

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**

**INFLUENCIA DE *Eichhornia crassipes* Y *Lemna minor* EN LA
DEPURACIÓN DE LAS AGUAS MIELES DEL CAFÉ
PROVENIENTES DEL BENEFICIO HÚMEDO**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

AUTORES : Bach. Elder Jhon Goicochea Pomachari

Bach. Kevin Chavez Gonzales.

ASESOR : M. Cs. Adán Díaz Ruiz

**Línea de investigación: Conservación, manejo y aprovechamiento de los recursos
naturales.**

JAÉN – PERÚ, 2025

Elder J. Goicochea Pomachari Kevin Chávez Gonzál...

INFLUENCIA DE *Eichhornia crassipes* Y *Lemna minor* EN LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS MIELES DEL CAFÉ PROVENIEN...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::1:3212157024

70 Páginas

Fecha de entrega
10 abr 2025, 5:05 p.m. GMT-5

11.080 Palabras

Fecha de descarga
10 abr 2025, 5:08 p.m. GMT-5

58.994 Caracteres

Nombre de archivo
CH_VES_GONZALES, Kevin_IFA_7_04_25_-_jhon_goicochea_pomachari.pdf

Tamaño de archivo
3.0 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN

Dr. Alexander Huásmán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

12% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Small Matches (less than 15 words)

Top Sources

- 10% Internet sources
- 3% Publications
- 8% Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 11 de abril del año 2025, siendo las 15:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. James Tirado Lara
Secretario : Dr. Lupo Leonidas Varas Ponce
Vocal : Dr. Cirilo Mario Caira Mamani

para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **INFLUENCIA DE *Eichhornia crassipes* Y *Lemna minor* EN LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS MIELES DEL CAFÉ PROVENIENTES DEL BENEFICIO HÚMEDO**, presentado por el estudiante/egresado o Bachiller (es) Elder Jhon Goicochea Pomachari y Kevin Chavez Gonzales, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- (X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 16.00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Presidente



Secretario



Vocal

“año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, **Elder Jhon Goicochea Pomachari**, egresado de la carrera Profesional de **Ingeniería Forestal y Ambiental** de la Facultad de **Ingeniería Forestal y Ambiental** de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI **61683682**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“INFLUENCIA DE *Eichhornia crassipes* Y *Lemna minor* EN LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS MIELES DEL CAFÉ PROVENIENTES DEL BENEFICIO HÚMEDO”.

Asesorado por **M. Cs. Adán Díaz Ruiz**.

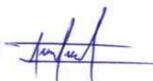
El mismo que presento bajo la modalidad de requisito para optar; el Título Profesional/Grado Académico de **Título Profesional**.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 13 de Mayo... de 2025.

Elder Jhon Goicochea Pomachari



Nombre, firma y huella del autor.

“año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, **Kevin Chavez Gonzales**, egresado de la carrera Profesional de **Ingeniería Forestal y Ambiental** de la Facultad de **Ingeniería Forestal y Ambiental** de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI **77096488**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“INFLUENCIA DE *Eichhornia crassipes* Y *Lemna minor* EN LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS MIELES DEL CAFÉ PROVENIENTES DEL BENEFICIO HÚMEDO”.

Asesorado por **M. Cs. Adán Díaz Ruiz**.

El mismo que presento bajo la modalidad de requisito para optar; el Título Profesional/Grado Académico de **Título Profesional**.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 13 de Mayo de 2025.

Kevin Chavez Gonzales



Nombre, firma y huella del autor.

Índice General

Índice General.....	vii
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras	x
Índice de Anexos	xi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
2.1 Localización	4
2.2 Materiales, equipos y herramientas	6
2.3 Muestra y muestreo	7
2.4 Diseño de la investigación.....	8
2.4.1. Hipótesis.....	8
2.4.2. Variables	8
2.5 Metodología de la investigación.....	8
2.5.1. Tipo de investigación	8
2.6 Metodología.....	9
2.6.1. Instalación del sistema depurativo	9
2.6.2. Caracterización de las aguas mieles de café (<i>Coffea arabica</i>).....	10
2.6.3. Caracterización de las aguas mieles de café con intervención de las macrófitas y testigo.	11
2.6.4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos	11
2.7 Diseño experimental.....	13
2.8 Tratamiento de datos	14
III. RESULTADOS	15
3.1 Caracterización de los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café....	15

3.2	Caracterización de los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café con intervención de macrófitas acuáticas y testigo.....	15
3.3	Efecto de los fitorremediadores <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna minor</i> en los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café.	18
IV.	DISCUSIÓN	21
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
5.1	Conclusiones	25
5.2	Recomendaciones.....	26
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
	DEDICATORIA.....	32
	AGRADECIMIENTO.....	33
	ANEXOS.....	34

Índice de Tablas

Tabla 1.	Diseño de la ejecución experimental.....	14
Tabla 2.	Parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café en el día 1.....	15
Tabla 3.	Correlación entre los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café.....	18
Tabla 4.	Resumen del Test de Kruskal-Wallis y Comparaciones Múltiples de Nemenyi para evaluar diferencias significativas entre tratamientos, para cada parámetro fisicoquímico en los días 7, 14, 21 y 28 de evaluación.....	19
Tabla 5.	Resumen (promedio \pm desv. estándar) de los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café en los días 7, 14, 21 y 28 de evaluación.....	20

Índice de Figuras

Figura 1.	Mapa de ubicación de la finca “El Nogal”	5
Figura 2.	Sistema de depuración con macrófitas acuáticas y testigo.....	10
Figura 3.	Gráfico del pH de los tratamientos.....	16
Figura 4.	Gráfico de la turbidez de los tratamientos.....	16
Figura 5.	Gráfico de la conductividad eléctrica de los tratamientos.....	17
Figura 6.	Gráfico de la demanda química de oxígeno de los tratamientos.....	17
Figura 7.	Colecta de la especie vegetal <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)	53
Figura 8.	Instalación del sistema de depuración.....	53
Figura 9.	Recolección de muestras tratadas de los recipientes.....	54
Figura 10.	Traslado de las muestras de aguas mieles tratadas.....	54
Figura 11.	Muestras en el laboratorio de IFA.....	55
Figura 12.	Determinación del pH, a través del equipo HANNA modelo HI98129.....	55
Figura 13.	Determinación de la turbidez.....	56
Figura 14.	Lectura de la turbidez con equipo Turbiquiant modelo 1100 T.....	56
Figura 15.	Lectura de la conductividad eléctrica a través del equipo Multiparámetro modelo Multi 3630 IDS SET G.....	57
Figura 16.	Entrega de Muestras al laboratorio privado OIKOSLAB SAC.....	57
Figura 17.	Determinación de DQO en el laboratorio privado OIKOS LAB SAC.	58

Índice de Anexos

Anexo 1.	Ficha de recolección de datos en campo según diseño experimental...	34
Anexo 2.	Lectura de datos (código y resultados del software RStudio).....	35
Anexo 3.	Resumen del análisis de supuestos de Normalidad y Homogeneidad de Varianzas.....	36
Anexo 4.	Prueba de cumplimiento de supuestos de normalidad y homocedasticidad para las observaciones del día 7 (código y resultados del software RStudio).....	37
Anexo 5.	Prueba de cumplimiento de supuestos de normalidad y homocedasticidad para las observaciones del día 14 (código y resultados del software RStudio).....	38
Anexo 6.	Prueba de cumplimiento de supuestos de normalidad y homocedasticidad para las observaciones del día 21 (código y resultados del software RStudio).....	39
Anexo 7.	Prueba de cumplimiento de supuestos de normalidad y homocedasticidad para las observaciones del día 28 (código y resultados del software RStudio).....	40
Anexo 8.	Resumen de los resultados (p-valor) del Test de Kruskal-Wallis y Test de Comparaciones múltiples de Nemenyi.....	41
Anexo 9.	Test de Kruskal-Wallis y Test de Comparaciones múltiples de Nemenyi para las observaciones del día 7 (código y resultados del software RStudio).....	42
Anexo 10.	Test de Kruskal-Wallis y Test de Comparaciones múltiples de Nemenyi para las observaciones del día 14 (código y resultados del software RStudio).....	44
Anexo 11.	Test de Kruskal-Wallis y Test de Comparaciones múltiples de Nemenyi para las observaciones del día 21 (código y resultados del software RStudio)	46

Anexo 12.	Test de Kruskal-Wallis y Test de Comparaciones múltiples de Nemenyi para las observaciones del día 28 (código y resultados del software RStudio).....	48
Anexo 13.	Resultados del parámetro DQO en el Laboratorio privado OIKOSLAB SAC.....	50
Anexo 14.	Comparación de resultados con ECA peruano según Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.....	51
Anexo 15.	Panel fotográfico de los pasos ejecutados.....	52
Anexo 16.	DS N° 004-2017-MINAM. ECA - Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.....	58
Anexo 17.	Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.....	59

RESUMEN

El objetivo fue determinar la influencia de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en la depuración de las aguas mieles del café provenientes del beneficio húmedo. Se instalaron nueve recipientes de plástico en la finca “El Nogal”. Se recolectó 216 litros de aguas mieles, de un mismo día, de lavado de café para colocar 24 L en cada recipiente, en cada uno de tres recipientes se colocaron 300 g de *E. crassipes* (Jacinto de agua), en otros tres se colocaron 300 g de *L. minor* (Lenteja de agua) y los tres restantes como testigo. Se evaluó el pH, turbidez, conductividad eléctrica y demanda química de oxígeno (DQO) los días 1, 7, 14, 21, 28. Al término de los 28 días con intervención de *E. crassipes* los resultados fueron: pH 6.24; turbidez 121.5 NTU; conductividad eléctrica 1484 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y DQO 517 mg/L; con intervención de *L. minor* fueron: pH 6.92; turbidez 184.4 NTU; conductividad eléctrica 1706 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y DQO 328 mg/L. La especie vegetal *E. crassipes* logró mejores resultados para turbidez y conductividad eléctrica, y la especie vegetal *L. minor* para pH y DQO. Las dos especies vegetales tienen efecto significativo en la depuración de aguas mieles del café.

Palabras clave: Jacinto de agua, Lenteja de agua, fitorremediación, aguas mieles de café.

ABSTRACT

The objective was to determine the influence of *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor* on the purification of coffee honey water from the wet mill. Nine plastic containers were installed on the “El Nogal” farm. 216 liters of honey water was collected from the same day, from washing coffee to place 24 L in each container, in each of three containers 300 g of *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) were placed, in three others 300 were placed. g of *Lemna minor* (Duckweed) and the remaining three as control. The pH, turbidity, electrical conductivity and chemical oxygen demand (COD) were evaluated on days 1, 7, 14, 21, 28. At the end of the 28 days with *E. crassipes* intervention, the results were: pH 6.24; turbidity 121.5 NTU; electrical conductivity 1484 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and COD 517 mg/L; with intervention of *L. minor* were: pH 6.92; turbidity 184.4 NTU; electrical conductivity 1706 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and COD 328 mg/L. The plant species *E. crassipes* achieved better results for turbidity and electrical conductivity, and the plant species *L. minor* for pH and COD. The two plant species have a significant effect on the purification of coffee honey water.

Keywords: Water hyacinth, duckweed, phytoremediation, coffee honey waters.

I. INTRODUCCIÓN

Sociedad de Comercio Exterior del Perú (2023) indica que en Perú se produce 345,000 hectáreas de cultivo de café. A nivel departamental, Cajamarca lidera la producción con un volumen de 76,821 toneladas. Luego se encuentran San Martín con 69,950 toneladas, Junín con 65,951 toneladas, Amazonas con 53,941 toneladas y finalmente, Cusco completa el ranking con 27,662 toneladas. AgroPerú informa (2024) dio a conocer que Perú exportó 60,132 toneladas de café hasta mayo de 2024 y Agencia Agraria de Noticias (2024) dio a conocer que solo en julio del 2024 se exportó 32,308 toneladas. El Gobierno Regional Cajamarca (2021) registra una producción del 20.8%, se observa una especial concentración en San Ignacio con el 12,6%, Jaén 7,3%, Cutervo 0,6%, San Miguel 0,2% y Chota 0,1%.

En este contexto, si bien es cierto, esto trae desarrollo para la provincia de San Ignacio y el país, pero también trae consigo un serio problema para los productores y población, puesto que, dentro del proceso de obtención de café se vierte grandes cantidades de aguas mieles, las mismas que alteran significativamente el medio ambiente, trayendo como consecuencia contaminación del suelo, agua y seres vivos. Campos y Durán (2019) reportaron que el agua miel proveniente del proceso de lavado del café tiene propiedades fisicoquímicas nocivas para el medio ambiente por su bajo pH, alta acidez y alta concentración de materia orgánica lo que lleva a un índice de contaminación de 60 a 240 veces mayor que las aguas residuales domésticas.

Todos los años se presentan problemas en el procesamiento del café; siendo el Santuario Nacional Tabaconas Namballe una de las zonas afectadas por malas prácticas en el beneficio húmedo del café, en la cual, se cosecha las cerezas de café, se despulpa, se fermenta y se lava, produciendo aguas mieles que son arrojadas al suelo, estas llegan a los cuerpos de agua y modifican sus características fisicoquímicas perjudicando el desarrollo de toda especie en los ríos de las cuencas de las zonas cafetaleras como Tabaconas, Chinchipe, Canchis y otros del norte del Perú (Huaman, 2018).

Las aguas mieles son contaminantes orgánicos producidos en las actividades agroindustriales y con frecuencia son vertidos al suelo, llegando a contaminar los cuerpos de agua como los ríos, riachuelos, aguas subterráneas. Las aguas mieles de café tienen alto poder contaminante, pueden degradar todo un ecosistema, afectando así la salud del hombre, plantas y animales. Estas aguas al no ser tratadas previamente modificarán el pH del suelo y al ser escurridas a los cuerpos de agua alterarán su composición, por lo tanto, el impacto que producen en el ecosistema es altamente nocivo y para evitarlo se debe tomar medidas de prevención mediante tratamiento previo antes de ser vertidas al suelo y cuerpos de agua (Fernández et al., 2020).

Porras y Silva (2022) en su tesis Evaluación del tratamiento de aguas residuales de un restaurante, con un filtro de macrófitas en flotación a escala laboratorio, en Bogotá-Colombia, usaron *E. crassipes* y *Lemna minor* para evaluar la turbidez, demanda química de oxígeno (DQO), pH, grasas y detergentes, en la salida de un reactor batch a escala de laboratorio. El tratamiento se hizo en tres tiempos de 5, 10 y 15 días. Con *E. crassipes* lograron los mejores resultados, 94.97% de remoción de turbidez en 10 días y 73.98% de remoción de DQO en 15 días; y con *Lemna minor* lograron la mejor remoción de grasas del 98.65% en 10 días.

Guio y Toscano (2018) plantearon un sistema experimental a través de un humedal artificial con proceso de fitorremediación usando *E. crassipes*, como alternativa para efectuar el tratamiento en muestras de agua de un canal en Bogotá-Colombia. Durante el periodo de estudio, observaron una disminución considerable de la turbidez, arrojando porcentajes mayores al 70%, mejorando la calidad del agua, indican que la macrófita acuática efectuó los procesos de depuración con mucha eficiencia.

Fernández y Noguera (2019) evaluaron la capacidad fitorremediadora del Jacinto de agua (*E. crassipes*) en dos tiempos de retención hidráulica como alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD) en el corregimiento de Usenda, Silvia – Cauca en Colombia, para ello caracterizaron los parámetros fisicoquímicos de pH, conductividad, alcalinidad, nitratos, fosfatos, DBO, y turbidez a la entrada y salida del sistema. Establecieron dos tiempos de retención hidráulica de 6 y 12 días durante tres meses, utilizaron 5 tanques de plástico de 200 L como sedimentador para las ARD, de los cuales 4 tenían Jacinto de agua y un control. Reportaron que en cuanto al pH al día 6 alcanzó 8.03 y

al día 12 alcanzó 7.47, en conductividad eléctrica al día 6 alcanzó 320,57 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y al día 12 alcanzó 188,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en turbidez al día 6 alcanzó 18,28 NTU y al día 12 alcanzó 49,94 NTU. Concluyeron que los humedales artificiales con la planta Jacinto de agua son eficientes para ser implementados a escala real en el tratamiento de ARD.

Enriquez (2019) comprobó la eficiencia de *E. crassipes* y *L. minor* para mejorar la calidad del agua residual de una planta agroindustrial, Chiclayo - Perú. Utilizó un diseño no experimental longitudinal, con una muestra de 60 L, elaboró dos humedales artificiales de flujo superficial horizontal; el monitoreo del agua se dio en 3 periodos cada 7 días. Los resultados que obtuvo fueron los siguientes: con *E. crassipes* hubo remoción de un 90% en cuanto a turbidez, 100% en DQO, 98% en DBO, aumento en el oxígeno disuelto, en el pH y conductividad eléctrica. Con *L. minor* remoción de 92% en turbidez, 100% en DQO, 98% en DBO, aumento en el oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica.

La presente investigación se justifica porque propone el empleo de plantas fitorremediadoras como *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* para la depuración de las aguas mieles, con la finalidad de reúso en el proceso de laboreo y riego. De esta manera se contribuye al cuidado del medio ambiente y se promueve el uso racional del recurso agua, el agua depurada estará nuevamente a disposición de hombre para ser reusada. Por otra parte, la depuración de aguas mieles evita enfermedades que producen las aguas contaminadas, principalmente diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielititis. Asimismo, se promueve el empleo de sistemas sencillos y económicos para depurar éstas aguas contaminadas y se evita la proliferación de plagas y enfermedades en los cultivos.

Bajo este contexto se deduce que las plantas macrófitas acuáticas son eficientes en la depuración de diferentes tipos de aguas residuales y cuerpos de agua, razón por el cual, esta investigación experimental tiene como objetivo determinar la influencia de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en la depuración de las aguas mieles del café provenientes del beneficio húmedo. Se trazaron los siguientes objetivos específicos, a) caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café, b) caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles del café con intervención de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* cada semana durante cuatro semanas y c) analizar el efecto de los fitorremediadores *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en pH, turbidez, conductividad y demanda química de oxígeno (DQO) de aguas mieles de café después de ser tratadas

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización

La Finca “El Nogal”, perteneciente al centro poblado Santo Domingo, distrito Huabal, provincia Jaén, región Cajamarca; con coordenadas UTM: Este 725804 y Norte 9381623 a una altitud de 1589 m.s.n.m. Cuenta con la variedad de café Catimor rojo, asociada a cultivos temporales como el maíz, yuca, plátanos y especies forestales como el laurel, cedro rojo, eucalipto saligna, balsa, entre otros; presenta un relieve accidentado, suelos francos limosos, en su hidrología se encuentra la quebrada Chorro blanco.

El clima es típicamente cálido y húmedo, con variaciones según la temporada:

Temporada de Lluvias: Desde diciembre hasta marzo, con lluvias frecuentes.

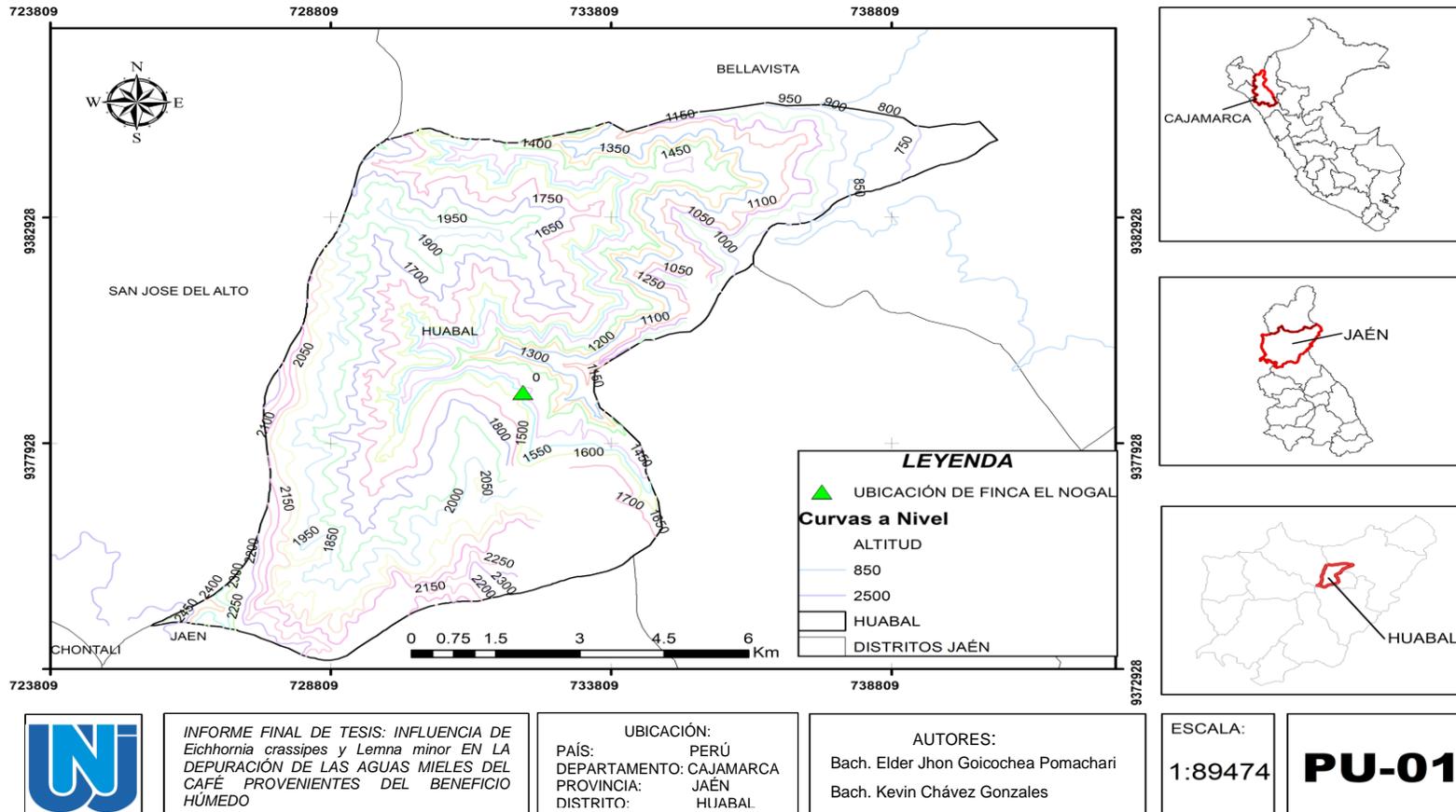
Temporada seca: De abril a noviembre.

Temperatura: Oscila entre 15 °C y 30 °C.

Humedad: Bastante alta, especialmente durante la temporada de lluvia

Figura 1

Mapa de ubicación de la finca “El Nogal”



2.2 Materiales, equipos y herramientas

Materiales de oficina

- Calculadora (fx-83GT PLUS, Cassio)
- Impresora (L3210, Epson)
- Laptop (Thinkpad L15 Gen 1, Lenovo)

Materiales de campo

- Botellas de vidrio de 500 mL para el muestreo
- Recipientes de plástico de 30 L de capacidad
- Baldes de plástico (Fadesa)
- Cámara fotográfica (P30 lite, Huawei)

Material de laboratorio

- 02 vasos de precipitación de 50 mL
- Pipeta de vidrio
- Tubos de vidrio
- Gradilla

Equipo de laboratorio

- pH-metro (HI98129, HANNA instrumentos)
- Multiparámetro (Multi 3630 IDS SET G, WTW)
- Turbidímetro (Turbiquiant 1100 T, MERCK)

Herramientas

- Palana
- Picota
- Cinta métrica
- Machete

2.3 Muestra y muestreo

Muestra

Constituida por 216 L de aguas mieles de café producidos en un mismo día de laboreo, correspondiente al beneficio húmedo de café de una misma cosecha, para llenar nueve recipientes con 24 L cada uno.

Para determinar la muestra de aguas mieles se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

- El diseño experimental: 3 tratamientos; incluyendo el testigo sin intervención, con tres repeticiones cada uno ($3 \times 3 = 9$).
- La cantidad de recipientes (9 unidades).
- La capacidad de cada recipiente fue de 30 L, pero solo se puso 24 L.
- Cálculo del volumen total de muestra de aguas mieles utilizado.
 $V = \text{cantidad en L de cada recipiente} \times \text{cantidad de recipientes}$
 $V = 24 \text{ L} \times 9 = 216 \text{ L}$
- Se utilizó 216 L de aguas mieles.

Muestreo

No probabilístico, a criterio de los investigadores.

- En un día de laboreo se obtuvo 500 L de agua miel, a partir del lavado de 83 kg de café fresco aproximadamente, recolectados en un tanque, se homogenizó y luego se procedió a extraer solo 216 L para llenar los 9 recipientes con 24 L cada uno.

2.4 Diseño de la investigación

2.4.1. Hipótesis

H₀: No existe influencia significativa de las especies *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) en la depuración de las aguas mieles del café provenientes del beneficio húmedo.

H₁: Existe influencia significativa de las especies *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) en la depuración de las aguas mieles del café provenientes del beneficio húmedo.

2.4.2. Variables

Variable independiente

- a) *Eichhornia crassipes*
- b) *Lemna minor*

Variable dependiente

- a) Potencial de hidrogeno en agua depurada de agua miel de café
- b) Turbidez en agua depurada de agua miel de café
- c) Conductividad en agua depurada de agua miel de café
- d) DQO en agua depurada de agua miel de café

2.5 Metodología de la investigación

2.5.1. Tipo de investigación

Experimental, existió manipulación de variables.

Longitudinal, datos obtenidos durante los días (1, 7, 14, 21, 28) especificados en el periodo de ejecución del estudio.

2.6 Metodología

2.6.1. Instalación del sistema depurativo

Para la instalación de los sistemas se tuvo en consideración el procedimiento usado por Bautista (2021).

- Se instaló nueve recipientes de plástico de 30 L de capacidad, en un ambiente acondicionado (infraestructura cercada, con techo) dentro de la finca “El Nogal”.
- Se recolectó 216 litros de aguas mieles de café producido en un mismo día de laboreo.
- Se llenó los nueve recipientes con 24 L de agua miel cada uno.
- Se colocó en cada uno de tres recipientes 300 g de *Lemna minor*, en otros tres, 300 g de *Eichhornia crassipes*, cubriendo homogéneamente la superficie del recipiente, así mismo, en los otros tres recipientes, no se colocó especies macrófitas (testigo).
- En el primer día, de los tres recipientes testigo se extrajo una muestra de cada uno para determinar los cuatro parámetros (pH, turbidez, conductividad, DQO) y se obtuvo los promedios con el cual inicia la investigación (Tabla 2). Dando cumplimiento al primer objetivo específico.
- En el día (7,14,21, 28) se extrajo muestras de los tres recipientes testigo, de los tres recipientes con *Eichhornia crassipes*, y los tres con *Lemna minor*. Se obtuvo promedios (Ver: figura 3, figura 4, figura 5, figura 6). Dando cumplimiento al segundo objetivo.

Figura 2

Sistema de depuración con macrófitas acuáticas y testigo



2.6.2. Caracterización de las aguas mieles de café (*Coffea arabica*)

Se determinó las características fisicoquímicas iniciales de pH, turbidez, conductividad eléctrica y demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas mieles de café de acuerdo a la metodología indicada en la sección 2.6.4.

Para obtener las muestras de los recipientes se realizó el muestreo considerando el procedimiento de Bautista (2021), y el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, aprobada por RM N° 273-2013-VIVIENDA. Ambos siguieron el siguiente procedimiento:

Utilizando guantes esterilizados se procedió a introducir el brazo dentro de los recipientes que contenían el agua miel para girar en el fondo con la finalidad de remover la materia orgánica y de esta manera tomar una muestra uniforme, luego se procedió a retirar la tapa de la botella de vidrio de 500 mL,

se enjuagó la botella dos veces con el agua miel, seguidamente se sumergió la botella a 5 cm de la superficie del flujo del agua y finalmente se rotuló cada muestra.

2.6.3. Caracterización de las aguas mieles de café con intervención de las macrófitas y testigo.

Las evaluaciones de los parámetros fisicoquímicos se realizaron durante cuatro semanas cada siete días (7, 14, 21 y 28). Se consideró este periodo de tiempo dado que se requiere evaluar la capacidad de remediación de las plantas en el menor tiempo posible y ver su viabilidad de aplicación por los caficultores y le den importancia a este método de purificación de las aguas mieles. El muestreo se realizó tal como se indica en la sección 2.6.2.

Las muestras fueron acondicionadas en botellas de vidrio con cierre hermético empleando un cooler con hielo. Un grupo fue trasladado a las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental (IFA) de la Universidad de Jaén para la determinación de pH, turbidez y conductividad eléctrica y otro grupo al laboratorio privado OIKOSLAB SAC para la determinación de DQO.

2.6.4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos

Determinación de Potencial de Hidrogeno (pH)

Se lavó el electrodo del pH-metro (HI98129, HANNA instrumentos) con agua destilada y secamos para introducirlo en la solución Buffer 7,01 hasta que estabilice y luego introducimos en la solución Buffer 4,01 para calibrar y esté listo para utilizarlo. El procedimiento se realizó de acuerdo al manual de instrucciones HI 98129 - HI 98130 medidores impermeables de pH, CE/TDS y temperatura (HANNA Instruments, s.f.). En un vaso de precipitados de 50 mL limpio y seco se colocó 30 mL de agua miel. Se introdujo el electrodo del pH-metro, se dejó estabilizar y se tomó la lectura de la pantalla.

Determinación de Turbidez

Se empleó el Turbidímetro (Turbiquant 1100 T, MERCK), que cuenta con patrones de calibración y frascos vacíos para las muestras a medir. Se calibró el turbidímetro según el Manual Turbiquant 1100 T (Merck, 2007) empleando patrones de calibración, luego se colocó 10 mL de agua miel en un frasco limpió, cerrado el mismo se giró varias veces y se vació el contenido (proceso de enjuague por dos veces). Se llenó el frasco con 15 mL de la muestra de agua miel y se cerró con la cubierta negra fotoprotectora, por último, usamos una franela que incluye en el Turbidímetro para secar, limpiar la parte externa del frasco y evitar que se dejen huellas dactilares. Realizado el proceso, se introduce el frasco en el compartimiento del equipo de manera que encaje dando giros lentos (en 360°), manteniendo apretado la tecla (flecha que indica a la izquierda) hasta que la indicación sea estable, luego soltamos la tecla y orientamos la flecha de marcación de la cubierta negra fotoprotectora con la marca en el compartimiento de luz y esperamos que el instrumento determine el valor medido para tomar lectura de la pantalla.

Determinación de conductividad eléctrica

Se empleó el multiparámetro (Multi 3630 IDS SET G, WTW), previamente se calibró sumergiendo el sensor conductimétrico IDS en la solución de control estándar según el procedimiento para instrumento de medición digital para sensores IDS (WTW, 2020). Realizado la calibración se lavó con agua destilada el sensor del conductimétrico, se secó y se configuró a la unidad de medida deseada ($\mu\text{S}/\text{cm}$), luego en un vaso de precipitados de 50 mL limpio y seco se colocó 30 mL de agua miel se introdujo el sensor de conductividad IDS y se realizó la medición y esperamos hasta que el instrumento estabilice e indique el valor medido para tomar lectura.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Se determinó en el laboratorio privado OIKOSLAB SAC siguiendo el método de reflujo cerrado usado por Delgado (2019).

Se puso a digestión 3 mL de la muestra con 3 mL de solución catalizadora y 3 mL de solución digestora a 150 °C por 2 h. Se valoró utilizando sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr) estandarizada y una solución previa más dicromato de potasio ácido en presencia del indicador Ferroína. Finalmente, se calcula el DQO con la siguiente fórmula:

$$\# \frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{DQO}) = \frac{(A - B)(80)(F)}{\text{mL de muestra}} \times 100$$

Donde:

A = ml consumidos de Sal de Mohr en el ensayo en blanco.

B = ml consumido de Sal de Mohr en la muestra.

F = factor de la Sal de Mohr.

$$\text{Factor} = \frac{(25) \times (0.05)}{\text{mL gastado de Sal de Mohr}}$$

2.7 Diseño experimental

La investigación es de tipo experimental longitudinal, con un diseño completamente aleatorizado (DCA), considerando como factor la especie vegetal con la que se tratarán las aguas mieles del café, las cuales son *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* y un testigo, quedando definidos de esta manera tres tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1

Diseño de la ejecución experimental

Tratamiento	Especie vegetal	Repetición
T0	Testigo	R1
		R2
		R3
T1	<i>Eichhornia crassipes</i>	R1
		R2
		R3
T2	<i>Lemna minor</i>	R1
		R2
		R3

T0 = Testigo

T1=Tratamiento uno

T2=Tratamiento dos

R1, R2 y R3 = Repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente

2.8 Tratamiento de datos

Consignados los datos, se les realizó un análisis descriptivo mediante gráfico de puntos y líneas para evaluar la evolución de los parámetros a través de los días de observación. Luego se comprobó el cumplimiento de supuestos de normalidad de los datos y homogeneidad de varianza, en cada uno de los días de evaluación, con las pruebas de Shapiro-Wilks y el test de Bartlett, con el primero se contrasta la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal o no y con el segundo se valida la hipótesis de que las varianzas de los tratamientos son iguales. Para ambos análisis se considera un nivel de 5% de significancia.

Como los resultados de los indicadores, en cada día de evaluación, no cumplieron los supuestos; se realizaron pruebas no paramétricas, primero se aplicó Kruskal-Wallis y posteriormente el test de comparaciones múltiples de Nemenyi para encontrar diferencias significativas entre los tratamientos, el análisis de los datos se realizó con el software estadístico libre RStudio.

III. RESULTADOS

3.1 Caracterización de los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café

En la Tabla 2 se muestran los valores de cada uno de los parámetros fisicoquímicos evaluados en las aguas mieles de café en el primer día. Se observa que inicialmente las aguas mieles de café presentaron un pH de 3.78, turbidez de 1100 NTU, conductividad eléctrica de 1417 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una demanda química de oxígeno de 7900 mg/L.

Tabla 2

Parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café en el día 1.

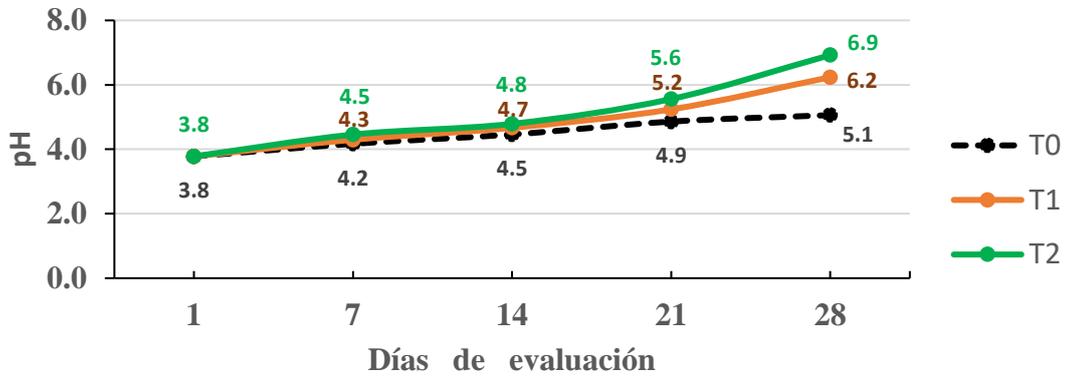
Parámetro	Resultado (Promedio)
Potencial de Hidrogeno (pH)	3.78
Turbidez	1100 NTU
Conductividad eléctrica	1417 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Demanda química de oxígeno	7900 mg/L

3.2 Caracterización de los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café con intervención de macrófitas acuáticos y testigo

Los datos experimentales de los parámetros fisicoquímicos se tienen en la tabla del anexo 1. La Figura 3 muestra los promedios de pH para cada tratamiento a través de los días de observación. Se puede ver que, el testigo aumenta de 3.8 en el día inicial hasta 5.1 en el día 28. En las aguas mieles con intervención de *Eichhornia crassipes* (T₁) el pH aumenta de 3.8 hasta 6.2 y en las aguas mieles con intervención de *Lemna minor* (T₂), aumenta de 3.8 a 6.9 en el mismo periodo de tiempo.

Figura 3

Gráfico del pH de los tratamientos

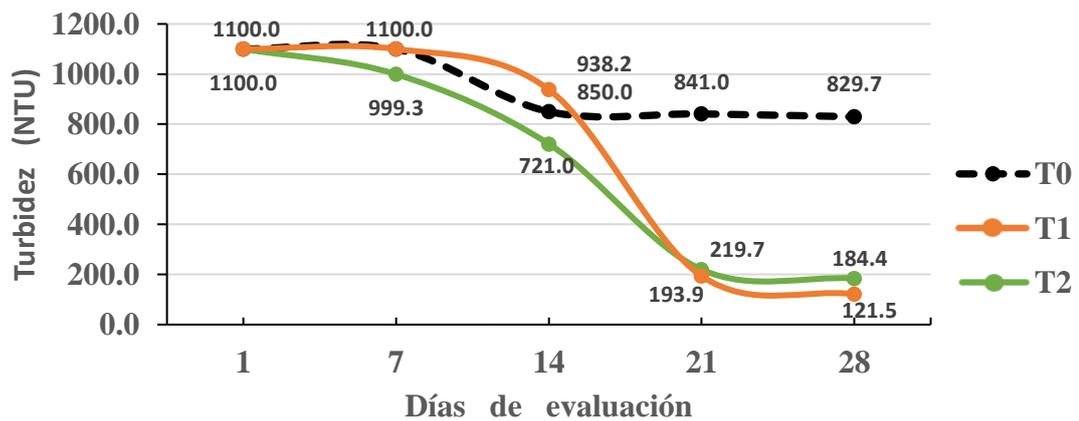


Nota: T0: Testigo, T1: *Eichhornia crassipes* y T2: *Lemna minor*

Los promedios de turbidez para cada tratamiento se muestran en la Figura 4. Se puede ver que, a través de los días de observación, el testigo disminuye de 1100 NTU en el día inicial hasta 829.7 NTU en el día 28. Con intervención de *Eichhornia crassipes* (T1) este indicador disminuye de 1100 NTU a 121.5 NTU; mientras que con la intervención de *Lemna minor* (T2), de 1100 NTU a 184.4 NTU.

Figura 4

Gráfico de la turbidez de los tratamientos



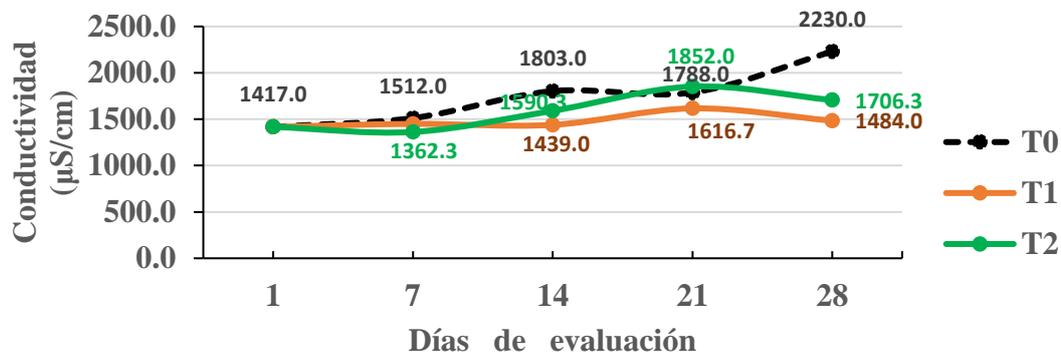
Nota: T0: Testigo, T1: *Eichhornia crassipes* y T2: *Lemna minor*

La Figura 5 muestra los promedios de conductividad eléctrica para cada tratamiento, se observa un aumento en el testigo de 1417 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el día inicial a 2230 $\mu\text{S}/\text{cm}$ al día 28. La conductividad eléctrica considerando la intervención de *Eichhornia*

crassipes (T₁) también aumentó, de 1417 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1484 $\mu\text{S}/\text{cm}$; mientras que con *Lemna minor* (T₂), aumentó de 1417 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1706.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 5

Gráfico de la conductividad eléctrica de los tratamientos

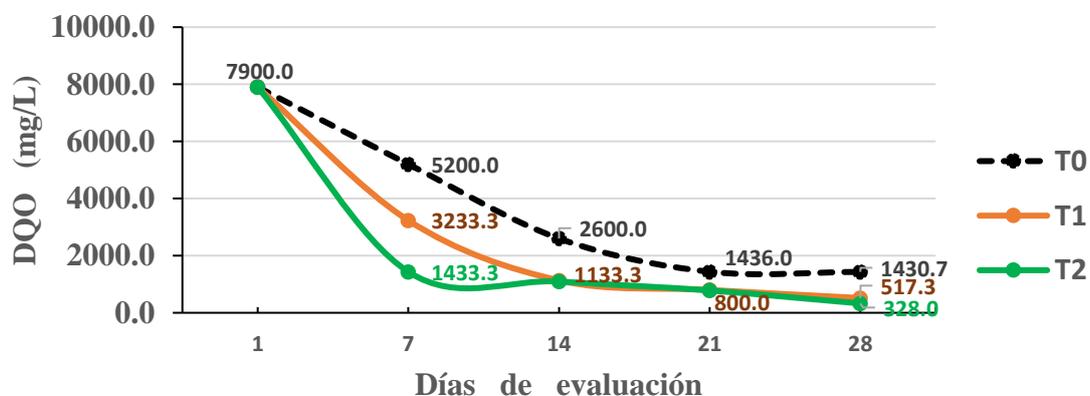


Nota: T0: Testigo, T1: *Eichhornia crassipes* y T2: *Lemna minor*

En lo concerniente al DQO, en la Figura 6 se puede ver que, tanto en los tratamientos con intervención de las especies vegetales, así como con el testigo, la demanda química de oxígeno disminuye a través de los días de observación. Con intervención de *Eichhornia crassipes* (T₁) disminuyó de 7900 mg/L a 517.3 mg/L y con *Lemna minor* (T₂) de 7900 mg/L a 328 mg/L; mientras que, con el testigo la observación finaliza con un valor de 1430.7 mg/L.

Figura 6

Gráfico de la demanda química de oxígeno de los tratamientos.



Nota: T0: Testigo, T1: *Eichhornia crassipes* y T2: *Lemna minor*

3.3 Efecto de los fitorremedidores *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café.

Antes de evaluar el efecto de los fitorremedidores en los parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de café, se analizó la correlación entre los parámetros, considerando los datos experimentales (Anexo1). En la tabla 3 se tienen los coeficientes de correlación de Spearman, donde se puede ver que, pH tiene una correlación negativa muy alta con Turbidez (NTU) y DQO (mg/L), con valores de -0.917 y -0.943, respectivamente. Mientras que Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) tiene una correlación negativa baja con Turbidez (NTU) y DQO (mg/L), con coeficientes de -0.406 y -0.343, respectivamente. Se puede ver también que la correlación entre pH y Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) es regular, en sentido positivo, con un coeficiente de correlación de 0.506.

Tabla 3

Correlación entre los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café.

Parámetros	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Turbidez (NTU)	-0.917*		
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0.506*	-0.406*	
DQO (mg/L)	-0.943*	0.877*	-0.343*

Nota: Los valores de la tabla representan coeficientes de correlación de Spearman que va de -1 a 1.

* Indica que el coeficiente de correlación es significativo, con p-valor <0.05

Como los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, (ver resumen de resultados en Anexo 2 y salida del software en Anexos 3, 4, 5 y 6) se realizaron pruebas no paramétricas para analizar las diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos, en cada día de evaluación; empleando el test de Kruskal-Wallis y posteriormente el test de Comparaciones Múltiples de Nemenyi, a un nivel de 5% de significancia (ver resultados en Anexo 7 y salida del software en Anexos 8, 9, 10 y 11)

En la Tabla 4 se muestra entre qué tratamientos se dieron las diferencias significativas para cada parámetro evaluado en los días 7, 14, 21 y 28.

Se puede ver que, para los valores de pH el tratamiento T2 presentó, significativamente mayores valores que el testigo T0 a lo largo de todo el estudio. Para turbidez, se observa que en los días 21 y 28 el testigo presentó, significativamente mayores resultados que T1. Para los valores de conductividad y DQO, al finalizar el estudio (día 28) el testigo obtuvo significativamente mayores valores que T2.

Tabla 4

Resumen del Test de Kruskal-Wallis y Comparaciones Múltiples de Nemenyi para evaluar diferencias significativas entre tratamientos, para cada parámetro fisicoquímico en los días 7, 14, 21 y 28 de evaluación

Días de evaluación	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	DQO (mg/L)
7	T2 > T0	No hay diferencias	No hay diferencias	T0 > T2
14	T2 > T0	T1 > T2	T0 > T2	No hay diferencias
21	T2 > T0	T0 > T1	No hay diferencias	No hay diferencias
28	T2 > T0	T0 > T1	T0 > T1	T0 > T2

Nota: El símbolo “>” indica que el tratamiento es mayor significativamente, mientras que “No hay diferencias” indica que no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, a un nivel de 5%.

El resumen (promedio \pm desv. estándar) de los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café en los días 7, 14, 21 y 28 de evaluación se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Resumen (promedio \pm desv. estándar) de los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café en los días 7, 14, 21 y 28 de evaluación

Días de evaluación	Tratamiento	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad (μ S/cm)	Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L
7	T0	4.2 ^b \pm 0.0	1100.0 ^a \pm 0.0	1512.0 ^a \pm 0.0	5200.0 ^a \pm 0.0
	T1	4.3 ^{ab} \pm 0.1	1100.0 ^a \pm 0.0	1449.7 ^a \pm 118.8	3233.0 ^{ab} \pm 651.0
	T2	4.5 ^a \pm 0.1	999.0 ^a \pm 174.0	1362.3 ^a \pm 43.3	1433.3 ^b \pm 115.5
14	T0	4.5 ^b \pm 0.0	850.0 ^{ab} \pm 0.0	1803.0 ^a \pm 0.0	2600.0 ^a \pm 0.0
	T1	4.7 ^{ab} \pm 0.0	938.2 ^a \pm 30.3	1439.0 ^{ab} \pm 129.3	1133.3 ^a \pm 155.3
	T2	4.8 ^a \pm 0.0	720.9 ^b \pm 39.4	1590.3 ^b \pm 9.8	1093.0 ^a \pm 274.0
21	T0	4.9 ^b \pm 0.0	841.0 ^a \pm 0.0	1788.0 ^a \pm 0.0	1436.0 ^a \pm 0.0
	T1	5.2 ^{ab} \pm 0.3	193.9 ^b \pm 15.9	1616.7 ^a \pm 170.3	800.0 ^a \pm 153.7
	T2	5.6 ^a \pm 0.3	219.7 ^{ab} \pm 28.6	1852.0 ^a \pm 26.3	780.0 ^a \pm 64.4
28	T0	5.1 ^b \pm 0.0	829.7 ^a \pm 0.0	2230.0 ^a \pm 0.0	1430.7 ^a \pm 4.6
	T1	6.2 ^{ab} \pm 1.0	121.5 ^b \pm 12.2	1484.0 ^b \pm 152.9	517.0 ^{ab} \pm 214.0
	T2	6.9 ^a \pm 0.0	184.4 ^{ab} \pm 41.8	1706.3 ^{ab} \pm 85.7	328.0 ^b \pm 35.6

Nota: El análisis de diferencias significativas se ha hecho de manera independiente para cada día de evaluación. Los promedios que no comparten la misma letra son estadísticamente diferentes, según Test de Kruskal-Wallis y posterior Comparaciones Múltiples de Nemenyi, con 5% de significancia.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados de la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de las aguas mieles de café en el primer día fueron: pH 3.78, turbidez 1100 NT, conductividad 1417 μ S/cm, DQO 7900 mg/L. Granda y Martínez (2020) determinaron un pH inicial de 3.63, Carrero y Tapia (2019) un pH de 3.30, Guaranguay y Orozco (2019) un pH de 3.71, según Granda y Martínez (2020) la menor acidez es posible que se deba a reacciones bioquímicas espontáneas de la descomposición de proteínas, entre la operación de despulpado y la toma del pH en el laboratorio. Es decir, desde que se despulpó el café, se produjo una oxidación de las sustancias sensibles al sol, pudiendo dar lugar al desprendimiento de iones de $[H^+]$ que bajan más la acidez del agua miel de café. Carrero y Tapia (2019) obtuvieron una turbidez inicial de 1745 NT, según Neira (2021) esto depende de la presencia de polifenoles y sólidos suspendidos. Carrero y Tapia (2019) obtuvieron una conductividad inicial de 1376 μ S/cm, Jaulis et al (2022) determinaron una conductividad 1678 μ S/cm, según Ariza et al (2022) se debe a la solubilidad de los compuestos minerales que están presentes durante el proceso de despulpado, la fermentación de la pulpa del café y la concentración del agua residual usada en los tratamientos. Guaranguay y Orozco (2019) determinaron un DQO inicial de 7143 mg/L, Acarley y Quipuzco (2020) obtuvieron 6720 mg/L. Mera y Rosales (2023) el DQO está en función del grado de concentración o dilución del agua miel; es decir, si se utiliza poca agua para el lavado de café el poder de contaminación puede llegar a altísimos valores.

En lo concerniente al indicador pH, la Lenteja de agua tuvo mejor influencia, dado que se logró elevar el pH hasta 6.92 y el Jacinto de agua a un pH de 6.24; teniendo en consideración que el pH inicial fue de 3.78; en este sentido, se puede afirmar, que la Lenteja de agua es mejor fitorremediador en este indicador para depurar aguas mieles del café provenientes del beneficio húmedo, por lo que, se coincide con Porras y Silva (2022) que obtuvieron un pH de 6,90 con Lenteja de agua, refiriendo que es mejor fitorremediador en cuanto a pH que el Jacinto de agua en aguas residuales urbanas. Enriquez (2019) con Lenteja de agua obtuvo un pH de 7.38 y con Jacinto de agua 7.47, ambas plantas son eficientes en la remoción de los contaminantes del agua residual de una planta agroindustrial. Tanto Lenteja de agua como Jacinto de agua, ambas aumentaron significativamente el pH, caso de nuestro estudio dio mejores resultados la Lenteja de agua, esto se debería quizá por el tipo de agua residual,

tiempo de evaluación y la ejecución de la experimentación. En cuanto a los ECA según el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM el pH alcanzado está dentro del rango para categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales cuyos valores oscilan entre un pH de: 6,5 – 8,5 y 6,5 – 8,4 respectivamente.

En cuanto a la turbidez, en nuestro estudio se percibe una disminución con ambas plantas, pero el tratamiento con intervención de Jacinto de agua logró disminuir la turbidez en mayor proporción (121.5 NTU) con respecto al tratamiento con Lenteja de agua, en este sentido se concuerda con Porras y Silva (2022) que obtuvieron una turbidez de 484 NTU refiriendo que el Jacinto de agua es más eficiente para tratamientos de agua residual doméstica en cuanto a turbidez; también para Enriquez (2019) el mejor fitorremediador para este parámetro en agua residual de una planta agroindustrial es el Jacinto de agua, ya que esta obtuvo al final del estudio 2.10 NTU. Guio y Toscano (2018) refieren que Jacinto de agua disminuye la turbidez porque desarrolla procesos biológicos relacionados directamente con la remoción de material orgánico, así mismo indican que para el parámetro de turbiedad la especie Jacinto de agua cuenta con un sistema radicular denso lo que facilita los procesos de adsorción y precipitación al interior del humedal, mejorando notablemente los procesos de remoción de dicho parámetro.

En lo referente a la conductividad eléctrica el Jacinto de agua alcanzó un valor de 1484 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la Lenteja de agua 1706 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en este sentido se concuerda con Fernández y Noguera (2019) que obtuvieron resultado de 188,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y que refieren que el Jacinto de agua es un excelente fitorremediador para el indicador conductividad eléctrica, por otro lado, también se coincide con Enriquez (2019) donde el Jacinto de agua obtuvo una conductividad de 1260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicando que esta macrófita es más efectiva que la Lenteja de agua. En cuanto a los ECA según el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM el valor alcanzado es menor que lo establecido para categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales cuyos valores respectivamente son 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En cuanto a Demanda Química de Oxígeno, la Lenteja de agua alcanzó una DQO de 328 mg/L, Jacinto de agua una DQO de 517 mg/L, respecto al DQO inicial (7900 mg/L), donde se percibe mejor capacidad fitorremediadora de la Lenteja de agua para aguas mieles de café coincidiendo con Ruiz (2018) que refiere que la Lenteja de agua es muy efectiva disminuyendo la DQO en aguas residuales, alcanzando un resultado de 76.96 mg/L a los 15

días, por otro lado, Vásquez (2018) refiere que en cuanto a fitorremediación de aguas procedentes de las pozas de oxidación la especie *Lemna minor* alcanzo un resultado de 57.76 mg/L lo que corresponde un porcentaje de disminución de 77.35% con respecto al inicial, también Enriquez (2019) da a conocer que *lemna minor* es mas eficiente en la remoción de los contaminantes del agua residual de la Planta Procesadora de Frutos Naturales, alcanzando un DQO de 58 mg/L y *Eichhornia crassipes* un DQO de 62 mg/L . En cuanto a los ECA según el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM el DQO alcanzado no pertenece al rango para categoría 3, cuyos valores oscilan entre un DQO de: 40 mg/L Riego de vegetales y 40 mg/L bebida de animales. Sin embargo, se observa una gran disminución de la DQO, por lo que, si se somete a un mayor periodo de tiempo a los tratamientos, los rangos de DQO pueden alcanzar y el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

En el último día de observación (día 28), el pH de las aguas mieles tratadas con *Lemna minor* (T2) fue de 6.9 y presentó diferencias significativas respecto al testigo, en tal sentido concuerda con Silupu (2022) que halló significancia en sus tratamientos *Lemna minor* (T2) y *Eichhornia crassipes* + *Lemna minor* (T3), sus resultados fueron 8.10 y 6.60 respectivamente. Respecto al indicador de turbidez en el último día de observación, se tiene que con el tratamiento de *Eichhornia crassipes* (T1) se obtuvieron valores significativamente menores a lo obtenido con el testigo, reduciendo de 1100 a 121.5 NTU, superando a lo hallado por Silupu (2022) que también observó diferencias significativas en el tratamiento de aguas de una laguna, reduciendo la turbidez de 300 a 230 NTU. La conductividad de las aguas mieles, en el último día de observación, resultó ser significativamente menor con el tratamiento de *Eichhornia crassipes* (T1) respecto a lo obtenido con el testigo concordando con Guerrero y Jibaja (2019) que halló significancia entre los tratamientos *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, los resultados que obtuvieron fueron: 382 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 446 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, siendo el más eficiente remediador de conductividad eléctrica el estanque con *Eichhornia crassipes*. En cuanto a demanda química de oxígeno (DQO) en el último día de observación, se tiene que con el tratamiento de *Lemna minor* (T2) se obtuvieron valores significativamente menores a lo obtenido con el testigo, coincidiendo con Rojas y Polanco (2022) sus resultados demostraron que estadísticamente hay diferencia significativa suficiente para rechazar la igualdad para cada uno de sus tratamientos y control aplicado, de modo que las especies *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* se comportan de manera diferente frente al control, la mayor remoción para el sistema de flujo discontinuo obtuvo

con la especie *Lemna minor* reduciendo los niveles de 383 a 121 mg/L; esta eficiencia probablemente esté asociada a que esta especie presenta una mayor tasa de oxidación química de la materia orgánica del agua residual.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Las características fisicoquímicas de las aguas mieles de café en el día uno fueron: pH 3.78, turbidez 1100 NTU, conductividad eléctrica 1417 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y demanda química de oxígeno (DQO) 7900 mg/L.
- Las características fisicoquímicas de las aguas mieles del café con intervención de macrófitas acuáticas evaluados durante cuatro semanas, al término de los 28 días variaron en los siguientes intervalos, para *Eichhornia crassipes*: pH (3.78 – 6.24), turbidez (1100 NTU – 121.5 NTU), conductividad eléctrica (1417 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 1484 $\mu\text{S}/\text{cm}$), DQO (7900 mg/L – 517 mg/L); para *Lemna minor*: pH (3.78 – 6.92), turbidez (1100 NTU – 184.4 NTU), conductividad eléctrica (1417 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 1706 $\mu\text{S}/\text{cm}$), DQO (7900 mg/L – 328 mg/L).
- La *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) resultó ser mejor fitoremediador para los indicadores turbidez y conductividad, mientras que *Lemna minor* (Lenteja de agua) para los indicadores pH y DQO. Así mismo, al final de los 28 días de evaluación, ambas macrófitas acuáticas lograron mejorar las condiciones de los parámetros fisicoquímicos a valores muy cercanos a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) según Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

5.2 Recomendaciones

- A los egresados de Ingeniería Forestal y Ambiental o afines, desarrollar investigaciones donde se estudie la combinación de Lenteja de agua y Jacinto de agua en la depuración de aguas mieles de café.
- A los investigadores, utilizar otras plantas con propiedades de biorremediación, como la *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua), *Hydrocotyle bonariensis* (Redondita de agua) u otras macrófitas acuáticas.
- Al Ministerio del Ambiente (MINAM), implementar Límites Máximos Permisibles (LMP) para aguas mieles procedentes del café en el Perú.
- Al Departamento de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, gestionar equipamiento de un laboratorio de análisis de aguas, dado su importancia para el estudio de diferentes tipos de aguas residuales y fuentes de agua.
- A las autoridades competentes desarrollar programas de concientización a los caficultores sobre depuración de las aguas mieles empleando macrófitas acuáticas para reutilizar el recurso agua en las actividades que sean convenientes o ser vertidas a las fuentes de agua cumpliendo con las normativas ambientales.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Agraria de Noticias (2024). Perú exportó 32.308 toneladas de café por US\$ 144.2 millones en julio del presente año, lo que representó un crecimiento de 110% en volumen y 122% en valor. *Agraria.pe*.<https://agraria.pe/noticias/cafe-peruano-rompe-record-en-julio-del-2024-al-duplicar-sus--36813>
- AgroPerú informa (2024). Perú exportó 60 132 TM de café por valor de \$201 millones hasta mayo de 2024. *AgroPerú*. <https://www.agroperu.pe/peru-exporto-60-132-tm-de-cafe-por-valor-de-201-millones-hasta-mayo-de-2024/>
- Acarley, F., y Quipuzco, E. (2020). Producción de metano mediante digestión anaerobia de agua miel, subproducto del beneficio húmedo del café. *Agroindustrial Science*, 10(20),7-16. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindsience>
- Ariza, N., Gómez, Y., y Vega, H. (2022). Efecto de las aguas residuales del beneficio del café en la evapotranspiración de las especies *Heliconia bihai*, *Salix babilónica*, *Brachiaria mutica*, *Gynerium sagittatum* y *Arundo donax* [Trabajo de grado, Universidad libre, Colombia]. <https://hdl.handle.net/10901/24203>
- Bautista, D. (2021). *Eficiencia de Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y Lechuga de agua (Pistia stratiotes) en la remoción de la DBO5 de las aguas residuales municipales del distrito de Chota, 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma De Chota]. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/218>
- Campos, L., y Durán, D. (2019). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales agrícolas generadas en el beneficio húmedo del café en la finca Buena Vista; Planadas Tolima, 2019*. [Tesis de título ,Universidad el Bosque]. <https://hdl.handle.net/20.500.12495/2567>
- Carrero, N., y Tapia, J. (2019). *Incremento del potencial de iones hidrogeno (ph) del agua miel de coffea sp. empleando fitorremediación con eichhornia crassipes m. “jacinto de agua” para atenuar su nivel de contaminación* [Tesis de título, Universidad Nacional de Jaén] <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/131>

- ComexPerú (2023). Café peruano: un sector con potencial, pero...*Semanario 1151*. Hechos de Importancia. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/cafe-peruano-un-sector-con-potencial-pero%E2%80%A6>
- Delgado, J. (2019). *Eficiencia de remoción de tres parámetros físicoquímicos del efluente líquido del camal “Régulo Bernal Torres” utilizando proceso de oxidación avanzado fenton* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3930>
- Enriquez, I. (2019). *Comparación de la eficiencia de Eichhornia crassipes y Lemna minor para mejorar la calidad del agua residual de una planta agroindustrial, Chiclayo-Perú*. [Tesis de título, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/43701>
- Fernández, M., y Noguera, W. (2019). *Evaluación de la capacidad fitoremediadora del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) en dos tiempos de retención hidráulica como alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el corregimiento de Usenda, Silvia –Cauca*. [Tesis de pregrado, Fundación Universitaria de Popayán]. Repositorio institucional. <https://fupvirtual.edu.co/repositorio/s/repositorio/media/11238>
- Fernández, Y., Sotto, K., y Vargas, L. (2020). *Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados*. *Revista producción + limpia*—vol. 15 no 1—2020-. DOI: 10.22507/pml.v15n1a7
- Granda, D., y Martínez, J. (2020). *Determinación de parámetros óptimos de anaerobiosis del agua miel de café en la finca cafetalera el limón del distrito de chirinos – Cajamarca, 2019* [Tesis de título, Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/175>
- Gobierno Regional Cajamarca (2021). Nota de Prensa N° 1535. Cajamarca registró US\$ 240 millones dólares en exportación de café. Gobierno Regional impulsa mayor producción y posicionamiento internacional a través de Expo Café Cajamarca 2021, 2 pág. www.regioncajamarca.gob.pe/portal/noticias/det/3290

- Guaranguay, A., y Orozco, D. (2019). *Evaluación de la eficiencia de remoción de DBO, DQO y SST en aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café a través de una columna de adsorción con borra de café* [Trabajo de título, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca]. <http://repositorio.uniautonoma.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/321>
- Guerrero, J., y Jibaja, F. (2019). *Tratamiento del afluente de la laguna de oxidación mediante fitorremediación del *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*; en Jaén - Cajamarca*. [Trabajo de título, Universidad Nacional de Jaén] <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/156>
- Guio, D., y Toscano, J. (2018). *Fitorremediación en humedal artificial con *Eichhornia Crassipes* para remoción de materia orgánica en muestras de agua del Canal Albina en Bogotá*. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/3417>
- Hanna Instruments(sf) Manual de instrucciones. HI98129-HI98130. Medidor de pH, EC/TDS y temperatura resistente el agua. https://cdn.hannachile.com/hannacdn/support/manual/2012/10/20140709180945-manual_hi-98129_hi-98130.pdf
- Huaman, D (2018). *Situación actual de las aguas residuales producto del beneficio del café (*Coffea arabica* L.) sobre el medio ambiente en el caserío Barrio Nuevo Provincia de San Ignacio – Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8729>
- Jaulis, J., Juscamaita, J., Villanueva, E., Gutiérrez, J., y Dilas, J. (2022). Limpieza del agua miel proveniente del beneficiado húmedo del café mediante polímeros naturales orgánicos. *Alpha Centauri. Revista de Investigación Científica y Tecnológica*, 3 (2022), 2-10.
- Merck (2007). Manual Turbiquant 1100 IR. Turbidímetros modo de empleo. <https://es.scribd.com/document/228574337/Manual-Turbiquant-1100-IR-T-Spanish>
- Mera, B., y Rosales, T. (2023). Proceso electrolítico para remover contaminación orgánica del agua miel de la post cosecha de café en la finca el diamante, provincia de Jaén,

2021[Tesis de título, Universidad Nacional de Jaén]
<http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/593>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013). Resolución Ministerial N°273-2013. Resolución Ministerial N.º 273-2013-Vivienda - Normas y documentos legales - Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento - Plataforma del Estado Peruano (www.gob.pe)

Ministerio del Ambiente. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua*.
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/>

Multi3630IDS(2020).Instruccionesdeoperación.Instrumentodemediacióndigitalparasensores IDS.https://www.xylemanalytics.com/en/File%20Library/Resource%20Library/WTW/01%20Manuals/ba77170s04_3630_Multi.pdf

Neira, I. (2021). Fitorremediación de aguas mieles de Coffea arabica utilizando macrófitas acuáticas. [Tesis de título, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio institucional. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11025>

Porras, D., y Silva, A. (2022). *Evaluación del tratamiento de aguas residuales de un restaurante, con un filtro de macrófitas en flotación a escala laboratorio*. [Tesis de pregrado, Universidad Libre]. Repositorio institucional.<https://hdl.handle.net/10901/23675>

Rojas, F., y Polanco, M. (2022). *Evaluación de Eichorhornia crassipes, Lemna minor y azola anabaena para la fitorremediación de las aguas contaminadas del río bogotá para su posterior uso como agua de riego en la producción de hortalizas* [Tesis de Pregrado, Universidad de Manizales-Colombia]
<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/4852>

Ruiz, M. (2018). *Propuesta de un modelo de tratamiento para descontaminar aguas residuales en San José de Chaltura* . [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14431>

Silupu, A. (2022). *Lemna Minor y Eichhornia crassipes como fitorremediadores para tratamiento de aguas residuales de la Laguna Centro Poblado Loma Negra - Piura* 2022[Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo] <https://hdl.handle.net/20.500.12692/113630>

Vásquez, E. (2018). *Depuración biológica y su efecto en la descontaminación de las aguas residuales descargadas en las piscinas de oxidación del Cantón Pedro Carbo, año 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/5022>

DEDICATORIA

A mis padres por formarme con buenos hábitos, principios y valores esenciales para afrontar los momentos difíciles y seguir adelante con pie firme.

Dedicamos este trabajo de investigación a nuestros padres, abuelos y tíos, quienes depositaron su confianza y siempre nos han demostrado su apoyo emocional y económico para hacer posible este gran logro de culminar nuestra carrera universitaria.

Elder Jhon Goicochea Pomachari
Kevin Chávez Gonzáles.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, por iluminarnos y darnos el conocimiento necesario durante este proceso, a toda nuestra familia, especialmente a nuestros padres por manifestarnos su amor, apoyo y ánimos para hacer posible nuestras metas.

A mi asesor el M. Cs. Adán Díaz Ruíz por guiarnos a través de su asesoría en este estudio de manera atenta y rápida a nuestras inquietudes surgidas durante el desarrollo de este trabajo. Al ingeniero Jorge Antonio Delgado Soto, su contribución ayudó mucho durante nuestra estancia en su laboratorio, al Licenciado Jhan Balbuena Campos, un profesional generoso y siempre dispuesto a compartirnos sus conocimientos, experiencias, recomendaciones que fueron de gran ayuda para culminar nuestra tesis.

Elder Jhon Goicochea Pomachari

Kevin Chávez Gonzáles.

ANEXOS

Anexo 1.

Ficha de recolección de datos en campo según diseño experimental

Especie Vegetal	Repetición	Día de evaluación	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad (μS/cm)	DQO (mg/L)
Testigo (T0)	R1	1	3.78	1100	1417	7900
	R1	7	4.17	1100	1512	2600
	R1	14	4.46	850	1803	5200
	R1	21	4.86	841	1788	1436
	R1	28	5.06	829.7	2230	1428
	R2	1	3.78	1100	1417	7900
	R2	7	4.17	1100	1512	2550
	R2	14	4.46	850	1803	5150
	R2	21	4.86	841	1788	1420
	R2	28	5.06	829.7	2230	1410
	R3	1	3.78	1100	1417	7900
	R3	7	4.17	1100	1512	2650
	R3	14	4.46	850	1803	5100
	R3	21	4.86	841	1788	1410
	R3	28	5.06	829.7	2230	1420
Jacinto de agua (T1)	R1	1	3.78	1100	1417	7900
	R1	7	4.3	1100	1535	2600
	R1	14	4.64	903.8	1343	1180
	R1	21	5.2	209.5	1489	848
	R1	28	6.79	133.8	1384	452
	R2	1	3.78	1100	1417	7900
	R2	7	4.37	1100	1314	3900
	R2	14	4.66	950	1388	1260
	R2	21	5.56	194.3	1551	628
	R2	28	6.83	121.4	1408	344
	R3	1	3.78	1100	1417	7900
	R3	7	4.22	1100	1500	3200
	R3	14	4.7	960.8	1586	960
	R3	21	4.96	177.8	1810	924
	R3	28	5.09	109.4	1660	756
Lenteja de agua (T2)	R1	1	3.78	1100	1417	7900
	R1	7	4.35	1100	1394	1300
	R1	14	4.79	678.1	1596	1210
	R1	21	5.35	187.3	1833	772
	R1	28	6.9	149.9	1799	340
	R2	1	3.78	1100	1417	7900
	R2	7	4.59	797.9	1380	1500
	R2	14	4.78	755.5	1579	1290
	R2	21	5.43	230.3	1841	848
	R2	28	6.94	172.3	1690	288
	R3	1	3.78	1100	1417	7900
	R3	7	4.43	1100	1313	1500
	R3	14	4.8	729.25	1596	780
	R3	21	5.9	241.5	1882	720
	R3	28	6.93	230.9	1630	356

Anexo 2.

Lectura de datos (código y resultados del software RStudio)

En la fila 3 del código se define la ruta del archivo, en la fila 6 se leen los datos, en la fila 9 se muestran los datos leídos y en las filas 12 y 13 se separan los datos por días de evaluación para poder realizar los análisis de supuestos y posterior test de diferencias significativas

```
RESULTADOS_TESIS.R x
Source on Save
1
2 #Definimos el directorio de trabajo donde esta guardado el archivo
3 setwd("C:/Users/ELDER GOICOHEA/Desktop/TESIS/OBSERVACIONES")
4
5 #Lectura de datos
6 data = as.data.frame(read_excel("DATOS TESIS.xlsx", sheet = "BDD"))
7
8 #Mostrando datos
9 data
10
11 #Separando la data por días de evaluacion
12 data_28 = data %>% filter(`Día de evaluación` == '28');data_21 = data %>% filter(`Día de evaluación` == '21')
13 data_14 = data %>% filter(`Día de evaluación` == '14');data_7 = data %>% filter(`Día de evaluación` == '7')
14
```

3:1 (Top Level) ↓

Console Terminal Background Jobs x

R 4.3.0 · C:/Users/JHAN BALBUENA CAMPOS/Desktop/CONEMAS/TESIS_ELDER_AGUAS_MIELES/OBSERVACIONES/ ↗

```
> #Mostrando datos
> data
  Especie Vegetal Tratamiento Repetición Día de evaluación  pH Turbidez (NTU) Conductividad (µS/cm) DQO (mgO2/L)
1 Jacinto de agua (T1)      T1          R1          1 3.78      1100.00      1417      7900
2 Jacinto de agua (T1)      T1          R1          7 4.30      1100.00      1535      2600
3 Jacinto de agua (T1)      T1          R1          14 4.64      678.10      1343      1180
4 Jacinto de agua (T1)      T1          R1          21 5.20      187.30      1489      848
5 Jacinto de agua (T1)      T1          R1          28 6.79      149.90      1384      452
6 Jacinto de agua (T1)      T1          R2          1 3.78      1100.00      1417      7900
7 Jacinto de agua (T1)      T1          R2          7 4.37      797.90      1314      3900
8 Jacinto de agua (T1)      T1          R2          14 4.66      755.50      1388      1260
9 Jacinto de agua (T1)      T1          R2          21 5.56      230.30      1551      628
10 Jacinto de agua (T1)     T1          R2          28 6.83      172.30      1408      344
11 Jacinto de agua (T1)     T1          R3          1 3.78      1100.00      1417      7900
12 Jacinto de agua (T1)     T1          R3          7 4.22      1100.00      1500      3200
13 Jacinto de agua (T1)     T1          R3          14 4.70      729.25      1586      960
14 Jacinto de agua (T1)     T1          R3          21 4.96      241.50      1810      924
15 Jacinto de agua (T1)     T1          R3          28 5.09      230.90      1660      756
16 Lenteja de agua (T2)     T2          R1          1 3.78      1100.00      1417      7900
17 Lenteja de agua (T2)     T2          R1          7 4.35      1100.00      1394      1300
18 Lenteja de agua (T2)     T2          R1          14 4.79      903.80      1596      1210
19 Lenteja de agua (T2)     T2          R1          21 5.35      209.50      1833      772
20 Lenteja de agua (T2)     T2          R1          28 6.90      133.80      1799      340
21 Lenteja de agua (T2)     T2          R2          1 3.78      1100.00      1417      7900
22 Lenteja de agua (T2)     T2          R2          7 4.59      1100.00      1380      1500
23 Lenteja de agua (T2)     T2          R2          14 4.78      950.00      1579      1290
24 Lenteja de agua (T2)     T2          R2          21 5.43      194.30      1841      848
25 Lenteja de agua (T2)     T2          R2          28 6.94      121.40      1690      288
26 Lenteja de agua (T2)     T2          R3          1 3.78      1100.00      1417      7900
27 Lenteja de agua (T2)     T2          R3          7 4.43      1100.00      1313      1500
28 Lenteja de agua (T2)     T2          R3          14 4.80      960.80      1596      780
29 Lenteja de agua (T2)     T2          R3          21 5.90      177.80      1882      720
30 Lenteja de agua (T2)     T2          R3          28 6.93      109.40      1630      356
31 Testigo (T0)             T0          R1          1 3.78      1100.00      1417      7900
32 Testigo (T0)             T0          R1          7 4.17      1100.00      1512      5200
33 Testigo (T0)             T0          R1          14 4.46      850.00      1803      2600
34 Testigo (T0)             T0          R1          21 4.86      841.00      1788      1436
35 Testigo (T0)             T0          R1          28 5.06      829.70      2230      1428
36 Testigo (T0)             T0          R2          1 3.78      1100.00      1417      7900
37 Testigo (T0)             T0          R2          7 4.17      1100.00      1512      5200
38 Testigo (T0)             T0          R2          14 4.46      850.00      1803      2600
39 Testigo (T0)             T0          R2          21 4.86      841.00      1788      1436
40 Testigo (T0)             T0          R2          28 5.06      829.70      2230      1428
41 Testigo (T0)             T0          R3          1 3.78      1100.00      1417      7900
42 Testigo (T0)             T0          R3          7 4.17      1100.00      1512      5200
43 Testigo (T0)             T0          R3          14 4.46      850.00      1803      2600
44 Testigo (T0)             T0          R3          21 4.86      841.00      1788      1436
45 Testigo (T0)             T0          R3          28 5.06      829.70      2230      1436
```

Anexo 3.

Resumen del análisis de supuestos de Normalidad y Homogeneidad de Varianzas

De acuerdo con las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett, se evaluó el cumplimiento de los supuestos para cada parámetro fisicoquímico (pH, Turbidez, Conductividad y DQO) en cada uno de los días de observación (7, 14, 21 y 28). Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Parámetro	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
pH	Normalidad (p = 0.2083)	Normalidad (p = 0.0553)	Normalidad (p = 0.2145)	Normalidad (p = 0.001059)
	No homogeneidad (p < 2.2e-16)			
Turbidez	No normalidad (p = 3.2e-07)	Normalidad (p = 0.5186)	No normalidad (p = 0.0005734)	No normalidad (p = 0.00109)
	No homogeneidad (p < 2.2e-16)			
Conductividad	No normalidad (p = 0.03348)	Normalidad (p = 0.1147)	No normalidad (p = 0.007785)	Normalidad (p = 0.08227)
	No homogeneidad (p < 2.2e-16)			
DQO	Normalidad (p = 0.08357)	Normalidad (p = 0.01047)	Normalidad (p = 0.02309)	Normalidad (p = 0.00593)
	No homogeneidad (p < 2.2e-16)	No homogeneidad (p < 2.2e-16)	No homogeneidad (p < 2.2e-16)	No homogeneidad (p = 0.001388)

Nota: Para evaluar Normalidad, se utilizó Shapiro-Wilk al 5% de significancia, es decir, si p-valor (p) es mayor que 0.05 indica existencia de Normalidad.

Para evaluar Homogeneidad, se utilizó el test de Bartlett al 5% de significancia, donde, si p-valor (p) es mayor que 0.05 indica que hay Homogeneidad de varianzas.

Los resultados evidencian que, considerando un nivel de significancia de 5% (p-valor > 0.05) en la mayoría de los casos, los datos no cumplen con los supuestos de normalidad y homocedasticidad requeridos para un ANOVA paramétrico. Esto justifica el uso de pruebas no paramétricas, como el test de Kruskal-Wallis y las comparaciones múltiples de Nemenyi, para analizar las diferencias entre tratamientos.

Anexo 4.

Prueba de cumplimiento de supuestos de normalidad y homocedasticidad para las observaciones del día 7 (código y resultados del software RStudio)

```
> ## pH ##-----
> shapiro.test(pH)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  pH
W = 0.89182, p-value = 0.2083

> bartlett.test(pH ~ Tratamiento, data = data_7)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  pH by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

> ## Turbidez ##-----
> shapiro.test(`Turbidez (NTU)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Turbidez (NTU)
W = 0.38984, p-value = 3.217e-07

> bartlett.test(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento, data = data_7)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  Turbidez (NTU) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

> ## Conductividad ##-----
> shapiro.test(`Conductividad (µS/cm)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Conductividad (µS/cm)
W = 0.8189, p-value = 0.03348

> bartlett.test(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento, data = data_7)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  Conductividad (µS/cm) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

> ## DQO ##-----
> shapiro.test(`DQO (mgO2/L)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  DQO (mgO2/L)
W = 0.85453, p-value = 0.08357

> bartlett.test(`DQO (mgO2/L)` ~ Tratamiento, data = data_7)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  DQO (mgO2/L) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16
```

Anexo 5.

Prueba de cumplimiento de supuestos de normalidad y homocedasticidad para las observaciones del día 14 (código y resultados del software RStudio)

```
> ## pH ##-----
> shapiro.test(pH)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  pH
W = 0.83833, p-value = 0.05533

> bartlett.test(pH ~ Tratamiento, data = data_14)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  pH by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

-----
> ## Turbidez ##-----
> shapiro.test(`Turbidez (NTU)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Turbidez (NTU)
W = 0.93383, p-value = 0.5186

> bartlett.test(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento, data = data_14)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  Turbidez (NTU) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

-----
> ## Conductividad ##-----
> shapiro.test(`Conductividad (µS/cm)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Conductividad (µS/cm)
W = 0.86719, p-value = 0.1147

> bartlett.test(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento, data = data_14)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  Conductividad (µS/cm) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

-----
> ## DQO ##-----
> shapiro.test(`DQO (mgO2/L)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  DQO (mgO2/L)
W = 0.77472, p-value = 0.01047

> bartlett.test(`DQO (mgO2/L)` ~ Tratamiento, data = data_14)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  DQO (mgO2/L) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16
```

Anexo 6.

Prueba de cumplimiento de supuestos de normalidad y homocedasticidad para las observaciones del día 21 (código y resultados del software RStudio)

```
> ## pH ##-----
> shapiro.test(pH)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  pH
W = 0.89307, p-value = 0.2145

> bartlett.test(pH ~ Tratamiento, data = data_21)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  pH by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

-----
> ## Turbidez ##-----
> shapiro.test(`Turbidez (NTU)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Turbidez (NTU)
W = 0.66634, p-value = 0.0005734

> bartlett.test(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento, data = data_21)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  Turbidez (NTU) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

-----
> ## Conductividad ##-----
> shapiro.test(`Conductividad (µS/cm)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Conductividad (µS/cm)
W = 0.76357, p-value = 0.007785

> bartlett.test(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento, data = data_21)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  Conductividad (µS/cm) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

-----
> ## DQO ##-----
> shapiro.test(`DQO (mgO2/L)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  DQO (mgO2/L)
W = 0.80467, p-value = 0.02309

> bartlett.test(`DQO (mgO2/L)` ~ Tratamiento, data = data_21)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  DQO (mgO2/L) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16
```

Anexo 7.

Prueba de cumplimiento de supuestos de normalidad y homocedasticidad para las observaciones del día 28 (código y resultados del software RStudio)

```
> ## pH ##-----
> shapiro.test(pH)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  pH
W = 0.68913, p-value = 0.001059

> bartlett.test(pH ~ Tratamiento, data = data_28)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  pH by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

> ## Turbidez ##-----
> shapiro.test(`Turbidez (NTU)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Turbidez (NTU)
W = 0.69017, p-value = 0.00109

> bartlett.test(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento, data = data_28)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  Turbidez (NTU) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

> ## Conductividad ##-----
> shapiro.test(`Conductividad (µS/cm)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Conductividad (µS/cm)
W = 0.85391, p-value = 0.08227

> bartlett.test(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento, data = data_28)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  Conductividad (µS/cm) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = Inf, df = 2, p-value < 2.2e-16

> ## DQO ##-----
> shapiro.test(`DQO (mgO2/L)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  DQO (mgO2/L)
W = 0.75336, p-value = 0.00593

> bartlett.test(`DQO (mgO2/L)` ~ Tratamiento, data = data_28)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  DQO (mgO2/L) by Tratamiento
Bartlett's K-squared = 13.16, df = 2, p-value = 0.001388
```

Anexo 8.

Resumen de los resultados (p-valor) del Test de Kruskal-Wallis y Test de Comparaciones múltiples de Nemenyi

En la siguiente tabla se presentan los p-valores (p) obtenidos para cada parámetro fisicoquímico (pH, Turbidez, Conductividad y DQO) a partir del Test de Kruskal-Wallis y las Comparaciones Múltiples de Nemenyi, aplicadas a los diferentes días de evaluación (7, 14, 21 y 28).

Parámetro	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
pH	Kruskal-Wallis (p = 0.0349)	Kruskal-Wallis (p = 0.0241)	Kruskal-Wallis (p = 0.0459)	Kruskal-Wallis (p = 0.0241)
	Nemenyi (T0 ≠ T2)			
Turbidez	Kruskal-Wallis (p = 0.368)	Kruskal-Wallis (p = 0.0241)	Kruskal-Wallis (p = 0.0459)	Kruskal-Wallis (p = 0.0241)
		Nemenyi (T1 ≠ T2)	Nemenyi (T0 ≠ T2)	Nemenyi (T0 ≠ T2)
Conductividad	Kruskal-Wallis (p = 0.138)	Kruskal-Wallis (p = 0.0339)	Kruskal-Wallis (p = 0.0552)	Kruskal-Wallis (p = 0.0349)
		Nemenyi (T0 ≠ T1)		Nemenyi (T0 ≠ T1)
DQO	Kruskal-Wallis (p = 0.0234)	Kruskal-Wallis (p = 0.0605)	Kruskal-Wallis (p = 0.0552)	Kruskal-Wallis (p = 0.0379)
	Nemenyi (T0 ≠ T2)			Nemenyi (T0 ≠ T2)

Nota: Para evaluar diferencias significativas entre tratamientos se aplicó Kruskal-Wallis al 5% de significancia, es decir si p-valor (p) <0.05 existe diferencias significativas. Si existen diferencias se aplica Nemenyi, donde “≠” indica entre qué tratamientos se dan las diferencias significativas.

Considerando un nivel de significancia del 5% (p-valor <0.05), los resultados indican que el Test de Kruskal-Wallis identificó diferencias significativas en varios parámetros fisicoquímicos, principalmente en los días 14, 21 y 28. Las comparaciones múltiples de Nemenyi permitieron identificar entre qué tratamientos se presentan estas diferencias.

Anexo 9.

Test de Kruskal-Wallis y Test de Comparaciones múltiples de Nemenyi para las observaciones del día 7 (código y resultados del software RStudio)

```
> ## pH ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_7 %>% kruskal_test(pH ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 pH 9  6.712644  2 0.0349 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(pH ~ Tratamiento,data_7)
      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: pH by Tratamiento
      T0  T1
T1 0.30 -
T2 0.03 0.55
P value adjustment method: single-step
```

```
> ## Turbidez ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_7 %>% kruskal_test(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 Turbidez (NTU) 9      2  0.368 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento,data_7)
      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: Turbidez (NTU) by Tratamiento
      T0  T1
T1 0.78 -
T2 1.00 0.78
P value adjustment method: single-step
```

```
> ## Conductividad ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_7 %>% kruskal_test(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 Conductividad (µS/cm) 9  3.954023  2 0.138 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento,data_7)
      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: Conductividad (µS/cm) by Tratamiento
      T0  T1
T1 0.74 -
T2 0.13 0.46
P value adjustment method: single-step
```

```

> ## DQO ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_7 %>% kruskal_test(`DQO (mgO2/L)` ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
      .y. n statistic df      p      method
1 DQO (mgO2/L) 9  7.513043  2 0.0234 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(`DQO (mgO2/L)` ~ Tratamiento,data_7)
      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: DQO (mgO2/L) by Tratamiento
      T0   T1
T1 0.37 -
T2 0.02 0.37
P value adjustment method: single-step

```

Anexo 10.

Test de Kruskal-Wallis y Test de Comparaciones múltiples de Nemenyi para las observaciones del día 14 (código y resultados del software RStudio)

```
> ## pH ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_14 %>% kruskal_test(pH ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1  pH 9  7.448276  2 0.0241 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(pH ~ Tratamiento,data_14)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: pH by Tratamiento

      T0  T1
T1 0.37  -
T2 0.02 0.37

P value adjustment method: single-step
```

```
> ## Turbidez ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_14 %>% kruskal_test(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 Turbidez (NTU) 9  7.448276  2 0.0241 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento,data_14)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: Turbidez (NTU) by Tratamiento

      T0  T1
T1 0.37  -
T2 0.37 0.02

P value adjustment method: single-step
```

```
> ## Conductividad ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_14 %>% kruskal_test(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 Conductividad (µS/cm) 9  6.771014  2 0.0339 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento,data_14)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: Conductividad (µS/cm) by Tratamiento

      T0  T1
T1 0.03  -
T2 0.30 0.55

P value adjustment method: single-step
```

```

> ## DQO ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_14 %>% kruskal_test('DQO (mgO2/L)' ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
      .y. n statistic df      p      method
1 DQO (mgO2/L) 9  5.609195  2 0.0605 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest('DQO (mgO2/L)' ~ Tratamiento,data_14)
      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: DQO (mgO2/L) by Tratamiento
      T0      T1
T1 0.093 -
T2 0.128 0.988
P value adjustment method: single-step

```

Anexo 11.

Test de Kruskal-Wallis y Test de Comparaciones múltiples de Nemenyi para las observaciones del día 21 (código y resultados del software RStudio)

```
> ## pH ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_21 %>% kruskal_test(pH ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 pH 9   6.16092  2 0.0459 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(pH ~ Tratamiento,data_21)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: pH by Tratamiento

      T0      T1
T1 0.229 -
T2 0.045 0.736

P value adjustment method: single-step
```

```
> ## Turbidez ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_21 %>% kruskal_test(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 Turbidez (NTU) 9   6.16092  2 0.0459 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento,data_21)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: Turbidez (NTU) by Tratamiento

      T0      T1
T1 0.229 -
T2 0.045 0.736

P value adjustment method: single-step
```

```
> ## Conductividad ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_21 %>% kruskal_test(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 Conductividad (µS/cm) 9  5.793103  2 0.0552 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento,data_21)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: Conductividad (µS/cm) by Tratamiento

      T0      T1
T1 0.896 -
T2 0.173 0.065

P value adjustment method: single-step
```

```

> ## Conductividad ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_21 %>% kruskal_test(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
      .y. n statistic df      p      method
1 Conductividad (µS/cm) 9  5.793103  2 0.0552 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento,data_21)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: Conductividad (µS/cm) by Tratamiento

      T0      T1
T1 0.896 -
T2 0.173 0.065

P value adjustment method: single-step

```

Anexo 12.

Test de Kruskal-Wallis y Test de Comparaciones múltiples de Nemenyi para las observaciones del día 28 (código y resultados del software RStudio)

```
> ## pH ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_28 %>% kruskal_test(pH ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1  pH 9  7.448276  2 0.0241 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(pH ~ Tratamiento,data_28)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: pH by Tratamiento

      T0  T1
T1 0.37 -
T2 0.02 0.37

P value adjustment method: single-step
```

```
> ## Turbidez ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_28 %>% kruskal_test(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 Turbidez (NTU) 9  7.448276  2 0.0241 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(`Turbidez (NTU)` ~ Tratamiento,data_28)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: Turbidez (NTU) by Tratamiento

      T0  T1
T1 0.37 -
T2 0.02 0.37

P value adjustment method: single-step
```

```
> ## Conductividad ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_28 %>% kruskal_test(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 Conductividad (µS/cm) 9  6.712644  2 0.0349 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(`Conductividad (µS/cm)` ~ Tratamiento,data_28)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: Conductividad (µS/cm) by Tratamiento

      T0  T1
T1 0.03 -
T2 0.30 0.55

P value adjustment method: single-step
```

```

> ## DQO ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_28 %>% kruskal_test(`DQO (mgO2/L)` ~ Tratamiento) %>% as.data.frame()
      .y. n statistic df      p      method
1 DQO (mgO2/L) 9  6.543417  2 0.0379 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(`DQO (mgO2/L)` ~ Tratamiento,data_28)
      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation
data: DQO (mgO2/L) by Tratamiento
      T0  T1
T1 0.30 -
T2 0.03 0.55
P value adjustment method: single-step

```

Anexo 13.

Resultados del parámetro DQO en el Laboratorio privado OIKOSLAB SAC



OIKOSLAB SAC - N°2005-2022

ENSAYO DEL DQO DE AGUAS MIELES PROVENIENTES DEL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ

Solicitantes : GOICOCHEA POMACHARI ELDER JHON
CHÁVEZ GONZALES KEVIN
Distrito : Jaén
Provincia : Jaén
Región : Cajamarca
Fecha de ensayo : 17 setiembre al 15 de octubre del 2022
Muestra proporcionada por los solicitantes
Proyecto de tesis :
"Influencia de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en la depuración de las aguas mieles del café provenientes del beneficio húmedo."
Institución : Universidad Nacional de Jaén

I. Datos de la muestra

Muestra : Aguas mieles del café provenientes del beneficio húmedo

III. Metodología : SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed.

II. Resultados :

TRATAMIENTOS	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (mg O ₂ /L)				
	SEMANA				
	1 (DIA) 17-09-2022	7(DIAS) 24-09-2022	14(DIAS) 1-10-2022	21(DIAS) 08-10-2022	28(DIAS) 15-10-2022
T ₀ R ₁	7900	2600	5200	1436	1428
T ₀ R ₂	7900	2550	5150	1420	1410
T ₀ R ₃	7900	2650	5100	1410	1420
T ₁ R ₁	7900	2600	1180	848	452
T ₁ R ₂	7900	3900	1260	628	344
T ₁ R ₃	7900	3200	960	924	756
T ₂ R ₁	7900	1300	1210	772	340
T ₂ R ₂	7900	1500	1290	848	288
T ₂ R ₃	7900	1500	780	720	356

T: tratamiento

T₀: Testigo

T₁: *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)

T₂: *Lemna minor* (lenteja de agua)

R: repeticiones


Jorge A. Delgado Soto
ING. RESPONSABLE
CIP. 56757


Psje. San Pedro #113
Morro Solar Alto - Jaén, Cajamarca.
Cel.: 970 911 920
R.U.C.: 20487352072

Anexo 14.

Comparación de resultados con ECA peruano según Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM

Parámetros	Día 1		Día 28		ECA agua peruano Categoría 3	
	Aguas mieles	Testigo	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Lemna minor</i>	Riego de vegetales	Bebida de animales
pH	3.8	5,1	6.2	6.9	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Turbidez (NTU)	1100	850	121	184
Conductividad (µS/cm)	1417	2230	1484	1706	2500	5000
DQO (mg/L)	7900	1431	517	328	40	40

Anexo 15.

Panel fotográfico de los pasos ejecutados

Figura 7

*Colecta de la especie vegetal *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)*



Figura 8

Instalación del sistema de depuración



Figura 9

Recolección de muestras tratadas de los recipientes



Figura 10

Traslado de las muestras de aguas mieles tratadas hacia los laboratorios



Figura 11

Muestras en el laboratorio de IFA



Figura 12

Determinación del pH, a través del equipo HANNA modelo HI98129



Figura 13

Determinación de la turbidez



Figura 14

Lectura de la turbidez con el equipo Turbiquant modelo 1100T



Figura 15

Lectura de la conductividad eléctrica a través del equipo Multiparámetro modelo Multi 3630 IDS SET G



Figura 16

Entrega de Muestras al laboratorio privado OIKOSLAB SAC



Figura 17

Determinación de DQO en el laboratorio privado OIKOS LAB SAC



Anexo 16.

DS N° 004-2017-MINAM. ECA - Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

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

Anexo 17.

Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales

6.4.3.4 Toma de muestras de agua, preservación, etiquetado, rotulado y transporte

La toma de muestras simples de agua residual debe ser realizada por laboratorios acreditados ante el INDECOPI. Las muestras serán recolectadas y preservadas teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados. En este caso seguir las instrucciones generales de preservación, embalaje y transporte de las muestras, mostradas en el **Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo**, así como las instrucciones de etiquetado mostradas en el **Anexo N° V. Etiqueta para muestras de agua residual**.

Se recomienda etiquetar o rotular los frascos preferentemente antes de la toma de muestras de agua.

El personal responsable deberá colocarse los guantes descartables antes del inicio de la toma de muestras de agua residual y desecharlos luego de culminado el muestreo en cada punto; es importante los cuidados en el manejo de los reactivos de preservación por tratarse de sustancias peligrosas.

En todo momento evitar tomar la muestra tomando el frasco por la boca.

a) Toma de muestras de agua residual

Las características de los recipientes, volumen requerido (dependerá del laboratorio) y tipo de reactivo para preservación de la muestra se contemplan en el **Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para monitoreo**.

Se recomienda utilizar frascos de plástico o vidrio de boca ancha con cierre hermético y limpio. El tipo de frasco dependerá del parámetro a analizar.

Se debe preparar los frascos a utilizar en el muestreo, de acuerdo con la lista de parámetros a evaluar.

b) Preservación de muestras

Una vez tomada la muestra, se deberá incorporar, en caso que el parámetro lo requiera, el reactivo de preservación que se agregaría preferentemente in-situ después de la toma de la muestra de agua. Ver **Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo**.



Etiquetado y rotulado de las muestras de agua

Los frascos deben ser etiquetados y rotulados, con letra clara y legible. De preferencia debe usarse plumón de tinta indeleble y cubrir la etiqueta con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información:

1. Nombre de PTAR y denominación del punto de monitoreo.
2. Número de muestra (referido al orden de toma de muestra).
3. Fecha y hora de la toma de muestra.
4. Preservación realizada, tipo de reactivo de preservación utilizado.
5. Operador del muestreo.

Ver formato para las etiquetas de muestras, **Anexo N° V. Etiquetas de muestras de agua residual**.

d) Llenado del formato de Cadena de Custodia

Llenar el formato de cadena de custodia indicando los parámetros a evaluar, tipo de frasco, tipo de muestra de agua (agua residual cruda, agua residual tratada), volumen, número de muestras, reactivos de preservación, condiciones de conservación, operador del muestreo y otra información relevante. Ver el **Anexo N° VI. Cadena de Custodia**.

e) Conservación y Transporte de las Muestras

Las muestras de agua residual recolectadas, preservadas y rotuladas, deben colocarse en una caja de almacenamiento térmica con refrigerante (ice pack), para cumplir con la recomendación de temperatura indicada en el **Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua y preservación de las muestras para el monitoreo**. En el caso de utilizar hielo, colocar éste en bolsas herméticas para evitar fugas de la caja donde se transportan las muestras de agua. Asimismo, se debe evitar roturas en el caso de frascos de vidrio durante el transporte de muestras, utilizando bolsas de poliburbujas, de embalaje o de cualquier otro material.

El envío de muestras perecibles (coliformes, DBO₅ y otros) al laboratorio para su análisis, debe cumplir con el tiempo establecido en las recomendaciones para la preservación y conservación y éstas deben ir acompañadas de su respectiva cadena de custodia (ver Anexos N° III y VI).

Transportar las muestras hasta el laboratorio, adjuntando el formato de cadena de custodia.

Al finalizar las actividades de muestreo, los equipos deben mantenerse en óptimo estado de limpieza y en buenas condiciones de funcionamiento. Debe contarse con un registro de mantenimiento de cada instrumento, a fin de llevar el control del equipo, reemplazo de baterías y cualquier problema de lectura o calibración irregular al usar las sondas o electrodos.

Es importante considerar los tiempos desde el inicio del muestreo hasta la llegada al laboratorio con el objetivo de cumplir con el tiempo requerido según los Requisitos para Toma de Muestra y Preservación (**Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo**).