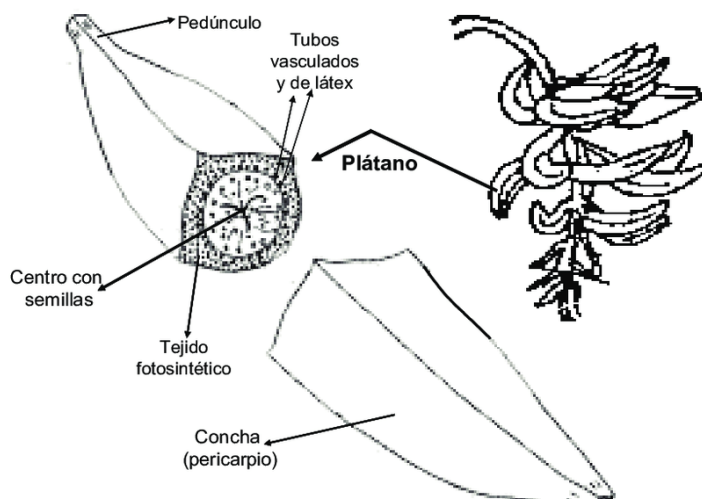


Nota. (Freepik, 2023)

2.2.6.6.2. Plátano (*Musa paradisiaca*). El plátano es de clima tropical y subtropical, con una floración óptima de 27°C. Toleran varios tipos de suelo, pero para una producción óptima requieren de suelos fértiles y húmedos (Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), 2021). El plátano puede tener una concentración de pulpa seca que varía entre el 59.2% y el 60.7%. Esta pulpa exhibe un contenido de sólidos que oscila entre el 52.7% y el 56.8%, siendo estos sólidos la fuente de almidones que, a su vez, se encuentran en un rango del 63.4% al 65.3% (Romero, 2019).

Figura 6

Partes del plátano



Nota. (Anido et al., 2007).

2.2.7. Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, establecen valores de referencia para evaluar la calidad del agua según su categoría de uso. Para la presente investigación, se considera la Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales, debido a que el tratamiento de las aguas mieles de café se orienta al reaprovechamiento agrícola del efluente tratado. Los valores establecidos para la Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales, se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2*ECA para agua (Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales)*

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido
FÍSICOS - QUÍMICOS			
Conductividad	uS/cm		2500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		40
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L		100
Oxígeno disuelto (Valor mínimo)	mg/L		≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH		6,5 – 8,5

Nota. (Decreto Supremo N° 004-2017-,MINAM, 2017)

CAPÍTULO III

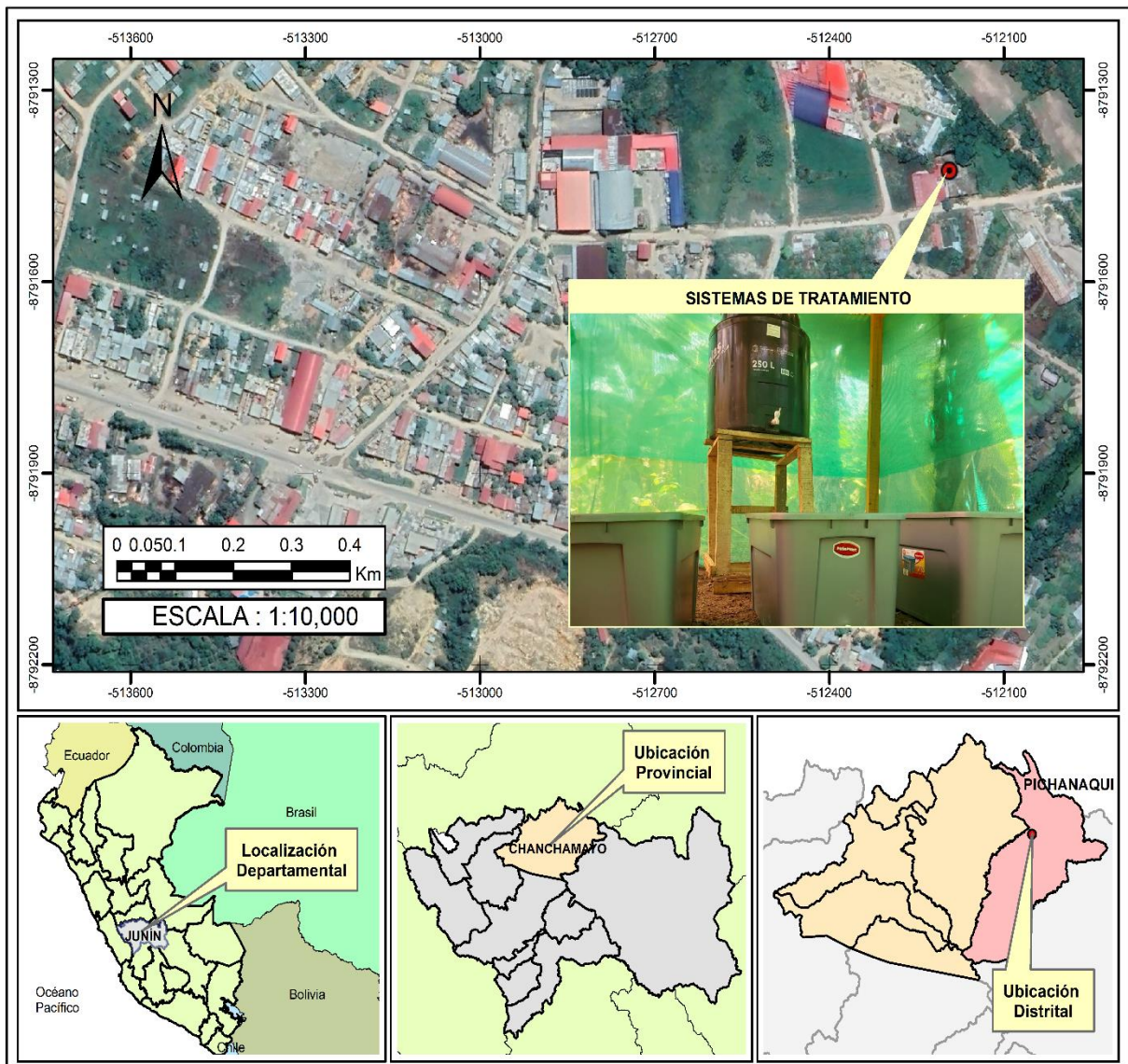
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. **Ámbito de Estudio**

El presente estudio se desarrolló en el distrito de Pichanaqui ($10^{\circ}55'29''S$, $74^{\circ}52'36''O$), perteneciente a la región Junín, Perú. Este distrito se caracteriza por su alta producción de café en diversas variedades y por su relevancia en la economía local y nacional, al ser una de las principales zonas cafetaleras del país (Díaz & Carmen, 2017). La planta piloto de tratamiento se instaló en la Asociación Valle Ninabamba ubicada en el distrito Pichanaqui, donde se implementaron los tres sistemas de tratamiento. En la Figura 7 se muestra la ubicación geográfica del área de estudio.

Figura 7

Mapa de ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas mieles de café.



3.2. Tipo, Nivel y Diseño de Investigación

3.2.1. Tipo

La investigación es de tipo aplicada, debido a que los filtros implementados permitieron reducir la concentración de parámetros fisicoquímicos presentes en la composición de las aguas mieles (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

3.2.2. Nivel

Explicativo, debido a que se analiza el efecto de los sistemas de tratamiento (variable independiente) sobre los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café (variable dependiente), mediante la aplicación de tratamientos y la comparación de resultados (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

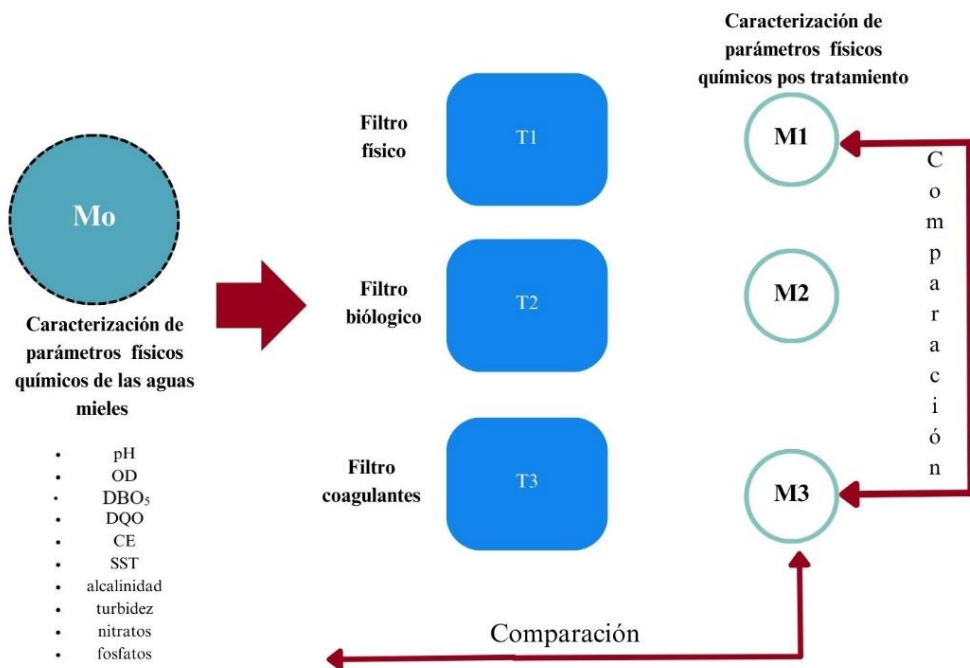
3.2.3. Diseño

Experimental puro, ya que según Hernández Sampieri & Mendoza Torres (2018) la variable independiente se manipuló mediante tres tratamientos para determinar su efecto en la variable dependiente, teniendo el control de estas.

Se realizó el diseño experimental con pre prueba y pos prueba, cuyo esquema es el siguiente:

Figura 8

Diseño experimental



Nota. Hernández Sampieri & Mendoza Torres (2018).

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

La población de estudio estuvo constituida por las aguas residuales de los tres lavados del proceso de beneficio húmedo del café, generadas en la finca Cedro Cruz (Centro Poblado Primavera, distrito de Pichanaqui, provincia de Chanchamayo, región Junín, Perú) durante la campaña 2024.

3.3.2. Muestra

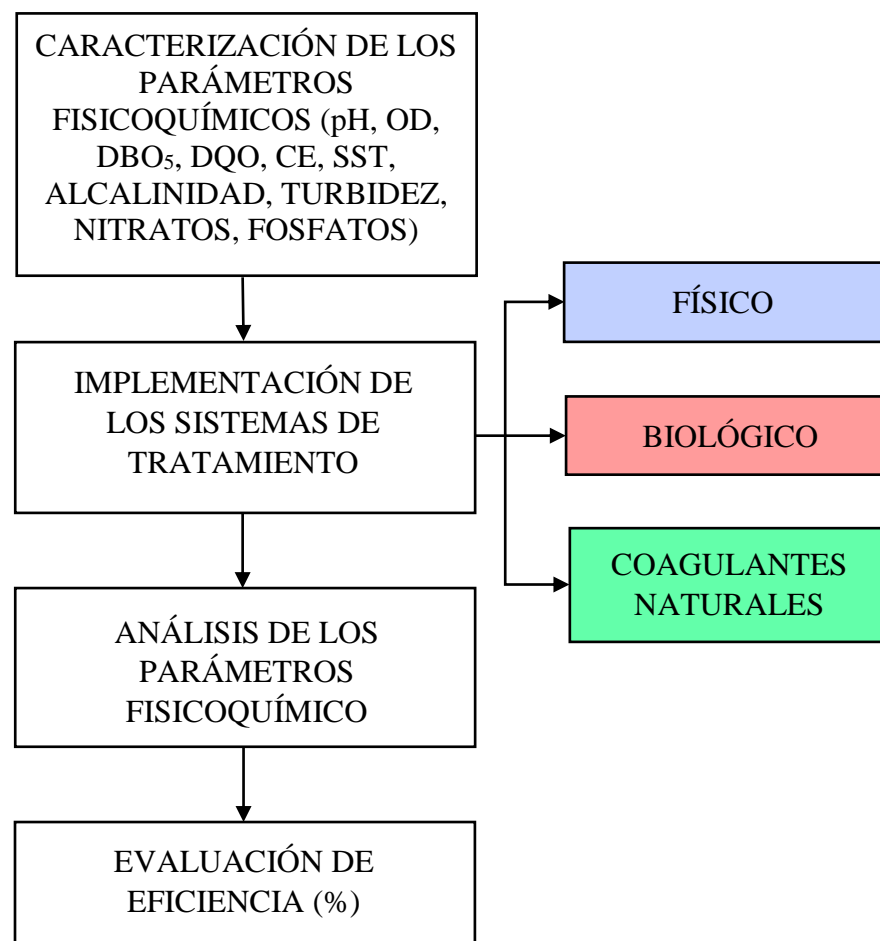
La muestra de aguas mieles de café se obtuvo de los tres lavados del proceso de beneficio húmedo realizados en la finca Cedro Cruz. Se recolectaron 250 L de agua residual en baldes de 20 L con llenado parcial y se transportaron de forma inmediata a la planta piloto. El volumen se homogenizó para conformar una muestra compuesta de los tres lavados y se distribuyó entre los tres sistemas de tratamiento (70 L por sistema).

3.4. Procedimientos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En la Figura 9 se presenta el flujograma metodológico, el cual comprende desde la etapa de caracterización del afluente hasta la evaluación de eficiencia de los sistemas de tratamiento.

Figura 9

Flujograma metodológico.



3.4.1. Caracterización de los Parámetros Fisicoquímicos de las Aguas Mieles de Café

Las aguas mieles de café se recolectaron de los tres lavados del proceso de beneficio húmedo en la finca Cedro Cruz (Centro Poblado Primavera, distrito de Pichanaqui, provincia de Chanchamayo, región Junín, Perú). Se utilizaron 13 baldes plásticos de 20 L con llenado parcial, obteniéndose 250 L de muestra compuesta. El traslado a la planta piloto se realizó inmediatamente, con el propósito de preservar las características fisicoquímicas del efluente.

En la Figura 10 se muestra el proceso de recolección de las aguas mieles en la finca Cedro Cruz.

Figura 10

Recolección de las aguas mieles de café en la finca Cedro Cruz



Los parámetros fisicoquímicos (DBO₅, SST, alcalinidad, nitratos, fosfatos y DQO) se muestrearon y preservaron según al tipo de envase, volumen y tiempo máximo de conservación establecidos en la Tabla 3. Los métodos de referencia empleados por el laboratorio para el análisis de cada parámetro se presentan en la Tabla 4. Asimismo, los parámetros medidos in situ (pH, OD, CE y turbidez) se midieron con equipos calibrados previamente, como se indica en la Tabla 5.

Tabla 3*Descripción del muestreo realizado a las aguas mieles*

Parámetro	Tipo de envase	Volumen mínimo	Preservación	Tiempo máximo de conservación
DBO ₅	Plástico	1L	Llenar el frasco completamente, sin dejar burbujas de aire. Refrigerar $\leq 6\text{ }^{\circ}\text{C}$	48 horas
SST	Plástico	1 L	Refrigerar $< 6\text{ }^{\circ}\text{C}$	7 días
Alcalinidad	Plástico	500 mL	Llenar completamente las botellas y tapar bien. Refrigerar $\leq 6\text{ }^{\circ}\text{C}$	14 días
Nitratos	Plástico	100 mL	Refrigerar $< 6\text{ }^{\circ}\text{C}$	48 horas
Fosfatos	Plástico		Refrigerar $< 4\text{ }^{\circ}\text{C}$	
DQO	Plástico	100 mL	Adicione 10 gotas de H ₂ SO ₄ 1:1, pH<2, Refrigerar $\leq 6\text{ }^{\circ}\text{C}$	28 días

Tabla 4*Método de referencia*

Parámetro	Unidad	Norma de referencia	Título
DBO ₅	mg/L	SM Part 5210 B, 23rd. Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test SMEWWAPHA-AWWA-WEF 5210 B, 23rd. Ed. 2017
SST	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2023.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed. 2023	Alkalinity. Titration Method.
Nitratos	mg/L	SM Part 4500-NO ₃ - B , 23rd. Ed. 2017	Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO ₃ B , 23rd. Ed. 2017
Fosfatos	mg/L	SM Part 4500-P E, 23rd. Ed. 2017	Phosphorus. Ascorbic Acid Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd. Ed. 2017
DQO	mg/L	SM Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017

Tabla 5*Parámetros medidos en campo*

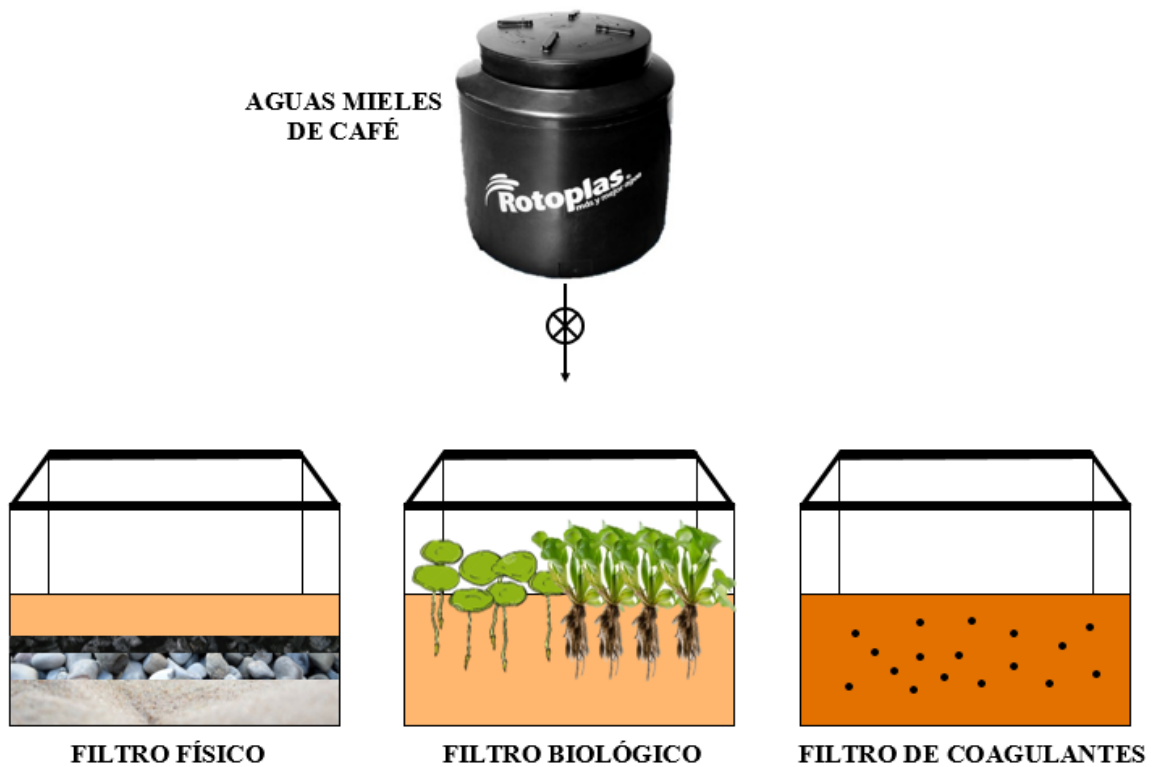
Parámetro	Equipo
pH	Multiparámetro portátil (calibración diaria)
OD	
CE	
Turbidez	Turbidímetro portátil

3.4.2. Implementación de los Sistemas de Tratamiento

Los sistemas de tratamiento son de flujo discontinuo o también denominado por tandas, en el cual cada tratamiento se conformó por estanques independientes diseñados para contener un volumen de 70 L de aguas mieles de café (Figura 11).

Figura 11

Esquema de distribución de los sistemas de tratamiento de aguas mieles de café

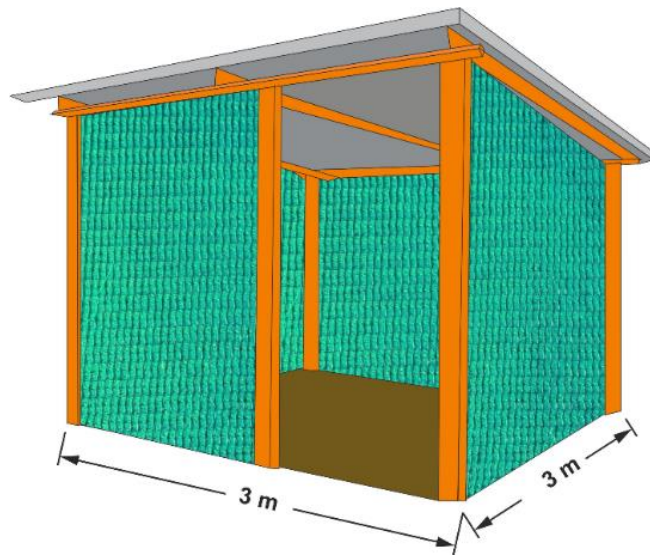


3.4.2.1. Acondicionamiento del Lugar. El espacio diseñado para la instalación de los tres sistemas de tratamiento fue una vivienda ubicada en el Valle Ninabamba, distrito de Pichanaqui, provincia de Chanchamayo, región Junín.

Se construyó una estructura rústica de 3 m de largo por 3 m de ancho, cubierta con una Malla Raschel, que permitió la ventilación e iluminación natural, además de brindar protección frente a la radiación solar directa y evitar el ingreso de animales. La planta piloto se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Espacio acondicionado para la planta piloto

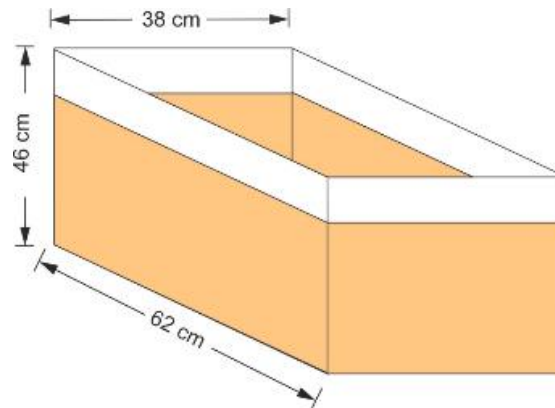


3.4.2.2. Dimensiones de los Sistemas. Las aguas mieles de café se almacenaron en un tanque cilíndrico de 0.8 m de altura y 0.7 m de diámetro, con capacidad de 250 L, utilizado como depósito de homogenización del afluente.

Cada sistema estuvo constituido por una caja plástica de 62 cm largo, 46 cm de alto y 38 cm de ancho, con un volumen útil de 70 L, en el cual se realizó el tratamiento por un periodo de 20 días. Los estanques se colocaron con una separación de 30 cm entre sí, lo que permitió acceso y manipulación de las muestras. (Figura 13).

Figura 13

Dimensiones de los sistemas de tratamientos



3.4.2.3. Sistema Físico. Las piedras se recolectaron de la orilla del Río Perené ubicada en el distrito de Pichanaqui. La recolección se basó considerando los siguientes criterios:

- Recolección de piedras, en esta etapa se recolectó piedras de pequeño tamaño.
- Después de recolectar se pasó a una tina de 46 cm de altura, 38 cm de ancho y 62 de largo.
- Por último, se lavaron las piedras para eliminar toda la suciedad que estaba impregnada.

Se colocó la arena (6361.2 cm^3), luego la piedra (23560 cm^3) y finalmente el carbón (4712 cm^3) en la caja plástica, una vez teniendo el sistema ya listo se procedió a agregar el agua miel (70 L), y todo el proceso se muestra en la Figura 14.

Figura 14

Acondicionamiento con los sustratos en el sistema físico.



3.4.2.4. Sistema Biológico. Las plantas de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) fueron recolectadas de la laguna Kametza Pimpoki, ubicada en Valle Ninabamba, distrito de Pichanaqui.

Por su parte los ejemplares *Lemna minor* fueron adquiridos en un centro de jardinería de la ciudad de Lima, procedentes de un acuífero natural. Posteriormente, ambas especies fueron acondicionadas en un tanque plástico con agua limpia para su aclimatación, donde se seleccionaron las plantas más jóvenes, con un color verde intenso, raíces desarrolladas y sin signos de deterioro foliar.

3.4.2.5. Sistema de Coagulantes Naturales. Los sustratos (yuca y plátano) fueron recolectados en la Asociación de Agricultores “El Platanal”, ya que al vender sus productos agrícolas se descartan gran cantidad de éstos, como se puede observar en la Figura 15. Se recolectó 3500 g de plátano y 1500 g de yuca.

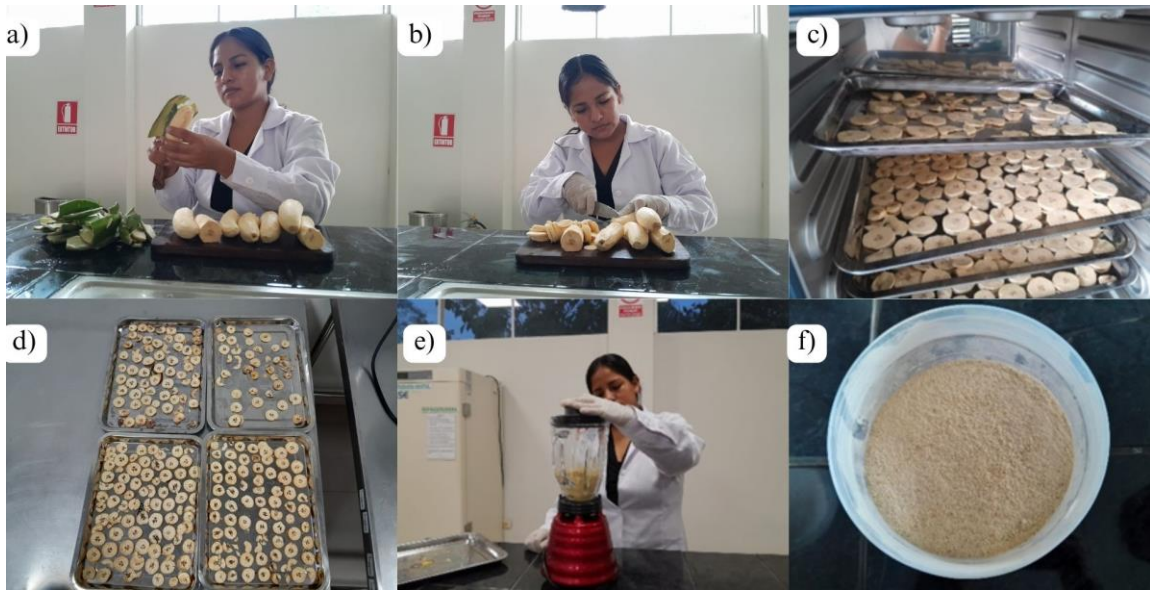
Figura 15

Descarte de plátano y yuca



3.4.2.5.1.Extracción de Almidón. Para extraer el almidón del plátano, se siguió el procedimiento descrito por Romero (2019), representado en la Figura 16. En primer lugar, los plátanos fueron pelados, lavados cuidadosamente con agua potable y cortados en rodajas de aproximadamente 4 mm de espesor. Posteriormente, las rodajas se secaron al sol durante 3 días consecutivos hasta alcanzar una humedad mínima. Una vez secas, las muestras se trituraron en licuadora hasta obtener un polvo fino. Finalmente, el producto obtenido se tamizó para separar las fracciones más gruesas y así obtener el almidón puro de plátano.

Figura 16
Extracción del almidón de Musa paradisiaca



Nota. Pelado (a), cortado (b), secado (c y d), molido (e), tamizado (f). Adaptado de (Romero, 2019).

Para la obtención del almidón de yuca se siguió el procedimiento descrito por Romero (2019). En el primer lugar, las raíces de yuca fueron peladas, lavadas cuidadosamente con agua potable y cortadas en trozos de aproximadamente 2.5 cm x 2.5 cm x 2.5 cm. Posteriormente, se procedió a licuar las porciones adicionando 1 L de agua hasta obtener una masa homogénea. La mezcla resultante fue filtrada mediante un paño fino para separar la pulpa fibrosa de la lechada de almidón. La lechada obtenida se dejó en reposo durante 4 horas, permitiendo la sedimentación natural del almidón en el fondo del recipiente. Transcurrido este tiempo, se decantó cuidadosamente el sobrenadante, conservando el sedimento. Luego, el almidón se dejó reposar durante 24 horas adicionales para eliminar el exceso de humedad. Finalmente, el producto se secó al sol por un periodo de 24 h hasta alcanzar una textura fina y seca. Todo el proceso de extracción del almidón de yuca se presenta en la Figura 17.

Figura 17

Proceso de obtención de almidón de Manihot Esculenta Crantz



Nota. Pelado (a), picado (b), licuado (c), filtrado (d), reposo (e), decantado (f), secado (g). Adaptado de Romero (2019).

3.4.2.5.2. Gelificación del Almidón del Plátano y Yuca. Antes de iniciar el proceso de tratamiento, se realizó la gelificación de los almidones, con el propósito de incrementar la cohesión estructural de sus gránulos y favorecer la formación de una matriz coloidal más estable. Este procedimiento, descrito previamente, contribuye a mejorar la eficiencia en la eliminación de compuestos orgánicos y la reducción de la turbidez del agua.

Para ello, se pesaron 10 g de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y 10 g de almidón de plátano (*Musa paradisiaca*). Cada muestra se disolvió en un vaso de precipitación con agua destilada hasta completar un volumen de 100 mL. Posteriormente, las soluciones se calentaron en una parrilla de agitación y calentamiento durante 30 minutos a 148 °C, con agitación constante, con el fin de obtener una dispersión uniforme.

Transcurrido el tiempo de calentamiento, las muestras se dejaron reposar y enfriar a temperatura ambiente, permitiendo la formación del gel de almidón. Una vez alcanzada la gelificación, los geles se conservaron hasta su aplicación en los ensayos de tratamiento de las aguas mieles.

Figura 18

Proceso de gelificación.



3.4.2.5.3. Acondicionamiento del Sistema de Coagulantes. Para determinar la cantidad adecuada de almidón empleada en el tratamiento, se tomó como referencia el procedimiento descrito por Romero (2019), quien estableció la dosis óptima del coagulante natural.

En el sistema de coagulación se adicionaron 280 mL de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y 560 mL de almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) por cada 70 L de aguas mieles de café, conforme a la proporción recomendada para alcanzar una mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica y turbidez.

3.4.3. Análisis de los Parámetros Fisicoquímicos

Los parámetros DBO₅, DQO, SST, alcalinidad, nitratos y fosfatos se muestrearon y preservaron aplicando la metodología descrita en la sección 3.4.1. Las mediciones *in situ* (pH, OD, CE y turbidez) se realizaron inmediatamente después del muestreo, utilizando equipos calibrados, para garantizar la exactitud de los resultados.

El parámetro DQO se analizó diariamente debido a su importancia como indicador de la carga orgánica, los demás parámetros se evaluaron en los días 0,7, 14 y 20 del periodo experimental. Se realizó la caracterización de las aguas mieles de café (T0) y de los: tratamientos físicos (T1), biológico (T2) y de coagulantes naturales (T3).

3.4.4. Evaluación de la Eficiencia de los Sistemas de Tratamiento

La eficiencia de los sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales para el tratamiento de las aguas mieles de café se determinó aplicando la Ecuación (1). Esta ecuación permitió calcular la variación porcentual de los parámetros fisicoquímicos evaluados en cada sistema.

$$\text{Eficiencia del tratamiento (\%)} = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}}}{C_{\text{inicial}}} \times 100$$

Donde,

- C_{inicial} : Concentración del parámetro antes del tratamiento.
- C_{final} : Concentración del parámetro después del tratamiento.

3.4.5. Comparación de la calidad del efluente tratado con el ECA para Agua.

La calidad del efluente tratado se comparó con los valores establecidos en el ECA para Agua, Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales aprobado mediante el D.S. N.º 004-2017-MINAM, debido a que el agua tratada será destinada al riego de vegetales. Esta comparación permitió analizar si las características fisicoquímicas del efluente final se encuentran dentro de los valores establecidos para agua de riego, criterio aplicado también en investigaciones sobre aguas mieles de café tratadas (Díaz et al., 2025; Morales et al., 2020).

3.5. Análisis de Datos

El análisis estadístico se realizó mediante un ANOVA de una vía, con el propósito de comparar los resultados obtenidos entre los tres tratamientos (físico, biológico y coagulantes naturales). Cuando se encontraron diferencias significativas, se aplicó la prueba post hoc de Tukey para determinar entre qué tratamientos existían diferencias estadísticas en las medias. El procesamiento y la representación gráfica de los datos se realizaron utilizando el software R Studio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Presentación de Resultados y Discusiones

4.1.1. Caracterización de los Parámetros Fisicoquímicos de las Aguas Mieles de Café

En esta investigación se caracterizaron los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café antes del tratamiento para contrastarlos con los ECA Agua Categoría 3-D1 (D.S. N.º 004-2017-MINAM), evidenciándose un efluente con pH ácido de 3.96, el cual no cumple con el rango establecido (6.5–8.5). En cuanto a la carga orgánica, la DBO₅ alcanzó 2921.5 mg/L, superando el límite normativo de 15 mg/L, y la DQO fue de 7735 mg/L, también por encima del valor de referencia de 40 mg/L, lo que confirma una elevada contaminación orgánica. Respecto a la fracción disuelta, la CE fue de 820 µS/cm, valor que sí cumple con el límite de ≤ 2500 µS/cm, y el nitrato fue de 1.83 mg/L, igualmente dentro de lo establecido (≤ 100 mg/L). Finalmente, aunque parámetros como turbidez (1085 UNT), SST (1440 mg/L), fosfato (3.62 mg/L) y alcalinidad (26.27 mg/L CaCO₃) no cuentan con un límite específico en el ECA Agua Categoría 3–D1, sus valores evidencian una presencia importante de sólidos y nutrientes, reforzando la necesidad de tratamiento previo antes de cualquier descarga o reaprovechamiento.

Estos resultados son consistentes con lo reportado en estudios previos que describen las aguas mieles como efluentes ácidos y de alta carga orgánica; por ejemplo, Ibáñez et al. (2021) reportó un pH de 3.8, comparable a lo obtenido en este estudio. Del mismo modo, la DBO₅ se encontró dentro de los rangos reportados por Mohd et al. (2019) (1720 mg/L) y Garay & Rivero (2014) (5847 mg/L), mientras que la DQO obtenida, aunque elevada, fue menor a lo obtenido por Mohd et al. (2019) (13000 mg/L). Asimismo, la fracción particulada resultó relevante, ya que los SST superaron lo informado por Mohd et al. (2019) (339.9 mg/L) y el fosfato fue mayor al valor inicial reportado por (Morales et al., 2020) (2.76 mg/L), evidenciando que los sólidos y el fósforo pueden presentarse en niveles significativos en este tipo de efluente.

La caracterización inicial confirma que estas aguas no son aptas para su descarga directa a quebradas o ríos, ya que no cumplen con los ECA Cat. 3 - D1, lo que deteriora la calidad del agua y altera las condiciones del cuerpo receptor en zonas cafetaleras, por lo cual se requiere implementar sistemas de tratamiento sostenibles antes de cualquier descarga o reaprovechamiento del efluente.

Tabla 6*Caracterización de las Aguas Mieles del Café.*

Parámetro	unidad	Caracterización inicial	ECA Categoría 3 Subcategoría D1 DS N°004-2017- MINAM
		M0	
pH	unidad	3.96	6.5-8.5
Oxígeno disuelto	Mg/L	3.7	>4
Conductividad eléctrica	uS/cm	820	2500
Turbidez	UNT	1085	
Nitrato	mg/L	1.83	100
Fosfato	mg/L	3.62	-
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	26.27	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)	mg/L	2921.5	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	7735	40
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1440	-

4.1.2. Análisis de los Parámetros Fisicoquímicos de Aguas Mieles de Café

4.1.2.1. pH

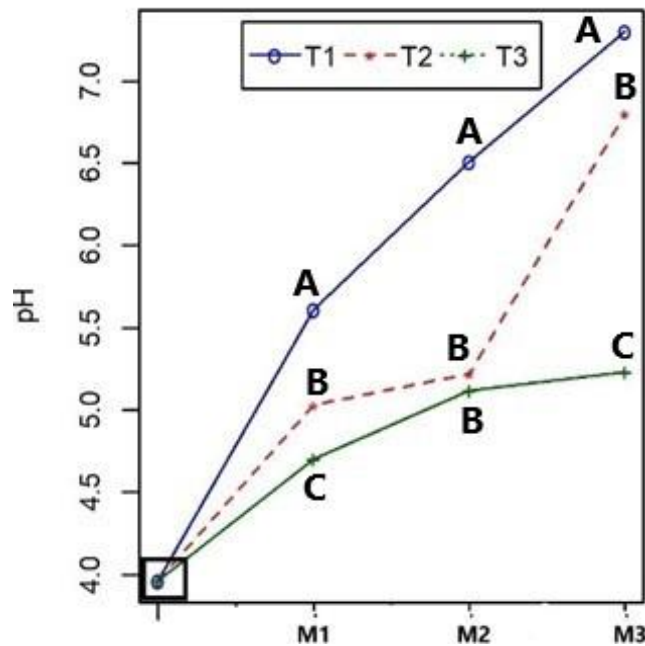
La Figura 19 muestra la evolución del pH en los periodos M1, M2 y M3 tras aplicar los tratamientos: físico (T1), biológico (T2) y con coagulantes naturales (T3). En comparación con el pH inicial (3.96), se observa un incremento en los tres tratamientos, reflejando una disminución de la acidez reportada en la Tabla 6.

El tratamiento físico (T1) alcanzó el mayor ajuste, logrando un pH de 7.3 (84.34 % de eficiencia). El tratamiento biológico (T2) obtuvo un pH de 6.82 (72.22 %), mientras que el tratamiento con coagulantes (T3) mostró la menor eficiencia (32.07 %), con un pH final de 5.23. Estos resultados coinciden con lo reportado por (Garay & Rivero, 2014; Ibáñez et al., 2021), quienes también documentaron incrementos del pH tras aplicar tratamientos físico y biológico, respectivamente. Asimismo, Romero (2019) sostiene que el pH de las aguas mieles tiende a incrementarse luego del tratamiento.

En la Figura 19 se observa que el pH aumenta con el tiempo en los tres tratamientos, aunque T3 se estabiliza cerca de 5. El análisis estadístico confirma diferencias significativas entre periodos ($p < 0.05$), salvo entre M2 de T2 y T3. En conjunto, T1 y T2 muestran una clara tendencia hacia la neutralización, mientras que T3 permanece ligeramente ácido.

Figura 19

Variación de la concentración del pH en los tres sistemas de tratamiento.



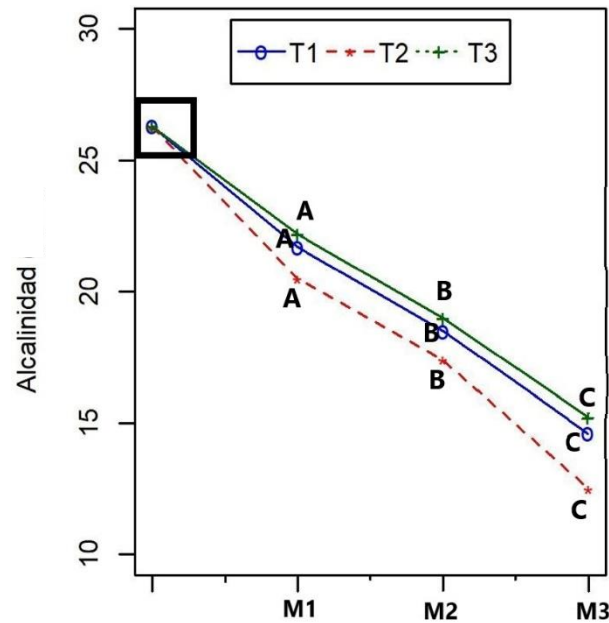
4.1.2.2. Alcalinidad

La alcalinidad inicial de las aguas mieles fue de 26.27 mg/L. En el tratamiento físico (T1) se observó una disminución progresiva hasta 21.73 mg/L (M1), 18.49 mg/L (M2) y 14.62 mg/L (M3), con una eficiencia de 44.3 %. En el tratamiento biológico (T2) los valores descendieron a 20.45 mg/L CaCO₃ (M1), 17.36 mg/L CaCO₃ (M2) y 12.48 mg/L CaCO₃ (M3), alcanzando la mayor eficiencia, 52.5 %. En el tratamiento con coagulantes naturales (T3) la alcalinidad se redujo a 22.15 mg/L (M1), 18.97 mg/L CaCO₃ (M2) y 15.20 mg/L CaCO₃ (M3), equivalente a 42.1 % de reducción. (Figura 20). En T2, la presencia de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* favorece la actividad microbiana adherida a las raíces, que llevan a cabo los procesos de nitrificación que consume alcalinidad, comportamiento similar observado por Fernández & Noguera, (2019) en humedales con *E. crassipes* para aguas residuales domésticas. En T1, la biopelícula que se forma sobre el medio filtrante también sostiene procesos de nitrificación que contribuyen al consumo de alcalinidad, tal como se ha reportado en sistemas de tratamiento de aguas mieles de café descritos por (Morales et al., 2020). El análisis estadístico no evidenció diferencias significativas de alcalinidad entre los tres tratamientos en los

periodos evaluados ($p > 0.05$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula de igualdad entre tratamientos para este parámetro, aunque el comportamiento observado confirma una ligera ventaja del sistema biológico.

Figura 20

Variación de la concentración de alcalinidad en los sistemas de tratamiento



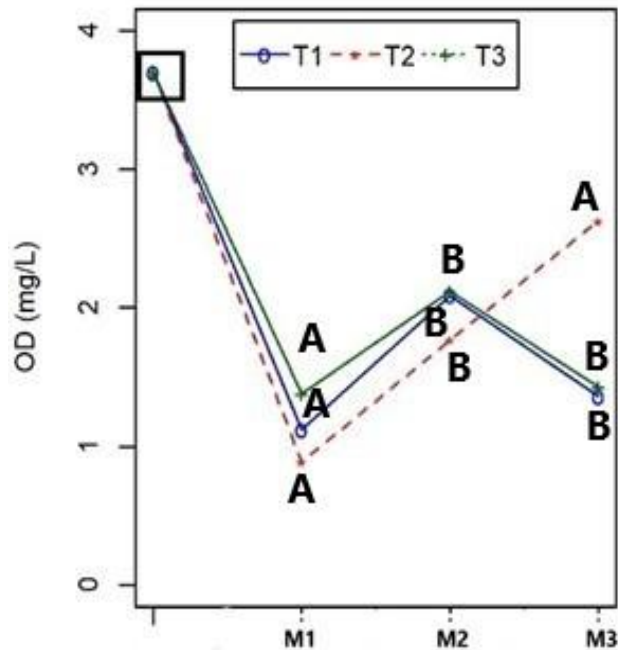
4.1.2.3. Oxígeno Disuelto

La Figura 21 muestra la variación del oxígeno disuelto (OD) en las aguas mieles de café tratadas mediante los sistemas físico (T1), biológico (T2) y con coagulantes naturales (T3). El OD inicial fue de 3.7 mg/L y, tras 7 días, disminuyó notablemente en todos los tratamientos (T1: 1.12 mg/L; T2: 0.89 mg/L; T3: 1.38 mg/L). A los 14 días se registró una recuperación parcial, alcanzando 2.09 mg/L en T1, 1.77 mg/L en T2 y 2.12 mg/L en T3. En el día 20, los valores tendieron a estabilizarse, destacando T2 con 2.63 mg/L.

Estos resultados coinciden parcialmente con los reportados por (Ibáñez et al., 2021; Morales et al., 2020), quienes también observaron incrementos en OD bajo tratamientos físicos y biológicos, aunque con variaciones atribuibles a diferencias en materiales y biota empleada. El análisis estadístico indicó ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en los periodos 1 y 2 ($p > 0.05$), mientras que en el periodo 3 el tratamiento T2 mostró diferencias significativas respecto a T1 y T3 ($p < 0.05$), evidenciando una recuperación superior del OD bajo el proceso biológico.

Figura 21

Variación de la concentración del OD en los sistemas de tratamiento.



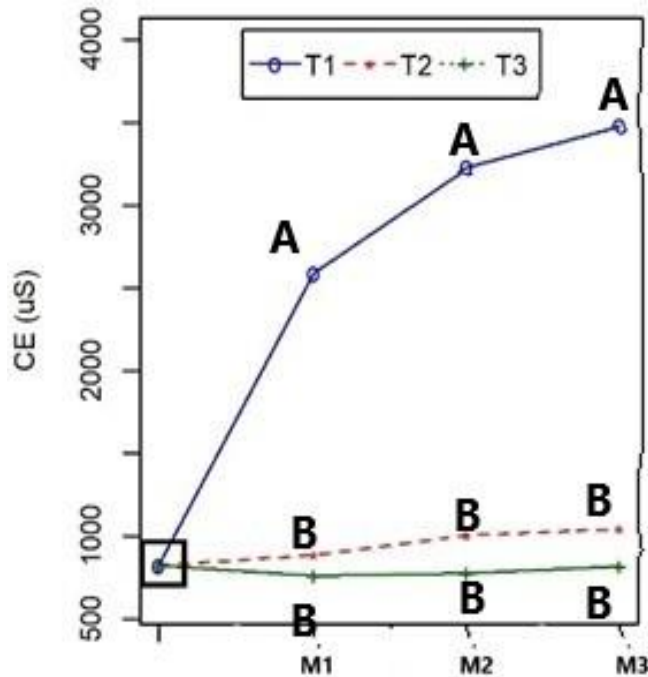
4.1.2.4. Conductividad Eléctrica

La Figura 22 muestra la variación de la conductividad eléctrica (CE) en las aguas mieles de café tratadas mediante los sistemas físico (T1), biológico (T2) y con coagulantes naturales (T3). El valor inicial de CE fue de 820 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El tratamiento físico (T1) incrementó notablemente la CE hasta 3480 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que sugiere una mayor disolución de sales y confirma su limitada eficacia para reducir este parámetro, en concordancia con Lalremdika et al. (2024). El tratamiento biológico (T2) alcanzó 1042 $\mu\text{S}/\text{cm}$, incremento asociado a la liberación de iones durante la degradación de la materia orgánica, tal como señalan García et al. (2020). En contraste, el sistema con coagulantes naturales (T3) mantuvo la CE prácticamente estable (816 $\mu\text{S}/\text{cm}$), evidenciando su capacidad para retener partículas y sustancias disueltas, como reporta Ortiz et al. (2018).

Dado que la CE se mantuvo por debajo del límite de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, T3 se presenta como una alternativa eficaz y sostenible, especialmente en contextos rurales. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre T1 y los demás tratamientos en todos los periodos ($p < 0.05$), lo que confirma el comportamiento divergente del sistema físico respecto a los tratamientos biológico y con coagulantes.

Figura 22

Variación de la concentración de la CE en los sistemas de tratamiento.

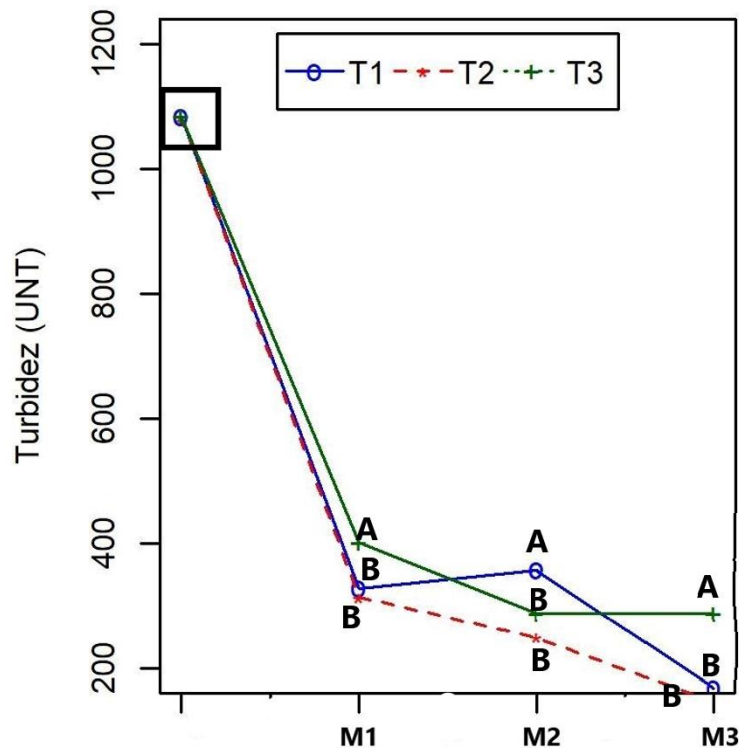


4.1.2.5. Turbidez

La turbidez inicial de las aguas mieles fue de 1085 UNT, lo que evidencia una alta carga de sólidos suspendidos y coloides del beneficio húmedo del café (Mohd et al., 2019). Al final del tratamiento (M3), la turbidez se redujo a 169 UNT en el tratamiento físico (T1), 147 UNT en el biológico (T2) y 288 UNT en el de coagulantes naturales (T3), lo que representa eficiencias de 84.4 %, 86.5 % y 73.5 %, respectivamente (Figura 23). En el T2, las raíces del jacinto de agua y la lenteja de agua atrapan sólidos y sirven de soporte a biopelículas, incrementando la sedimentación y la retención de partículas (Novita et al., 2023), mientras que en el T3 los coagulantes naturales desestabilizan los coloides y favorecen la formación de flóculos que arrastran parte de los sólidos (Paca, 2015). Estos resultados son coherentes con lo reportado por Morales et al., (2020), quienes evaluaron el filtro físico, biológico con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* y un sistema con coagulantes naturales en aguas mieles de café, encontrando altas remociones de turbidez y destacando los tratamientos físico y biológico en la reducción de sólidos y turbidez. El análisis estadístico de la turbidez final mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), evidenció que T1 y T2 no difieren significativamente entre sí, mientras que T3 presenta valores de turbidez significativamente mayores, confirmando su menor eficiencia frente a los otros dos sistemas.

Figura 23

Variación de la concentración de la turbidez en los sistemas de tratamiento.



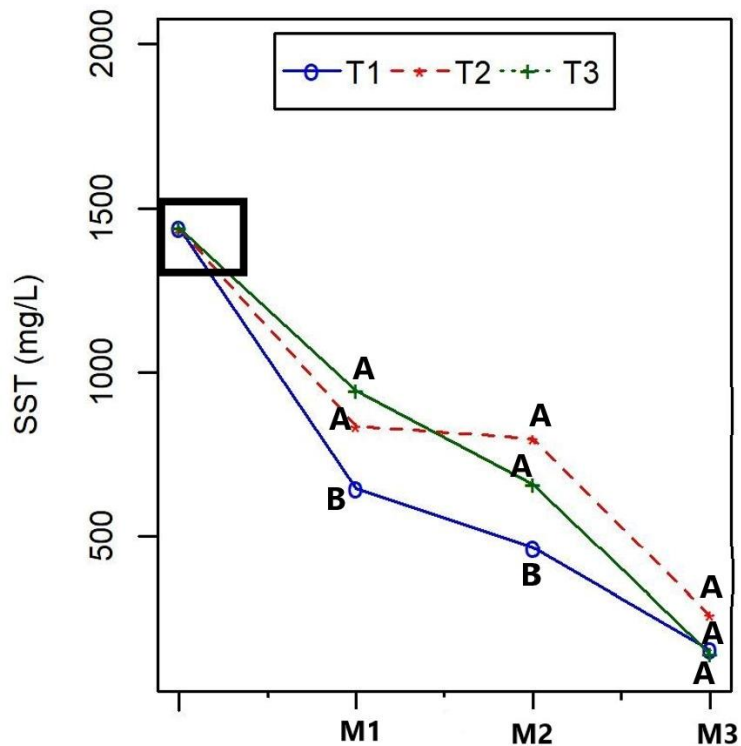
4.1.2.6. Sólidos Suspendedos Totales

La Figura 24 evidencia la eficiencia de los tratamientos físico (T1), biológico (T2) y con coagulantes naturales (T3) en la reducción de los sólidos suspendidos totales (SST) de las aguas mieles de café. El tratamiento con coagulantes naturales (T3) fue el más efectivo, alcanzando una eficiencia del 90.37 %. El tratamiento físico (T1) mostró un desempeño similar, con 89.42 %, mientras que el tratamiento biológico (T2) obtuvo una eficiencia menor (82.17 %).

Estos resultados concuerdan con (Sedolfo et al., 2017), quienes reportaron eficiencias superiores al 98 % para coagulantes naturales y tratamientos físicos, así como con (Ibáñez et al., 2021), y (Garay & Rivero, 2014), quienes documentaron valores altos de remoción en sistemas físicos y biológicos. Aunque existen diferencias numéricas entre estudios, la evidencia general indica que los tratamientos con coagulantes naturales y los tratamientos físicos son altamente eficaces para la reducción de SST, mientras que los tratamientos biológicos, aunque funcionales, presentan eficiencias inferiores.

Figura 24

Variación de la concentración del SST en los sistemas de tratamiento.

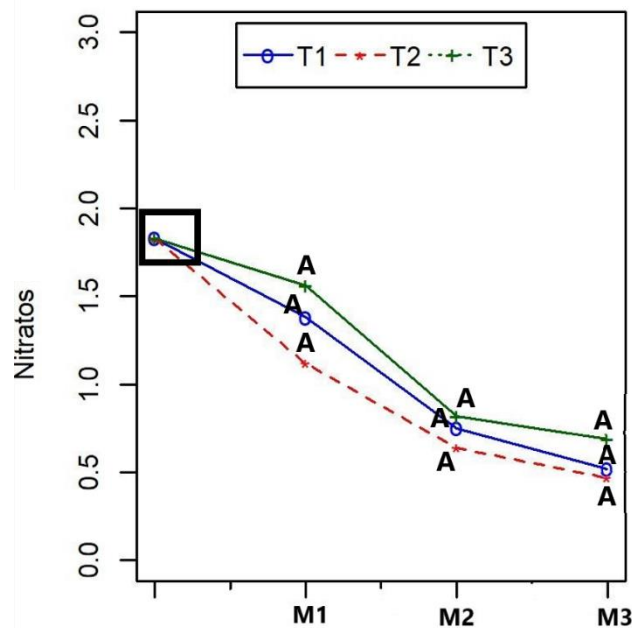


4.1.2.7. Nitrato

El valor inicial del nitrato fue 1.83 mg/L. Tras el tratamiento, los nitratos disminuyeron en los tres sistemas, alcanzando 0.52 mg/L (T1), 0.47 mg/L (T2) y 0.69 mg/L (T3), equivalentes a 71.6 %, 74.3 % y 62.3 % de reducción, respectivamente, como se muestra en la Figura 25. El biológico (T2) mostró el mejor desempeño porque las macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*) flotan libremente y sus raíces sumergidas absorben nitrógeno para su crecimiento y ofrecen superficie para el desarrollo de microorganismos adheridos que transforman el nitrato (Coronel, 2016). En el físico (T1) aun sin plantas, se formó biopelícula microbiana sobre el medio filtrante, esta comunidad también utiliza nitrógeno como nutriente. Estadísticamente, no hay diferencia significativa entre los tratamientos por periodo ($p > 0,05$). Estos resultados concuerdan con Morales et al. (2020), quienes reportaron mayor remoción de nitrato en el sistema con macrófitas frente al filtro físico y de coagulantes. Según Getahun et al. (2024) las aguas residuales del procesamiento de café que utilizan un tratamiento coagulante a pH más alto dan como resultado mayores reducciones de nitrato.

Figura 25

Variación de la concentración de nitrato en los sistemas de tratamiento.



4.1.2.8. Fosfato

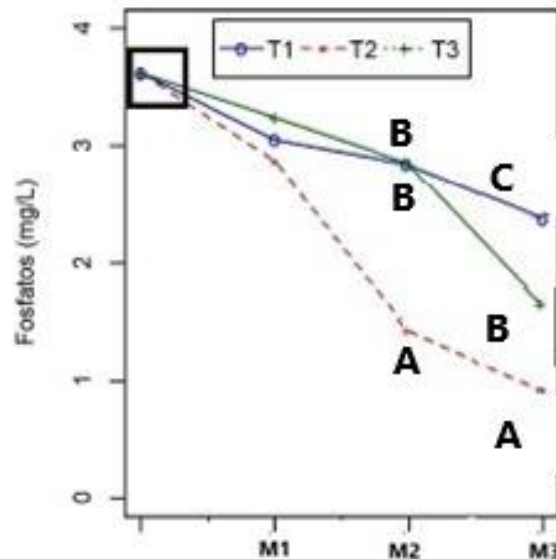
El valor inicial de fosfatos en las aguas mieles fue 3.62 mg/L. Tras el tratamiento, los tres sistemas mostraron una disminución progresiva: en el T1 (físico) los valores se redujeron de 3.05 mg/L (M1) a 2.84 mg/L (M2) y 2.38 mg/L (M3), con una eficiencia de 34.3 %; en el T2 (biológico) pasaron de 2.87 mg/L (M1) a 1.43 mg/L (M2) y 0.92 mg/L (M3), alcanzando 74.6 % de eficiencia, en el T3 (coagulantes naturales) descendieron de 3.24 mg/L (M1) a 2.85 mg/L (M2) y 1.65 mg/L (M3), con una eficiencia de 54.4 %. (Figura 26). El sistema biológico (T2) fue el más eficiente, las raíces sumergidas de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* absorben fósforo disuelto como nutriente de crecimiento y sirven de soporte para microorganismos que inmovilizan o transforman fosfatos (Ceschin et al., 2020; Coronel, 2016). En el T1, la menor eficiencia se atribuye a la adsorción de fosfatos sobre la superficie del material filtrante y a la incorporación limitada de fósforo en la biomasa microbiana del biofilm.

El análisis estadístico evidenció que sí existen diferencias significativas entre tratamientos en M2 y M3 ($p < 0.05$), donde el T2 presentó concentraciones de fosfatos significativamente menores que T1 y T3, mientras que en M1 no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$). Estos resultados coinciden con lo reportado por Morales et al. (2020) para sistemas de aguas mieles de café, donde los tratamientos con macrófitas y coagulantes superan al filtro físico en la remoción de fósforo,

siendo el sistema con plantas el más efectivo. El T2 y T3 son alternativas más eficientes que el tratamiento físico, y el sistema biológico con *E. crassipes* y *L. minor* es la opción principal cuando el objetivo es reducir de manera significativa la carga de fosfatos en las aguas mieles de café.

Figura 26

Variación de la concentración de fosfato en los sistemas de tratamiento.



4.1.2.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ inicial de las aguas mieles fue de 2921.5 mg/L. Tras el tratamiento, en el sistema físico (T1) la DBO₅ disminuyó progresivamente hasta 472.9 mg/L en el muestreo 3 (M3), con una eficiencia de 83.81 %. En el sistema biológico (T2) se observó la mayor reducción, pasando de 1472.8 mg/L (M1) a 352.7 mg/L (M2) y 9.6 mg/L (M3), lo que representa una eficiencia de 99.67 %. En el sistema con coagulantes naturales (T3), la DBO₅ se redujo a 2639.1 mg/L (M1), 2148.6 mg/L (M2) y 1743.2 mg/L (M3), con una eficiencia de 40.33 %.

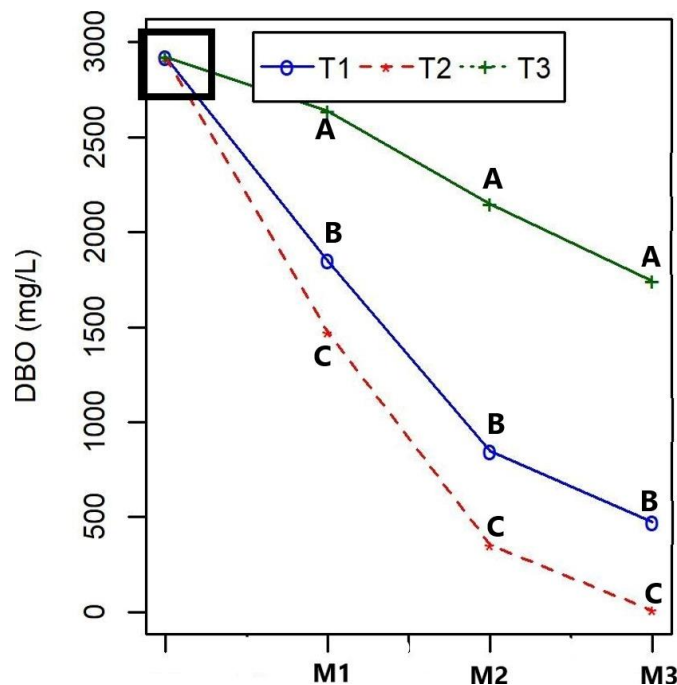
En el T2, las raíces de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* sirven de soporte a biopelículas aeróbicas y anóxicas donde se degrada la materia orgánica biodegradable. En el T3, los coagulantes naturales desestabilizan coloides y favorecen la floculación (Paca, 2015). Estos resultados son coherentes con lo reportado por Morales et al. (2020), quienes compararon un filtro físico, un filtro biológico con *E. crassipes* y *L. minor* y un sistema con coagulantes naturales de *Moringa* y *Opuntia*, concluyendo que los sistemas biológicos mejoran más la calidad del agua y destacando la alta carga orgánica inicial típica de las aguas mieles (DBO₅ > 2500 mg/L). De manera similar Novita et al. (2023) obtuvo una remoción de 81.10 % utilizando jacinto de agua en el tratamiento de aguas residuales de café, y Garay & Rivero (2014) lograron una reducción de 98.14 % de la DBO₅

empleando un humedal artificial con jacintos de agua para tratar este mismo tipo de efluente. En cuanto al tratamiento físico, Ibáñez et al. (2021) reportaron reducciones de hasta 97.55 % de la DBO₅ usando un sistema de filtración física para aguas residuales de café, lo que respalda el buen desempeño del T1 en este estudio.

El análisis estadístico evidenció que el tratamiento biológico se diferencia significativamente de los otros dos sistemas y que el tratamiento físico también difiere del sistema de coagulantes en términos de reducción de DBO₅ ($p < 0.05$), confirmando la superioridad del T2 y el menor aporte relativo de T3 en la remoción de la carga orgánica biodegradable. En la Figura 27 se observa la variación de la concentración de DBO₅ en los tres sistemas de tratamiento.

Figura 27

Variación de la concentración de DBO₅ en los sistemas de tratamiento.



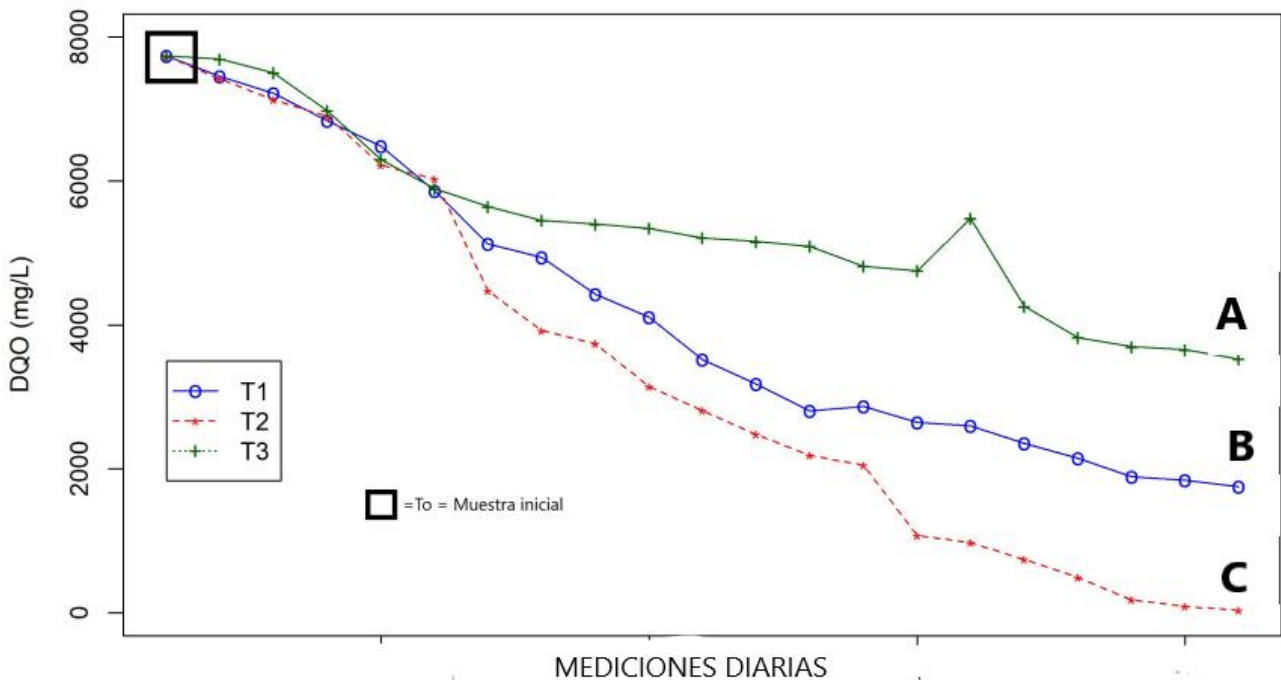
4.1.2.10. Demanda Química de Oxígeno

La Figura 28 presenta la variación de la demanda química de oxígeno (DQO) en las aguas mieles de café tratadas mediante los sistemas físico (T1), biológico (T2) y con coagulantes naturales (T3) durante 20 días. El valor inicial fue de 7735 mg/L. El tratamiento físico (T1) mostró una reducción sostenida, alcanzando 1754.8 mg/L al día 20, con una eficiencia del 77.31 %, resultado comparable al reportado por Álvarez et al. (2011), quienes redujeron la DQO de 9800 mg/L a 1658.75 mg/L mediante un proceso similar.

El tratamiento biológico (T2) fue el más eficiente, disminuyendo la DQO a 35.8 mg/L con una eficiencia del 99.53 %, superando incluso la eficiencia descrita por Mohd et al. (2019), quienes obtuvieron un 95 % de remoción utilizando plantas tropicales. Esta diferencia podría atribuirse a variaciones en las especies vegetales y en las condiciones ambientales del tratamiento. En contraste, el tratamiento con coagulantes naturales (T3) alcanzó una eficiencia del 54.37 %, culminando en 3529 mg/L, valor inferior al reportado por Romero (2019) con residuos vegetales (67.9 %), posiblemente debido a diferencias en la composición y desempeño de los coagulantes utilizados.

Figura 28

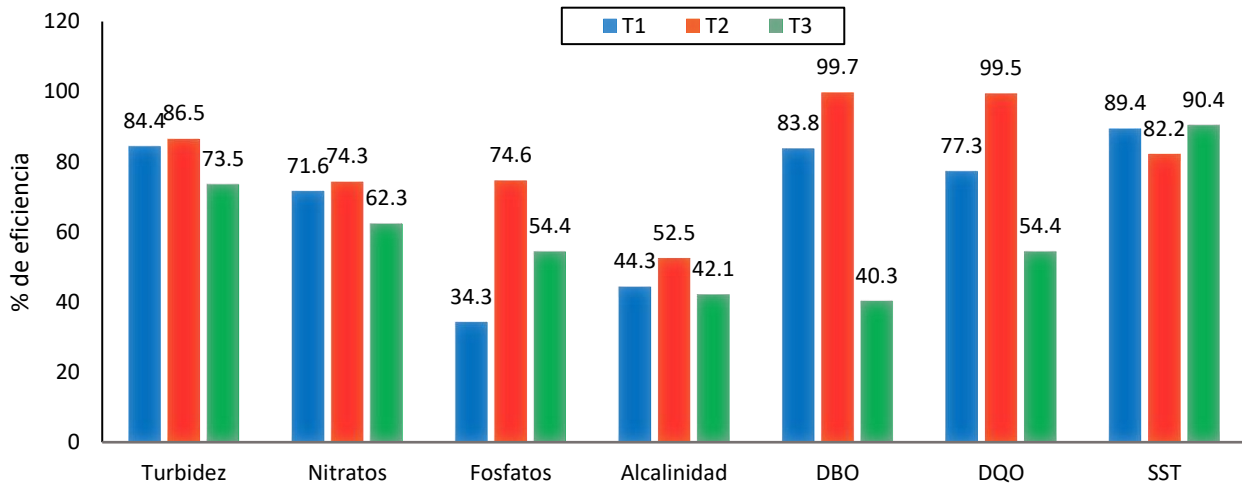
Variación de la concentración del DQO en los sistemas de tratamiento.



4.1.3. Determinación del Porcentaje de Eficiencia de los Sistemas de Tratamiento

Figura 29

Porcentaje de eficiencia de los parámetros fisicoquímicos en los sistemas de tratamiento.



La turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) alcanzaron altas eficiencias en los tres sistemas. La turbidez se redujo entre 73.5 % en T3 y 86.5 % en T2, mientras que los SST mostraron reducciones superiores al 80 %, con valores de 89.4 % en T1, 82.2 % en T2 y 90.4 % en T3. Estos resultados confirman que los tres sistemas son efectivos para la reducción de la fracción particulada de las aguas mieles.

En cuanto a la carga orgánica, el mejor desempeño se observó en el sistema biológico. En DBO_5 , T2 alcanzó una eficiencia de 99.7 %, muy superior a T1 (83.8 %) y T3 (40.3 %). De manera similar, en DQO se obtuvieron remociones de 99.5 % en T2, 77.3 % en T1 y 54.4 % en T3. Estos resultados indican que el sistema biológico fue el más eficiente en la degradación de la materia orgánica biodegradable y no biodegradable, mientras que el sistema con coagulantes naturales tuvo un efecto más limitado sobre la fracción orgánica disuelta.

Para los nutrientes, el sistema biológico también mostró las mayores eficiencias, con reducciones de 74.3 % en nitratos y 74.6 % en fosfatos. El sistema físico presentó disminuciones de 71.6 % y 34.3 %, respectivamente, y el sistema de coagulantes naturales entre 62.3 % (nitratos) y 54.4 % (fosfatos). En cuanto a la alcalinidad, las eficiencias fueron moderadas, entre 42.1 % en T3 y 52.5 % en T2.

Los resultados evidencian que el sistema biológico (T2) presentó la mejor eficiencia para la disminución de materia orgánica, nutrientes, turbidez, así como la mejor condición de pH y OD en

comparación con el afluente, mientras que el sistema de coagulantes naturales (T3) destacó en la reducción de SST. El sistema físico (T1) fue eficiente para la fracción particulada, pero tendió a incrementar la fracción disuelta, lo que limita su desempeño frente a los otros sistemas.

4.1.4. Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Se compararon los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café tratadas mediante los sistemas físico (T1), biológico (T2) y de coagulantes naturales (T3) con los ECA Agua Categoría 3-D1. La evaluación evidenció que el tratamiento biológico (T2) fue el que logró el mejor desempeño frente a los límites normativos, al presentar pH 6.82, CE 1042 $\mu\text{S}/\text{cm}$, NO_3 0.47 mg/L, DBO_5 9.6 mg/L y DQO 35.8 mg/L, todos dentro de los límites establecidos; no obstante, el OD (2.63 mg/L) se mantuvo por debajo del mínimo normativo (≥ 4 mg/L). Por su parte, el tratamiento físico (T1) cumplió en pH y nitrato, pero no cumplió en CE (3480 $\mu\text{S}/\text{cm}$), DBO_5 (472.9 mg/L) ni DQO (1754.8 mg/L), mientras que el sistema con coagulantes naturales (T3) cumplió en CE y nitrato, pero no cumplió en pH (5.23), DBO_5 (1743.2 mg/L) ni DQO (3529 mg/L).

Los resultados son consistentes con Mohd et al. (2019), quienes evaluaron un efluente de café con pH 4.4, DQO 13 000 mg/L, DBO_5 1 720 mg/L y SST 339.9 mg/L y reportaron remociones de 95% en DQO y 94% en SST, lo que confirma la eficacia de los sistemas biológicos con macrófitas para reducir la carga orgánica y los sólidos en suspensión. Por otro lado, aunque Ibáñez et al. (2021) reportaron mejoras con filtración física (pH 7.58, SST 100 mg/L, DBO_5 99 mg/L y DQO 1658.75 mg/L), los valores de DBO_5 y DQO se mantuvieron por encima de los límites del ECA Agua Cat. 3–D1, lo que coincide con lo observado en este estudio, donde T1 (DBO_5 472.9 mg/L; DQO 1754.8 mg/L) y T3 (DBO_5 1743.2 mg/L; DQO 3529 mg/L) no alcanzaron concentraciones dentro de los límites establecidos para los indicadores de carga orgánica.

Los tratamientos físicos y con coagulantes naturales generan mejoras parciales, pero no logran por sí solos el cumplimiento de los parámetros de carga orgánica (DBO_5 y DQO), en cambio el tratamiento biológico logra que el efluente cumpla con los límites establecidos por la normativa.

Tabla 7

Comparación de la calidad del efluente tratado con el ECA para Agua, Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales.

Parámetro	unidad	Caracterización inicial	Caracterización de las Aguas residuales del café									ECA Categoría 3 Subcategoría D1 DS N°004- 2017- MINAM
			T1			T2			T3			
			M0	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	
pH	unidad	3.96	5.61	6.51	7.3	5.03	5.22	6.82	4.7	5.12	5.23	6.5-8.5
Oxígeno disuelto	Mg/L	3.7	1.12	2.09	1.36	0.89	1.77	2.63	1.38	2.12	1.43	>4
Conductividad eléctrica	uS/cm	820	2590	3230	3480	887	1004	1042	762	776	816	2500
Turbidez	UNT	1085	329	358	169	314	250	147	403	289	288	
Nitrato	mg/L	1.83	1.38	0.75	0.52	1.12	0.64	0.47	1.56	0.82	0.69	100
Fosfato	mg/L	3.62	3.05	2.84	2.38	2.87	1.43	0.92	3.24	2.85	1.65	-
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	26.27	21.73	18.49	14.62	20.45	17.36	12.48	22.15	18.97	15.2	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)	mg/L	2921.5	1848.6	846.3	472.9	1472.8	352.7	9.6	2639.1	2148.6	1743.2	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	7735	4937.2	2648.1	1754.8	3920.5	1078.5	35.8	5452.4	4752.8	3529	40
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1440	645.4	462.8	152.3	834.9	795.7	256.7	942.5	658.2	138.6	-

4.2.Prueba de Hipótesis

- Para turbidez y SST, se identificaron diferencias significativas entre sistemas ($p < 0.05$). El desempeño más alto en partículas se observó en T3 (SST) y valores elevados también en T1; T2 mantuvo reducciones altas de turbidez y niveles competitivos de SST.
- En carga orgánica (DBO_5 y DQO), ambos parámetros mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), con T2 superando a T1 y T3 en la disminución de ambos indicadores.
- Para nutrientes (nitratos y fosfatos), se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) con T2 logrando las mayores disminuciones, seguido de T3 y, según el parámetro, T1.
- En estos parámetros también se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), evidenciando que el tipo de tecnología influye en el comportamiento del equilibrio ácido–base, la fracción disuelta y la condición de oxigenación del efluente.

En función de los resultados obtenidos ($p < 0.05$), la evidencia estadística permite rechazar la hipótesis nula (H_0) de igualdad de desempeño entre sistemas y aceptar la hipótesis alternativa (H_a): existen diferencias significativas entre los sistemas físico (T1), biológico (T2) y de coagulantes naturales (T3) en el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos evaluados.

- T2 exhibe la mayor eficacia global para la disminución de materia orgánica, nutrientes y turbidez (con mejoras concomitantes en pH y OD respecto al afluente);
- T3 sobresale en la fracción particulada (SST).
- T1, aunque eficaz en partículas, tiende a incrementar la fracción disuelta (CE y alcalinidad), lo que limita su desempeño integral frente a los otros sistemas.

CONCLUSIONES

- La caracterización inicial evidenció que las aguas mieles de café presentan un alto potencial contaminante, debido a que son muy ácidas (pH 3.96), con alta concentración de carga orgánica (DBO₅ 2921.5 mg/L, DQO 7735 mg/L) y su elevada fracción particulada (turbidez 1085 UNT, SST 1440 mg/L), por lo cual requieren tratamiento previo antes de su descarga a cuerpos de agua y al suelo.
- El análisis de los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café después del tratamiento evidenció diferencias de desempeño entre los sistemas evaluados. El tratamiento biológico (T2) logró la mejor calidad del efluente, al alcanzar las menores concentraciones de carga orgánica (DBO₅ 9.6 mg/L y DQO 35.8 mg/L), además de reducir la turbidez (147 UNT) y los nutrientes (NO₃ 0.47 mg/L; PO₄ 0.92 mg/L). En cambio, el tratamiento físico (T1) obtuvo el mayor ajuste del pH (7.3), evidenciando una mejor neutralización de la acidez inicial, sin embargo, presentó un comportamiento desfavorable en la fracción disuelta por el incremento de CE. Por su parte, el tratamiento con coagulantes naturales (T3) destacó en la reducción de la fracción particulada al alcanzar el menor valor de SST (138.6 mg/L) y mantener una CE estable, lo que confirma su utilidad principalmente para reducir sólidos en suspensión.
- Se determinó que el sistema biológico (T2) presentó el mejor desempeño al alcanzar las mayores disminuciones de carga orgánica, con 99.67% en DBO₅ y 99.53% en DQO, superando al sistema físico (T1) y al de coagulantes naturales (T3), los cuales mostraron eficiencias moderadas en DQO (77.31% y 54.37%, respectivamente) y una remoción baja de DBO₅ en T3 (40.33%). En la fracción particulada, se observó que T3 y T1 lograron las mayores eficiencias en SST (90.37% y 89.42%). Asimismo, en nutrientes, T2 obtuvo mayor eficiencia (NO₃ 74.3% y PO₄ 74.6%), por lo cual el sistema biológico se considera la alternativa más adecuada para el tratamiento de las aguas mieles de café.
- Se concluye que al comparar los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café con los ECA Agua Categoría 3 – D1 (pH 6.5–8.5; CE ≤ 2500 μS/cm; NO₃ ≤ 100 mg/L; DBO₅ ≤ 15 mg/L; DQO ≤ 40 mg/L), el tratamiento biológico (T2) fue el único que cumplió con los límites establecidos, alcanzando pH 6.82, CE 1042 μS/cm, NO₃ 0.47 mg/L, DBO₅ 9.6 mg/L y DQO 35.8 mg/L; en cambio, el tratamiento físico (T1) no cumplió con CE, DBO₅ y DQO, y el tratamiento con coagulantes naturales (T3) no cumplió con pH, DBO₅ y DQO, evidenciando que solo el tratamiento biológico logró que el efluente se encontrara dentro de los estándares normativos establecidos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en la caracterización de las aguas mieles de café, además de los parámetros evaluados (pH, OD, CE, turbidez, SST, nitratos, fosfatos, alcalinidad, DBO₅ y DQO), se incluyan temperatura, color y se estime el caudal de diseño del efluente ya que esta información permite conocer mejor la variación del afluente y dimensionar adecuadamente los sistemas de tratamiento para su aplicación en condiciones reales.
- Se recomienda que, para la implementación del tratamiento biológico, se incorpore un flujo natural del afluente por gravedad, a fin de favorecer la aireación y mantener condiciones adecuadas para el desarrollo y desempeño de las plantas acuáticas durante el proceso de tratamiento.
- Se recomienda a los investigadores evaluar macrófitas flotantes locales con potencial fitorremediador, por ejemplo, la “rana amazónica” (*Hydrocharis laevigata*), de manera individual o en combinación con otras especies, para comparar su eficiencia en la remoción de carga orgánica bajo condiciones operativas similares.
- Se recomienda a las cooperativas cafetaleras promover e implementar el tratamiento de las aguas mieles de café, priorizando tecnologías eficientes, sostenibles y de bajo costo, como el tratamiento biológico, con la finalidad de cumplir con los ECA Agua Categoría 3-D1 y reducir el impacto ambiental generado por el vertimiento de estos efluentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achinike, O., Eruni, U., & Okirie, F. (2025). *Parámetros fisicoquímicos para el análisis de la calidad del agua y el medio ambiente: una revisión*. <https://journals.stmjournals.com/ijppc/article=2025/view=201653/>
- Acuña, O. (2003). *Estudio de la eficiencia de dos tecnologías en el proceso post cosecha de café en Montero, Ayabaca*. [Universidad Nacional de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/274>
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (2025). *Indicadores: Fósforo*. https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-phosphorus?utm_source=
- Aguilar, N., & Másmela, A. (2017). *Evaluación de almidón de Manihot esculenta (yuca) y Musa AAB Simmonds (plátano) en procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales en el PTAR del Parque Agroindustrial de Occidente – PAO* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/12...>
- ALMAWATECH. (2024). *Nitrato*. https://www.almawatech.com/es/aguas-residuales/nitrato/?utm_source=
- Alvarez, J., Smeltekop, H., Cuba, N., & Loza, M. (2011). *Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado de café (Coffea arabica) implementada en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales*. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942011000100005&script=sci_abstract&tlng=en
- American Public Health Association (APHA). (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. https://archive.org/details/standardmethods0018amer/page/n55/mode/2up?utm_source=chatgpt.com&q=pH
- Angulo Gamero, J. J. (2019). *Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EMTM) sobre la calidad de aguas mieles del beneficio húmedo del café (Coffea arabica L.)* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c104d7d1-bab6-486a-a569-3c2043e8169f/content>
- Anido, J., Abreu, E., Gutierrez, A., & Mercado, C. (2007). Detalles del racimo y del fruto. In *El*

cultivo del plátano en Venezuela: Desde el campo hasta la mesa. Universidad de Los Andes – Fundación Empresas Polar. https://www.researchgate.net/figure/Detalles-del-racimo-y-del-fruto_fig2_264544492

Arista, W., & Peña, L. (2015). *Filtros físicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas para su reutilización en regadío en la I.E. N° 00813, Ochamé-Moyobamba, 2013*. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.

Arroyave, M. del P. (2004). La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): Una planta acuática promisoriosa. *Revista EIA*, 1(1), 33–38. <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149217763003>

Berego, Y., Sota, S., Ulsido, M., & Beyene, E. (2022). Treatment Performance Assessment of Natural and Constructed Wetlands on Wastewater From Kege Wet Coffee Processing Plant in Dale Woreda, Sidama Regional State, Ethiopia. *Environmental Health Insights*, 16. <https://doi.org/10.1177/11786302221142749>

Bermúdez, J., & Pozo, L. (2006). *Impacto social del aumento de la lemna en la parroquia Ambrosio de Cabimas*. Monografías.Com. <https://www.monografias.com/trabajos44/lemna/lemna2>

Cabrera, G., & Ramirez, J. (2014). *Almidón extraído de la yuca (Manihot esculenta crantz) como coagulante alternativo para tratamiento del agua de la quebrada y amuesquer municipio de Potosí* [Universidad de Nariño]. <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90482.pdf>

Ceschin, S., Crescenzi, M., & Iannelli, M. A. (2020). Phytoremediation potential of the duckweeds *Lemna minuta* and *Lemna minor* to remove nutrients from treated waters. *Environmental Science and Pollution Research* 27:13, 13. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-08045-3>

Coronel, E. (2016). "Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas-Chachapoyas 2015. In *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.Chachapoyas*.

Díaz, A., Goicochea, E., & Chavez, K. (2025). *Influencia de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la depuración de las aguas mieles del café provenientes del beneficio húmedo*. Universidad Nacional de Jaén.

Díaz, C., & Carmen, M. (2017). Línea de base del sector café en el Perú: Documento de trabajo. In *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) & Ministerio de Desarrollo*

Agrario y Riego (MIDAGRI). (Vol. 1). <https://www.undp.org/es/peru/publicaciones/linea-base-del-sector-cafe-en-el-peru>

EPA. (2012). *Oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno*.

FAO. (2021). *El té y el café: celebración de su importancia cultural, social y económica*. <https://www.fao.org/markets-and-trade/resources/news-events/detail/es/c/1445469/>

FAO. (2024). *Café*. <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities-overview/beverages/coffee/es>

Fernández, M., & Noguera, W. (2019). *EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITOREMEDIADORA DEL JACINTO DE AGUA (EICHHORNIA CRASSIPES) EN DOS TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRAULICA COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN EL CORREGIMIENTO DE USENDA, SILVIA –CAUCA* (Vol. 6) [FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN]. <https://fupvirtual.edu.co/repositorio/files/original/aee37e5a064ed8f6a4d9859acdec880d85458815.pdf>

Freepik. (2023). *Part of Cassava*. https://www.freepik.es/vector-premium/partes-yuca_31918052.htm

Gallego, H., & Mejía, M. (2016). La electrocoagulación como alternativa de tratamiento de aguas mieles provenientes del proceso de beneficio húmedo del café. *Vitae*, 23(2), S684–S688. <https://www.proquest.com/docview/1783661288?fromopenview=true&pq-origsite=gscholar>

Garay, J., & Rivero, J. (2014). Biosistema para purificar aguas residuales del beneficio húmedo de café, distrito La Coipa, departamento de Cajamarca, 2014. *Manglar*, 11(1), 43–50. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8104379>

García, B., Arnal, J., & Sancho, M. (2017). *Uso de coagulantes naturales: Análisis del potencial en el tratamiento del agua potable para países desarrollados y en vías de desarrollo*. 29. <https://www.icws.upc.edu/en/shared/plantilla-presentacionsv2-coagulantes-congreso.pdf>

García, V., Fernandez, L., & Cerna, R. M. (2020). *Reglamento para la acreditación de organismos de evaluación de la conformidad (OEC)*.

Getahun, M., Befekadu, A., & Alemayehu, E. (2024). Coagulation process for the removal of color and turbidity from wet coffee processing industry wastewater using bio-coagulant: Optimization

through central composite design. *Heliyon*, 10(7), e27584.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27584>

Guerrero, L., Manuel, J., & Sanz, J. (2003). *Tratamientos de regeneración de aguas residuales depuradas para la recarga de acuíferos, filtración granular y sistemas integrados de membranas*. https://www.igme.es/actividadesigme/lineas/hidroyca/publica/libros2_TH/tiac-01/Area VII-1.pdf

Guevara, M., & Ramirez, L. (2015). Eichhornia crassipes, su invasividad y potencial fitorremediador. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 22(1), 18–25.
<https://doi.org/10.17163/lgr.n22.2015.01>

Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. In *McGRAW-HILL Interamericana Editores S.A. de C.V.*
<http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hernández- Metodología de la investigación.pdf>

Ibáñez, W., Arcos, J., Ortiz, L., & Ortega, B. (2021). Diseño de una planta de tratamientos de aguas miel de Kilamupi café. *Polo Del Conocimiento*, 6(3), 1039–1061.
<https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2420>

INACAL. (2021). Guía de implementación de la Norma Técnica Peruana NTP 209.027:2018. Café. Café verde. Requisitos. In *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
<https://www.gob.pe/institucion/inacal/informes-publicaciones/2187944-gip-101-guia-de-implementacion-de-la-norma-tecnica-peruana-ntp-209-027-2018-cafe-cafe-verde-requisitos>

Índice de Competitividad Regional. (2025). *Junín es la segunda región mayor productora de café*.
<https://incoreperu.pe/noticias/junin-es-la-segunda-region-mayor-productora-de-cafe>

Instituto del Agua. (2013). *Parámetros para Determinar la Calidad del Agua: Guía Completa para Garantizar una Fuente Segura*. https://institutodelagua.es/calidad-del-agua/parametros-para-determinar-la-calidad-del-aguacalidad-del-agua/?utm_source

Instituto del Agua. (2025). *Parámetros de calidad del agua potable según la OMS*.
https://institutodelagua.es/calidad-del-agua/parametros-calidad-agua-potable-omscalidad-del-agua/?utm_source=

Instituto del agua. (2025). *Parámetros básicos en la calidad del agua superficial: guía esencial para entender y preservar nuestros recursos hídricos*. <https://institutodelagua.es/calidad-del>

agua/parametros-basicos-en-la-calidad-del-agua-superficialcalidad-del-agua/?utm_source=

- Instituto del Café de Costa Rica. (2023). *Producción de café de la cosecha 22-23 supera en un 14.14% a la producción de la cosecha anterior*. <https://www.icafe.cr/cosecha22-23/>
- International Coffee Organization. (2023). *Coffe Development Report 2022-2023*. <https://www.icocoffee.org/documents/cy2024-25/coffee-development-report-2022-23.pdf>
- Jaramillo, M., & Flores, E. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua) y Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Khdary, N., Gazim, A., Muriani, M., & Alshehri, A. (2015). Modeling Distribution of Selective Ions in Urban and Rural Areas Using Geographical Information System. *Journal of Water Resource and Protection*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2015.76041>
- Lalremdika, R., Bahadur, R., Sengjrang, M., Jyotishman, N., Lalmuanzeli, R., & Kant, S. (2024). Carbon dioxide sequestration and sustainable domestic sewage bioremediation by *Microcystis aeruginosa* and *Chlorella vulgaris*. *Ecology, Environment and Conservation*, 30(Suppl), S108–S119. <https://doi.org/10.53550/eec.2024.v30i06s.017>
- Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. In *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Morfologia-de-una-macrofitas-flotante-Eicchornia-crassipes-Adaptado-de-14_fig1_230888132
- Lee, K. (2020). Aguas Mielles: de Contaminante a Fertilizante Orgánico. *Perfect Daily Grind*. <https://perfectdailygrind.com/es/sobre-nosotros/>
- León, M., & Lucero, A. (2009). *Estudio de Eichhornia crassipes, Lemna gibba y Azolla filiculoides en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del cantón Cotacachi*. (Vol. 5, Issue 3) [UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/102>
- Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: Una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221–243. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.8.15.10>
- Mena, A. (2021). Propiedades del *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Schoenoplectus californicus* (Junco), y el *Phragmites australis* (Carricillo). *Revista Del Instituto de Investigación de La*

Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, 24(47), 101–108.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20656>

Mihret, D., Gonse, A., Lamisso, S., & Kannan, N. (2024). The Historical Development of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 73(4), 804–817. <https://doi.org/10.2166/aqua.2024.008>

MINAM. (2017a). Aprueban el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Ministerio del Ambiente - MINAM. *El Peruano*, 05, 7–22.
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/309434/DS_N__002-2017-MINAM1.pdf?v=1555955682

MINAM. (2017b). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. In *El Peruano*. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2021). *Requerimientos agroclimáticos de cultivo de plátano*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/ficha16-platano.pdf>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2021). *Decreto Supremo que aprueba el Plan Nacional de Acción del Café Peruano 2019–2030*. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/1895496-decreto-supremo-que-aprueba-el-plan-nacional-de-accion-del-cafe-peruano-2019-2030>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2025). *MIDAGRI: exportaciones de café logran en 2024 alrededor de US\$ 1,100 millones en ventas a casi 60 mercados del mundo*. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/1097090-midagri-exportaciones-de-cafe-logran-en-2024-alrededor-de-us-1-100-millones-en-ventas-a-casi-60-mercados-del-mundo>

MITECO. (2021). Sistemas de tratamiento. *Gobierno de España*. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/#:~:text=Los sistemas de tratamiento incluyen,el uso como fuente de>

Mohd, N., Sheikh, S., Izzati, I., Abu, H., & Othman, A. (2019). Phytoremediation of real coffee industry effluents using a continuous constructed wetland system in two stages. *Environmental Technology and Innovation*, 17, 100502. <https://doi.org/10.1016.2019.100502>

Montero, A., & Sandí, J. (2009). La contaminación de las aguas mieles en Costa Rica: Un conflicto

de contenido ambiental (1840–1910). *Diálogos Revista Electrónica de Historia*, 10(1), 4–15.
<https://doi.org/10.15517/dre.v10i1.6126>

Montiel, P. (2014). *Humedal Artificial* [Universidad Nacional Autónoma de México].
<http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/4254>

Morales, E., Oliva, S., Rascón, J., Milla, M., Villegas, D., & Chavez, S. (2020). Sistemas de tratamiento de aguas mieles de café en la Provincia de Rodríguez de Mendoza, Perú. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 84–90.
<https://doi.org/10.23850/24220582.2918>

Nor, M., Siti, S., Nur, I., Hasan, A., & Ahmad, R. (2019). Phytoremediation of real coffee industry effluent through a continuous two-stage constructed wetland system. *Environmental Technology and Innovation*, 17, 100502. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100502>

Novita, E., Wahyuningsih, S., Andika, M., & Pradana, H. (2023). Water Hyacinth Potential in The Pollution Impact Reduction of Coffee Agroindustry Wastewater. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 14(2), 10–22.
<https://doi.org/10.21771/jrtppi.2023.v14.no2.p10-22>

Núñez, L. (2009). *Importancia del almidón(aspectos fisicoquímicos, usos y aplicaciones)* [Universidad Nacional Autónoma de México].
https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000652846/3/0652846_A1.pdf

Ortiz, V., López, G., Torres, C., & Pampillón, L. (2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 7(13), 18–46.
<https://doi.org/10.23913/ciba.v7i13.73>

Otero, N. (2007). Filtración de aguas residuales para reutilización [Universidad de La Laguna]. In *Ciencias Y Tecnologías/29* (Vol. 29).
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/10239/cp273.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Paca, F. (2015). “*EVALUACIÓN DE RESIDUOS VEGETALES DE PAPA, YUCA, CAMOTE Y PLÁTANO, COMO COAGULANTES NATURALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA.*”
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7881/1/96T00400.pdf>

Perez, J. (2012). *Café*. Definición.De. <https://definicion.de/cafe/>

- Rodríguez, J., Cervantes, F., Arámbula, G., Mariscal, L., Aguirre, C., & Andrio, E. (2022). Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). *Agronomía Mesoamericana*, 33(1). <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.44201>
- Rodríguez, N. (2009). Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas [Universidad Politécnica de Valencia]. In *Valencia: Universidad Politécnica de Valencia*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/4342/tesisUPV3023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, L. (2019). *Evaluación de la utilización del almidón de papa, yuca y banano como bio coagulantes para el tratamiento de aguas de una industria láctea*. <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/11565/1/UDLA-EC-TIAM-2019-39.pdf>
- Sedolfo, C., Stefany, M., Emily, F., Paola, P., Julio, M., & Altamira, D. (2017). *Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas*. 13(2), 90–99. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1941>
- Sengupta, B., Priyadarshinee, R., Roy, A., Banerjee, A., Malavia, A., Singha, S., Mandala, T., & Kumar, A. (2020). Hacia una producción de café sostenible y ecológica: abatimiento de aguas residuales y evaluación de su potencial valorización. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09974-9>
- Suarez, L., & Trochez, V. (2023). *Identificación de ecotecnología de sistemas de tratamiento de aguas mieles producidas por el beneficio húmedo del café* [Universitaria Autónoma del Cauca]. <https://repositorio.uniautonoma.edu.co/bitstream/handle/123456789/791/TIA-M1282023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., Burton, F., Abu-Orf, M., Bowden, G., & Pfrang, W. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education. <https://repositori.mypolycc.edu.my/jspui/handle/123456789/4586>
- Tratamos el agua. (2025). *Los parámetros físicoquímicos del agua que debes conocer*. https://tratamoselagua.es/los-parametros-fisico-quimicos-del-agua-que-debes-conocer/?utm_source=&damemas_lectura=1
- Valerio, Y. (2021). *Métodos de procesamiento de café*. ERA OF WE. <https://www.eraofwe.com/coffee-lab/es/articles/metodos-de-procesamiento-de>

- Valle Muñoz, E. (2016). *Tratamiento de aguas mieles del café con microorganismos eficientes (EM), en biodigestores – Pichanaqui - Junín* [UNCP]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/93247eb5-02e0-4045-ac55-f2283f90a547/content>
- Vanegas, F. (2016). *Procesos del Café: Lavado, natural y honey*. Coffee Media. <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2016/08/31/procesos-del-cafe-lavado-natural-y-honey/>
- velp. (2020). *Demanda química de oxígeno (DQO): evaluación de los niveles de contaminación en el agua*. https://www.velp.com/es-sa/demanda-quimica-de-oxigeno-dqo-evaluacion-de-los-niveles-de-contaminacion-en-las-aguas.aspx?utm_source=
- Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water (Switzerland)*, 2(3), 530–549. <https://doi.org/10.3390/w2030530>
- Vymazal, J. (2022). The Historical Development of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Land*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/land11020174>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	a) Variable independiente Sistemas de tratamiento	a) Nivel, tipo y diseño de investigación
¿Entre los sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales cuál tiene mayor eficiencia del tratamiento de aguas mieles de café?	Evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas mieles de café mediante sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales.	H ₀ : No existen diferencias significativas entre los sistemas de tratamiento (físico, biológico y de coagulantes naturales) en la eficiencia de tratamiento de las aguas mieles de café, evaluada mediante los parámetros fisicoquímicos.	Dimensiones Tipos de tratamientos Indicadores • Físico • Biológico • Coagulantes naturales	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel explicativo • Tipo aplicativo • Diseño experimental puro
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis general	b) Variable dependiente Calidad de aguas mieles de café	b) Población y muestra
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál son los valores de los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café antes del tratamiento con sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales? • ¿Cuáles son los valores de los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café después del tratamiento con sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales? 	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café antes del tratamiento con sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales. • Analizar los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café después del tratamiento con sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales. 	H _a : Existen diferencias significativas entre los sistemas de tratamiento (físico, biológico y de coagulantes naturales) en la eficiencia de tratamiento de las aguas mieles de café, evaluada mediante los parámetros fisicoquímicos.	Indicadores Parámetros fisicoquímicos Indicadores • pH • OD • DBO ₅ • CE • SST • Alcalinidad • Turbidez • Nitratos • Fosfatos • DQO	<ul style="list-style-type: none"> • Población Total de aguas residuales de café generadas por la finca “Cedro Cruz” ubicada en el Centro Poblado Primavera, distrito Pichanaqui. • Muestra 250 L de aguas mieles de café generadas por la finca “Cedro Cruz”
				c) Técnicas e instrumentos de recolección de datos

-
- ¿Cuál es el porcentaje de eficiencia del tratamiento de aguas mieles de café mediante sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales?
 - ¿Los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) agua Categoría III, Subcategoría D1: Riego de vegetales, establecido en el D.S. N.º 004-2017-MINAM?
 - Determinar el porcentaje de eficiencia del tratamiento de aguas mieles de café mediante sistemas físico, biológico y de coagulantes naturales.
 - Comparar los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) agua Categoría III, Subcategoría D1: Riego de vegetales, establecido en el D.S. N.º 004-2017-MINAM.
 - **Análisis documental**
ECA para agua Categoría III, Subcategoría D1: Riego de vegetales, establecido en el D.S. N.º 004 – 2017-MINAM, artículos, tesis, manuales y libros.
 - **Análisis de campo**
Ficha de registro de parámetros fisicoquímicos.
 - **d) Análisis de datos**
 - Análisis de varianza
 - Prueba de Tukey
-

Anexo 2. Panel fotográfico del procedimiento de tratamiento de aguas mieles de café.



a) Recolección de aguas mieles en la finca “Cedro Cruz”



b) Acondicionamiento del lugar



c) Acondicionamiento del sistema físico



d) Obtención del almidón de plátano y yuca



e) Gelificación del almidón de plátano y yuca



f) Distribución de los sistemas de tratamientos



g) Toma de muestras y mediciones de cada sistema de tratamiento

Anexo 3. Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas

De acuerdo con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett, se evaluó el cumplimiento de supuestos estadísticos para los parámetros fisicoquímicos monitoreados en las aguas residuales del café tratadas mediante tres sistemas (T1, T2 y T3).

Parámetro	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Bartlett (K ²)	p-valor
pH	0.8755	0.1407	2.1557	0.3403
Alcalinidad	0.9554	0.7489	0.0402	0.9801
Oxígeno disuelto	0.9548	0.7423	1.0126	0.6027
Conductividad eléctrica	0.7379	0.0939	9.6107	0.0802
Turbidez	0.9499	0.6894	0.2965	0.8622
Sólidos suspendidos totales (SST)	0.9123	0.3322	0.3850	0.8249
Nitrato	0.8942	0.2204	0.1924	0.9083
Fosfato	0.8742	0.1362	1.6482	0.4386
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	0.9540	0.7334	0.4815	0.7861
Demanda química de oxígeno (DQO)	0.9496	0.6862	0.7976	0.6711

Nota. Se utilizó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Para la prueba de Shapiro–Wilk, valores de $p > 0.05$ indican que los datos son compatibles con una distribución normal. Para la prueba de Bartlett, valores de $p > 0.05$ indican homogeneidad de varianzas entre tratamientos.

Los resultados muestran que los parámetros presentan valores de p-valor > 0.05 en ambas pruebas, lo que respalda el uso de pruebas paramétricas (ANOVA) y comparaciones múltiples (Tukey) para contrastar tratamientos.

Anexo 4. Análisis de aguas mieles de café

Código: IEICSM.351
Abril - 2024

INFORME DE ENSAYO N° 3512024
VALOR OFICIAL



Nombre del Cliente: Sheyla Lizett Romero Soto, Jhissabell Saraid Vedia Pucuhuanca
Proyecto: Tratamiento de agua mieles de café mediante sistemas físicos, biológicos y de coagulantes naturales
Descripción: Caracterización de las muestras iniciales de agua miel de café

I.DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia: Pichanaki - Junín
Plan de Muestreo: Realizado por Cliente
Cantidad de Muestras: 6
Producto: Agua Residual
Condición de la Muestra: Buen estado
Código ICSM: 3512024
Fecha de Recepción: 04/04/2024
Fecha de Ensayo: 10 /04/2024
Fecha de Emisión: 10/04/2024

II.MÉTODOS DE REFERENCIA

Parámetros	Norma de referencia	Título
Nitrato	SM Part 4500-NO3- B , 23rd. Ed. 2017	Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO3B , 23rd. Ed. 2017
Fosfato	SM Part 4500-P E, 23rd. Ed. 2017	Phosphorus. Ascorbic Acid Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd. Ed. 2017
Alcalinidad Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B,24th td.2023	Alkalinity.Titration Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM Part 5210 B, 23rd. Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5210 B, 23rd. Ed. 2017
Demanda Química de Oxígeno	SM Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2023.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

INFORME DE ENSAYO N° 3512024
VALOR OFICIAL
III. RESULTADOS

Código de Laboratorio		3512024.01		
Código de Cliente		PM1		
Descripción		Agua residual Inicial		
Fecha de Muestreo		03/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados
Nitrato	mg/L	0.04	0.05	1,83
Fosfato	mg/L	0.01	0.10	3,62
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	2.00	5.00	26,27
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0.4	2.0	2 921,5
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	7 735,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.0	5.0	1 440,0

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M.= Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M., indicado, "--"= Analizado

Nota:

Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización del ICSM S.A.C.



Ing. José Luis Inca Gómez CIP: 219478
 Jefe de División de Investigación y Desarrollo
 Instituto Científico Sostenible Minero S.A.C

**** FIN DEL INFORME****

INFORME DE ENSAYO N° 3842024
VALOR OFICIAL



Nombre del Cliente : Sheyla Lizett Romero Soto , Jhissabell Saraid Vedia Pucuhuanca
 Proyecto : Tratamiento de agua mieles de café mediante sistemas físicos, biológicos y de coagulantes naturales
 Descripción : Análisis de las muestras Post-tratamiento del agua miel de café

I.DATOS DE LA**MUESTRA**

Procedencia : Pichanaki - Junín
 Plan de Muestreo : Realizado por Cliente
 Cantidad de Muestras : 18
 Producto : Agua Residual
 Condición de la Muestra : Buen estado
 Código ICSM : 3842024
 Fecha de Recepción : 11/04/2024
 Fecha de Ensayo : 11/04/2024
 Fecha de Emisión : 17/04/2024

II.MÉTODOS DE REFERENCIA

Parámetros	Norma de referencia	Título
Nitrato	SM Part 4500-NO3- B , 23rd. Ed. 2017	Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO3B , 23rd. Ed. 2017
Fosfato	SM Part 4500-P E, 23rd. Ed. 2017	Phosphorus. Ascorbic Acid Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd. Ed. 2017
Alcalinidad Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B,24th td.2023	Alkalinity.Titration Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM Part 5210 B, 23rd. Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5210 B, 23rd. Ed. 2017
Demanda Química de Oxígeno	SM Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2023.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

**INFORME DE ENSAYO Nº 3512024
 VALOR OFICIAL**
III. RESULTADOS

Código de Laboratorio		3842024.01	3842024.02	3842024.03		
Código de Cliente		PM2	PM3	PM4		
Descripción		AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento		
Fecha de Muestreo		10/04/24	10/04/24	10/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Nitrato	mg/L	0.04	0.05	1.38	1.12	1.56
Fosfato	mg/L	0.01	0.10	3.05	2.87	3.24
Alcalinidad Total	mg/L CaCO3	2.00	5.00	21.73	20.45	22.15
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0.4	2.0	1848.6	1472.8	2639.1
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	4937.2	3920.5	5452.4
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.0	5.0	645.4	834.9	942.5

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M.= Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M., indicado, "---"= Analizado

Nota:

Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización del ICSM S.A.C.



Ing. José Luis Inca Gómez CIP: 219478
 Jefe de División de Investigación y Desarrollo
 Instituto Científico Sostenible Minero S.A.C

**** FIN DEL INFORME ****

INFORME DE ENSAYO N° 3972024
VALOR OFICIAL



Nombre del Cliente : Sheyla Lizett Romero Soto , Jhissabell Saraid Vedia Pucuhuanca
 Proyecto : Tratamiento de agua mieles de café mediante sistemas físicos, biológicos y de coagulantes naturales
 Descripción : Análisis de las muestras Post-tratamiento del agua miel de café

I.DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : Pichanaki - Junín
 Plan de Muestreo : Realizado por Cliente
 Cantidad de Muestras : 18
 Producto : Agua Residual
 Condición de la Muestra : Buen estado
 Código ICSM : 3972024
 Fecha de Recepción : 18/04/2024
 Fecha de Ensayo : 18/04/2024
 Fecha de Emisión : 24/04/2024

II.MÉTODOS DE REFERENCIA

Parámetros	Norma de referencia	Título
Nitrato	SM Part 4500-NO3- B , 23rd. Ed. 2017	Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO3B , 23rd. Ed. 2017
Fosfato	SM Part 4500-P E, 23rd. Ed. 2017	Phosphorus. Ascorbic Acid Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd. Ed. 2017
Alcalinidad Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B,24th td.2023	Alkalinity.Titration Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM Part 5210 B, 23rd. Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5210 B, 23rd. Ed. 2017
Demanda Química de Oxígeno	SM Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017
Sólidos Suspendedos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2023.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

**INFORME DE ENSAYO Nº 3512024
 VALOR OFICIAL**
III. RESULTADOS

Código de Laboratorio				3972024.01	3972024.02	3972024.03
Código de Cliente				PM2	PM3	PM4
Descripción				AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento
Fecha de Muestreo				17/04/24	17/04/24	17/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Nitrato	mg/L	0.04	0.05	0.75	0.64	8.23
Fosfato	mg/L	0.01	0.10	2.84	1.43	2.85
Alcalinidad Total	mg/L CaCO3	2.00	5.00	18.49	17.36	18.97
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0.4	2.0	846.3	352.7	2148.6
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	2648.1	1078.5	4752.8
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.0	5.0	462.8	795.7	658.2

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M.= Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M., indicado, "---"= Analizado

Nota:

Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización del ICSM S.A.C.



Ing. José Luis Inca Gómez CIP: 219478
 Jefe de División de Investigación y Desarrollo
 Instituto Científico Sostenible Minero S.A.C

**** FIN DEL INFORME****

INFORME DE ENSAYO N° 4112024
VALOR OFICIAL



Nombre del Cliente : Sheyla Lizett Romero Soto , Jhissabell Saraid Vedia Pucuhuanca
 Proyecto : Tratamiento de agua mieles de café mediante sistemas físicos, biológicos y de coagulantes naturales
 Descripción : Análisis de las muestras Post-tratamiento del agua miel de café

I.DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : Pichanaki - Junín
 Plan de Muestreo : Realizado por Cliente
 Cantidad de Muestras : 18
 Producto : Agua Residual
 Condición de la Muestra : Buen estado
 Código ICSM : 4112024
 Fecha de Recepción : 24/04/2024
 Fecha de Ensayo : 24/04/2024
 Fecha de Emisión : 30/04/2024

II.MÉTODOS DE REFERENCIA

Parámetros	Norma de referencia	Título
Nitrato	SM Part 4500-NO3- B , 23rd. Ed. 2017	Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO3B , 23rd. Ed. 2017
Fosfato	SM Part 4500-P E, 23rd. Ed. 2017	Phosphorus. Ascorbic Acid Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd. Ed. 2017
Alcalinidad Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B,24th td.2023	Alkalinity.Titration Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM Part 5210 B, 23rd. Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5210 B, 23rd. Ed. 2017
Demanda Química de Oxígeno	SM Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2023.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

**INFORME DE ENSAYO Nº 3512024
 VALOR OFICIAL**
III. RESULTADOS

Código de Laboratorio		4112024.01	4112024.02	4112024.03		
Código de Cliente		PM2	PM3	PM4		
Descripción		AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento		
Fecha de Muestreo		23/04/24	23/04/24	23/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Nitrato	mg/L	0.04	0.05	0.52	0.47	6.91
Fosfato	mg/L	0.01	0.10	2.38	0.92	1.65
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	2.00	5.00	14.62	12.48	15.20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0.4	2.0	472.9	9.6	1743.2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	1754.8	35.8	3529.0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.0	5.0	152.3	256.7	138.6

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M.= Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M., indicado, "---"= Analizado

Nota:

Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización del ICSM S.A.C.



Ing. José Luis Inca Gómez CIP: 219478
 Jefe de División de Investigación y Desarrollo
 Instituto Científico Sostenible Minero S.A.C

**** FIN DEL INFORME****

INFORME DE ENSAYO Nº 3852024
VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : Sheyla Lizett Romero Soto , Jhissabell Saraid Vedia Pucuhuanca
 Proyecto : Tratamiento de agua mieles de café mediante sistemas físicos, biológicos y de coagulantes naturales
 Descripción : Análisis de las muestras Post-tratamiento del agua miel de café

I.DATOS DE LA**MUESTRA**

Procedencia : Pichanaki - Junín
 Plan de Muestreo : Realizado por Cliente
 Cantidad de Muestras : 21
 Producto : Agua Residual
 Condición de la Muestra : Buen estado
 Código ICSM : 3852024
 Fecha de Recepción : 11/04/2024
 Fecha de Ensayo : 11/04/2024
 Fecha de Emisión : 17/04/2024

II.MÉTODOS DE REFERENCIA

Parámetros	Norma de referencia	Título
Demanda Química de Oxígeno	SM Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017



**INFORME DE ENSAYO Nº 3852024
VALOR OFICIAL**

III. RESULTADOS

				Código de Laboratorio	3852024.01	3852024.02	3852024.03
				Código de Cliente	PM2	PM3	PM4
				Descripción	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento
				Fecha de Muestreo	04/04/24	04/04/24	04/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	7449.5	7419.7	7692.8	

				Código de Laboratorio	3852024.04	3852024.05	3852024.06
				Código de Cliente	PM2	PM3	PM4
				Descripción	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento
				Fecha de Muestreo	05/04/24	05/04/24	05/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	7218.2	7125.0	7501.7	

				Código de Laboratorio	3852024.07	3852024.08	3852024.09
				Código de Cliente	PM2	PM3	PM4
				Descripción	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento
				Fecha de Muestreo	06/04/24	06/04/24	06/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	6832.5	6894.2	6974.9	

**INFORME DE ENSAYO Nº 3852024
VALOR OFICIAL**



Código de Laboratorio		3852024.10	3852024.11	3852024.12		
Código de Cliente		PM2	PM3	PM4		
Descripción		AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento		
Fecha de Muestreo		07/04/24	07/04/24	07/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	6481.8	6218.9	6298.3

Código de Laboratorio		3852024.13	3852024.14	3852024.15		
Código de Cliente		PM2	PM3	PM4		
Descripción		AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento		
Fecha de Muestreo		08/04/24	08/04/24	08/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	5862.5	6023.8	5892.5

Código de Laboratorio		3852024.16	3852024.17	3852024.18		
Código de Cliente		PM2	PM3	PM4		
Descripción		AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento		
Fecha de Muestreo		09/04/24	09/04/24	09/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	5128.4	4472.4	5641.8

INFORME DE ENSAYO Nº 3852024
VALOR OFICIAL

Código de Laboratorio				3852024.19	3852024.20	3852024.21
Código de Cliente				PM2	PM3	PM4
Descripción				AR.Post- Tratamiento	AR.Post- Tratamiento	AR.Post- Tratamiento
Fecha de Muestreo				10/04/24	10/04/24	10/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	4937.2	3920.5	5452.4

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M.= Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M., indicado, "--"= Analizado

Nota:

Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización del ICSM S.A.C.



Ing. José Luis Inca Gómez CIP: 219478
 Jefe de División de Investigación y Desarrollo
 Instituto Científico Sostenible Minero S.A.C

**** FIN DEL INFORME ****

**INFORME DE ENSAYO N° 3982024
VALOR OFICIAL**

Nombre del Cliente : Sheyla Lizett Romero Soto , Jhissabell Saraid Vedia Pucuhuanca
 Proyecto : Tratamiento de agua mieles de café mediante sistemas físicos, biológicos y de coagulantes naturales
 Descripción : Análisis de las muestras Post-tratamiento del agua miel de café

I.DATOS DE LA**MUESTRA**

Procedencia : Pichanaki - Junín
 Plan de Muestreo : Realizado por Cliente
 Cantidad de Muestras : 21
 Producto : Agua Residual
 Condición de la Muestra : Buen estado
 Código ICSM : 3982024
 Fecha de Recepción : 18/04/2024
 Fecha de Ensayo : 18/04/2024
 Fecha de Emisión : 24/04/2024

II.MÉTODOS DE REFERENCIA

Parámetros	Norma de referencia	Título
Demanda Química de Oxígeno	SM Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017



**INFORME DE ENSAYO N° 3982024
VALOR OFICIAL**

III. RESULTADOS

Código de Laboratorio				3982024.01	3982024.02	3982024.03
Código de Cliente				PM2	PM3	PM4
Descripción				AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento
Fecha de Muestreo				11/04/24	11/04/24	11/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	4425.8	3742.0	5401.2

Código de Laboratorio				3982024.04	3982024.05	3982024.06
Código de Cliente				PM2	PM3	PM4
Descripción				AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento
Fecha de Muestreo				12/04/24	12/04/24	12/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	4107.8	3145.3	5341.3

Código de Laboratorio				3982024.07	3982024.08	3982024.09
Código de Cliente				PM2	PM3	PM4
Descripción				AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento
Fecha de Muestreo				13/04/24	13/04/24	13/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	3519.4	2812.4	5209.0

INFORME DE ENSAYO N° 3982024
VALOR OFICIAL

Código de Laboratorio		3982024.10	3982024.11	3982024.12		
Código de Cliente		PM2	PM3	PM4		
Descripción		AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento		
Fecha de Muestreo		14/04/24	14/04/24	14/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	3182.9	2479.0	5158.8

Código de Laboratorio		3982024.13	3982024.14	3982024.15		
Código de Cliente		PM2	PM3	PM4		
Descripción		AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento		
Fecha de Muestreo		15/04/24	15/04/24	15/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	2809.2	2190.6	5092.1

Código de Laboratorio		3982024.16	3982024.17	3982024.18		
Código de Cliente		PM2	PM3	PM4		
Descripción		AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento		
Fecha de Muestreo		16/04/24	16/04/24	16/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	2871.4	2052.8	4813.7

INFORME DE ENSAYO Nº 3982024
VALOR OFICIAL

Código de Laboratorio				3982024.19	3982024.20	3982024.21
Código de Cliente				PM2	PM3	PM4
Descripción				AR.Post- Tratamiento	AR.Post- Tratamiento	AR.Post- Tratamiento
Fecha de Muestreo				17/04/24	17/04/24	17/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	2648.1	1078.5	4752.8

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M.= Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M., indicado, "--"= Analizado

Nota:

Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización del ICSM S.A.C.



The image shows the official seal of ICSM (Instituto Científico Sostenible Minero) on the left, which is circular with the text 'INSTITUTO CIENTIFICO SOSTENIBLE MINERO' and 'ICSM' in the center. To the right of the seal is a handwritten signature in blue ink that reads 'Kuyf'.

Ing. José Luis Inca Gómez CIP: 219478
Jefe de División de Investigación y Desarrollo
Instituto Científico Sostenible Minero S.A.C

**** FIN DEL INFORME ****

**INFORME DE ENSAYO Nº 4122024
VALOR OFICIAL**



Nombre del Cliente : Sheyla Lizett Romero Soto , Jhissabell Saraid Vedia Pucuhuanca
 Proyecto : Tratamiento de agua mieles de café mediante sistemas físicos, biológicos y de coagulantes naturales
 Descripción : Análisis de las muestras Post-tratamiento del agua miel de café

I.DATOS DE LA

MUESTRA

Procedencia : Pichanaki - Junín
 Plan de : Realizado por Cliente
 Muestreo
 Cantidad de : 21
 Muestras
 Producto : Agua Residual
 Condición de la Muestra : Buen estado
 Código ICSM : 4122024
 Fecha de Recepción : 24/04/2024
 Fecha de Ensayo : 24/04/2024
 Fecha de Emisión : 30/04/2024

II.MÉTODOS DE REFERENCIA

Parámetros	Norma de referencia	Título
Demanda Química de Oxígeno	SM Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd. Ed. 2017



**INFORME DE ENSAYO N° 4122024
VALOR OFICIAL**

III. RESULTADOS

Código de Laboratorio				4122024.01	4122024.02	4122024.03
Código de Cliente				PM2	PM3	PM4
Descripción				AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento
Fecha de Muestreo				18/04/24	18/04/24	18/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	2598.7	981.5	4581.0

Código de Laboratorio				4122024.04	4122024.05	4122024.06
Código de Cliente				PM2	PM3	PM4
Descripción				AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento
Fecha de Muestreo				19/04/24	19/04/24	19/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	2357.6	743.2	4256.5

Código de Laboratorio				4122024.07	4122024.08	4122024.09
Código de Cliente				PM2	PM3	PM4
Descripción				AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento
Fecha de Muestreo				20/04/24	20/04/24	20/04/24
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	2152.0	495.8	3825.8

**INFORME DE ENSAYO Nº 4122024
VALOR OFICIAL**



Código de Laboratorio		4122024.10	4122024.11	4122024.12		
Código de Cliente		PM2	PM3	PM4		
Descripción		AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento		
Fecha de Muestreo		21/04/24	21/04/24	21/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	1894.7	182.3	3697.5

Código de Laboratorio		4122024.13	4122024.14	4122024.15		
Código de Cliente		PM2	PM3	PM4		
Descripción		AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento		
Fecha de Muestreo		22/04/24	22/04/24	22/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	1842.5	95.4	3658.6

Código de Laboratorio		4122024.16	4122024.17	4122024.18		
Código de Cliente		PM2	PM3	PM4		
Descripción		AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento	AR.Post-Tratamiento		
Fecha de Muestreo		23/04/24	23/04/24	23/04/24		
Parámetros	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	Resultados	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2.0	5.0	1754.8	35.8	3529.0



INFORME DE ENSAYO Nº 4122024
VALOR OFICIAL

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M.= Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M.,
indicado, "---"= Analizado

Nota:

Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización del ICSM S.A.C.



Ing. José Luis Inca Gómez CIP: 219478
Jefe de División de Investigación y Desarrollo
Instituto Científico Sostenible Minero S.A.C

**** FIN DEL INFORME****