

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



**Evaluación de la fitodepuración de aguas residuales
domésticas con Jacinto de agua (Eichhornia Crassipes) y
Algas de piedra (Chara spp.) en condiciones de invernadero en
el Altiplano Peruano**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Miriam Ivanova Calizaya Puño
Yaquelin Daney Molina Mamani

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, junio de 2026

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Juan Eduardo Vigo Rivera, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EVALUACIÓN DE LA FITODEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON JACINTO DE AGUA (EICHHORNIA CRASSIPES) Y ALGAS DE PIEDRA (CHARA SPP.) EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL ALTIPLANO PERUANO”** de los autores Miriam Ivanova Calizaya Puño y Yaquelin Daney Molina Mamani tiene un índice de similitud de 5 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 23 días del mes de junio del año 2026.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera
ASESOR

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 04 día(s) del mes de junio del año 2024, siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del

(de la) presidente(a):

Msc. Miguel Angel Salcedo Enriquez, el (la) secretario(a): Msc. Pedro Víctor Quipe Apaza y los demás miembros: Dr. Mateo Alejandro Salinas Mena, Jorge Tuvendal Bravo Hualla y el (la) asesor(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

"Evaluación de la fitodepuración de aguas residuales domésticas con Tacinto de agua (Eichhornia Crassipes) y Algas de piedra (Chara spp.) en condiciones de invernadero en el Altiplano Peruano"

del(los) bachiller/es: a) Miriam Ivanova Calizaya Puno

b) Yaquelin Daney Molina Mamani

c)

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Miriam Ivanova Calizaya Puno

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>19</u>	<u>A</u>	<u>Excelente</u>	<u>Excelencia</u>

Bachiller (b): Yaquelin Daney Molina Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>19</u>	<u>A</u>	<u>Excelente</u>	<u>Excelencia</u>

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

☐ Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente/a

[Firma]
Asesor/a

[Firma]
Bachiller (a)

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (b)

[Firma]
Secretario/a

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (c)

DEDICATORIA

Los autores expresan su sincero agradecimiento a la Universidad Peruana Unión por el apoyo brindado durante el desarrollo de la presente investigación, así como por facilitar el acceso a los laboratorios y ambientes experimentales necesarios para su ejecución. Del mismo modo, agradecen profundamente a sus padres por su respaldo constante a lo largo de este proceso. Finalmente, dedican este trabajo a Dios, quien fue su fortaleza y guía desde el inicio hasta la culminación de la investigación.

ÍNDICE

Resumen.....	6
Abstract.....	7
Introducción	8
Materiales y métodos	10
Lugar experimental	10
Construcción del invernadero y equipamiento.....	10
Diseño estadístico experimental.....	12
Metodología de la siembra del Jacinto de agua y la Chara	13
Recolección y determinación de los parámetros analizados.....	14
Resultados	15
Remoción de contaminantes bajo un sistema factorial de tratamiento biológico.....	15
Dinámica fisicoquímica y microclimática del sistema de tratamiento.....	17
Eficiencias	19
Parámetros morfofisiológicos en macrófitas acuáticas.....	19
Discusión	21
Remoción de contaminantes bajo un sistema factorial de tratamiento biológico.....	21
Dinámica fisicoquímica y microclimática del sistema de tratamiento.....	23
Remoción.....	24
Parámetros morfofisiológicos en macrófitas acuáticas.....	27
Conclusiones.....	29
Referencias	30
Anexos.....	37

Evaluación de la fitodepuración de aguas residuales domésticas con Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) y Algas de piedra (*Chara spp.*) en condiciones de invernadero en el Altiplano Peruano

Evaluation of the phytoremediation of domestic wastewater using Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Stonewort Algae (*Chara spp.*) under greenhouse conditions in the Peruvian Highlands

Resumen

Esta investigación evaluó la fitodepuración de aguas residuales domésticas mediante *Eichhornia crassipes* y *Chara spp.*, bajo condiciones con y sin invernadero, aprovechando el calentamiento solar pasivo en el altiplano peruano, Juliaca, a 3825 m s. n. m. Se aplicó un diseño factorial 2×3 , considerando dos condiciones térmicas —sin invernadero y con invernadero— y tres componentes biológicos: control, *E. crassipes* y *Chara spp.* El experimento comprendió seis tratamientos, tres repeticiones y 18 unidades experimentales de 400 L, evaluadas durante 75 días con monitoreos cada 15 días. Se analizaron DBO₅, DQO, fósforo total, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, pH y temperatura del agua; además, se registraron continuamente temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar mediante sensores. El invernadero generó un microclima más cálido y húmedo que el ambiente externo, con temperatura media del aire de 22.79 °C frente a 9.31 °C y humedad relativa de 72.5 % frente a 41.1 %. Asimismo, elevó la temperatura media del agua en los tratamientos protegidos. El pH se mantuvo alcalino, entre 7.6 y 8.8. El tratamiento T5, conformado por *E. crassipes* bajo invernadero, presentó el mejor desempeño, con remociones finales de 92.0 % para DBO₅, 94.6 % para DQO, 77.4 % para fósforo total, 97.4 % para NO₂⁻ y 78.8 % para NO₃⁻.

En conclusión, la combinación de *E. crassipes* e invernadero constituye una alternativa eficiente para el tratamiento natural de aguas residuales domésticas en climas fríos altoandinos.

Palabras clave: fitorremediación, *Eichhornia crassipes*, *Chara spp.*, aguas residuales, humedales, tratamiento natural, depuración, altiplano peruano.