

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Análisis de la capacidad fitorremediadora de la especie
Eichhornia crassipes de las aguas residuales en la
PTAR del distrito de Chulucanas, Piura-2023**

Carlos Eduardo Ruiz Bohorquez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACION**

A : Felipe Nestor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Steve Dann Camargo Hinostraza
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 17 de Noviembre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FITORREMIADORA DE LA ESPECIE Eichhornia crassipes DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA PTAR DEL DISTRITO DE CHULUCANAS, PIURA - 2023

Autores:

1. Carlos Eduardo Ruiz Bohorquez – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 11) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Asesor de Tesis

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Carlos Eduardo Ruiz Bohorquez, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 62014671, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: " ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FITORREMIADORA DE LA ESPECIE Eichhornia crassipes DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA PTAR DEL DISTRITO DE CHULUCANAS, PIURA - 2023", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

17 de Noviembre de 2023.



Carlos Eduardo Ruiz Bohorquez

DNI. N°.62014671

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DE LA ESPECIE *Eichhornia crassipes* DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA PTAR DEL DISTRITO DE CHULUCANAS, PIURA - 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	blog.fibrasynormasdecolombia.com Fuente de Internet	1%
3	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1%
6	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	1library.co Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	revistatecnologicacea.mx Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
16	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	Dayana G. Cisneros-León, Patricio J. Espinoza-Montero, Diego Bolaños-Mendez, Jocelyne Alvarez-Paguay et al. "Electrochemical degradation of surfactants in domestic wastewater using a DiaClean® cell equipped with a boron-doped diamond electrode", <i>Frontiers in Chemistry</i> , 2023	<1 %

Publicación

19	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
20	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
22	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Científica del Sur Trabajo del estudiante	<1 %
25	repositorio.une.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.unphu.edu.do Fuente de Internet	<1 %
29	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.uta.edu.ec	

	Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.ucm.edu.co Fuente de Internet	<1 %
32	doczz.net Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.unini.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
34	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
35	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	Submitted to Corporación Universitaria Iberoamericana Trabajo del estudiante	<1 %
37	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	www.cepis.org.pe Fuente de Internet	<1 %
39	cecodes.org.co Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
41	enciclovida.mx Fuente de Internet	

		<1 %
42	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
43	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
44	cia.uagraria.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
48	www.revistabionatura.com Fuente de Internet	<1 %
49	pdfcoffee.com Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.escuelamilitar.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
51	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
52	Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS Trabajo del estudiante	<1 %

53	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
54	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
55	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	web.siiia.unam.mx Fuente de Internet	<1 %
57	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
58	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
59	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
60	pt.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
61	raccefyn.co Fuente de Internet	<1 %
62	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
63	UMBRELLA ECOCONSULTING S.A.C.. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental"	<1 %

del PAMA de la Planta Agroindustrial y Áreas
Agrícolas-IGA0020935", R.D. N° 00490-2022-
PRODUCE/DGAAMI, 2022

Publicación

64	Submitted to indoamerica Trabajo del estudiante	<1 %
65	Submitted to utec Trabajo del estudiante	<1 %
66	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
67	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
68	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
69	repositorio.udec.cl Fuente de Internet	<1 %
70	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
71	"XIX reunión nacional SELPER-México: Memorias", Universidad Nacional Autónoma de México, 2011 Publicación	<1 %
72	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú Trabajo del estudiante	<1 %

73	prodiversitas.bioetica.org Fuente de Internet	<1 %
74	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
75	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	<1 %
76	doaj.org Fuente de Internet	<1 %
77	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
78	hemeroteca.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
79	pdfslide.tips Fuente de Internet	<1 %
80	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
81	repository.javeriana.edu.co Fuente de Internet	<1 %
82	theibfr.com Fuente de Internet	<1 %
83	webworld.unesco.org Fuente de Internet	<1 %
84	www.agora.ulpgc.es Fuente de Internet	<1 %

85	www.cna.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
86	www.delorowater.com Fuente de Internet	<1 %
87	www.google.it Fuente de Internet	<1 %
88	www.sidalac.org.mx Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 11 words

ASESOR

Mg. Camargo Hinostrozo Steve Dann

DEDICATORÍA

Dios, dame la oportunidad de vivir, acompáñame en cada paso del camino, dame un corazón fuerte e inspira mi mente, y deja que aquellos que me han apoyado y acompañado a lo largo de mis estudios sigan mi camino. Mis padres, que me dieron la vida, me quieren mucho, creen en mí porque siempre me han apoyado, gracias por darme una carrera a futuro, todo es gracias a ustedes. Mis abuelos y tíos me apoyaron moralmente durante este tiempo de mi investigación. Mi bisabuela (QEPD), siempre forjó el sentido de mis valores y quehaceres, esto es lo que te debo.

AGRADECIMIENTO

Jesucristo, tu querer y gratitud es infinita, me haces alegrar al ver mis logros, es el fruto de su ayuda; en ocasiones decaigo, poniéndome a pruebas en mi camino, aprendiendo de mis equivocaciones, y me doy cuenta de que tú me pones a prueba frente a mis dificultades; asimismo, me fortalece como persona. Quiero darles las gracias a mis padres y familiares por brindarme su soporte para llegar a mis objetivos y metas. A la Universidad de Continental, la escuela académica de ingeniería ambiental, ya que es parte de mi formación académica para el desarrollo de mi la titulación. Gracias al ingeniero José Félix Ruiz Espinoza por apoyarme en la presente investigación y de la misma manera a mi asesor de tesis al ingeniero Steve Dann Camargo Hinostroza; por su entrega durante todo el proceso de la elaboración de la presente investigación.

ÍNDICE

	Pág.
ASESOR.....	xiv
DEDICATORÍA.....	xv
AGRADECIMIENTO	xvii
ÍNDICE	xviii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xx
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XX
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	14
1.1 Determinación de la realidad problemática.....	14
1.2 Formulación del problema	17
1.2.1 Problema General.....	17
1.2.2 Problemas Específicos	17
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo General.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
1.4 Justificación de la investigación.....	17
1.4.1 Justificación práctica.....	17
1.4.2 Justificación metodológica.....	18
1.4.3 Justificación teórica	18
1.4.4 Justificación ambiental.....	18
1.5 Importancia y alcances de la investigación	18
1.6 Hipótesis y operacionalización.....	19
1.6.1 Hipótesis General.....	19
1.6.2 Hipótesis Específicas	19
1.6.3 Operacionalización de la variable	19
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	20

2.1	Antecedentes de investigación	20
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	20
2.1.2	Antecedentes nacionales	22
2.1.3	Antecedentes locales.....	24
2.2	Bases teóricas	25
2.2.1	Aguas residuales	25
2.2.2	Tratamiento de Aguas Residuales (TAR).....	26
2.2.3	Límites Máximos Permisibles (LMP).....	26
2.2.4	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	26
2.2.5	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	27
2.2.6	<i>E. crassipes</i>	27
2.1	Definición de términos básicos	28
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		29
3.1	Método y alcance de la investigación	29
3.1.1	Método General	29
3.1.2	Método Específico	29
3.2	Tipo de la investigación	29
3.3	Nivel de la investigación	29
3.4	Diseño de la investigación.....	30
3.5	Descripción del ámbito de la investigación.....	30
3.5.1	Descripción del sistema de tratamiento	32
3.6	Población.....	33
3.7	Muestra.....	33
3.8	Técnicas de investigación.....	34
3.9	Instrumentos de recolección de datos.....	35
3.10	Procedimientos	35
3.10.1	Etapa de pre campo	35
3.10.2	Etapa de campo y experimentación	36
3.10.3	Etapa de laboratorio	42
3.10.4	Etapa de gabinete	45
3.11	Procesamiento y análisis estadístico de los datos.....	45

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES	46
4.1 Resultados descriptivos	46
4.1.1 Caracterización del agua residual	46
4.1.2 Resultados de los parámetros antes y después del tratamiento con <i>E. crassipes</i> . 47	
4.1.3 Resultados de la DBO ₅ después del tratamiento con los especímenes	49
4.2 Análisis inferencial.....	54
4.2.1 Prueba de la hipótesis general.....	55
4.3 Discusión de los resultados	56
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	62
ANEXOS	70
Anexo 1 Matriz de Consistencia	71
Anexo 2 Resultados de laboratorio	74
Anexo 2 Certificado de calibración	75
Anexo 3 Ficha de observación.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	19
Tabla 2 Materiales para el muestreo de aguas residuales.....	42
Tabla 3 Modelo de rótulo para las muestras	43
Tabla 4 Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual sin tratamiento.....	46
Tabla 5. Prueba de normalidad de las variables	54
Tabla 6. Prueba de hipótesis general	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de la <i>E. crassipes</i> . Tomada de “Solms (natural or carbonized) as biosorbent to remove pollutants in water”, por Lima y Asencios, 2021.....	27
Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio. Elaboración propia.	31
Figura 3. Esquema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del distrito de Chulucanas. Elaboración propia.....	33
Figura 4. Mapa de ubicación del punto de recolección de la muestra. Elaboración propia.....	34
Figura 5. Diseño del sistema fitorremediador del pozo artificial. Elaboración propia.	37
Figura 6. Medición del pozo piloto del sistema fitorremediador y proyección de la geomembrana. Elaboración propia.	37
Figura 7. Traslado de las aguas residuales al sistema fitorremediador de la especie <i>E. crassipes</i> . Elaboración propia.....	38
Figura 8. Mapa de ubicación de la recolección de la <i>E. crassipes</i> . Elaboración propia.	39
Figura 9. Traslado de la especie <i>E. crassipes</i> . Elaboración propia.	40
Figura 10. Introducción de la especie <i>E. crassipes</i> en el pozo piloto. Elaboración propia.....	41
Figura 11. Muestreo del agua luego del tratamiento. Elaboración propia.	44
Figura 12. Rotulado de las muestras. Elaboración propia.....	44
Figura 13. Muestras preservadas. Elaboración propia.	45
Figura 14. pH antes y después de tratamiento con <i>E. crassipes</i> . Elaboración propia.	47
Figura 15. Temperatura antes y después de tratamiento con <i>E. crassipes</i> . Elaboración propia.....	48
Figura 16. DBO5 antes y después de tratamiento con <i>E. crassipes</i> . Elaboración propia.	49

Figura 17. DQO antes y después de tratamiento con <i>E. crassipes</i> . Elaboración propia.	50
Figura 18. A y G antes y después de tratamiento con <i>E. crassipes</i> . Elaboración propia.	51
Figura 19. SST antes y después de tratamiento con <i>E. crassipes</i> . Elaboración propia.	52
Figura 20. Coliformes totales y termotolerantes antes y después de tratamiento con <i>E. crassipes</i> . Elaboración propia.....	53

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar la capacidad fitorremediadora de *Eichhornia crassipes* en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicada en el distrito de Chulucanas, Piura. La metodología utilizada fue de naturaleza científica y tuvo un alcance explicativo, con un diseño experimental preexperimental, que incluyó pruebas antes y después del tratamiento. La muestra consistió en 12 m³ de agua residual procedente de la laguna de maduración de la PTAR, y se emplearon 60 individuos de *E. crassipes*, que fueron evaluados durante un período de 21 días.

Los resultados obtenidos revelaron que *E. crassipes* logró reducciones significativas en los parámetros analizados, con porcentajes de remoción del 6.96% para el pH, 1.95% para la temperatura, 94.41% para la Demanda Biológica de Oxígeno a 5 días (DBO₅), 98.93% para la Demanda Química de Oxígeno (DQO), 6.90% para los aceites y grasas (A y G), 45.51% para los sólidos suspendidos totales (SST), y 99.99% para los coliformes. Además, al comparar estos resultados con los Límites Máximos Permisibles (LMP), se constató que todos los parámetros evaluados cumplen con la normativa vigente. En conclusión, este estudio respalda la eficacia de *E. crassipes* como una planta fitorremediadora en las aguas residuales de la PTAR en Chulucanas, y demostró su capacidad para mejorar la calidad del agua y cumplir con los estándares reguladores.

Palabra clave: *E. crassipes*, Agua residual, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the phytoremediation capacity of *Eichhornia crassipes* in the wastewater of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) located in the district of Chulucanas, Piura. The methodology used was scientific in nature and had an explanatory scope, with a pre-experimental experimental design that included tests before and after treatment. The sample consisted of 12 m³ of wastewater from the ripening lagoon of the WWTP, and 60 individuals of *E. crassipes* were evaluated during a period of 21 days. The results obtained revealed that *E. crassipes* achieved significant reductions in the parameters analyzed, with removal percentages of 6.96% for pH, 1.95% for temperature, 94.41% for 5-day Biological Oxygen Demand (BOD5), 98.93% for Chemical Oxygen Demand (COD), 6.90% for oils and fats (A and G), 45.51% for total suspended solids (TSS), and 99.99% for coliforms. In addition, when comparing these results with the Maximum Permissible Limits (LMP), it was found that all the parameters evaluated comply with current regulations. In conclusion, this study supports the efficacy of *E. crassipes* as a phytoremediation plant in WWTP wastewater in Chulucanas, demonstrating its ability to improve water quality and meet regulatory standards.

Keyword: *E. crassipes*, Wastewater, physicochemical and microbiological parameters.

INTRODUCCIÓN

En la orbe, se ve reflejada una gestión inadecuada de las aguas residuales, que se representa como un problema constante en las diferentes ciudades más importantes del mundo. Por ello, los países en desarrollo son los que tienen más dificultades para gestionar y tratar adecuadamente las aguas residuales, ya que escasean de la capacidad y la tecnología necesarias para contaminar el medio ambiente al devolver el agua mal tratada al entorno natural (1).

En el Perú, esta se ha reflejado como problemática presente por diversas organizaciones como los gobiernos centrales, regionales y municipales, así como por organizaciones privadas con la finalidad de promover el uso adecuado y mantenimiento de los recursos naturales, promoviendo el desarrollo sostenible (2).

El distrito de Chulucanas tiene implementado una PTAR, que consta de ocho lagunas oxidantes encargadas del tratamiento parcial del uso de drenaje del distrito, pero los resultados de este sistema no lo sugieren, debido a la naturaleza del agua. Estas aguas residuales no cumplen para su reutilización, por lo que son vertidos al medio natural, provocando daños ambientales.

En el presente proyecto, se tiene como finalidad evaluar la capacidad fitorremediadora de la especie *E. crassipes* invadidas en el río Chira por eutrofización contaminante para el tratamiento de aguas residuales a través de la implementación de un sistema fitorremediador, para posteriormente realizar una propuesta de un pozo piloto en las instalaciones de la PTAR de Chulucanas para ver su eficiencia del sistema fitorremediador (3).

El capítulo I hace mención que el problema general ¿Cuál es la capacidad fitorremediadora de la especie *E. crassipes* de las aguas residuales en la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura? Por ello, se iniciará para comprobar los objetivos e hipótesis, los cuales serán demostrados de la medición de variables.

El capítulo II hace referencia al marco teórico, en la cual mejorara comprender el proceso del presente estudio tales como las referencias de investigaciones locales, nacionales e internacionales, así como las bases teóricas, por ejemplo: Aguas residuales, PTAR, LMP, DBO, DQO y *E. crassipes*.

El capítulo III se desarrollará los métodos de investigación de tipo aplicada, porque permite solucionar una problemática actual y recurrente en el ámbito de la PTAR, y aporta una adecuada calidad del agua a través del tratamiento de este recurso mediante el empleo de la especie *E. crassipes*. Además, mejora el ámbito socio ambiental de la vida poblacional.

En el capítulo IV, se desarrolla la explicación del sistema fitorremediador, tal como el diseño, cantidad de muestra, metodología aplicada, resultados en cuanto a la eficiencia del sistema de tratamiento de las aguas en su remoción usando la especie *E. crassipes*.

Posteriormente, en este capítulo, se indica la relación entre los resultados obtenidos de la presente investigación, para demostrar las conclusiones y recomendaciones.

El autor

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

Determinación de la realidad problemática

A nivel global, aproximadamente, el 80% de las aguas residuales son liberadas al medio ambiente sin someterse a ningún proceso de tratamiento (4). En otras palabras, esta cifra equivale a la cantidad de agua que llenaría 70 millones de piscinas olímpicas cada año (5). Estos residuos acuosos, originados tanto en viviendas como en industrias, contienen contaminantes y bacterias patógenas que son responsables de diversas enfermedades. Conforme al informe elaborado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2021, aproximadamente, 3,4 millones de personas fallecen anualmente debido a infecciones ocasionadas por la ingesta de agua contaminada con microorganismos (4).

En esta misma línea, según el informe de Jones E., los países de ingresos altos (16%) son responsables del 41% de la generación de aguas residuales a nivel mundial. Es importante destacar que el reúso de aguas residuales tratadas es significativo en Europa Occidental (16%) y en África del Norte y Medio Oriente (15%). Sin embargo, es importante señalar que estos dos grupos de regiones representan solamente un 5.8% y un 5.7% de la población mundial, respectivamente (5).

En América Latina, 336 millones de habitantes carecen de sistemas de saneamiento, lo que implica que las aguas residuales domésticas generadas se vierten directamente al medio ambiente sin recibir ningún tipo de tratamiento. Hasta finales de 2022, solamente, se había tratado el 36% de estas aguas residuales, una cifra preocupante dado que el 64% restante se descarga en cuerpos naturales como el agua y el suelo, lo que genera focos de infección y deterioro del medio ambiente (6).

En Perú, el 29% de la población no cuenta con saneamiento básico, lo que ocasiona que las aguas residuales que generan son vertidas directamente a cuerpos naturales de agua como de suelo (7). Según el informe de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), a nivel nacional existen 202 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), de las cuales solo 171 están en funcionamiento. Un 7% de estas plantas son gestionadas por las municipalidades, mientras que un 2% son operadas por entidades privadas a través de contratos de concesión o convenios (8).

En Piura, según el informe de la Defensoría del Pueblo, se logró identificar que las aguas residuales procedentes del Penal Río Seco estaban siendo vertidas en cantidades

significativas, lo que provocaba inundaciones en las zonas cercanas al caserío donde residen niños y personas de tercera edad, que causaron un impacto negativo en su salud (9). En esa línea, en Chulucanas, el 52.92% de las casas cuentan con letrinas, solo el 13.31% cuentan con servicio higiénico mediante la red de desagüe dentro de sus hogares (10).

Considerando todo lo mencionado anteriormente y dado que la PTAR de Chulucanas tiene una capacidad de tratamiento para 743,000 habitantes, muchas veces tiene que tratar cantidades superiores a su capacidad. La PTAR se encuentra, actualmente, confrontando desafíos significativos en la esfera de la gestión y el tratamiento de aguas residuales. Estos desafíos se evidencian en la insuficiencia de las capacidades técnicas para la ejecución de un tratamiento adecuado. Las instalaciones de tratamiento existentes están operando por encima de su capacidad nominal, lo que conduce a problemas de índole técnica, ambiental y de salud pública. En consecuencia, se hace necesario implementar medidas inmediatas y una estrategia integral orientada al desarrollo sostenible en el ámbito del saneamiento urbano, que promueve la gestión ambiental y la adopción de fuentes de energía renovable.

Por lo tanto, resulta esencial llevar a cabo investigaciones sobre la especie *E. crassipes*, comúnmente conocida como jacinto de agua, en su papel como fitoremediador de aguas residuales. El estudio de su capacidad es relevante tanto desde una perspectiva ecológica como aplicada, ya que contribuye a la mejora de la calidad del agua, entre otros aspectos. El jacinto de agua, debido a su rápida tasa de crecimiento, es capaz de absorber una amplia variedad de contaminantes presentes en el agua, incluyendo metales pesados, nutrientes en exceso, compuestos orgánicos y otros contaminantes disueltos. Además de su capacidad para eliminar contaminantes, esta planta tiene un potencial significativo en aplicaciones prácticas, como en sistemas de tratamiento de aguas residuales (11).

Sin embargo, es importante destacar que una de las desventajas de esta especie radica en su capacidad para causar daños a los ecosistemas acuáticos al desplazar a las especies nativas. Esto se debe, en gran medida, al suministro de nutrientes, que es el factor principal que influye en la proliferación de esta planta (12). Por lo tanto, un control adecuado de esta especie es esencial en los estudios de investigación. En este sentido, la investigación sobre *E. crassipes* no solo proporciona una comprensión más profunda de su biología y ecología, sino que, también, tiene implicaciones significativas en la

gestión sostenible de los recursos hídricos, la conservación de la biodiversidad y la búsqueda de soluciones efectivas para abordar la contaminación del agua y los desafíos ambientales. Investigaciones como el de Fernández (14) permitió conocer la capacidad fitorremediadora de esta especie en la remoción de calcio y magnesio, así como este estudio existen diversas investigaciones de éxito, el cual se encuentran detallados en los antecedentes de este trabajo. Debido a ello, resulta de vital importancia investigar la capacidad en la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual de la laguna de maduración de la PTAR de Chulucanas, que emplea la *E. crassipes*. Este estudio representa una opción sostenible y económica que podría ofrecer una solución a los desafíos actuales que enfrenta la PTAR de Chulucanas.

Formulación del problema

Problema General

¿Cuál es la capacidad fitorremediadora la *E. crassipes* en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura?

Problemas Específicos

¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR?

¿Cuál es el porcentaje de remoción de la fitorremediación de aguas residuales de la PTAR con la especie *E. crassipes*?

Objetivos

Objetivo General

Describir la capacidad fitorremediadora *E. crassipes* en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura.

Objetivos Específicos

Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR

Identificar el porcentaje de remoción de contaminantes empleando *E. crassipes* como tratamiento de las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR

Justificación de la investigación

Justificación práctica

Desde una perspectiva práctica, esta investigación es fundamental para abordar problemas concretos en el tratamiento de aguas residuales en Chulucanas, Piura. Al determinar la capacidad remediadora de *E. crassipes* como una solución de bajo costo y ambientalmente amigable, se podrían implementar medidas de fitorremediación en la PTAR local para mejorar la calidad del agua y reducir la contaminación ambiental. Esto tendrá un impacto positivo directo en la salud de la comunidad y contribuirá a la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región.

Justificación metodológica

La elección de *E. crassipes* como planta fitorremediadora, en esta investigación, se basa en su reputación como una especie eficaz en la absorción de contaminantes. La metodología se justifica por su enfoque experimental que permitió evaluar la capacidad de la planta para eliminar contaminantes específicos en las aguas residuales de la PTAR de Chulucanas. La investigación empleó técnicas de muestreo, análisis fisicoquímicos y microbiológicos, y estadísticas para obtener resultados confiables y significativos.

Justificación teórica

La investigación se basa en la necesidad de abordar los problemas de tratamiento de aguas residuales en la región de Chulucanas, Piura. Desde una perspectiva teórica, esta investigación se justifica al proporcionar una oportunidad para comprender mejor la capacidad de *E. crassipes*, una planta acuática, para remediar contaminantes presentes en las aguas residuales. Este conocimiento teórico contribuirá al campo de la fitorremediación y servirá como base para el diseño de estrategias efectivas de tratamiento de aguas residuales.

Justificación ambiental

Desde una perspectiva ambiental, esta investigación se justifica al abordar el grave problema de la contaminación del agua en la PTAR de Chulucanas. El uso de *E. crassipes* como una solución de fitorremediación tiene el potencial de reducir la liberación de contaminantes al entorno natural, que protege así los ecosistemas acuáticos locales y promoviendo la conservación del medio ambiente. Esta investigación contribuirá a la búsqueda de soluciones sostenibles y amigables con el entorno para el tratamiento de aguas residuales en la región de Piura.

Importancia y alcances de la investigación

La investigación es de suma importancia en el contexto local y regional debido a su potencial para abordar desafíos específicos de la contaminación del agua en esta área. Además de contribuir a la mejora de la calidad del agua y la protección de la salud de la población, esta investigación puede tener un impacto económico significativo al ofrecer una solución de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales. Esto podría reducir la carga financiera en los sistemas de tratamiento actuales y permitir una asignación más eficiente de recursos para otras necesidades comunitarias. Además, al

destacar la eficacia de *E. crassipes*, este estudio podría fomentar la adopción de enfoques más naturales y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales en otras regiones, lo que podría representar un impacto positivo a nivel nacional e internacional en la gestión de recursos hídricos y la conservación del medio ambiente.

Hipótesis y operacionalización

Hipótesis General

H₁: La capacidad fitorremediadora *E. crassipes* en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura, es significativa.

H₀: La capacidad fitorremediadora *E. crassipes* en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura, no es significativa.

Hipótesis Específicas

H₁: Las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR presentan valores altos de los parámetros, Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes, pH, Temperatura, DQO, DBO₅, SSTy AyG.

H₀: Las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR no presentan valores altos de los parámetros, Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes, pH, Temperatura, DQO, DBO₅, SSTy AyG.

H₁: El porcentaje de remoción de contaminantes es alto empleando *E. crassipes* como tratamiento de las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR.

H₀: El porcentaje de remoción de contaminantes no es alto empleando *E. crassipes* como tratamiento de las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR.

Operacionalización de la variable

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLES	DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente <i>E. crassipes</i>	<i>E. crassipes</i> es también conocido como lirio acuático, de la familia pontederiaceae, sin embargo, optimizan la concentración de; nutrientes, pH y concentración de iones metálicos a temperatura ambiental.	Aplicación de la especie <i>E. crassipes</i> (Jacinto de agua) para remoción de agentes contaminantes en aguas residuales.	Cantidad / Tiempo	Nº Total de especímenes = densidad superficial x área de estudio	Unidades
Variable Dependiente	Capacidad fitorremediadora	Concentración de DBO5, DQO, aceites y grasas; y sólidos suspendidos totales, pH,	Verificación de la efectividad del sistema de	Físico Químicos	Temperatura pH °C Und.pH

Temperatura de campo, numeración de Coliformes termotolerantes, numeración de Coliformes totales.	la PTAR y fitorremediad ora.	DBO ₅	
		Aceites y grasas	mg/L
		Solidos totales suspendidos	
		DBO ₅	mg O ₂ /L
	Microbiológ gicos	Coliformes Termotolerante s	NMP / 100 ml
		Coliformes totales	

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes de investigación

Antecedentes internacionales

En la investigación “Adsorbentes verdes sostenibles funcionalizados a base de residuos altamente eficaces de jacinto de agua (*E. crassipes*) para la remediación de antibióticos de aguas residuales”, el objetivo de esta investigación fue explorar dos absorbentes usando la *E. crassipes* en la remoción de contaminantes presentes en el agua residual. Para lograr este propósito, los investigadores emplearon la metodología de enfoque cuantitativo, con un diseño experimental, en el cual se prepararon lechos con la mencionada especie. Los resultados fueron que, luego del tratamiento el pH fue de 7 y el Zing, se removió en un 98%. La conclusión a la que se llegó fue que los absorbentes a base de *E. crassipes*, son eficaces en la remoción de contaminantes del agua residual. Esta investigación, proporcionó información valiosa a la comunidad científica sobre la capacidad remediadora de esta especie, el cual sirve para poder tratar aguas contaminada de manera amigable y sostenible para el ambiente (13). La tesis anterior no solo enriquece la metodología y enfoque de esta investigación, sino que también respalda la relevancia de nuestro estudio al demostrar la eficiencia de *E. crassipes* en el tratamiento de aguas contaminadas. Esto fortalece la motivación para explorar la capacidad fitoremediadora de esta planta en un contexto específico como el de Chulucanas, Piura.

En la tesis “Fitorremediación del agua del estero La Matanza 2 del cantón Durán con la implementación de dos especies vegetativas”, el objetivo fue analizar los parámetros luego del tratamiento con *E. crassipes* y *L. minor*. La metodología fue de alcance explicativo, cuantitativo, experimental, el diseño fue completamente aleatorio, con cuatro tratamientos donde se le añadieron entre 50 a 100 gramos de las especies. Los resultados mostraron que la *E. crassipes* removió en un 80% los SST, 49.68% coliformes termotolerantes y 68.98% de turbidez. Se concluye que el empleo de estas plantas para tratar aguas residuales es eficiente (15). Esta investigación contribuye al demostrar la eficacia de la planta. Además, la metodología empleada, en este estudio, permitió determinar la cantidad de especies empleadas, lo cual servirá como aporte en el diseño metodológico del trabajo.

En el artículo “Eficiencia de *E. crassipes* en el tratamiento de aguas residuales crudas de cocina”, el propósito fue determinar cuán eficiente es la *E. crassipes* para el tratamiento de aguas crudas provenientes de cocina. La metodología fue de enfoque cuantitativo, alcance explicativo, experimental, en el cual se evaluaron durante 21 días mediante una ficha de observación. Los resultados evidenciaron que el pH tuvo una tendencia a ser neutro, la DBO₅ se redujo en un 77.23%, los SST en un 95.94%. Asimismo, se apreció que la biomasa de la especie aumentó en un 50%. Finalmente, el agua tratada se puede reusar con fines de riego. La conclusión es que la *E. crassipes* es eficiente en la remoción de contaminantes del agua residual. Esta investigación proporcionó información relevante en cuanto a la eficiencia de esta especie (16). La investigación se basa en estas premisas y aplica una metodología similar para evaluar su eficacia en un contexto específico, es decir, en 21 días. Este enfoque permite expandir la comprensión de la fitorremediación y contribuir a soluciones efectivas naturales para la gestión de aguas residuales en Chulucanas.

En el artículo “Fitorremediación de aguas residuales de tofu utilizando *E. crassipes*”, el objetivo fue determinar la eficacia de la *E. crassipes* en la remoción de contaminantes del agua residual de una industria de tofu. La metodología empleada fue de alcance explicativo, cuantitativo. Se emplearon 1500 gramos por cada compartimiento. Los resultados mostraron la reducción de SST en un 86.79%, DBO₅ en un 59.84% y DQO en un 58.95%. La conclusión fue que la planta estudiada es eficiente en la remoción de los parámetros fisicoquímicos del tofu. Esta investigación sirvió como referente para diversos estudios sobre la eficiencia de la *E. crassipes* (17). El análisis previo demostró la eficacia de *E. crassipes* en la remoción de contaminantes en un contexto industrial específico, en este caso, aguas residuales de una industria de tofu. Estos resultados validan la idea de que *E. crassipes* es un fitoremediador eficiente. La metodología empleada en el estudio anterior, que incluyó un enfoque explicativo y cuantitativo, así como la cantidad de *E. crassipes* utilizada (1500 gramos por compartimiento); ofrece un enfoque metodológico sólido que se puede aplicar en la investigación.

En el artículo “Capacidad de fitorremediación del jacinto de agua (*E. crassipes*) como solución basada en la naturaleza para contaminantes y caracterización fisicoquímica del agua de lagos”, la metodología usada fue de enfoque cuantitativo, de alcance explicativo, diseño experimental. Las muestras de las 8 estaciones se analizaron para conocer las cantidades iniciales. Los resultados fueron que la especie logró una

remoción de 22.2%, 70.5% y 97.3% de los contaminantes de CE, DQO y fósforo. Asimismo, se pudo apreciar que la *E. crassipes* tiene una capacidad remediadora ($p < 0.05$). La conclusión fue que, a pesar de la variación estacional, se evidenció cambios significativos con el tratamiento empleando la especie. Esta investigación permitió conocer que el empleo del jacinto de agua ocasionó un impacto relevante en la remoción de los contaminantes (18). El estudio previo respalda y valida la capacidad de *E. crassipes* como una solución basada en la naturaleza para la remoción de contaminantes en cuerpos de agua, lo que refuerza la relevancia de la investigación sobre esta planta. La metodología empleada, en el estudio anterior, demuestra la importancia del análisis de muestras iniciales, lo que es esencial para evaluar la eficacia de *E. crassipes* en la remoción de contaminantes.

Antecedentes nacionales

En el artículo “Propiedades del *E. crassipes* (Jacinto de agua), *Schoenoplectus colifornicus* (Junco), y el *Phragmites australis* (Carricillo)”, el objetivo de esta investigación fue evidenciar la capacidad de remoción de contaminantes mediante el empleo de tres especies acuáticas. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, de alcance explicativo, con un diseño experimental, donde se prepararon 3 estanques donde se colocaron en cada una de las especies en cada tanque; los estanques fueron de dimensiones 0.4 m x 0.3m x 1.6 m de largo, con un volumen de 0.192 m³. Los resultados fueron que la *E. crassipes* logró una remoción un porcentaje alto en la remoción de contaminantes (metales pesados). La conclusión fue que es evidente la efectividad de remoción de contaminantes empleando la *E. crassipes*. Esta investigación evidenció la efectividad empleando recursos naturales y, sobre todo, amigables con el entorno ambiental (19). El estudio anterior respalda la efectividad de *E. crassipes* en la eliminación de contaminantes, lo cual subraya la relevancia de la investigación actual en torno a esta planta en la PTAR de Chulucanas. Desde una perspectiva metodológica, esta investigación previa involucró análisis en diversos estanques, lo que posibilitó la implementación de un pozo artificial para el análisis en la investigación actual.

En la tesis “Fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie *E. crassipes* en el distrito de Yarabamba, Arequipa - 2021”, el objetivo de esta tesis fue identificar

la eficiencia de la *E. crassipes* en la remoción de contaminantes. La metodología empleada fue observacional, con un enfoque cuantitativo, de alcance explicativo, con un diseño experimental – pre experimental con pre y post test, la muestra recolectada fue de 26 litros de agua residual. Los resultados, fueron que, el porcentaje de remoción de ST fue de 96.3%, DQO 77.3%, DBO₅ 92.7% y la temperatura fue de 7.05%. Asimismo, se logró evidenciar que el agua tratada sirvió para reúso dado que cumplía con los LMP. La conclusión a la que se llegó fue que esta especie tiene una alta eficiencia en la remoción de los contaminantes (20). Este estudio aportó significativamente a esta investigación, ya que se tomó en consideración la parte metodológica, especialmente, el diseño experimental, lo cual proporcionó un respaldo metodológico sólido.

En la tesis “Evaluación del aporte de las plantas acuáticas *Pistia striotes* y *E. crassipes* en el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de Reque provincia de Chiclayo”, el objetivo fue evaluar a las plantas acuáticas antes mencionadas como fitorremediación de aguas residuales. La metodología empleada fue observacional, cuantitativo, experimental. El instrumento empleado fue la ficha de observación; fueron 3 muestras estudiadas. Los resultados fueron que, a los 21 días de tratamiento con *E. crassipes* se logró una remoción de 113.73% de aceites y grasas; la temperatura, después del tratamiento tuvo un valor de 23.5%, la DBO₅, se redujo en un 62.3%, la DQO. Se redujo en un 64.58%, además se apreció la remoción de los coliformes termo tolerantes en un 76%. Asimismo, el agua tratada con estas especies cumplió con los LMP. La conclusión fue que, se pudo apreciar la remoción efectiva de los contaminantes presentes en las muestras de las aguas residuales (21). La investigación anterior respalda y confirma la efectividad de *E. crassipes* en la eliminación de contaminantes en aguas residuales municipales. Desde el punto de vista metodológico, esta técnica se aplicó de manera similar en la presente investigación, incluyendo el análisis después de 21 días de tratamiento.

En la tesis “Eficiencia del jacinto de agua (*E. crassipes*) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la quebrada Charhuayacu en el sector Shango, Moyobamba 2019”, el objetivo fue analizar la eficiencia de la *E. crassipes* en el tratamiento de ARD. Para lograr esta finalidad, se empleó la metodología observacional, de enfoque cuantitativo, de alcance explicativo, experimental, para la recolección de los datos se empleó una ficha de observación. Además, se construyeron 3 tanques, donde se colocó

20 plántulas en cada uno en un total de 450 L. de agua. Los resultados fueron que los valores iniciales del agua sin tratamiento para el pH fueron de 7, Turbiedad 339 UNT, DBO₅, Coliformes Totales 79×10^6 . Coliforme fecales 33×10^6 , valore que son significativamente altos, los cuales sobre pasan los LMP. Luego del tratamiento, se apreció que, el pH fue de 6.5, la turbidez fue de 20.7 UNT, DBO₅ fue de 127mg/L, Coliformes totales fue de 9×10^3 NMP/100ml. La conclusión fue que la *E. crassipes* es eficiente en la remoción de contaminante (22). La información proporcionó un aporte al conocimiento sobre la eficacia de *E. crassipes* como planta fitorremediadora. Desde una perspectiva metodológica, esta información fue útil para la creación de un pozo artificial destinado a la colocación de la especie.

En la tesis “Evaluación comparativa de lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y jacinto de agua (*E. crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tacna”, el objetivo fue evaluar las dos especies antes mencionadas como fitorremediadora de aguas residuales. La metodología empleada fue observacional, de alcance explicativo, experimental, la muestra fue 140 litros previo a la entrada de PTAR. Se evaluó en 0, 20, 40 y 60 días, el diseño fue factorial con 3 repeticiones. Los resultados fueron la *E. crassipes* pudo remover en un 98.97% los coliformes termotolerantes y la DBO₅. Se redujo en un 83.88% esto a los 60 días de evaluación. La conclusión fue que la *E. crassipes* tiene una mayor eficacia en remoción de estos parámetros analizados en comparación la lechuga de agua (23). Este antecedente enriquece la investigación al proporcionar una comparación de especies, una metodología robusta y resultados que respaldan la eficacia de *E. crassipes* en la remoción de contaminantes en aguas residuales.

Antecedentes locales

En la tesis “*Lemna Minor* y *E. crassipes* como fitorremediadora para tratamiento de aguas residuales de la Laguna Centro Poblado Loma Negra - Piura 2022”, se tuvo como objetivo analizar las especies como fitorremediadora de las aguas residuales. La metodología fue observacional, alcance explicativo, experimental completamente al azar, la muestra fueron 60 litros de AR. Los resultados después del tratamiento con *E. crassipes* fueron, AyG 2.5 mg/L, DQO con 90.70 mg/L, temperatura 23°C, Coliformes termotolerantes <1.8NMP/mL y un pH de 6.6. La conclusión fue se evidenció la

capacidad remediadora de esta especie (24). Este precedente fortalece la investigación al ofrecer evidencia contundente de la efectividad de *E. crassipes* como fitorremediador, una metodología robusta y resultados que respaldan la planta en su capacidad de mejorar la calidad del agua en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

En la tesis “Jacinto de agua y tiempo de permanencia en el proceso de fitorremediación de las lagunas PTAR- El Indio”, el objetivo fue identificar la eficacia del jacinto de agua en la remoción de contaminantes. La metodología empleada fue observacional, de enfoque cuantitativo, experimental, donde se construyó 2 pozos artificiales de dimensiones 0.7 m x 0.4m x 0.4m. La muestra fue 80 litros de la laguna de la PTAR. La evaluación se realizó en 22 y 40 días. Los resultados de la caracterización fue para Ay G un valor de 31.2 mg/L, coliformes termotolerantes fue de 54×10^5 , DBO₅, 251.6 mg/L, DQO fue de 428 mg/L y SST fue de 160. Luego del tratamiento los resultados fueron AyG con un valor de 3.3 mg/L, Coliformes Totales fue de 9200 NMP/100mL, DBO₅ fue de 38.7 mg/L, DQO fue de 62 mg/L y SST fue de 88 mg/L. En la conclusión, se logró apreciar la disminución significativa en la concentración de los parámetros analizados (25). La metodología empleada en la tesis anterior, que incluyó un enfoque cuantitativo y un diseño experimental con la construcción de pozos artificiales, pues sirvió como referencia y orientación para el diseño metodológico de la investigación. Esto es especialmente relevante ya que se realizó similares en el pozo artificial.

Bases teóricas

Aguas residuales

Estas, asimismo, se les conoce como aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuales, que son utilizadas, forman un residuo, muestra que no vale para el usuario directo (26).

Haciendo referencia a las aguas que presentan particularidades únicas, han sido transformadas por actividades antropogénica, y, por consecuencia, estas requieren un tratamiento previo para mejorar su calidad antes de ser reutilizadas (27).

Los cuerpos de las aguas residuales se enmarca un valor en la depuración de tales aguas, antes de ser insertadas al medio natural, por lo que son tratadas de un modo especial mediante la aplicación de diversas metodologías y tecnologías microbiológicas y fisicoquímicas para el educado tratamiento e higienización de estas, para lograr la eliminación total de los señalados

componentes tóxicos presentes en ellas, los cuales pueden llegar a ser mortales para quienes tienen contacto directo con ellos, a través de la utilización directo e indirecto de tales aguas sin el respectivo tratamiento y supervisión de los entes reguladores en materia ambiental (27).

Por lo tanto, las aguas residuales deben ser apropiadamente tratadas en plantas depuradoras, a las cuales ingresan para ser descontaminadas, antes de ingresar en contacto con la naturaleza, y se verificará un tratamiento que tratará de devolverles sus propiedades naturales y subsanarlas de la toxicidad o contaminación que hayan adquirido como consecuencia de su utilización en el accionar humano (28).

Tratamiento de Aguas Residuales (TAR)

Es el proceso de la eliminación de los contaminantes, que reduce el grado de contaminación del medio ambiente en el cuerpo receptor (29). Sin embargo, estas aguas ejecutan una acción fundamental para el manejo del recurso natural; realiza el tratamiento y reúso de agua; puede ayudar además de la reducción en el consumo. Por ello, los beneficios a los ecosistemas reducen la emisión de agentes nocivos; además, el agua residual puede ser una fuente de nutrientes y de otros materiales recuperables, incluso de energía (30).

Las Plantas de Tratamiento son un conjunto de operaciones y procesos unitarios de origen fisicoquímico o biológico, o combinación de ellos que están envueltos por fenómenos de transporte y manejo de fluidos (31).

Límites Máximos Permisibles (LMP)

Es la medida de la concentración de parámetros físicos, químicos y biológicos, que determinan una emisión, que, al sobre pasar los límites permitidos, puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (32). Estas, al incumplir la normativa de los límites máximos permisibles, pueden tener una infracción será sancionada de acuerdo a la escala de contaminación de la fuente hídrica (33).

La determinación de la escala de la sanción le corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión, fiscalización y sanción serán establecidos por dicha entidad (34).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Calcula el total de oxígeno y material orgánico consumido de una muestra líquida (35). Sin embargo, hace referencia al aumento de oxígeno que los microorganismos, consumen mientras se degradan las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación. La DBO₅ es un proceso biológico y, por lo tanto, requiere de mucho tiempo. El proceso de descomposición depende de la temperatura; se realiza a 20°C durante cinco días de manera estándar, denominándose DBO₅ (36).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La cantidad de oxígeno que demandan los microorganismos para descomponer químicamente la materia orgánica, que presente un oxidante como el permanganato potásico o el dicromato de potasio Este es el único método utilizado para calcular la suma de residuos industriales en el agua, que no puede ser medio por DBO, siendo un análisis necesario en plantas de tratamiento de agua y efluentes. Asimismo, se usa comúnmente para fines operativos debido a la rigidez en la obtención de resultados, en comparación con DBO₅ (37).

E. crassipes

Diversos investigadores han informado sobre el potencial de biosorción de *E. crassipes*, que muestran resultados alentadores (38) (39). Esta planta acuática, originaria de la cuenca del Amazonas en América del Sur, pertenece a la familia Pontederiaceae (40). Fue inicialmente descrita por von Maltus en 1823 como Pontederia y, luego, transferida al género *E. crassipes* por Solms Laubach en 1883 (40). *E. crassipes* se reproduce tanto asexualmente, mediante órganos vegetativos conocidos como estolones, como sexualmente, a través de semillas (41). Sus hojas varían en forma, desde ovadas hasta orbiculares, con ápices obtusos o redondeados y bases cuneadas o cordiformes (40). La planta se caracteriza por tener tallos inflados con tejido aéreo, estolones relacionados con la reproducción vegetativa y raíces adventicias de considerable longitud (42). Sus flores exhiben un tono lila o violáceo con una mancha amarilla rodeada por una mancha violeta que destaca en el tépalo medio superior del perianto (43). Para observar la morfología externa de *E. crassipes*, se puede consultar la **Figura 1**.



Figura 1. Partes de la *E. crassipes*. Tomada de “Solms (natural or carbonized) as biosorbent to remove pollutants in water”, por Lima y Asencios, 2021.

El Jacinto de agua, o también conocido como lirio acuático, es una planta acuática más prolífera de la tierra, se desarrolla en agua dulce (37).

Es una maleza de agua dulce a nivel mundial debido a su rápido incremento, alta competitividad, movimiento por el viento y corrientes de agua y propagación por el hombre con fines ornamentales. Asimismo, está entre las 100 especies más invasoras del mundo por la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). Es, también, conocida como una especie exótica invasora, ya que es capaz de subsistir, reproducirse y establecerse en hábitats y ecosistemas naturales, y que amenaza la diversidad biológica, economía o la salud (45).

2.1 Definición de términos básicos

- **Características Fisicoquímicas:** “Para determinar la potabilidad del agua se realizan ensayos en forma anual y de carácter obligatorio que determinan el color, olor, turbiedad, pH, residuo fijo, conductividad, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, sulfato, nitrato, nitrito, amonio, cloro residual y oxidabilidad”(46).
- **Análisis microbiológico del agua:** “En el agua pueden encontrarse microorganismos, los cuales afectan en mayor o menor medida a la calidad sanitaria del agua. Una de las fuentes principales de contaminación son las aguas residuales que contienen materia fecal que puede ser vehículo de transmisión de patógenos”(47)
- **Fitorremediación acuática:** “La fitorremediación es una opción de tratamiento económica para aguas residuales, ya que no requiere de energía, y es sostenible bajando gradualmente las cantidades de contaminantes en la carga de las aguas residuales, para así cumplir con las exigencias de las normas ambientales”(48).
- **Plantas acuáticas:** “También, llamadas hidrófitas, son aquellos vegetales que colonizan o se localizan en entornos acuáticos, ya que poseen adaptaciones morfológicas, anatómicas y fisiológicas que les admiten la supervivencia en dichos hábitats”(49).
- **Cuerpo receptor:** “Las aguas superficiales se clasifican, según su uso, y esta clasificación indica condiciones mínimas de calidad de sus aguas, y consecuentemente condiciona la calidad del agua de los efluentes. Como consecuencia la clasificación del cuerpo receptor, que se asocia a una serie de valores límites a no ser superados para los principales parámetros de calidad del agua, se definen exigencias mínimas para el tratamiento de los efluentes”(50).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Método General

El método empleado es el científico por seguir los procesos del estudio de recolección de datos de resultados numéricos e interpretación estadística a través de análisis para poder demostrar la aprobación de la hipótesis y la teoría, que tienen en cuenta estudios como antecedentes (51).

3.1.2 Método Específico

El método específico es hipotético – deductivo, porque, en la presente investigación, primero se analizan las hipótesis específicas para llegar a la hipótesis general con el propósito de la verificación de estas. Con ello, se debe analizar la efectividad del sistema de fitorremediación de *E. crassipes* para el tratamiento de las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, para la evaluación de la remoción de la concentración de los parámetros físico químicos y microbiológicos (DBO₅, DQO, aceites y grasas; y sólidos suspendidos totales, pH, Temperatura de campo, numeración de Coliformes termotolerantes, numeración de Coliformes totales.), que se determina así la efectividad del sistema fitorremediador (52).

3.2 Tipo de la investigación

La presente tesis es una investigación aplicada porque permite solucionar una problemática actual y recurrente en el ámbito de la PTAR, aportando a la mejora de la calidad del agua a través del tratamiento de este recurso mediante el empleo de la especie *E. crassipes*, que logra, además, mejorar el ámbito socio ambiental de vida poblacional (52).

3.3 Nivel de la investigación

Respecto al nivel de la investigación, esta es explicativa porque la investigación genera hipótesis que van a requerir ser contrastadas a fin de determinar si la realidad es así o si es que se realizan cambios. Se desarrolla qué es lo que podría estar pasando. Además, requiere de un experimento de las variables en condiciones similares, en las que se debe tener un grupo de control a la que se realiza una prueba de entrada antes de cualquier modificación, y un grupo experimental que permite contrastar esos cambios o predecir

resultados, que permite responder al porqué llegaron a suceder tales fenómenos o efectos resultantes a través de las pruebas de hipótesis (52).

3.4 Diseño de la investigación

El diseño empleado en este trabajo fue el experimental: Preexperimental con pre y post prueba. En este diseño, se manipula la variable independiente y se observa los efectos en la variable dependiente. En el diseño preexperimental con pre y post prueba, se recopila información o mediciones antes y después del tratamiento (53). Por ello, este estudio empleó el mencionado diseño, debido a que se manipuló la variable independiente (cantidad de *E. crassipes*) y se observó la remoción de contaminantes presentes en al agua residual de la laguna de la PTAR; asimismo, es de pre y post prueba, ya que antes del tratamiento se realizó una caracterización del AR y luego del tratamiento también se analizaron los parámetros fisicoquímicos (pH, Temperatura, DQO, DBO₅, SST y AyG) y microbiológicos (Coliformes totales y termo tolerantes).

$$O_1-----X-----O_2$$

Dónde:

O₁= Observación del agua residual sin tratamiento con *E. crassipes*

X= Tratamiento con *E. crassipes*

O₂= Observación del agua residual después tratamiento con *E. crassipes*

3.5 Descripción del ámbito de la investigación

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales está ubicada en la localidad de Chulucanas, en el sector Lagunas en el distrito de Chulucanas, provincia de Morropón, departamento de Piura. El centro urbano se encuentra ubicado entre las coordenadas UTM Y: 9437488N y X: 590496E. Está interconectada, a través de la Carretera Panamericana Norte con las ciudades de Chiclayo y Piura, tal como se aprecia en la **Figura 2**.

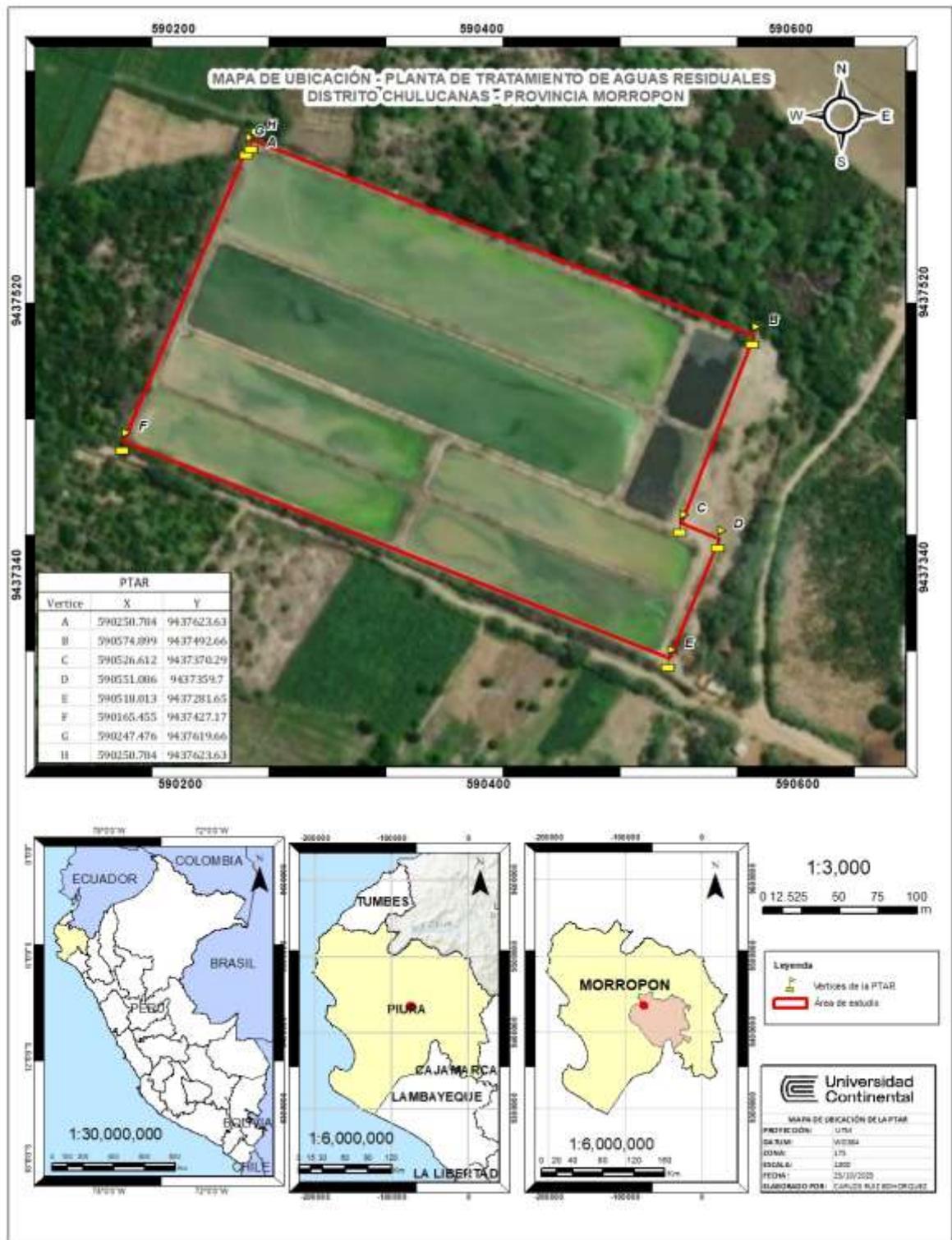


Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio. Elaboración propia.

3.5.1 Descripción del sistema de tratamiento

A) Captación

Esta unidad recibe las aguas residuales domésticas provenientes de la cámara de bombeo Chulucanas. Esta planta ha sido diseñada para realizar el tratamiento de un caudal de 20 l/s de aguas residuales. Las estructuras hidráulicas de ingreso y reparto de caudales de las lagunas rehabilitadas se diseñaron para un caudal máximo de 64 l/s. El flujo proviene de la cámara de bombeo Chulucanas. Llega a una caja de concreto antes de ingresar al sistema lagunar, que continúa su trayectoria por un canal abierto de corta longitud (Medidor Parshall). El desagüe llega a 2 cajas centrales y, de allí, se distribuye a los ingresos laterales de las lagunas primarias.

B) Medidor Parshall

La planta cuenta con un medidor Parshall para determinar el flujo de agua residual que ingresa para su tratamiento. El flujo se distribuye a dos cajas al ingreso de cada laguna primaria.

C) Lagunas Primarias

Está conformado por dos lagunas de 145 m de largo por 90 m de ancho cada una, con una profundidad de 2.5 m y taludes de 2 m inclinados. Cada laguna tiene tres estructuras de ingreso y tres estructuras de salida. Estas últimas se interconectan con las lagunas facultativas de tratamiento secundario. Los taludes son en tierra con grava.

D) Lagunas secundarias

Conformado por dos lagunas de 145 m de largo por 80 m de ancho, una profundidad de 2 m y un talud de 2 m. Cada laguna tiene tres estructuras de ingreso y tres estructuras de salida interconectadas en una sola descarga. Los taludes son en tierra con grava.

E) Lagunas terciarias

Las 4 lagunas terciarias cumplen con un largo de 85 m de ancho, una profundidad de 2.5 y altura de 2.5. Cada una tiene una entrada y salida de las aguas.

F) Descarga

Las descargas de las lagunas secundarias son enviadas a un buzón, desde cual se distribuyen hacia dos canales de 200 m de longitud cada uno para su uso de riego.

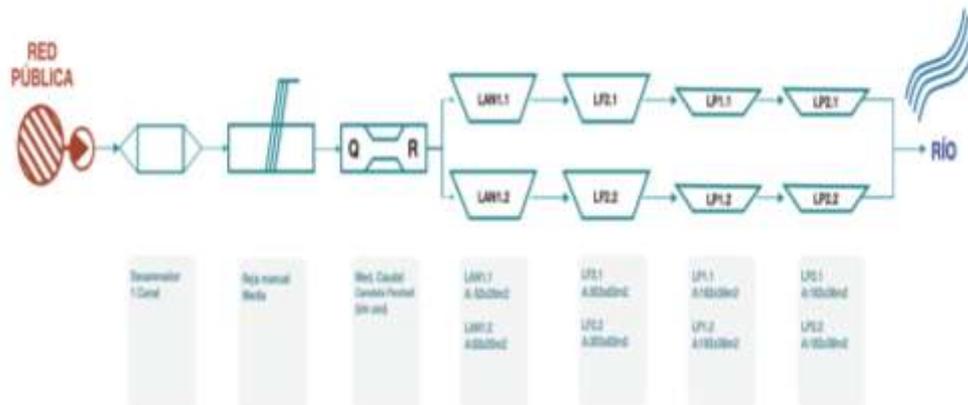


Figura 4. Esquema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del distrito de Chulucanas. Elaboración propia.

3.6 Población

La población para este estudio está conformada por $5025,969 \text{ m}^3$ de aguas residuales domésticas que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales de la EPS GRAU S.A.C en el distrito de Chulucanas (54).

3.7 Muestra

La muestra consistió en 12 m^3 de agua residual doméstica (52). El método de muestreo empleado fue el “muestreo a criterio del investigador”, en el cual el investigador selecciona la cantidad necesaria de muestra basándose en un criterio específico. Las muestras de las aguas fueron tomadas en la laguna de maduración con coordenadas UTM Y: 9437488N y 590496E, tal como se aprecia en la .

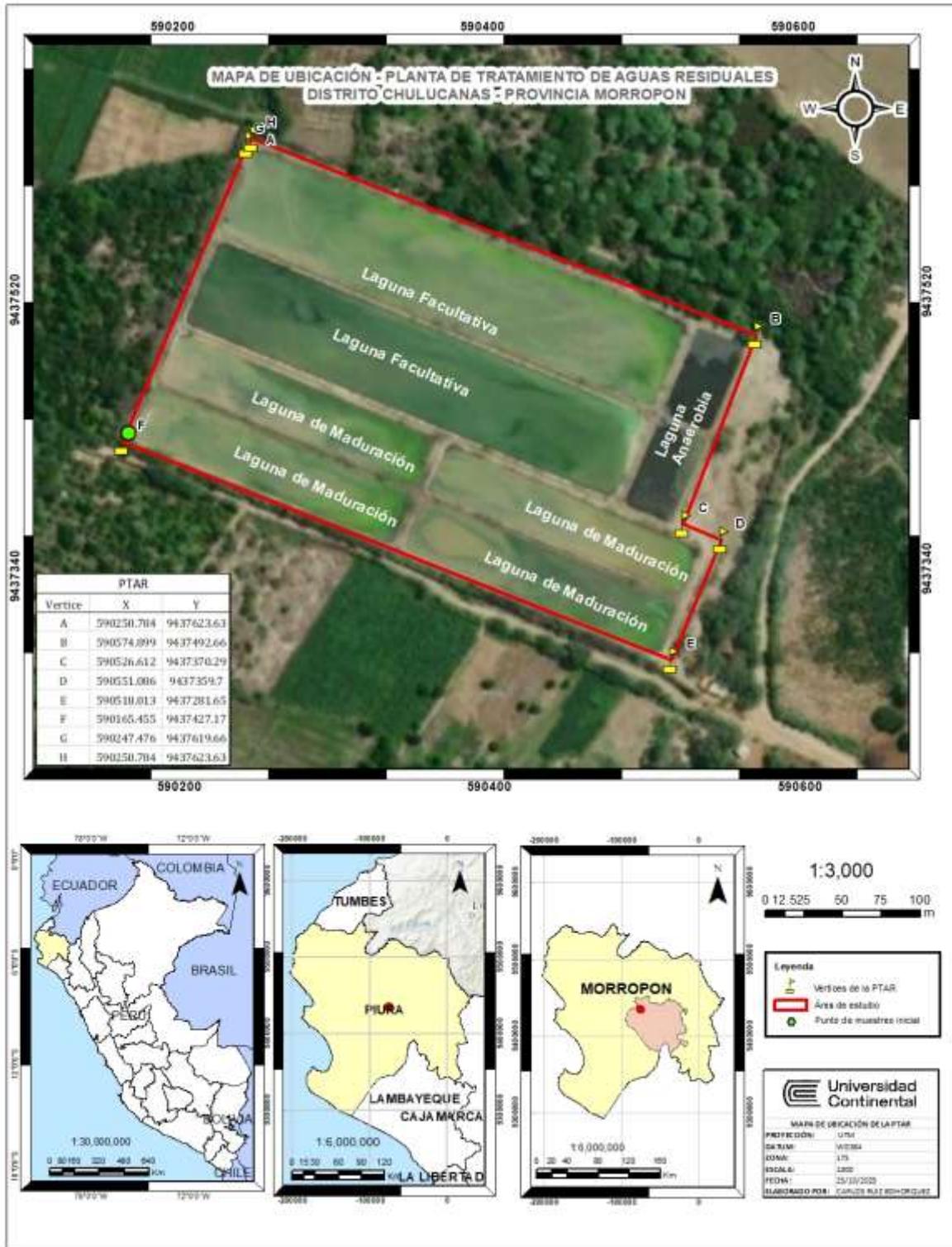


Figura 5. Mapa de ubicación del punto de recolección de la muestra. Elaboración propia.

3.8 Técnicas de investigación

La técnica de observación se caracteriza por ser un procedimiento de recopilación de datos que requiere observación para la obtención de datos necesarios para la investigación (55).

En este trabajo, se empleó la ficha de observación el cual permitió el registro de datos para su posterior análisis estadístico.

3.9 Instrumentos de recolección de datos

Una ficha de observación se considera un instrumento empleado en el proceso de recolección de datos mediante la observación. Su propósito principal radica en registrar de forma sistemática y estructurada las observaciones efectuadas durante una investigación (55). En este trabajo, se empleó la ficha de observación como instrumento para el registro de la cantidad de los parámetros antes y después del análisis de laboratorio.

3.10 Procedimientos

El análisis y procesamiento de los datos obtenidos fueron desarrollados a través de los análisis de laboratorio certificado por Certificaciones y Calidad S.A.C, para posteriormente obtener el reporte por parte del laboratorio. El análisis estadístico empleado es en relación para los resultados obtenidos por la hipótesis general y las específicas. Para ello, se pudo determinar los parámetros fisicoquímicos (pH, Temperatura, DQO, DBO₅, SST y AyG) y microbiológicos (Coliformes totales y termo tolerantes). Por ello, se presentaron las diferencias y similitudes significativas, que lograron establecer un tratamiento óptimo o aplicación para cada parámetro evaluado (S.R.L, 2021).

3.10.1 Etapa de pre campo

En esta fase, se reunieron todos los materiales y dispositivos esenciales para llevar a cabo el proceso de tratamiento de aguas residuales utilizando *E. crassipes*. Se realizó una visita y recorrido a campo donde se ejecutó el proyecto de investigación, tanto como en el área de extracción de la especie *E. crassipes* y la PTAR del distrito de Chulucanas.

Equipos:

- GPS: Identificación de los puntos a muestrear según lo planificado
- Verificación de la adaptación de la especie en el pozo artificial
- Identificar cada punto a muestrear
- Extracción del muestreo

Materiales

- Cooler plástico
- Bolsas Ziploc

- Gel pack
- Guantes
- Lentes

3.10.2 Etapa de campo y experimentación

La evaluación del crecimiento de la muestra poblacional de la especie en el pozo artificial durante el periodo de 03 semanas (± 1 día), tal como mencionan los estudios de Delgado (21), Limache (23) y Nuñez (25), para posteriormente extraer las muestras para el análisis físico químico y microbiológico.

A) Materiales empleados en la creación del pozo artificial

- Pico
- Lampa
- Machete
- Plástico
- Baldes
- Soga
- Caña de guayaquil
- Cámara fotográfica
- GPS
- Guantes de látex

B) Diseño e implementación de un pozo artificial

Se implementó con un sistema de fitorremediación con la especie *E. crassipes* de las aguas de maduración., para ello, se realizó de la siguiente manera:

Realización de la excavación del pozo para implementar el sistema fitorremediador.

La construcción se realizó a una distancia de 10 metros de la laguna de maduración. Se determinó que el área de construcción estaba dentro del cerco perimétrico de la laguna de oxidación. Se tiene en cuenta un pozo con un volumen de 12 m³, y se utilizó material plástico de 3 m x 4 m como revestimiento para transportar, posteriormente, el agua procedente de la laguna de maduración hacia un sistema fitorremediador, a través de un pozo artificial, tal como se aprecia en **la Figura 5 y 6.**

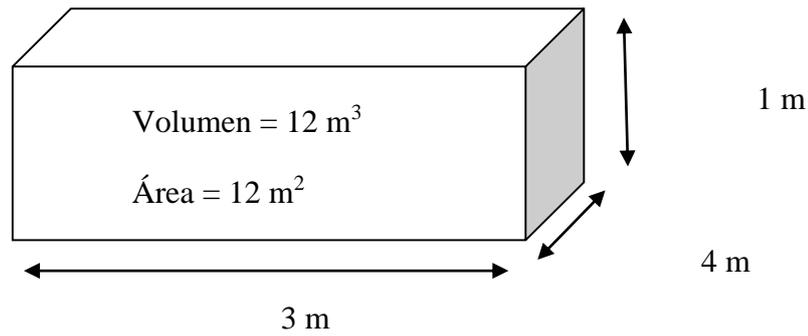


Figura 6. Diseño del sistema fitorremediador del pozo artificial. Elaboración propia.



Figura 7. Medición del pozo piloto del sistema fitorremediador y proyección de la geomembrana. Elaboración propia.

Traslado de las aguas. El traslado de las aguas fue de procedencia de las lagunas de maduración hacia el pozo artificiales para posteriormente poder aplicar el sistema fitorremediador con la inserción de la especie. Para ello, se trasladaron 12 m^3 , tal como se aprecia en la *Figura 7*.



Figura 8. Traslado de las aguas residuales al sistema fitorremediador de la especie *E. crassipes*. Elaboración propia.

- **Traslado y adaptación de la especie *E. crassipes*.** La especie *E. crassipes* fueron captadas en la rivera del río Chira en el viejo Puente a la margen izquierda del puente, que se encuentra en la panamericana, ubicado a 120 m del antiguo puente con las coordenadas UTM Y: 9458768N y X: 533432E, tal como se aprecia en la **Figura 8**.

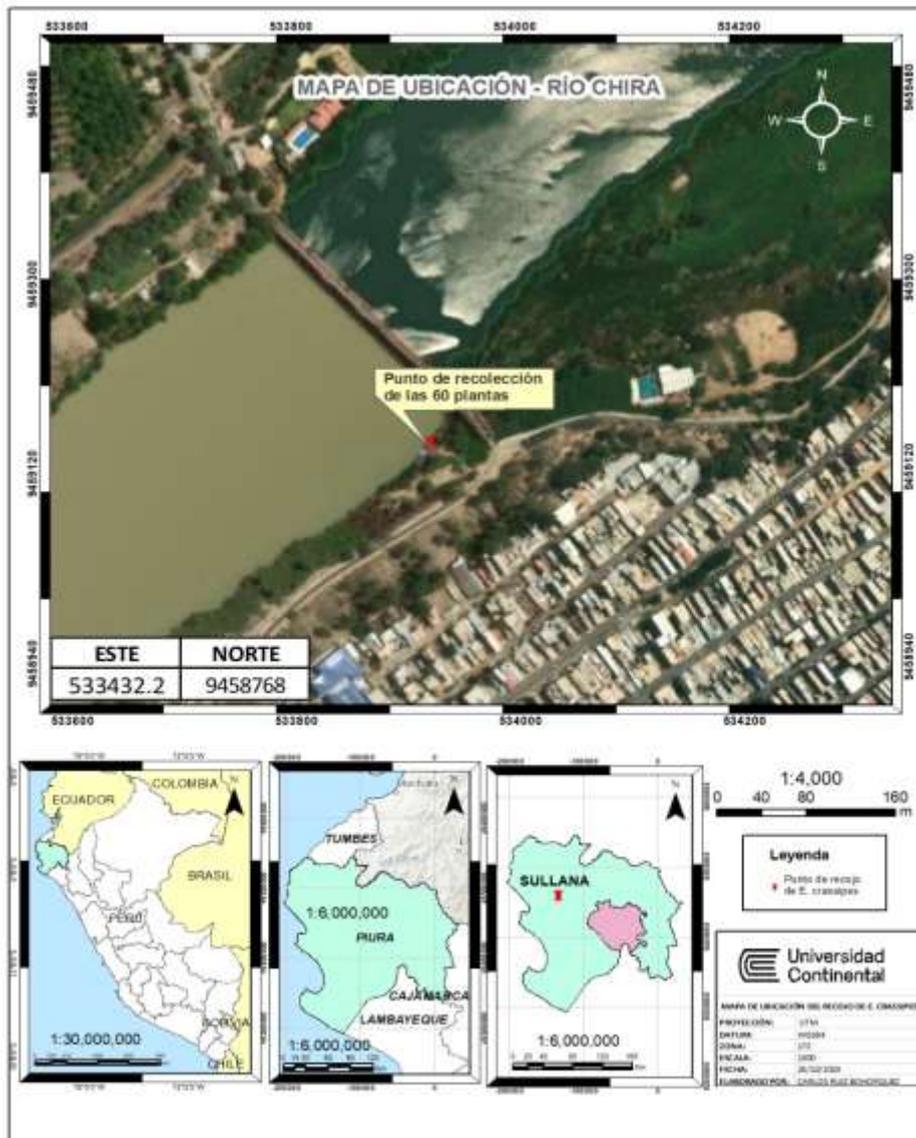


Figura 9. Mapa de ubicación de la recolección de la *E. crassipes*. Elaboración propia.

Luego, fueron trasladadas a la PTAR de Chulucanas e insertadas en el pozo artificial del sistema fitorremediador.

Para recolección de los especímenes, se utilizó baldes, guantes y una caña de guayaquil, y se permitió arrastrar las especies que se encontraban lejos de la orilla. Para ello, se trabajó con las medidas de seguridad por la limitación de la obtención de la especie, ya que se encuentra degradada esta especie por motivo del fenómeno costero. El suelo tiene un aspecto fangoso y tenía una profundidad de 1.80 m, lo cual hacía imposible ingresar al río, tal como se aprecia en la **Figura 9**.



Figura 10. Traslado de la especie *E. crassipes*. Elaboración propia.

Para el transporte de los especímenes, se usó bus público para de la misma zona Sullana – Piura – Chulucanas. Posteriormente, se trasladaron las especies en camioneta de propiedad de la EPS GRAU S.A hacia la laguna de oxidación. El periodo de recorrido en total duró 02 horas y, para conservar la especie, se usó los valeses de material polietileno para evitar filtraciones y se encontraban descubiertas la parte superficial del balde para que las plantas tengan filtración solar y oxígeno. Para ello, se le adicionó, también, agua del mismo río para realizar el traslado respectivo; así, se realizó un solo viaje para la recolección de la especie 22 de diciembre del 2022.

- **Seguimiento de la adaptación de la especie.** Para la evaluación del crecimiento y adaptación de la especie, se tomó en cuenta desde el 29 diciembre del 2022 al 14 enero 2023, en un periodo de 3 semanas, exactamente, para ver su proceso evolutivo en el medio de crecimiento en las instalaciones de la PTAR de la EPS GRAU S.A. La

población inicial fue de 60 plantas. Para ello, se empleó la ecuación propuesta por Chow, Maidment y Mays (56).

$$NTE = D_s \times A_e \quad (1)$$

Donde:

NTE= Número Total de Especímenes

Ds= Densidad superficial

Ae= Área de estudio

Reemplazando en la formula (1)

$$NTE = 5 \text{unid}/m^2 \times 12m^2$$

$$NTE = 60 \text{ especímenes}$$

Luego, con el cálculo, se procedió a colocar los especímenes en el pozo artificial, tal como se aprecia en la *Figura 10*.



Figura 11. Introducción de la especie *E. crassipes* en el pozo piloto. Elaboración propia.

3.10.3 Etapa de laboratorio

A. Muestreo para la caracterización del agua residual

Previo al análisis del agua residual, se realizó el muestreo de estas teniendo en consideración al “Protocolo de Monitoreo de la calidad de efluentes de las PTAR domésticas o municipales”(57). Para ello, se empleó los siguientes materiales para cada parámetro como se menciona en la **Tabla 2**.

Tabla 2. *Materiales para el muestreo de aguas residuales*

Parámetro	Recipiente	Preservación	Volumen de la muestra
pH	Plástico	No aplica	50 mL
Temperatura	Plástico	No aplica	1000 mL
A y G	Vidrio Ámbar	Agregar HCL hasta un pH <2, preserva a 4°C	1000 mL
DBO5	Plástico	Preservar a 4°C	1000 mL
DQO	Plástico	Agregar H2SO4 hasta un pH <2	1000 mL
SST	Plástico	Preservar a 4°C	100 mL
Coliforme Termotolerantes y totales	Vidrio	Preservar a 4°C	500 mL

Nota: Elaboración propia

Se obtuvieron los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del pozo del año 2023, para la evaluación de las aguas del sistema fitorremediadora para comparar la calidad de aguas residuales para determinar la remoción de los contaminantes.

- **Recolección de muestra.** Las muestras fueron recolectadas in situ, en cada uno de los frascos de acuerdo con los parámetros que se tenían que analizar, tal como se detalló en la **Tabla 2**.
- **Rotulado de las muestras.** Para la fácil identificación de las muestras recolectadas estas se rotularon, se tuvo en cuenta la siguiente información como se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3. *Modelo de rotulo para las muestras*

Descripción	Detalles
Fecha/ hora	
Preservante	
Tipo de muestra	
Coordenadas UTM	
Persona que realizó la muestra	

Nota: Elaboración propia

- **Preservación de las muestras.** Para que las muestras sean representativas, se añadió preservantes y/o reactivos, de acuerdo a cada parámetro y tal como lo menciona en el “Protocolo de Monitoreo de la calidad de efluentes de las PTAR domésticas o municipales”(57).
- **Envío al laboratorio.** Las muestras recolectadas se enviaron juntamente con una cadena de custodia para su análisis respectivo.
- **Análisis de laboratorio.** El análisis lo realizó la empresa Certificaciones y Calidad SAC, empresa acreditada por INACAL. Este análisis se desarrolló con la finalidad de establecer un diagnóstico situacional de la PTAR del distrito de Chulucanas donde se desarrolló la interpretación de los análisis de aguas físico-químicos y microbiológicos del año 2023 para determinar el estado operacional de la PTAR y, de esta manera, tener un marco referencial que sirvió para la evaluación de los resultados obtenidos posteriormente con el sistema de tratamiento por fitorremediación para ver posteriormente la efectividad de ambos sistemas (54).

B. Muestreo luego de tratamiento

- **Recolección de muestra.** El muestreo se realizó en el mismo pozo artificial, asimismo, se consideró el “Protocolo de Monitoreo de la calidad de efluentes de las PTAR domésticas o municipales” (57).



Figura 12. Muestreo del agua luego del tratamiento. Elaboración propia.

- **Rotulado.** Para la fácil identificación de las muestras recolectadas, estas se rotularon y tuvieron en cuenta la siguiente información como se muestra en la **Tabla 3** y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



Figura 13. Rotulado de las muestras. Elaboración propia.

- **Preservación.** La preservación se realizó de acuerdo a cada parámetro tal como se muestran en la **Tabla 2**.



Figura 14. Muestras preservadas. Elaboración propia.

- **Envío al laboratorio.** Las muestras recolectadas se enviaron juntamente con una cadena de custodia para su análisis respectivo.
- **Análisis de laboratorio.** El análisis lo realizó la empresa Certificaciones y Calidad SAC, empresa acreditada por INACAL. Resultados que fueron procesados y analizados posteriormente.

3.10.4 Etapa de gabinete

La recopilación de información fue desde la información preliminar que se desarrolló desde la etapa de campo, experimentación y laboratorio, que logra las metas de ejecución, para la determinación del porcentaje de remoción se empleó la siguiente fórmula (58):

$$\% \text{ de remoción} = \left(\frac{(V_i - V_f)}{V_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

Dónde:

V_i = Valor inicial

V_f = valor final

3.11 Procesamiento y análisis estadístico de los datos

Para el procesamiento y análisis de los datos descriptivos, se empleó hojas de cálculo del programa Excel. Asimismo, se empleó el programa SPSS. Para el análisis inferencial, se empleó la prueba de Wilcoxon, en cual permitió comparar dos muestras relacionadas (59).

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados descriptivos

4.1.1 Caracterización del agua residual

Tabla 4. Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual sin tratamiento

Fisicoquímico	Unidad	Resultado
Temperatura	°C	25.6
pH	Unidad de pH	8
DBO ₅	mg/L	34
Aceites y grasas	mg/L	2.90
DQO	mg/L	839.9
SST*	mg/L	7.80
Microbiológico	Unidad	Resultado
Coliformes termo tolerantes	NTP/100ml	49x10 ³
Coliformes Totales	NTP/100ml	49x10 ³

Nota: *SST son los sólidos totales en suspensión. Elaboración propia.

Interpretación: En la **Tabla 4**, se muestran los resultados iniciales como parte de la caracterización del agua residual extraída de la laguna de maduración de la planta de tratamiento, resultados que permitieron la comparación del antes y después del tratamiento, que se describen líneas abajo.

4.1.2 Resultados de los parámetros antes y después del tratamiento con *E. crassipes*.

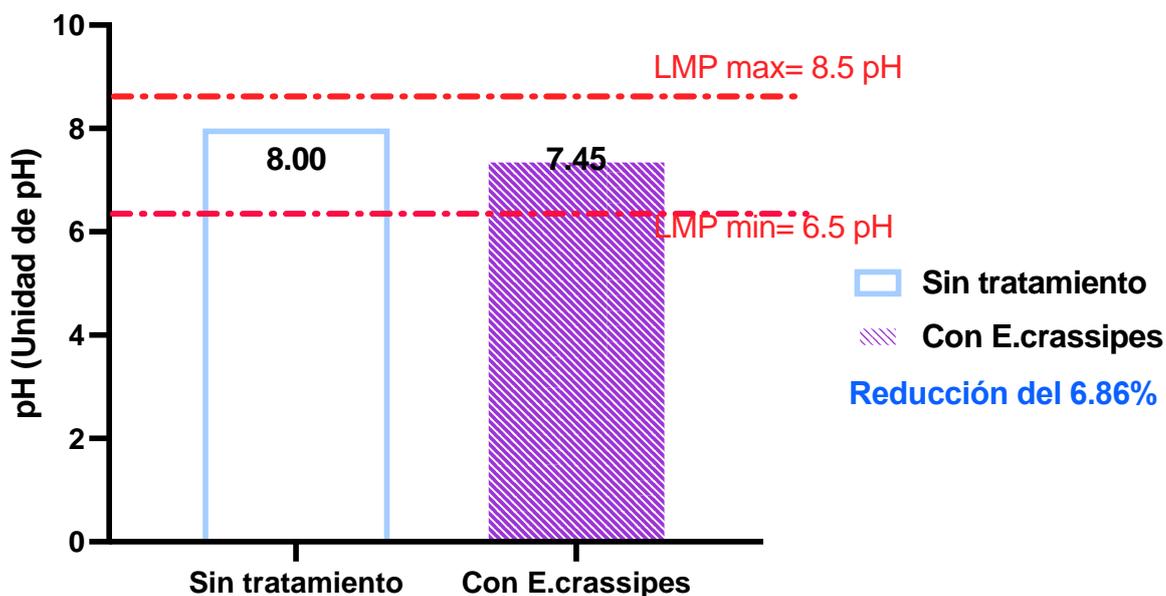


Figura 15. pH antes y después de tratamiento con *E. crassipes*. Elaboración propia.

Interpretación: En la *Figura 14*, puede apreciar que después de aplicar el tratamiento con *E. crassipes*, se logró una reducción del pH del 6.86%, lo que hizo que el agua tratada se volviera más neutra, dado que el valor inicial era de pH 8 (alcalino). Además, se observa que después del tratamiento, el valor del pH cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el D.S. 003-2010-MINAM (60).

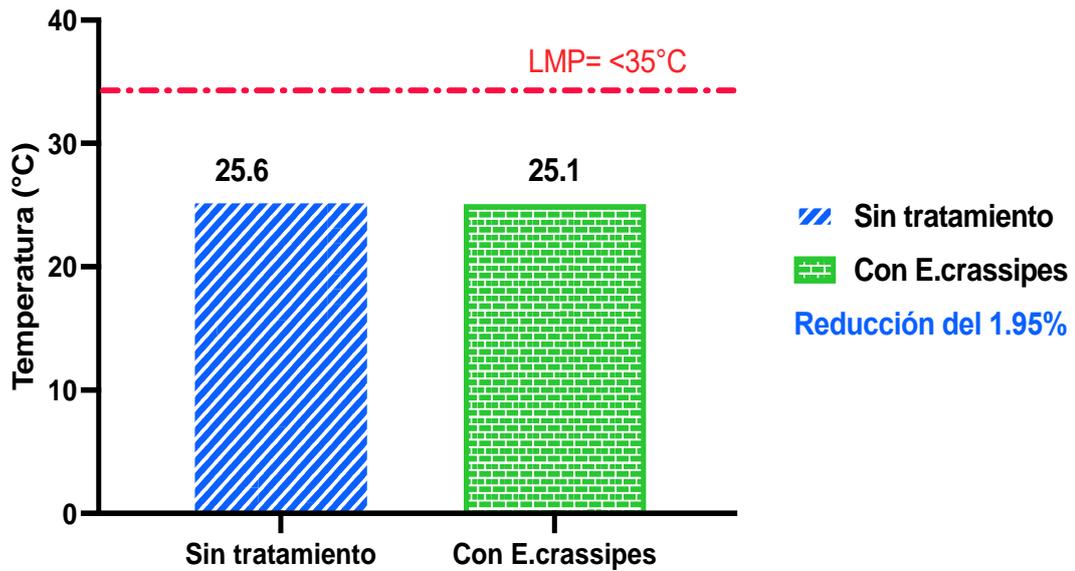


Figura 16. Temperatura antes y después de tratamiento con *E. crassipes*. Elaboración propia.

Interpretación: En la **Figura 16.** *Temperatura antes y después de tratamiento con E. crassipes.* Elaboración propia.

, se puede apreciar que el porcentaje de remoción de temperatura disminuyó en un 1.95% con relación a la primera medición. Además, se observa que el valor resultante después del tratamiento con *E. crassipes* cumple con la normativa D.S. 003-2010-MINAM (60).

4.1.3 Resultados de la DBO₅ después del tratamiento con los especímenes

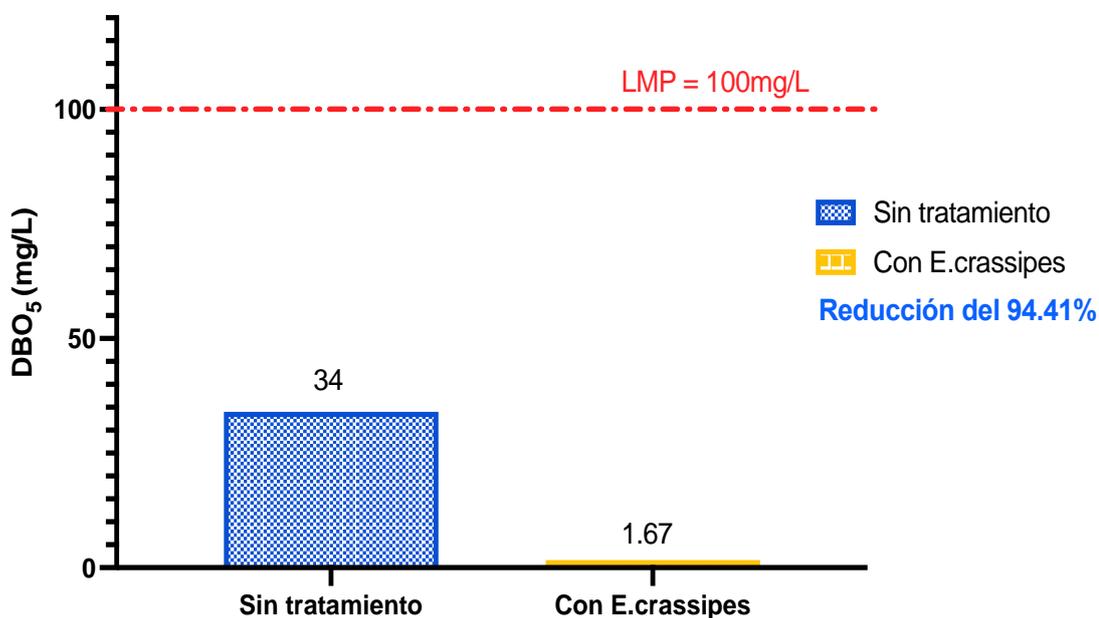


Figura 17. DBO₅ antes y después de tratamiento con *E. crassipes*. Elaboración propia.

Interpretación: En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa que el tratamiento utilizando *E. crassipes* logró reducir la concentración de DBO₅ en un 94.41%. Además, se puede notar que el valor calculado está por debajo de los 100 mg/L, lo que significa que cumple con la normativa D.S. 003-2010-MINAM (60). Estos resultados respaldan las hipótesis específicas planteadas en la investigación.

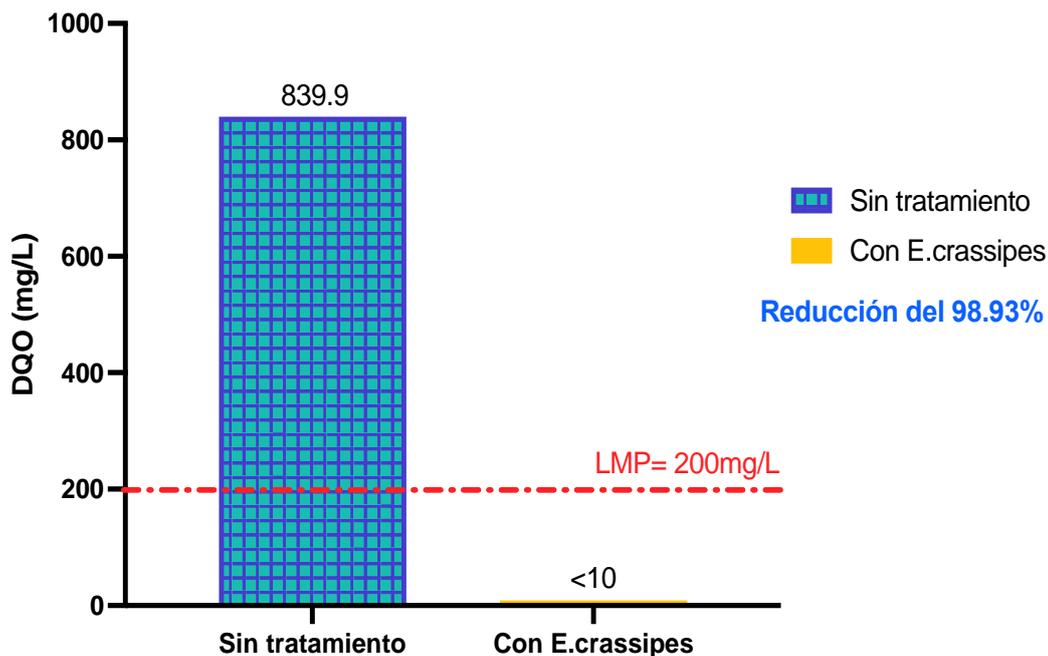


Figura 18. DQO antes y después de tratamiento con *E. crassipes*. Elaboración propia.

Interpretación: La **Figura 18.** *DQO antes y después de tratamiento con E. crassipes.* *Elaboración propia.*

, se ilustra que mediante el tratamiento con *E. crassipes* se logró una reducción del 98.93% en la DQO presente en el agua residual de la PTAR. Además, se observa que estos valores están significativamente por debajo de los 200 mg/L, lo que indica que el valor posterior al tratamiento cumple con la normativa D.S. 003-2010-MINAM (60). Estos valores determinados respaldan las hipótesis específicas planteadas en la investigación.

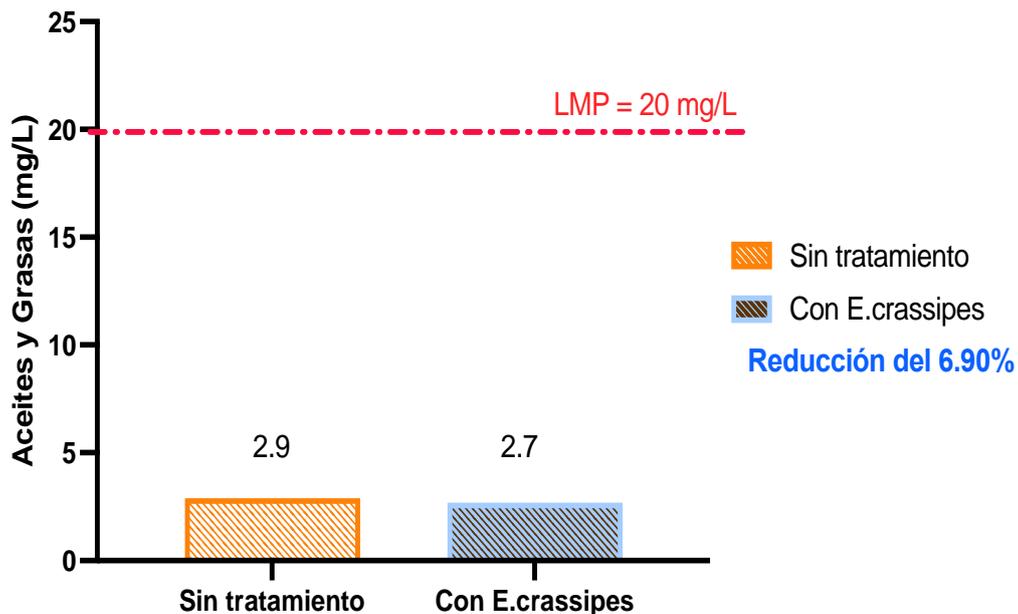


Figura 19. A y G antes y después de tratamiento con E. crassipes. Elaboración propia.

Interpretación: En la *Figura 18*, se aprecia que el porcentaje de reducción de A y G fue del 6.90%. Asimismo, después del tratamiento del agua residual, se obtuvo un valor de 2.7 mg/L de aceites y grasas, el cual se encuentra considerablemente por debajo de los 20 mg/L, lo que significa que cumple con la normativa D.S. 003-2010-MINAM (60).

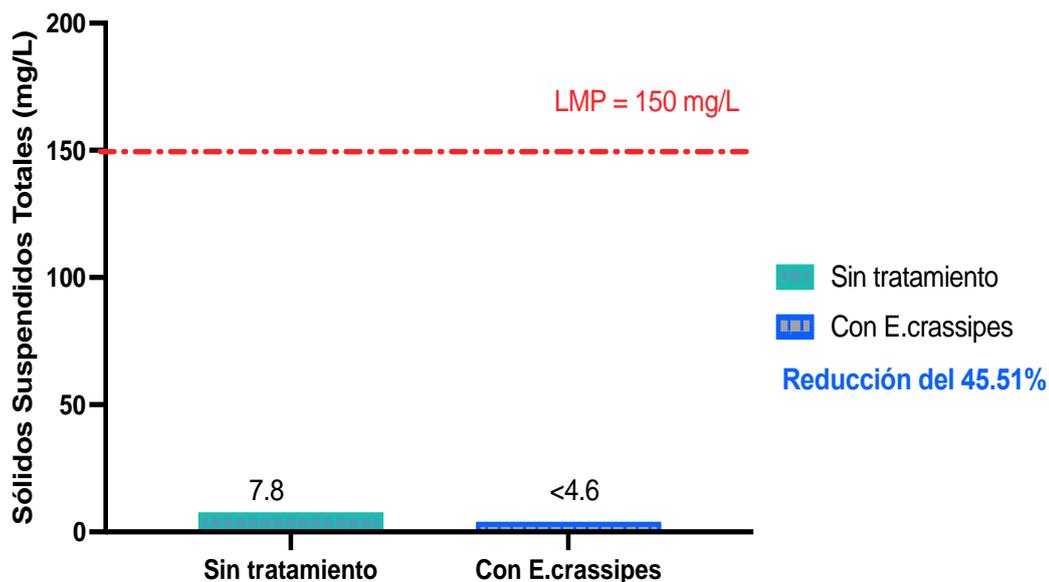


Figura 20. SST antes y después de tratamiento con *E. crassipes*. Elaboración propia.

Interpretación: En la *Figura 20. SST antes y después de tratamiento con E. crassipes. Elaboración propia.*

, se observa que después del tratamiento con *E. crassipes*, se alcanzó un valor inferior a 4.6 mg/L de sólidos suspendidos totales. Además, se aprecia una reducción del 45.51% en la concentración de este contaminante en comparación con la primera medición, que se realizó sin tratamiento. Es relevante destacar que el valor obtenido después del tratamiento cumple con los estándares establecidos por la normativa D.S. 003-2010-MINAM (60).

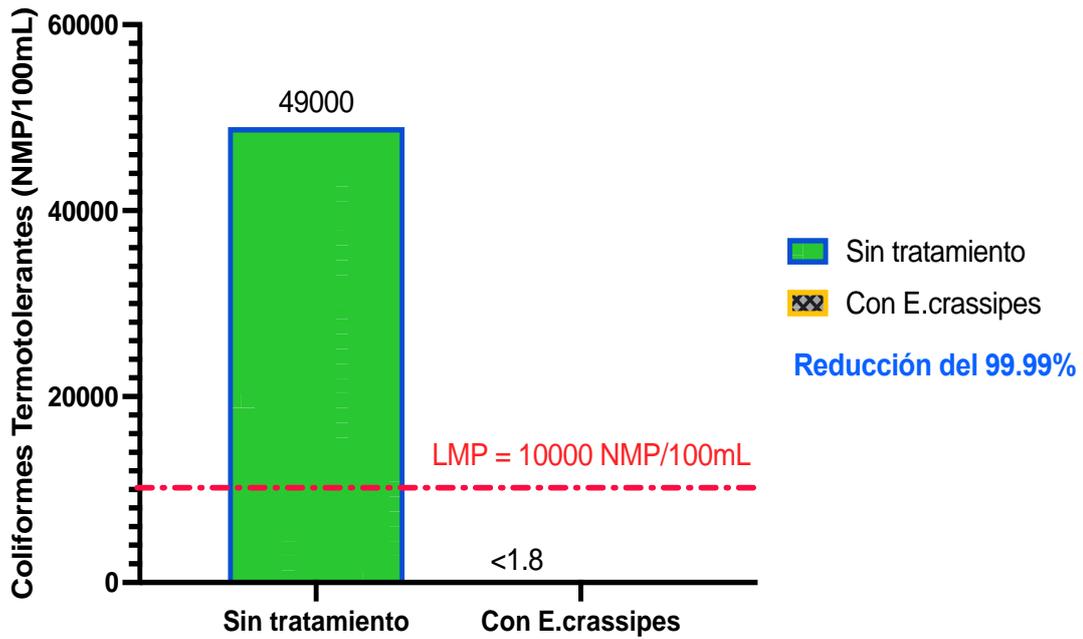


Figura 21. Coliformes totales y termotolerantes antes y después de tratamiento con *E. crassipes*. Elaboración propia.

Interpretación: En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa que la concentración de coliformes en el agua residual inicialmente alcanzó un valor de 49×10^3 , lo cual es significativamente elevado antes del tratamiento. Sin embargo, después del tratamiento con *E. crassipes*, se logró reducir estos parámetros en un 99.99%. Al comparar estos resultados con los límites establecidos por la normativa D.S. 003-2010-MINAM (60), se evidencia que cumplen con los valores permitidos para estos parámetros. Estos hallazgos respaldan las hipótesis específicas de la investigación.

4.2 Análisis inferencial

Hipótesis del trabajo

H_0 = La distribución de los datos de la prueba inicial sin tratamiento tiene una distribución normal.

H_1 = La distribución de los datos de la prueba inicial sin tratamiento **NO** tiene una distribución normal.

H_0 = La distribución de los datos de la prueba después del tratamiento tiene una distribución normal.

H_1 = La distribución de los datos de la prueba después del tratamiento **NO** tiene una distribución normal.

Hipótesis estadística

H_0 = p valor > **0.05**

H_1 = p valor \leq **0.05**

Para una la evaluación de los 7 parámetros fisicoquímico y microbiológicos, se muestran en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Prueba de normalidad de las variables

	Shapiro willk		
	Estadístico	gl	Sig.
Prueba inicial	0,738	7	,009
Después del tratamiento	0,463	7	,000

Nota: Elaboración propia.

Decisión:

Se acepta H_0 si el p-valor > 5% = 0,050 (H_0)

Se rechaza H_0 si p-valor \leq 5% = 0,050 (H_1)

Conclusión: Dado que las significancias son menores a 0.05, se acepta la hipótesis alterna, es decir, que los datos no siguen una distribución normal. Por ello, para probar de la hipótesis general se empleará la prueba de Wilcoxon (No paramétrica).

4.2.1 Prueba de la hipótesis general

1^{ero}: Plantear hipótesis

H₀: La capacidad fitorremediadora *E. crassipes* en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura, no es significativa.

H₁: La capacidad fitorremediadora *E. crassipes* en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura, es significativa.

2^{do}: Significancia

$$\alpha = 5\% = 0,05$$

3^{ero}: Decisión

Tabla 6. Prueba de hipótesis general

	Post test - Pretest
Z	-2,366 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,018

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

Nota: Elaboración propia

Si el p-valor $\geq 0,05$ se concluye H₀

Si el p-valor $< 0,05$ se concluye H₁

5^{to} Se concluye: A un nivel de confianza del 95%, se descarta la hipótesis nula (H₀) y se respalda la hipótesis alternativa (H₁), dado que el valor p calculado (0.018) es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0.050$, lo que confirma que la capacidad fitorremediadora *E. crassipes* en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura, es significativa.

4.3 Discusión de los resultados

En relación con el objetivo general de la investigación, que fue analizar la capacidad fitorremediadora *E. crassipes* en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura, los hallazgos fueron, que la capacidad fitorremediadora *E. crassipes* en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura, significativos ($p=0.018$). La relevancia de los hallazgos yace en el impacto positivo en la eliminación de contaminantes y la mejora de la calidad del agua en la PTAR de Chulucanas. Asimismo, la capacidad de *E. crassipes* para remediar las aguas residuales es crucial en términos de la gestión de los recursos hídricos. Estos resultados respaldan la idea de que se puede utilizar esta planta como una herramienta efectiva para tratar aguas residuales, lo que puede ser especialmente importante en áreas con limitaciones de recursos hídricos.

Estos hallazgos guardan similitud con el estudio realizado por Kabir (13) que en su investigación empleó *E. crassipes* logró evidenciar la eficacia de esta planta como parte del tratamiento de aguas residuales de una industria farmacéutica ($r^2=0.99$). Asimismo, concuerda con Villafuerte S. (15), que, en su trabajo, logró evidenciar que la *E. crassipes* fue eficiente en la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual ($p=0.001$). De igual forma, concuerda con Parwin (16) en que, en su artículo de investigación, empleó la *E. crassipes* y logró determinar la eficiencia en la remoción de contaminantes presentes en el agua residual doméstica ($p=0.000$). La similitud con estas investigaciones se debe a que *E. crassipes* tiene la capacidad de absorber y acumular nutrientes, como nitrógeno y fósforo, que son componentes comunes de muchos contaminantes en el agua residual, especialmente en las aguas residuales domésticas. Esto es relevante a pesar de que las diferentes investigaciones se llevaron a cabo en contextos demográficos distintos, con variaciones en las temperaturas y otras condiciones climáticas en comparación con este estudio. Al eliminar estos nutrientes del agua, se reduce la disponibilidad de sustancias que pueden fomentar el crecimiento de algas y bacterias, lo que disminuye la carga de contaminantes (61).

En relación a los objetivos específicos establecidos para este estudio, que incluyeron lo siguiente: determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales presentes en la laguna de maduración de la PTAR, e identificar el porcentaje de eliminación de contaminantes mediante el uso de *E. crassipes* como tratamiento para las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR. Los resultados indican que los

valores en el pretest fueron superiores a los valores en el postest para los siguientes parámetros: temperatura, pH, DBO₅, DQO, SST, coliformes totales y coliformes termotolerantes.

Además, se observó que la eficiencia de eliminación fue del 6.96% para el pH, 1.95% para la temperatura, 94.41% para la DBO₅, 98.93% para la DQO, 6.90% para los aceites y grasas (A y G), 45.51% para los sólidos suspendidos totales (SST) y 99.99% para los coliformes. Finalmente, los hallazgos corroboraron que, al tratar el agua residual con *E. crassipes*, estas aguas lograron cumplir con los LMP, tal como se estipula en el D.S. 003-2010-MINAM (60).

Estos resultados son similares a Oktorina (17), quien utilizó *E. crassipes* como planta fitorremediadora en aguas residuales, y logró una disminución de los SST en un 86.79%, de la DBO₅ en un 59.84%, y de la DQO en un 58.95%. También, es similar al estudio de Churko (18) que evidenció la capacidad fitoremediadora de la *E. crassipes*, al determinar que la DQO se redujo en un 70.5%. Añadiendo a ello, es similar con el estudio de Durand (20), que empleó *E. crassipes* como alternativa de tratamiento de aguas residuales domésticas, donde evidenció que el porcentaje de remoción de SST fue de 96.3%, DQO 77.3%, DBO₅ 92.7% y la temperatura fue de 7.05%. También, guarda relación con el trabajo de Delgado (21), quien evaluó el uso de *E. crassipes* como fitorremediador en aguas residuales municipales. En dicho estudio, se evidenció que, después de 21 días de evaluación, se logró una eliminación del 113.73% de aceites y grasas. La temperatura posterior al tratamiento se redujo al 23.5%; la DBO₅ disminuyó en un 62.3%; la DQO se redujo en un 64.58%; y se observó una eliminación del 76% de los coliformes termotolerantes. Además, el agua tratada con esta especie cumplió con los LMP.

Agregando a ello, concuerda con Araujo (22), quien identificó valores iniciales del agua sin tratamiento con *E. crassipes*. En estos valores, el pH fue de 7, la turbidez alcanzó los 339 UNT, la DBO₅ fue alta, y los coliformes totales y fecales presentaron cifras significativamente elevadas, llegando a 79×10^6 y 33×10^6 respectivamente. Estos valores iniciales son notoriamente altos y sobrepasan LMP. Además, es similar al estudio realizado por Limache (23) que en su trabajo identificó que la *E. crassipes* pudo remover en un 98.97% los coliformes termotolerantes y la DBO₅ se redujo en un 83.88%. Finalmente, coinciden con los resultados obtenidos por Nuñez (25) en su investigación, en la cual se

lograron determinar los valores después del tratamiento con *E. crassipes*. Estos valores incluyen un contenido de aceites y grasas (AyG) de 3.3 mg/L, una concentración de coliformes totales de 9200 NMP/100mL, una DBO₅ de 38.7 mg/L, una DQO de 62 mg/L y sólidos suspendidos totales (SST) de 88 mg/L.

La similitud en los resultados obtenidos en este estudio con los hallazgos de otros autores, como Oktorina (15), Delgado (19) y Nuñez (23) pueden explicarse por varias razones. En primer lugar, todos estos estudios emplearon *E. crassipes* como planta fitorremediadora en el tratamiento de aguas residuales. Esto sugiere que esta planta posee propiedades consistentes en la remoción de contaminantes como aceites y grasas (AyG), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Coliformes, además de mejorar parámetros fisicoquímicos como el pH y la turbidez. Es importante destacar que, a pesar de las diferencias en la cantidad de plantas utilizadas, el período de análisis, las concentraciones iniciales de contaminantes y las diferencias demográficas, se logró observar la eficiencia de remoción de contaminantes de esta especie, lo que demuestra su aplicabilidad en diversos contextos demográficos. Es a partir ello que se reafirma la capacidad de *E. crassipes* para absorber nutrientes, crear un ambiente favorable para microorganismos beneficiosos y facilitar la fotosíntesis. Se puede contribuir de manera efectiva a la reducción de contaminantes en el agua residual, lo que respalda la consistencia de los resultados entre estos estudios y sugiere que esta planta puede ser una opción viable en la fitoremediación de aguas residuales en diversas aplicaciones.

Estos hallazgos se respaldan en Mendoza et al. (62) al mencionar que la *E. crassipes* disminuye la DBO₅ y la DQO debido a la absorción de nutrientes y a la reducción de materia orgánica en el agua, lo que disminuye la cantidad de oxígeno requerido para su oxidación. También, se respaldan en Gupta y Pratap (63) al afirmar que la *E. crassipes* puede reducir los coliformes y otros microorganismos patógenos al crear un ambiente menos propicio para su crecimiento debido a la competencia por nutrientes y al limitar la exposición al sol. Asimismo, la capacidad de *E. crassipes* para liberar oxígeno durante la fotosíntesis puede aumentar el nivel de oxígeno disuelto en el agua, lo que puede ayudar a mantener un pH adecuado al favorecer a microorganismos aeróbicos que pueden estabilizar el pH.

Por lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que la *E. crassipes*, conocida como el jacinto de agua, demuestra ser una planta fitorremediadora eficaz en el tratamiento de

aguas residuales domésticas. Su capacidad para absorber nutrientes, reducir la materia orgánica, eliminar contaminantes, estabilizar parámetros fisicoquímicos y proporcionar un ambiente propicio para microorganismos beneficiosos la convierte en una opción valiosa en la fitoremediación de aguas residuales. Los numerosos estudios y hallazgos que respaldan su efectividad refuerzan su potencial en la mejora de la calidad del agua y en la protección del medio ambiente. La utilización de *E. crassipes* no solo contribuye a la purificación del agua, sino que también puede desempeñar un papel importante en la sostenibilidad y la conservación de los recursos hídricos a nivel global.

CONCLUSIONES

- La capacidad fitorremediadora *E. crassipes* en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura, es significativa. Esto se confirma mediante la prueba de Wilcoxon ($p=0.018$), dado que existió una diferencia significativa entre pre y post test.
- La determinación de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual de la laguna de maduración de la PTAR presentaron los siguientes valores: temperatura (T°) de 25.6°C , pH de 8, Demanda Biológica de Oxígeno a 5 días (DBO5) de 34 mg/L, aceites y grasas (A y G) de 2.90 mg/L, Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 839.9 mg/L, sólidos suspendidos totales (SST) de 7.8 mg/L, y coliformes totales y termotolerantes de 49×10^3 .
- Los porcentajes de remoción identificados fueron los siguientes: 6.96% para el pH, 1.95% para la temperatura, 94.41% para la DBO₅, 98.93% para la DQO, 6.90% para los A y G, 45.51% para los SST, y 99.99% para los coliformes.

RECOMENDACIONES

- Dado el éxito de *E. crassipes* en la remoción de contaminantes y la mejora de la calidad del agua, se recomienda considerar la incorporación de esta planta en sistemas de tratamiento de aguas residuales, especialmente, en áreas donde se enfrentan desafíos significativos en la eliminación de contaminantes.
- Se sugiere minimizar el tiempo de exposición de las plantas a condiciones adversas durante su traslado desde la fuente natural hasta el sitio de experimentación, ya que un período prolongado fuera de su entorno natural puede tener un efecto perjudicial en su salud y capacidad para desempeñar eficazmente su función de fitorremediación.
- Se recomienda a los futuros investigadores evaluar la toxicidad de la biomasa de *E. crassipes* después de su uso en la fitorremediación.
- Se recomienda realizar un estudio a lo largo de diferentes estaciones del año para evaluar la eficacia de la fitorremediación con *Eichhornia crassipes* en condiciones climáticas y ambientales variables.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. EPSA GRAU. *Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Evacuación de Aguas Servidas Tratadas de la Planta de Tratamiento de Chulucanas*. Piura, 2010.
2. MINAM. Plan Nacional de Acción Ambiental. 2011. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/plana_2011_al_2021.pdf
3. MIDAGRI. *Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos*. 2008.
4. ONU. *Aguas residuales, un problema mundial que aumenta la brecha entre ricos y pobres*. Organización de las Naciones Unidas. Online. 2021. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://www.foroambiental.net/archivo/noticias-ambientales/recursosnaturales/2099-aguas-residuales-un-problema-mundial-que-tambien-aumenta-labrecha-entre-ricos-y-pobres>
5. JONES, Edward. *Crecen hasta el 50% las aguas residuales tratadas en el mundo*. El Ágora. Online. 2021. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://www.elagoradiario.com/agua/crecen-50-aguas-residuales-tratadas/>
6. BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. *CAF reitera relevancia de seguridad hídrica en Semana Mundial del Agua. Desarrollo Urbano, Agua y Economías Creativas de CAF*. Online. 2023. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2023/08/caf-reitera-la-importancia-de-la-seguridad-hidrica-en-america-latina-y-el-caribe-durante-la-semana-mundial-del-agua/>
7. EL COMERCIO. *La tragedia de los servicios de agua y saneamiento en el Perú*. Von Hesse. Online. 2023. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://elcomercio.pe/economia/opinion/la-tragedia-de-los-servicios-de-agua-y-saneamiento-en-el-peru-noticia/>Entre el 2017 y el 2022 el acceso al agua potable apenas aumentó de 88,1% a 89%, y el del saneamiento de 79% a 79,4%, asegura Milton von Hesse, director de Videnza Consultores.
8. SUNASS. *El tratamiento de aguas residuales en el Perú aumentó en 11 %, entre el 2016 y el 2020*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. Online. 2022. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://www.sunass.gob.pe/lima/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-el-peru-aumento-en-11-entre-el-2016-y-el-2020/>

9. DEFENSORÍA DEL PUEBLO. Urge atender problema de contaminación por aguas residuales del penal de Piura. Defensoría del Pueblo. Online. 2021. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-urge-atender-problema-de-contaminacion-por-aguas-residuales-del-penal-de-piura/>
10. CENEPRED. *Informe de evaluación de riesgo por lluvias intensas en el CC.PP Paccha, distrito de Chulucanas, provincia de Morropón - Piura. Municipalidad Provincial de Morropon*. Online. 2019. [Accessed 2 October 2023]. Available from: https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//6430_informe-de-evaluacion-de-riesgo-por-lluvias-intensas-en-el-centro-poblado-paccha.pdf
11. FERNANDO, Uriel and SAYAGO, Carreño. *Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la Eichhornia crassipes*. *Design and evaluation of a biosystem water treatment pilot-scale tannery through Eichhornia crassipes*. Rev. Colomb. Biotecnol. 2016. Vol. 2, p. 74–81. DOI 10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.52271.
12. KABIR, Mohammad Mahbub, ALAM, Faisal, AKTER, Mst Mahmoda, GILROYED, Brandon H., DIDAR-UL-ALAM, Md, TIJING, Leonard and SHON, Ho Kyong. *Highly effective water hyacinth (Eichhornia crassipes) waste-based functionalized sustainable green adsorbents for antibiotic remediation from wastewater*. Chemosphere. 1 October 2022. Vol. 304, p. 135293. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135293.
13. VILLAFUERTE, Sandy. *Fitorremediación del agua del estero la Matanza 2 del cantón Durán con la implementación de dos especies vegetativas*. Pregrado. Universidad Agraria del Ecuador, 2020.
14. PARWIN, Rijwana and PAUL, Kakoli Karar. *Efficiency of Eichhornia crassipes in the treatment of raw kitchen wastewater*. SN Applied Sciences. Online. 1 April 2019. Vol. 1, no. 4, p. 1–9. [Accessed 2 October 2023]. DOI 10.1007/S42452-019-0400-0/TABLES/6.
15. OKTORINA, A, ACHMAD, Z and MARY, S. *Phytoremediation of tofu wastewater using Eichhornia crassipes*. Journal of Physics. 2019. Vol. 1, no. 2. DOI 10.1088/1742-6596/1341/5/052009.
16. CHURKO, Esayas Elias, NHAMO, Luxon and CHITAKIRA, Munyaradzi. *Phytoremediation Capacity of Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) as a Nature-*

- Based Solution for Contaminants and Physicochemical Characterization of Lake Water*. Water 2023, Vol. 15, Page 2540. Online. 11 July 2023. Vol. 15, no. 14, p. 2540. [Accessed 2 October 2023]. DOI 10.3390/W15142540.
17. MENA-AYALA, Alejandro. *Propiedades del Eichhornia crassipes (Jacinto de agua), Schoenoplectus colifornicus (Junco), y el Phragmites australis (Carricillo)*. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas. 18 June 2021. Vol. 24, no. 47, p. 101–108. DOI 10.15381/iigeo.v24i47.20656.
 18. DURAND, Karla. *Fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie Eichhornia crassipes en el distrito de Yarabamba, Arequipa - 2021*. Pregrado. Universidad Continental, 2021.
 19. DELGADO, Jhiamil. *Evaluación del aporte de las plantas acuáticas Pistia striotes y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de Reque provincia de Chiclayo*. Pregrado. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2021.
 20. ARAUJO, Greys and LUCANA, Raquel. *Eficiencia del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la quebrada Charhuayacu en el sector Shango, Moyobamba 2019*. Pregrado. Universidad César Vallejo, 2019.
 21. LIMACHE, Fernando. *Evaluación comparativa de lechuga de agua (Pistia stratiotes) y jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tacna. . Pregrado. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2021*.
 22. SILUPU, Aaron. *Lemna Minor y Eichhornia crassipes como fitorremediadores para tratamiento de aguas residuales de la Laguna Centro Poblado Loma Negra-Piura 2022*. Pregrado. Universidad Cesar Vallejo, 2022.
 23. NUÑEZ, Fernando. *Jacinto de agua y tiempo de permanencia en el proceso de fitorremediación de las lagunas PTAR- El Indio*. Posgrado. Universidad Nacional de Piura, 2021.
 24. ZARZA, Laura. *¿Qué son las aguas residuales? | iAgua. Iagua*. Online. 2017. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>

25. OEFA. *Aguas residuales* Online. Lima, 2016. [Accessed 2 October 2023]. Available from: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
26. FIBRAS Y NORMAS DE COLOMBIA SAS. *Aguas Residuales Definición e Importancia*. Online. 2017. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/aguas-residuales-definicion-e-importancia/>
27. MARTÍNEZ, J, RIVERA, J, HOUBRON, E, CALVARIN, A, CARRERA, O, GARCÍA, E, SORIANO, R and TEPOLE, M. *Caracterización de aguas residuales universitarias y determinación de la eficiencia de tratamiento de las PTAR de la UV existentes de la región Cordoba-Orizaba*. Pregrado. Universidad Veracruzana, 2013.
28. AMIEVA, José. Registro de descargas de aguas residuales de la ciudad de México. 2018.
29. FARIAS, Betsy. *Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Iagua. Online. 2017. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>
30. MINAM. *Límite Máximo Permisible (LMP)*. Ministerio del Ambiente. Online. 2016. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://infoaireperu.minam.gob.pe/limite-maximo-permisible-lmp/>
31. GESTIÓN. Minam prepublica norma sobre *Límites Máximos Permisibles a emisiones de autos*. Diario Gestión. Online. 2017. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://gestion.pe/economia/minam-prepublica-norma-limites-maximos-permisibles-emisiones-autos-221083-noticia/La-prepublicación-se-realizará-en-el-portal-web-del-Ministerio-del-Ambiente-por-un-plazo-de-10-días-hábiles>.
32. MINAM. *Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)*. Ministerio del Ambiente. Online. 2010. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>
33. BETANCOURT, JM and RAMIREZ, G. *Manual de Técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos*. 2003.

34. LABORATORIO AMBIENTAL. DBO y DQO. *Induanálisis*. Online. 2016. [Accessed 2 October 2023]. Available from: https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo_y_dqo_31
35. VENEGAS, Erika. *Eficiencia del Jacinto de Agua (Eichhornia Crassipes) en la Fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales no Domésticas (ARnD)*. Pregrado. Universidad Nacional Abierta y Distancia, 2020.
36. MISHRA, Saurabh and MAITI, Abhijit. *The efficiency of Eichhornia crassipes in the removal of organic and inorganic pollutants from wastewater: a review*. Environmental Science and Pollution Research. Online. 1 March 2017. Vol. 24, no. 9, p. 7921–7937. [Accessed 2 October 2023]. DOI 10.1007/S11356-016-8357-7/METRICS.
37. RAI, Prabhat Kumar. Heavy Metal *Phytoremediation from Aquatic Ecosystems with Special Reference to Macrophytes*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Online. September 2009. Vol. 39, no. 9, p. 697–753. [Accessed 2 October 2023]. DOI 10.1080/10643380801910058.
38. QAISAR, Mahmood, PING, Zheng, REHAN, Siddiqi M., EJAZ UL, Islam, RASHID, Azim M. and YOUSAF, Hayat. *Anatomical studies on water hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) under the influence of textile wastewater*. Journal of Zhejiang University Science B 2005 6:10. Online. 2005. Vol. 6, no. 10, p. 991–998. [Accessed 2 October 2023]. DOI 10.1007/BF02888490.
39. ROBERTA, Giovana and BRONZATO, Francisco. *Investigação da biomassa de Eichhornia crassipes (aguapé) para a obtenção de etanol de segunda geração como um processo mitigatório da poluição aquática*. Online. 18 July 2016. [Accessed 2 October 2023]. DOI 10.17616/R31N39.
40. WILLIAMS, Adrian E. Water Hyacinth. *Van Nostrand's Scientific Encyclopedia*. Online. 17 November 2006. [Accessed 2 October 2023]. DOI 10.1002/0471743984.VSE7463.PUB2.
41. QUINTANIHA, Michele, RENZENDE, Andréia and BOVE, Claudia. *Flora do Rio de Janeiro: Pontederiaceae. Rodriguésia*. Online. 1 January 2017. Vol. 68, no. 1, p. 103–108. [Accessed 2 October 2023]. DOI 10.1590/2175-7860201768118.
42. LIMA, Herbert de P. and ASENCIOS, Yvan J.O. *Eichhornia crassipes (Mart.) Solms (natural or carbonized) as biosorbent to remove pollutants in water*. *SN Applied*

- Sciences*. Online. 1 August 2021. Vol. 3, no. 8, p. 1–18. [Accessed 2 October 2023]. DOI 10.1007/S42452-021-04736-9/TABLES/6.
43. CONABIO. *Método de evaluación rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México*. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Online. 2019. [Accessed 2 October 2023]. Available from: https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/Instrutivo_MERI_2020.pdf
 44. CHAVEZ, Hector. *Análisis físico químico del agua*. Prothektor. Online. 2017. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://higieneyseguridadlaboral.com/blog/analisis-fisico-quimico-del-agua/>
 45. UDAC. *Análisis microbiológico del agua*. 2015.
 46. MENDOZA GUERRA, Yoma Isabel, CASTRO ECHAVEZ, Fernando Luis, MARÍN LEAL, Julio César and HEDWIG BEHLING, Elisabeth. *Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia)*. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*. Online. 2016. Vol. 39, no. 2, p. 071–079. [Accessed 2 October 2023]. Available from: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 47. ESPINOZA, Georgelin. *Plantas acuáticas (hidrófitas), definición, tipos y ejemplos*. Importancia - Naturaleza y ecología. *Plantas*. Online. 2020. [Accessed 2 October 2023]. Available from: <https://naturaleza.animalesbiologia.com/plantas/plantas-acuaticas-hidrofitas>
 48. OEFA. *Instrumentos básicos*. Lima, 2017.
 49. CALDUCH, Rafael. *Métodos y técnicas de investigación internacional*. Segunda edición. Universidad Complutense de Madrid, 2015.
 50. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos and BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la investigación*. Séptima. Mc Graw Hill, 2014.
 51. ESPINOZA, Ciro. *Metodología de la investigación tecnológica*. Online. Primera. Imagen Gráfica SAC, 2010. [Accessed 3 October 2023]. Available from: <https://ciroespinoza.files.wordpress.com/2012/01/metodologc3ada-de-investigac3b3n-tecnolc3b3gica.pdf>

52. TRIOLA, Mario. *Estadística*. Online. Décima. Pearson, 2009. [Accessed 3 October 2023]. ISBN 978-970-26-1287-2. Available from: www.pearsoneducacion.net.
53. EPS GRAU SA. *PAMA Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Chulucanas Informe Ampliado*. Piura, 2021.
54. ARIAS, Luis. *Técnicas e instrumentos de la investigación científica*. Online. Primera. Enfoques Consulting EIRL, 2020. ISBN 9786124844409. Available from: www.cienciaysociedad.org
55. CHOW, Ven Te, MAIDMENT, David and MAYS, Larry. *Agua Superficial. Hidrología Aplicada*. Online. 1994. P. 150–157. [Accessed 4 October 2023]. Available from: https://books.google.com/books/about/Hidrolog%C3%ADa_aplicada.html?hl=es&id=O-3AOgAACAAJ
56. MVCS. *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas o minucipales*. Lima, 2013.
57. CHUCHÓN, Saúl and AYBAR, Carlos. *Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y DBO de la PTAR La Totorá- Ayacucho*. *Ecología Aplicada*. 2008. Vol. 7, no. 1.
58. GUTIERREZ, Eduardo and VLADIMIROVNA, Olga. *Estadística inferencial para ingeniería y ciencias* Recursos en línea. Online. 2016. [Accessed 4 October 2023]. Available from: www.editorialpatria.com.mx
59. DECRETO SUPREMO N° 003-2010. *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*. 2010. Lima, miércoles 17 de marzo de 2010.
60. CARREÑO, Uriel and RODRÍGUEZ, Camila. *Eichhornia crassipes (Mart.) Solms: un sistema integral de fitorremediación y bioenergía*. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. Online. 30 August 2019. Vol. 25, no. 3, p. 399–411. [Accessed 4 October 2023]. DOI 10.5154/R.RCHSCFA.2018.06.051.
61. MENDOZA, Yoma, CASTRO, Fernando and MARÍN, Julio. *Eichhornia crassipes como tratamiento biológico de aguas residuales Fitorremediación con plantas acuáticas como alternativa de Tratamiento para aguas domésticas*. Punlicia, 2017. ISBN 3841683851. 1. Auflage Lizenzpflichtig. - Vom Verlag als Druckwerk on demand und/oder als E-Book angeboten

62. GUPTA, Kiran and PRATAP, Shiv. *Bioconcentration and Phytotoxicity of Lead in Eichhornia crassipes*. Online. Primera. LAP Lambert Academic Publishing, 2014. [Accessed 4 October 2023]. ISBN 978-3659540202. Available from: <https://www.amazon.com/Bioconcentration-Phytotoxicity-Lead-Eichhornia-crassipes/dp/365954020X>

ANEXOS

Anexo 1
Matriz de Consistencia

Título: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FITORREMIADORA DE LA ESPECIE EICHHORNIA. CRASSIPES DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA PTAR DEL DISTRITO DE CHULUCANAS, PIURA - 2023

Autor: RUIZ BOHORQUEZ CARLOS EDUARDO

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema General:</p> <p>¿Cuál es la capacidad fitorremediadora la <i>E. crassipes</i> en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Describir la capacidad fitorremediadora <i>E. crassipes</i> en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>H₁: La capacidad fitorremediadora <i>E. crassipes</i> en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura, es significativa.</p>	<p>Variable Dependiente:</p> <p>Capacidad fitorremediadora</p> <p>Variables Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>E. crassipes</i> 	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>Aplicada</p> <p>Método General:</p> <p>Científico</p> <p>Diseño:</p> <p>Experimental. Pre experimental con pre y post test</p>	<p>Población:</p> <p>5025.969m³</p> <p>Muestra: 12 m³</p> <p>Muestreo:</p> <p>A criterio del investigador</p>	<p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Observación <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ficha de observación
<p>Problemas Específicos:</p> <p>– ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR?</p> <p>– ¿Cuál es el porcentaje de remoción de contaminantes</p>	<p>Objetivos Específicos:</p> <p>– Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR.</p> <p>– Identificar el porcentaje de remoción de contaminantes</p>	<p>H₀: La capacidad fitorremediadora <i>E. crassipes</i> en las aguas residuales de la PTAR del distrito de Chulucanas, Piura, no es significativa.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <p>– H₁: Las aguas residuales de la laguna de maduración de la</p>				

empleando *E. crassipes* como tratamiento de las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR?

empleando *E. crassipes* como tratamiento de las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR.

PTAR presentan valores altos de los parámetros, Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes, pH, Temperatura, DQO, DBO₅, SSTy AyG.

H₀: Las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR no presentan valores altos de los parámetros, Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes, pH, Temperatura, DQO, DBO₅, SSTy AyG.

- H₁: El porcentaje de remoción de contaminantes es alto empleando *E. crassipes* como tratamiento de las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR.
-

H₀: El porcentaje de remoción de contaminantes no es alto empleando *E. crassipes* como tratamiento de las aguas residuales de la laguna de maduración de la PTAR.

Anexo 2 Resultados de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-045



INFORME DE ENSAYO N° 230208-004

Código del Cliente		Plat (laguna de oxidación Chulucanas)		Sistema Fitoremediador	
Descripción del Punto		-		-	
Código de Laboratorio		23010285(1)		23010285(2)	
Tipo de Producto		AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)		AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)	
Fecha de muestreo		30/01/2023		30/01/2023	
Hora de muestreo		12:05		12:15	
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS	
FISICOQUIMICO					
Temperatura (Campo)	°C	-	-	25.6	25.1
pH (Campo)	Unid.pH	-	-	8.00	7.45
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	34	< 2
Aceites y Grasas	mg/L	-	1.00	2.90	1.70
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	-	10.0	830.9	< 10.0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	-	4.25	7.80	< 4.25
MICROBIOLOGICO					
Numeración de Coliformos Termotolerantes	UFCP / 100 mL	1.0	1.0	49 x 10 ¹	< 1.0
Numeración de Coliformos totales	UFCP / 100 mL	1.0	1.0	49 x 10 ¹	< 1.0

L.D. = Límite de detección / L.C. = Límite de cuantificación

Emitido en Lima, el 08 de Febrero de 2023.

CERTIFICACIONES Y CALIDAD SAC

 Terry A. Morales Cerrocal
 Laboratorio Fitotecnológico Ambiental
 COP N° 845

CERTIFICACIONES Y CALIDAD SAC

 Rosalva Ordoñez Viquez
 Jefe Laboratorio Microbiología
 C.B.P. 6421

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o para certificar del sistema de calidad de la entidad o el producto.
PROHIBIDA LA MODIFICACION TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME.

Anexo 2 Certificado de calibración



**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
POR EL ORGANISMO A2LA CON CERTIFICADO #6032.01
SEGÚN ISO/IEC 17025:2017**



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº LTA-0153-2022

Expediente : 442

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2022-10-03

1. Solicitante : CERTIFICACIONES Y CALIDAD SOCIEDAD ANONIMA
CERRADA - CERTIFICAD

Dirección : AV. SUCRE NRO. 1361 (ALT. CDRA 13 AV. SUCRE) - PUEBLO
LIBRE - LIMA - LIMA

2. Instrumento calibrado : TERMÓMETRO CON INDICACIÓN DIGITAL

INDICADOR

Marca : BOECO

Modelo : TP101

Nº de serie : No indica

Código : EMA-87 (*)

Alcance : -50 °C a 300 °C

Resolución : 0,1 °C

Procedencia : Alemania

Tipo de Sensor : Termistor

3. Lugar de calibración : En el laboratorio de Temperatura de ALAB E.I.R.L.

4. Fecha de calibración : 2022-10-03

5. Método de calibración :

La calibración se realizó por comparación directa siguiendo el PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales". Segunda Edición. 2012. INDECOPI

6. Trazabilidad :

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL - DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP)

Código	Descripción	Certificado de calibración
PTT-014	Termómetro Digital de incertidumbre 0,016 C a 0,046 C	LT-217-2022 / INACAL-DM
PTT-026	Termómetro Digital de incertidumbre 0,016 C a 0,046 C	LT-218-2022 / INACAL-DM

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.


 Erick M. Pelorino Limache
Responsable del Laboratorio

Certificado de calibración N° LTA-0153-2022

Página 2 de 2

7. Condiciones de Calibración :

Tiempo de estabilización : 10 min

Profundidad de inmersión : 12 cm

Temperatura ambiental Inicial : 21,2 °C Final : 21,7

Humedad relativa Inicial : 55,0 % h.r. Final : 57,0 % h.r.

8. Resultados de la Calibración :

Indicación del termómetro °C	Temperatura convencionalmente verdadera °C	Corrección °C	Incertidumbre °C
-1,2	-0,31	0,89	0,08
14,2	15,01	0,81	0,08
29,9	30,01	0,11	0,08

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$

9. Observaciones :

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO", N° **023859**
- La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.
- (*) Código de identificación indicado en una etiqueta adherida al estuche del instrumento.

FIN DEL DOCUMENTO



QUALITY CONTROL
PERU S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 048



Registro INE - 948

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

QCP-055-2023

EXPEDIENTE: EXP-098-2022

FECHA DE EMISIÓN: 2023-01-26

Pág. 1 de 2

SOLICITANTE: Certificaciones y Calidad Sociedad Anonima Cerrada

Los resultados del certificado son válidos solo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.

DIRECCIÓN: Av. Sucre Nro. 1361 (alt cuadra 13 av. Sucre) Lima - Lima
Pueblo Libre

EQUIPO: MEDIDOR DE PH

Quality Control Peru S.A.C. No se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del equipo, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declaradas.

CÓDIGO DE ID: EMA-64

INSTRUMENTO INDICADOR

MARCA: Hach
MODELO: HQ40d
SERIE N°: 190500018641
INTERVALO DE INDICACIÓN: 0,00 pH a 14,00 pH
RESOLUCIÓN: 0.01 pH
PROCEDENCIA: USA

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

SENSOR

MARCA: Hach
MODELO: PHC 101
SERIE N°: 221542563147
INTERVALO DE INDICACIÓN: 0,0 pH a 14,0 pH
PROCEDENCIA: USA

Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad.

FECHA DE CALIBRACIÓN: 2023-01-24

El certificado es un documento de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito.

UBICACIÓN:

Laboratorio de Físicoquímica de Certifical S.A.C

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$.

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización de Quality Control Perú S.A.C. Certificados sin firma y sellos carecen de validez.




Renzo Jue García Laya
Jefe de Laboratorio
QUALITY CONTROL PERU S.A.C.

Prohibida la reproducción parcial de este documento

Av. Mariscal Cáceres 235 Urb. Valdiviezo - Ate Teléfonos: (511) 695-1273 Celular: 998 278 701



QUALITY CONTROL
PERU S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 048



Registro INACAL - 048

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN QCP-055-2023

Pág. 2 de 2

Método y Procedimiento de Calibración

La calibración se realizó usando el método de comparación directa y siguiendo el procedimiento de calibración PC-020 "Calibración de Medidores de pH". Segunda Edición Noviembre 2017 - Inacal

Lugar de Calibración

Laboratorio de Quality Control Perú S.A.C.
Av. Mariscal Cáceres 235 Urb. Valdiviezo - Ate

Patrones utilizados

TRAZABILIDAD	INSTRUMENTO	CERTIFICADO
Patrones de Referencia de INACAL	Termómetro digital con sensor Pt 100 con incertidumbres del orden de 0,02 °C	LT-327-2021 Diciembre 2021
Material de Referencia al Laboratorio Traceable 1750.02 A2LA Estados Unidos	Solución de pH 4,009 con incertidumbre del orden de 0,011 pH	N° 4887-12048882 Marzo 2021
Material de Referencia al Laboratorio Traceable 1750.02 A2LA Estados Unidos	Solución de pH 7,001 con incertidumbre del orden de 0,011 pH	N° 4885-12156653 Abril 2021
Material de Referencia al Laboratorio Traceable 1750.02 A2LA Estados Unidos	Solución de pH 10,011 con incertidumbre del orden de 0,011 pH	N° 4889-12065430 Marzo 2021

Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura Ambiental Max(°C)	22.9	22.7
Humedad Relativa Max (%HR)	46.8	47.2

Resultados del ajuste previo

Valor de Referencia	Antes del Ajuste		Después del Ajuste	
	pH	T(°C)	pH	T(°C)
4	3.95	25.006	3.99	25.001
7	6.99	25.002	7.02	25.009
10	9.97	25.008	9.99	25.006

Resultados de Calibración

Valor de Referencia Certificado (pH)	Lectura del Instrumento (pH)	Error (pH)	Incertidumbre (pH)
4.01	3.99	-0.02	0.02
7.00	7.03	0.03	0.02
10.01	9.99	-0.02	0.02



FIN DE CERTIFICADO

Prohibida la reproducción parcial de este documento

Av. Mariscal Cáceres 235 Urb. Valdiviezo - Ate Teléfonos: (511) 695-1273 Celular: 998 278 701

Anexo 3
Ficha de observación

Esta tabla te permitirá registrar de manera organizada los parámetros iniciales y finales después de la aplicación de la planta fitoremediadora de aguas residuales, lo que facilitará la evaluación de la eficacia del proceso. Asegúrese de completarla con precisión y de acuerdo con las normativas y prácticas ambientales relevantes.

Fecha de observación:

Ubicación de la Planta:

Parámetro	Unidad	Valor inicial	Valor Final	LMP DS 003-2010-MINAM	% de remoción
Temperatura					
pH					
DBO ₅					
DQO					
SST					
AyG					
Coliformes Totales					
Coliformes Termotolerantes					

Comentarios y observaciones finales:

Firma del observador: _____