



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Agraria, Industria Alimentarias y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

**Biorremediación mediante el uso del alga *Ulva lactuca* y su impacto en la calidad
de agua del humedal de Santa Rosa, 2025**

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores

Nikey Leslie De La Cruz Berrospi

Cesar Andres Vega Rios

Asesora

Mg. Lucero Katherine Castro Tena



Huacho – Perú
2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL

JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020

Facultad De Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Nikey Leslie De La Cruz Berrospi	71533691	13/08/26
Cesar Andres Vega Rios	77207573	13/08/26
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Mg. Lucero Katherine Castro Tena	70837735	https://orcid.org/0000-0002-6770-8615
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Dr. Roger Manuel Mestas Valero	23842285	https://orcid.org/0000-0002-5097-9988
Dr. Edwin Rafael Rodríguez Bolívar	45660115	https://orcid.org/0009-0009-4907-0804
M(o). Edson Max Caro Degollar	45593669	https://orcid.org/0000-0001-7156-6691

2026-037984 CESAR ANDRES VEGA RIOS 2026-0371...

Biorremediación mediante el uso del alga Ulva lactuca y su impacto en la calidad de agua del humedal de Santa Rosa,2025

UI-FIAIAYA PREGRADO 2026

Unidad de Investigación FIAIAYA-2026

Facultad de Ingeniería Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:old::1:3605709050

Fecha de entrega

3 jul 2026, 10:08 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 jul 2026, 10:55 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

BORRADOR_DE_TESIS_-_DE_LA_CRUZ_VEGA_pdf.pdf

Tamaño del archivo

1.7 MB

101 páginas

21.895 palabras

128.978 caracteres



Página 2 de 111 · Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: trn:old::1:3605709050

18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 16% Fuentes de Internet
- 6% Publicaciones
- 8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis, en primer lugar, a mi familia, por su apoyo constante, paciencia y comprensión a lo largo de mi formación universitaria. Su confianza y esfuerzo han sido un pilar fundamental para alcanzar este objetivo académico. Asimismo, dedico este trabajo a todas las personas que, con palabras de aliento y motivación, contribuyeron a que no desistiera y continuara avanzando en mi desarrollo personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad, por la formación académica brindada y por contribuir al fortalecimiento de mis conocimientos profesionales. A mi asesor de tesis, por su orientación, disposición y valiosos aportes durante el desarrollo del presente trabajo de investigación. De manera especial, agradezco a mi familia y a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo moral y motivación constante, lo cual permitió culminar satisfactoriamente esta importante etapa académica.

INTRODUCCION

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
INDICE	6
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCION	11
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1 Descripción de la Realidad Problemática	12
1.2 Formulación del Problema.....	12
1.2.1 Problema General	12
1.2.2 Problema Específico	12
1.3 Objetivo de la Investigación.....	13
1.3.1 Objetivo General.....	13
1.3.2 Objetivo Especifico.....	13
1.4 Justificación de la Investigación	13
1.5 Delimitación de estudio	15
1.6 Viabilidad de estudio	16
CAPITULO II. MARCO TEORICO	17
2.1 Antecedentes de la Investigación	17
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	17
2.1.2 Antecedentes Nacionales	19
2.2 Bases Teóricas	22
Tabla 3:.....	34
2.3 Definición de Términos Básicos	38
2.4 Hipótesis de la Investigación	39
2.4.1 Hipótesis General.....	39
2.4.2 Hipótesis Específicos	39
2.5 Operacionalización de variables	40
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	41
3.1 Diseño metodológico	41
3.2 Población y muestra.....	42
3.2.1 Población	42
3.2.2 Muestra.....	43
3.3 Técnicas de recolección de datos.....	48
3.4 Técnicas para el procedimiento de la información.....	53

3.5 Flujograma de la Metodología de Investigación.....	54
3.6 Matriz de consistencia	55
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	56
4.1 Análisis de resultados	56
CAPITULO V. DISCUCION.....	81
5.1 Discusión de resultados	81
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
6.1 Conclusiones.....	84
6.2 Recomendaciones.....	85
CAPITULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	86
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1: Ubicación taxonómica de <i>Ulva lactuca</i>	24
Tabla 2: Descripciones morfológicas y taxonómicas de la <i>Ulva lactuca</i>	25
Tabla 3: Estándares de Calidad Ambiental – Categoría 4: Conservación del medio acuático	34
Tabla 4: Operacionalización de variables.....	37
Tabla 5: Coordenadas del punto de Muestreo	33
Tabla 6: Punto de ubicación del sistema de biorremediación	34
Tabla 7: Análisis estadístico ANOVA.....	36
Tabla 8: Paso 1 del análisis estadístico ANOVA.....	37
Tabla 9: Cálculo de cuadrados de los tratamientos y sus totales.....	37
Tabla 10: Tabla de ANOVA	39
Tabla 11: Matriz de consistencia.....	45
Tabla 12: Parámetros fisicoquímicos iniciales del agua del humedal de Santa Rosa.....	50
Tabla 13: Monitoreo intermedio de parámetros tras 2 semanas de tratamiento	52
Tabla 14: Resultados finales de la calidad de agua post-biorremediación	59
Tabla 15: Sistema de tratamiento para determinar la efectividad de los tratamientos en cuanto a la remoción del grado de contaminación en un determinado tiempo.....	64
Tabla 16: suma de cuadrados de los tratamientos.....	64
Tabla 17: análisis estadístico ANOVA de cada uno de los tratamientos (suma de cuadrados).....	64
Tabla 18: ANOVA	65
Tabla 19: Análisis de nitrógeno amoniacal	66
Tabla 20: Etiqueta para muestras de agua en campo	67
Tabla 21: Cadena de Custodia.....	81

Indicé de Ilustraciones

Ilustración 1: Ubicación del humedal Santa Rosa	14
Ilustración 2: Lechuga de mar (Ulva lactuca).....	25
Ilustración 3: Ubicación de los Puntos de Monitoreo	33
Ilustración 4: Esquema de un humedal de flujo libre.....	35
Ilustración 5: sistema de biorremediación mediante la aplicación del alga Ulva lactuca	36
Ilustración 6: Muestra de control.....	46
Ilustración 7: Evidencia de carga bacteriana inicial en Agar Nutritivo (Muestreo de Septiembre).....	47
Ilustración 8: Resultados de pruebas bioquímicas diferenciales en la fase inicial de diagnóstico.....	49
Ilustración 9: Crecimiento bacteriano en placas de Petri (Muestras M1 y M2) tras el periodo de incubación	51
Ilustración 10: Monitoreo de Ph semana de tratamiento 2.....	53
Ilustración 11: Monitoreo de Conductividad semana de tratamiento 2.....	54
Ilustración 12: Monitoreo de la Temperatura semana de tratamiento 2.....	54
Ilustración 13: Monitoreo de los Solidos Totales Disueltos (STD) semana de tratamiento 2.....	55
Ilustración 14: Monitoreo de la Turbiedad (NTU) semana de tratamiento 2.....	55
Ilustración 15: Estado microbiológico final de las muestras tras el tratamiento con Ulva lactuca	56
Ilustración 16: Resultados de pruebas bioquímicas diferenciales en la fase final de diagnóstico.....	58
Ilustración 17: Grafico final de PH post-biorremediacion	60
Ilustración 18: Grafico final de Conductividad post-biorremediacion	61
Ilustración 19: Grafico final de Turbidez post-biorremediacion	62
Ilustración 20: Grafico final de Temperatura post-biorremediacion	63
Ilustración 21: Grafico final de TDS post-biorremediacion	63

Indicé de Anexos

Anexo 1: Etiqueta para Muestra de Agua.....	80
Anexo 2: Cadena de Custodia.....	81
Anexo 3: Validación de instrumento 1.....	47
Anexo 4: Validación de instrumento 2.....	47
Anexo 5: Validación de instrumento.....	47
Anexo 6: Extracción de muestras.....	48
Anexo 7: Rotulado de las Muestras.....	48
Anexo 8: Muestras microbiológicas.....	49
Anexo 9: Sistema piloto de biorremediación	49
Anexo 10: Extracción y preservación de algas Ulva lactuca.....	50
Anexo 11: Fuentes contaminantes cerca al cuerpo de agua	50
Anexo 12: Muestras de control etapa inicial	51
Anexo 13: Materiales para envío de muestras a laboratorio.....	51
Anexo 14: Ubicación de monitoreo de agua del humedal.....	52
Anexo 15: Muestras para análisis de laboratorio.....	52
Anexo 16: Preservante para el envío de muestras al laboratorio	53
Anexo 17: Informe del laboratorio para nitrógeno amoniacal / amoniaco	53
Anexo 18: Cadena de custodia para el envío de muestras al laboratorio.....	54

RESUMEN

Con el **Objetivo** de Evaluar el impacto de la macroalga *Ulva lactuca* en la mejora de la calidad de agua del humedal de Santa Rosa durante el año 2025 mediante un sistema de biorremediación en humedal artificial de flujo superficial libre. **Materiales y Métodos:** La investigación fue de tipo experimental, de enfoque cuantitativo y nivel explicativo. El estudio se realizó en el humedal de Santa Rosa, ubicado en el distrito de Chancay, provincia de Huaral, región Lima. El experimento se desarrolló mediante un sistema de humedal artificial utilizando 4 sistemas de tratamiento: un sistema control sin biomasa y tres tratamientos con diferentes concentraciones de *Ulva lactuca* de 89 g, 175 g y 355 g respectivamente, empleándose 9 litros de agua por cada unidad experimental. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento, entre ellos pH, conductividad, temperatura, sólidos totales disueltos (TDS), turbiedad, nitrógeno amoniacal y crecimiento bacteriano mediante análisis microbiológicos y pruebas bioquímicas. Asimismo, se aplicó el análisis estadístico ANOVA para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. **Resultados:** Los resultados evidenciaron una mejora progresiva en la calidad del agua tratada con *Ulva lactuca*. El tratamiento 1 presentó la mayor reducción de sólidos totales disueltos, disminuyendo de 565 mg/L a 210.1 mg/L, mientras que el tratamiento 3 estabilizó el pH en 7.24, valor cercano a la neutralidad. Asimismo, la turbiedad disminuyó significativamente respecto a la línea de base inicial y se observó una inhibición bacteriana superior al 90 %, evidenciada por la reducción del crecimiento microbiológico en las placas de cultivo. En relación con el nitrógeno amoniacal, se obtuvieron eficiencias de remoción de 55.25 %, 52.75 % y 62.31 % para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente, demostrando la capacidad de la macroalga para reducir el exceso de nutrientes responsables de la eutrofización. **Conclusiones:** La macroalga *Ulva lactuca* presentó un alto potencial como agente de biorremediación, mejorando significativamente la calidad físicoquímica y microbiológica del agua del humedal de Santa Rosa, reduciendo la eutrofización y la carga bacteriana del ecosistema, constituyéndose como una alternativa sostenible y ambientalmente viable para la recuperación de cuerpos de agua contaminados.

Palabras claves: biorremediación, *Ulva lactuca*, calidad de agua, eutrofización, humedal de Santa Rosa.

ABSTRACT

With the **Objective** of evaluating the impact of the macroalgae *Ulva lactuca* on improving the water quality of the Santa Rosa wetland during 2025 through a bioremediation system using a free surface flow constructed wetland. **Materials and Methods:** The research was experimental, quantitative, and explanatory in scope. The study was conducted in the Santa Rosa wetland, located in Chancay district, Huaral province, Lima region. The experiment was carried out using a constructed wetland system with four treatment systems: one control system without biomass and three treatments with different concentrations of *Ulva lactuca* of 89 g, 175 g, and 355 g respectively, using 9 liters of water for each experimental unit. Physicochemical and microbiological parameters were evaluated before and after treatment, including pH, conductivity, temperature, total dissolved solids (TDS), turbidity, ammoniacal nitrogen, and bacterial growth through microbiological analysis and biochemical tests. Likewise, ANOVA statistical analysis was applied to determine significant differences among treatments. **Results:** The results showed a progressive improvement in the quality of water treated with *Ulva lactuca*. Treatment 1 showed the highest reduction in total dissolved solids, decreasing from 565 mg/L to 210.1 mg/L, while treatment 3 stabilized pH at 7.24, a value close to neutrality. Likewise, turbidity decreased significantly compared to the initial baseline, and bacterial inhibition greater than 90% was observed, evidenced by the reduction of microbiological growth in culture plates. Regarding ammoniacal nitrogen, removal efficiencies of 55.25%, 52.75%, and 62.31% were obtained for treatments 1, 2, and 3 respectively, demonstrating the macroalgae's capacity to reduce excess nutrients responsible for eutrophication. **Conclusions:** The macroalgae *Ulva lactuca* showed high potential as a bioremediation agent, significantly improving the physicochemical and microbiological quality of water in the Santa Rosa wetland, reducing eutrophication and bacterial load, constituting a sustainable and environmentally viable alternative for the recovery of contaminated water bodies.

Keywords: bioremediation, *Ulva lactuca*, water quality, eutrophication, Santa Rosa wetland.

INTRODUCCION

La contaminación de los cuerpos de agua constituye uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial, ello debido al incremento de actividades industriales, mineras, agrícolas y la expansión urbana que vienen afectando la calidad de los recursos hídricos. Las actividades de extracción que involucran procesos son los que causan impactos perjudiciales al ambiente, mismos que son vertidos a los cuerpos de agua, causando una negativa ambiental. (Vela, Guaman, & Gonzalez, 2018). El humedal de Santa Rosa o “El Cascajo” como se le conoce, no es ajeno a esta problemática ya que se han evidenciado alteraciones en la calidad de agua debido a la presencia de contaminantes orgánicos, generando eutrofización y otros problemas ambientales, afectando el equilibrio ecológico del ecosistema. Ello se debe principalmente a las actividades que se desarrollan cerca al ecosistema como la agricultura, la expansión urbana, el pastoreo, entre otras, generando un impacto en la calidad de agua y el ecosistema del humedal de Santa Rosa. Es por ello que resulta necesario evaluar alternativas sostenibles, como la biorremediación que es un sistema mediante el uso algas u otras especies de plantas o microorganismos nativos de los ecosistemas a remediar, tanto in situ (en el lugar), como ex situ (fuera del lugar) las cuales poseen capacidad de absorción de nutrientes y contaminantes presentes en el agua o suelo, siendo efectivos para el tratamiento de aguas o suelos contaminados.

La biorremediación resulta una alternativa eco amigable con el ambiente, además de ser accesible económicamente para el tratamiento de áreas contaminadas. En este sentido, la investigación tiene como finalidad determinar la influencia de la biorremediación mediante el uso del alga *Ulva lactuca* en la calidad del agua del humedal de Santa Rosa-Chancay. Es por ello que la investigación experimental busca evaluar los parámetros físico-químicos y microbiológicos, antes, durante y después de la aplicación del tratamiento biológico, con la finalidad de analizar su efectividad en la mejora de la calidad del agua del humedal.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

La contaminación de los cuerpos de agua a nivel mundial representa uno de los principales problemas ambientales que compromete el equilibrio de los ecosistemas acuáticos a través de diversas actividades antropogénicas evidenciando el deterioro de la calidad del agua por ello Agua santa (2007), desarrolló en el sur de España un estudio en la cuenca del río Odiel, encontrando que de los 1149 km de curso fluvial de la cuenca del río Odiel, 427 km se encuentran afectados por drenajes ácidos a causa de las actividades mineras que se desarrollan en la cuenca del río lo que supone el 37% de la red hidrográfica de la cuenca del río Odiel al sur de España. Mientras que Rodríguez, et al. (2019), en su estudio realizado en la cuenca del río Ayuquila-Armería, en México, encontró que de las muestras analizadas sacadas de la cuenca en diferentes puntos, el 66% de las muestras se encuentran contaminados con al menos un tipo de plaguicida, de los cuales concluyen que las muestras que contienen mayor presencia de plaguicidas, son muestras extraídas de zonas agrícolas que se desarrollan cerca de la cuenca evidenciando un problema para el ambiente y la salud de las personas.

Asimismo, en el ámbito nacional Saldaña (2022), en su estudio realizado dentro del humedal de pisco playa (provincia de pisco), encontró que el agua superficial del ecosistema en cuanto a los parámetros de T°, pH y conductividad se encuentran dentro de los límites de los parámetros que establecidos por el ECA del agua, por otra parte halló que en los parámetros de Turbidez, DBO, DQO5 y coliformes termo tolerantes analizados dentro de las muestras extraídas del humedal exceden los límites establecidos por los parámetros del ECA y LMPs. Por otro lado, Valdivia (2022), en su estudio realizado en los pantanos de villa, ubicado en lima metropolitana, encontró que la calidad de agua se encuentra en constante contaminación debido a que existen fuentes que contaminan constantemente el pantano representando un riesgo hacia la salud de las personas y del ecosistema.

En el humedal de Santa Rosa o “el Cascajo” como se le conoce, presenta preocupantes problemas dentro de las aguas de este ecosistema, debido a que se observa una mayor turbidez a comparación de años anteriores como también el exceso de crecimiento de plantas acuáticas invasoras, un indicador de excedente de nitrógeno y fósforo (eutrofización). Por otro lado, los pobladores indican una creciente disminución

en la biodiversidad y otros problemas que involucran al humedal, provenientes de las actividades que se desarrollan cerca del lugar.

La contaminación de la calidad de agua dentro de estos ecosistemas se da principalmente por las actividades antropogénicas desarrolladas cerca del humedal de Santa Rosa, como el pastoreo, agricultura, la urbanización e incluso la presencia de la industria que se desarrolla cerca al humedal.

Si no se toman las medidas correspondientes frente a este problema, puede afectar tanto la calidad de agua como reducir la cobertura vegetal y la biodiversidad que se encuentra presente en dentro del humedal, afectando negativamente y trayendo consecuencias irreversibles para este ecosistema.

Con este estudio se aportará la implementación de técnicas de biorremediación con el fin de mejorar la calidad de agua de una forma eficiente y sin riesgo alguno, hacia el medio ambiente, sin alterar el ecosistema mediante el uso de una especie de alga endémica (*Ulva lactuca*) que nos ayudará a mejorar la calidad de agua en el humedal de Santa Rosa.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿Cómo influye el uso del alga *Ulva lactuca* en la mejora de la calidad de agua del humedal de Santa Rosa durante el 2025?

1.2.2 Problema Específico

¿Qué características presenta el uso del alga *Ulva lactuca* en la biorremediación de aguas contaminadas en el humedal?

¿De qué manera actúan las algas *Ulva lactuca* en la remoción de contaminantes dentro del humedal de santa rosa?

¿Qué impactos presenta el uso del alga *Ulva lactuca* en la calidad de agua del humedal de santa rosa?

1.3 Objetivo de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el impacto del alga *ulva lactuca* en la calidad de agua del humedal de Santa Rosa en el 2025.

1.3.2 Objetivo Especifico

Evaluar los factores físicos y biológicos presentes en el agua antes y después de la biorremediación con el uso del alga en el humedal de Santa Rosa.

Evaluar la eficiencia de remoción de amonio y nitratos mediante el uso del alga *Ulva lactuca* en el humedal de Santa Rosa.

Evaluar la relación de la biorremediación mediante el uso de algas y la calidad de aguas dentro del humedal de Santa Rosa.

Evaluar la respuesta fisiológica del *Ulva lactuca* como bioindicador a causa de la eutrofización generado por la calidad del agua en el humedal de Santa Rosa.

1.4 Justificación de la Investigación

1.4.1 Justificación metodológica

La investigación busca reducir los niveles de eutrofización mediante el uso de la *Ulva lactuca* y su impacto en la calidad de agua dentro del humedal en la se aplicarán métodos y procedimientos confiables. Además de emplear softwares de análisis estadísticos avanzados, los antecedentes de investigaciones anteriores como base de datos para evaluar la calidad del agua en los últimos años y después de aplicar el método propuesto.

1.4.2 Justificación Practica

En este estudio se aplicarán métodos, procedimientos, técnicas y herramientas validas y confiables, que evalúan el uso de macroorganismos como la *ulva lactuca* para eliminar el exceso de nutrientes presentes en el agua, en conjunto con el monitoreo de los macroinvertebrados como bioindicadores. Este método resulta menos costoso a diferencia de otras tecnologías, por su accesibilidad y su adaptabilidad dentro de los humedales que han sido afectados por la eutrofización, contribuyendo a políticas de gestión de aguas y conservación de humedales costeros a nivel nacional

1.4.3 Justificación Teórica

La preservación del humedal de Santa Rosa constituye una prioridad ambiental debido a su función como regulador hidrológico, reserva de biodiversidad y proveedor de servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades locales. Sin embargo, la presencia antrópica cerca del lugar y el incremento de nutrientes como el nitrógeno y fósforo a causa de las actividades desarrolladas cerca del lugar, han generado procesos de degradación que comprometen la estabilidad ecológica del lugar. Frente a este escenario, diversas investigaciones han demostrado que el uso de las algas del género *Ulva*, particularmente el alga *Ulva lactuca*, poseen una notable capacidad para absorber y transformar nitrógeno inorgánico, lo que la convierte en herramientas eficaces de biorremediación en ecosistemas costeros contaminados. Según Kim et al. (2011), el alga *Ulva lactuca*, presentan altas tasas de asimilación de amonio y nitrato, permitiendo reducir concentraciones excesivas de nutrientes en cuerpos de agua eutrofizados. Asimismo, Gonzales et. al. (2011), evidencian que esta especie responde de manera rápida y sensible a las variaciones en la calidad del agua mediante cambios fisiológicos, como la alteración en el rendimiento fotosintético (F_v/F_m) y en el contenido interno de nitrógeno, lo que la posiciona como un bioindicador confiable de condiciones ambientales estresantes. Adicionalmente, investigaciones como las de cabello Pasini et al. (2019) resaltan su capacidad para reflejar fluctuación en parámetros fisicoquímicos a través de modificaciones morfológicas y bioquímicas, permitiendo integrar la evaluación biológica con el monitoreo ambiental. Por ello, el estudio del alga *Ulva lactuca* en el humedal de Santa Rosa no solo constituye a generar evidencia científica nacional sobre técnicas de biorremediación aplicadas a humedales costeros, sino que también fortalecer el desarrollo de métodos de monitoreo biológico que favorezcan la conservación y gestión sostenible de los ecosistemas costeros.

1.4.4 Justificación Social

El estudio de investigación reside en la necesidad de conocer los niveles de contaminación por eutrofización presente dentro del humedal El cascajo, en el distrito de Chancay. El uso de macroalgas como la *Ulva lactuca*, en la biorremediación de aguas contaminadas por la eutrofización, resultado del exceso de nutrientes como el nitrógeno y fósforo, debido a las actividades industriales, agrícolas y los residuos domésticos presentes en el agua, con la necesidad que existe de reducir los niveles de eutrofización elevados con respecto al ECA del agua en el Perú.

1.4.5 Justificación Ambiental

La presente investigación tiene como finalidad la implementación de la

macroalga *Ulva lactuca* como agente biorremediador ofrece una solución sostenible y de bajo costo debido a su accesibilidad, ya que los humedales son ecosistemas que nos brindan diversos servicios ecosistémicos, tanto en calidad de agua, mitigación del cambio climático, como la biodiversidad de especies que habitan en él. Por otra parte, juegan un rol importante en la recarga de los acuíferos y aguas subterráneas, ayudando en la recuperación de agua.

1.5 Delimitación de estudio

1.5.1 Delimitación Espacial

La investigación tendrá lugar dentro del departamento de Lima, en la provincia de Huaral, en el asentamiento humano Santa Rosa perteneciente al distrito de Chancay. La zona de estudio comprende el humedal con coordenadas 252687.66 E; 8717174.86 N; situado a unos 3 Km al noreste de la ciudad de Chancay, con una altitud cercana a 3 m.s.n.m.

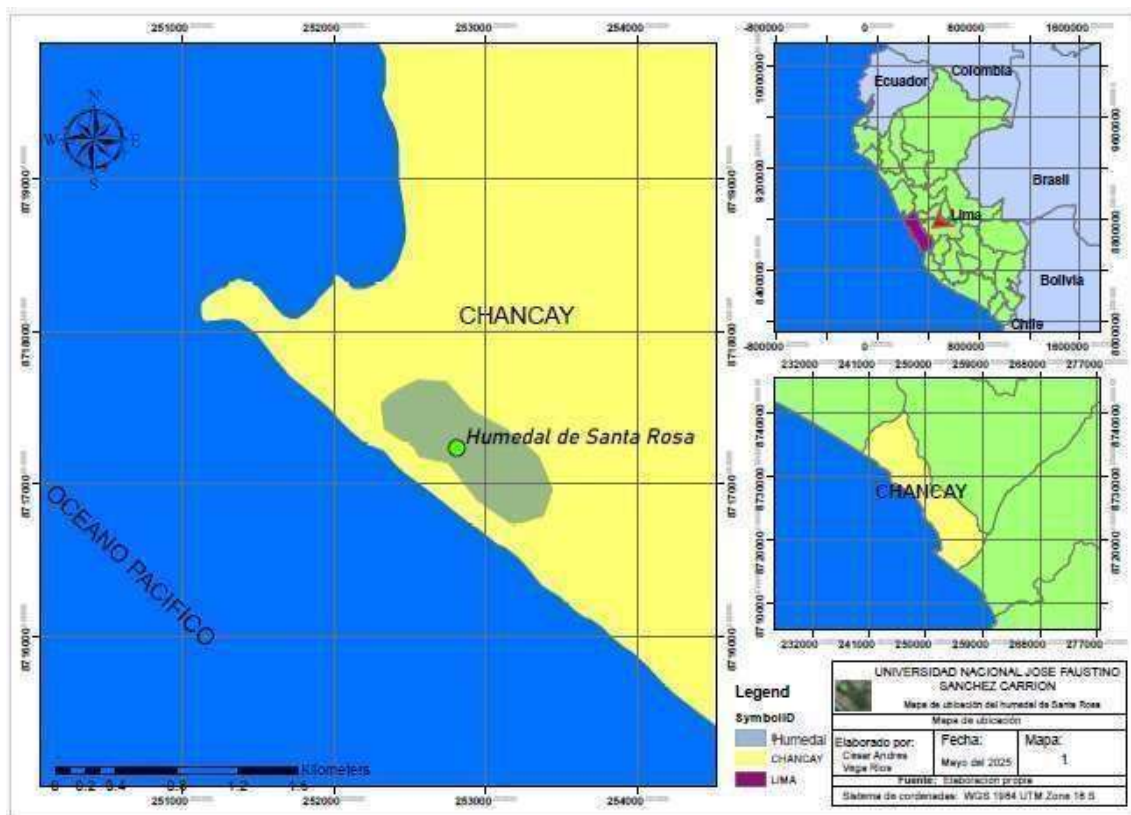


Ilustración 1: Ubicación del humedal Santa Rosa

1.5.2 Delimitación Temporal

La investigación tendrá lugar desde el mes de junio hasta el mes de diciembre del año 2025.

1.5.3 Delimitación social

El estudio tiene como razón social en beneficiar a todos los actores locales pertenecientes al humedal de Santa Rosa; a los pescadores artesanales que hacen uso de estos

ecosistemas, cuya principal actividad depende directamente de la calidad del agua; a los pobladores del asentamiento humano que residen cerca del humedal de Santa Rosa y hacen uso del recurso hídrico para desarrollar sus actividades.

1.6 Viabilidad de estudio

1.6.1 Viabilidad técnica

La investigación es viable por el acceso que se tiene al tipo de microorganismo a utilizar en la biorremediación del humedal, por la disponibilidad de los recursos básicos y el acceso a herramientas esenciales para desarrollar la investigación. El cultivo de la *ulva lactuca* puede realizarse con facilidad en condiciones controladas, de esa manera poder evaluar los parámetros físicos, con equipos portátiles y kits colorimétricos o con apoyo del laboratorio de la universidad.

1.6.2 Viabilidad Económica

La investigación es viable económicamente debido a que el método a utilizar no es muy costoso a comparación de otras técnicas de biorremediación, el alga *Ulva lactuca* se puede obtener directamente del mar, y al estar ubicado cerca a ello el área de estudio no se gastaría en transporte del macroorganismo. Los gastos solo están relacionados con el transporte para las actividades de muestreo en el humedal, material de laboratorio y alquiler o préstamo de equipos.

1.6.3 Viabilidad Temporal

El estudio tiene como programación realizarse durante 3 a 4 meses en los cuales se evaluará la efectividad del alga para remediar las condiciones del agua y analizar la calidad del agua al finalizar la investigación durante todo el año de 2025.

1.6.4 Viabilidad Ética

El estudio no posee riesgo alguno hacia el ser humano ni a la biodiversidad del ecosistema, ya que se trabaja con una especie de alga no invasiva, que es común en los ecosistemas costeros, cuya manipulación no presenta riesgo alguno para la comunidad que se encuentra cerca del humedal, por otra parte, se mantendrá una relación ética con la comunidad local, garantizando información y fomentando la participación voluntaria en actividades de sensibilización.

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Cunalata (2024), de la Universidad Técnica de Ambato, en Ecuador. En su estudio de investigación titulado “*fitorremediación con algas (scenedesmus, sp.) de contaminantes de las aguas residuales de la empresa Curtiduría Tungurahua.*”, de la cual tuvo como **objetivo** principal, aplicar la fitorremediación mediante el uso de la microalga (*scenedesmus, sp.*) para eliminar contaminantes en las aguas residuales de la empresa Curtiduría Tungurahua. La **metodología** utilizada fue de nivel experimental, cuantitativa y experimental con el cual busca determinar la eficiencia de degradación de contaminantes en los reactores empleados y el comportamiento del alga frente a los parámetros fisicoquímicos, en el agua residual, obteniendo como **resultado** que en los 3 reactores con 10%, 20% y 30% de volumen de alga, mostrando mejor resultado en el reactor 3 con una remoción de DBO al 71.78%, DQO al 90.80% y sulfatos en un 58.07%. En conclusión, el método de fitorremediación empleada presenta una alta eficacia en la remoción de contaminantes, por ende, las descargas cumplen con las normativas establecidas.

Quinteros, et al. (2021), de la universidad surcolombiana, en Colombia. En su estudio realizado cuyo titulo “*Evaluación de la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial, acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia*”, del cual tuvieron como **objetivo** evaluar la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo superficial acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas. La **metodología** utilizada fue de nivel experimental con el cual aplicaran humedales artificiales para la disminución de nitrógeno y materia orgánica. Como **resultado** se encontró una eficacia de remoción del 30% al 40% en materia orgánica, un 73.4% transformación de nitrógeno y un 87% a 88% de reducción de coliformes totales y fecales. Llegando a concluir que el sistema diseñado fue eficaz, en cuanto a la mejora de la calidad de agua residual domestica tratada.

León, Tixi & Miguez (2024), en la presente investigación realizada en Ecuador titulado “*Impacto ambiental de las aguas residuales de hilanderías en ecosistemas acuáticos*”, que tuvo como **objetivo** principal, analizar cómo los contaminantes afectan la biodiversidad y la calidad del agua. La **metodología** utilizada presenta un diseño

experimental con un enfoque mixto, cuantitativo para la recolección de datos y con un enfoque cualitativo que busca abordar la influencia de la hilandería en las aguas residuales. Como **resultado** obtuvieron una relación entre el vertido de las aguas por parte de la empresa y su impacto en la calidad de agua llegando a la siguiente conclusión, en la que menciona que, urge la necesidad de abordar una mejora en cuanto a técnicas para el tratamiento de las aguas residuales dentro de la empresa con el fin de proteger los ecosistemas acuáticos y mejorar en la calidad ambiental.

Villaroel (2025), de la Universidad de Concepción, en Chile. Del cual en su estudio de investigación para obtener el título en ingeniería ambiental, titulado *“Evaluación del uso de microalgas para el tratamiento de efluente de celulosa utilizando aguas servidas domiciliarias como fuente de nutrientes”*, que tuvo como **objetivo** principal, evaluar la depuración de los efluentes de celulosa mediante el tratamiento de algas utilizando como fuente de nutrientes el efluente de aguas servidas domiciliarias, para ello utilizó la siguiente **metodología**, en la cual su investigación presenta un diseño experimental, con lo cual buscan analizar la depuración significativa del efluente, obteniendo así los siguientes **resultados**, en la que menciona, que, el uso de la microalga *chlorella*, no son tan efectivos en cuanto al tratamiento de las aguas residuales. En conclusión, se sugiere el uso de otras condiciones de cultivos, así como también el uso de otras especies de microalgas.

Iza (2024), de la Universidad Nacional de Chimborazo, en Ecuador. En su investigación para optar el grado de maestría, titulado *“Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales mineras utilizando celdas de combustible microbianas con cátodos asistidos por microalgas, para la producción simultánea de bioenergía”*, del cual tuvo como **objetivo** principal evaluar la remoción de contaminantes dentro de las aguas residuales mineras mediante el uso de celdas de combustible microbianas con cátodos asistidos por microalgas, empleando la siguiente **metodología** en la cual, la investigación presenta un diseño experimental con un enfoque mixto, con ello busca evaluar la remoción de contaminantes. Dentro de los **resultados** obtenidos, se observó un elevado porcentaje en la remoción para los contaminantes, una disminución en un 70% de nitritos y nitratos y un 99.17% en DQO, por otro lado para metales pesados como el mercurio se observó una eficiencia del 99%, llegando a la siguiente conclusión, los métodos realizados para la remoción y transformación de los contaminantes en la producción de bioenergía mediante el uso de las microalgas presentes en los sistemas mejoró la generación de energía.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Villanueva (2025), de la Universidad Continental. Realizo su investigación para obtener el grado de maestro, cuyo título “*Efectos de la aplicación de macrófitas en humedal artificial sobre la calidad de aguas residuales*” mediante el cual se tuvo como **objetivo** evaluar la aplicación de las especies *schoenoplectus californicus* y *Brachiaria mutica* en humedales artificiales sobre la calidad de aguas residuales. La **metodología** utilizada fue aplicada, con enfoque cuantitativo, de nivel explicativo con un diseño experimental, cuya muestra estuvo conformada por 800 litros de agua residual perteneciente al distrito de Ayaviri. Dentro de los **resultados** obtenidos muestran que dentro de los 70 días aplicados de tratamiento por las especies de plantas se midió cambios en los parámetros del agua como el pH=7.9 mg/l; el DQO 342.7 mg/l; los fosfatos 6.1 mg/l, entre otros parámetros. Se llegó a **concluir** que las especies de macrofita *schoenoplectus californicus* presento una mayor eficiencia en el tratamiento de aguas residuales en el distrito de Ayaravi.

Gallardo & Gamarra (2024), de la Universidad Nacional de Trujillo. Realizó su investigación para obtener el título en ingeniería química, titulado “*Reducción de la concentración de plomo y cadmio en aguas contaminadas del río moche mediante adsorción con Ulva lactuca*”, del cual tuvo como **objetivo** principal evaluar la reducción de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en del río moche mediante la remediación por adsorción con diferentes concentraciones de *Ulva lactuca*. La **metodología** utilizada fue aplicada, con un diseño experimental con un nivel explicativo. Dentro de los **resultados** obtenidos muestran que a mayor cantidad de absorbente y tiempo de contacto se logra una mayor eficacia en la remoción de los metales, para el caso de Pb un 98.72% tras 72 horas, mientras que para Cd la remoción fue de 94.32% en contacto con 80 000 mg/L de alga. Se llegó a concluir que el uso del alga *Ulva lactuca* como bioabsorbente es eficiente, económica y ecológica.

Zapata & Siguas (2022), de la Universidad César Vallejo. En su investigación realizada para obtener el título en ingeniería ambiental, titulado “*Tratamiento de aguas marinas contaminadas por hidrocarburos mediante sistema bioabsorbente a base de algas marinas en Cantolao, callao 2022*”, teniendo como **objetivo** principal determinar la eficiencia de las técnicas para tratar el agua de mar afectados con hidrocarburos mediante el sistema bioabsorbente a base del alga *Chondracanthus chamissoi*. para ello utilizaron la siguiente **metodología**, con un diseño experimental cuya muestra fue de 50 L de agua de mar, obteniendo, así como **resultado**, que al utilizar 30 g de material durante 75 minutos mejoran los niveles de OD, DQO, DBO5 y HTP, llegando a concluir que el uso de algas marinas para la descontaminación es eficiente en un 76%, mejorando los

parámetros fisicoquímicos de las aguas marinas.

Pérez (2024), de la universidad de Huánuco. Realizo su investigación para obtener el título en ingeniería química, titulado *“Eficiencia de humedales con las macrofitas zantedeschia aethiopica (cartucho) y calceolaria tripartita (Zapatitos de ángel) en el tratamiento de aguas residuales domesticas de la zona rural de Huarichaca – Huánuco 2024”*, del cual tuvo como **objetivo**, el evaluar la eficiencia de humedales artificiales mediante el uso de las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua) y *Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) para el tratamiento de aguas residuales domesticas en zona rural. La **metodología** utilizada fue aplicada con enfoque cuantitativo, con un diseño experimental. Dentro de los **resultados** obtenidos muestran que existen cambios significativos en los parámetros físicos químicos con la implementación de la *Zantedeschia aethiopica* mostrando una significancia de < 0.05 en los parámetros de DQO, DBO, aceites y grasas y coliformes totales, mientras que la especie *Calceolaria Tripartita* muestra una significancia < 0.05 en los mismos parámetros. Llegando a concluir que los humedales fueron efectivos en el tratamiento de aguas residuales domesticas en zona rural.

Guevara & Salas (2022), de la Universidad Peruana Unión. En su investigación para obtener el título en ingeniería ambiental, titulado *“Remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante el uso de microorganismo de montaña en agua residuales de una piscigranja”*, del cual su **objetivo** principal fue analizar la efectividad del uso de microorganismos de montaña en la eliminación de contaminantes en el agua residual de una piscigranja, para ello utilizaron la siguiente **metodología**, la investigación que realizo es de tipo aplicada con un diseño experimental, cuya muestra fue de 60 litros de agua residual, obteniendo así los siguientes **resultados**, en el que, se observan, que, al utilizar los microorganismos de montaña, algunos parámetros aumentaron, mientras que en el oxígeno disuelto, pH y coliformes termo tolerantes disminuyeron, llegando a concluir que el uso microorganismos de montaña en el agua residual son los responsables en la reducción de PH y la disminución de coliformes termo tolerantes y con ello recalcar la eficiencia de la aplicación de microorganismos en la remoción de contaminantes.

Enríquez & Grimaldo (2022), de la Universidad Cesar Vallejo. En su investigación para obtener el título en Ingeniería ambiental, titulado *“Revisión Sistemática: Biorremediación de Aguas Residuales Industriales Contaminadas con Hidrocarburos”*, teniendo como **objetivo** principal estudiar la biorremediación en el tratamiento de aguas residuales industriales afectados con hidrocarburos. La **metodología** utilizada fue de tipo básica, con un diseño narrativo, permitiendo acumular información

de estudios previos con respecto a la biorremediación, obteniendo así los siguientes **resultados**, en la que, muestran que los microorganismos utilizados en los estudios de biorremediación como la *Pseudomonas otitidis*, *Bacillus*, *Streptomyces s.* entre otros para la remoción de nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes, muestran una eficiencia en la eliminación de *pseudomas spp* del 59% al 87% en la degradación de hidrocarburos, llegando a concluir que el uso de técnicas para el tratamiento de aguas contaminadas, son eficientes para la remoción de hidrocarburos acumulados en las aguas.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Biorremediación de aguas

La biorremediación es un procedimiento biotecnológico que utiliza organismos vivos, como son las plantas, bacterias, algas y hongos, con el fin de eliminar, cambiar o inmovilizar contaminantes en los ecosistemas acuáticos. Esta perspectiva se sirve de la bioacumulación, la biodegradación y la bioadsorción naturales para disminuir la concentración de metales pesados, nutrientes, compuestos orgánicos y otras sustancias contaminantes. Estos procesos son particularmente relevantes en los ecosistemas hídricos, como los humedales, ya que posibilitan la recuperación de la calidad del agua de manera sostenible y a bajo costo, lo cual es diferente a los tratamientos físico-químicos tradicionales que normalmente generan desechos secundarios y son más costosos (Rahhou et al., 2023; Simon et al., 2022; Moeinzadeh et al., 2024).

Asimismo, los sistemas de biorremediación se benefician de la cooperación sinérgica entre organismos fotosintéticos y microorganismos heterótrofos para perfeccionar el proceso de eliminación de contaminantes. Por ejemplo, las algas fotosintetizan y expulsan oxígeno, lo que crea condiciones propicias para procesos microbianos aerobios que convierten el nitrógeno y la materia orgánica en formas menos nocivas. Este mecanismo ecológico es especialmente eficaz en entornos eutrofizados, donde los niveles de fósforo y nitrógeno son altos. Esto permite que la calidad del agua se recupere poco a poco y evita el empleo excesivo de productos químicos (Huo et al., 2024; Rahhou et al., 2023).

La importancia de la biorremediación en los humedales urbanos estriba en que estos ecosistemas operan por sí mismos como filtros biológicos, pues capturan sedimentos, convierten nutrientes mediante procesos biogeoquímicos y promueven el asentamiento y la descomposición de compuestos contaminantes. Esta capacidad depuradora se potencia al introducir o manejar organismos biorremediadores, como las macroalgas, lo que posibilita

disminuir la carga contaminante y mitigar los procesos de eutrofización sin tener que recurrir a costosos tratamientos químicos. Además, esta estrategia puede combinarse con actividades de restauración ecológica y de administración exhaustiva del humedal, tales como la zonificación, el control de fuentes contaminantes y la regulación del flujo hidráulico. Los procedimientos que forman parte de este proceso son la asimilación de fósforo y nitrógeno para crear biomasa, la bioadsorción y bioacumulación de metales u otras sustancias en las superficies celulares, además del impulso a las comunidades microbianas relacionadas que convierten y reducen los contaminantes del agua mediante procesos redox (Simon et al., 2022).

2.2.2 Fitorremediación Uso de Microalgas

La fitorremediación, para el uso de eliminación de nutrientes en las aguas residuales con alta carga orgánica, representa un área de gran potencial y es crucial, considerando la amenaza global que la eutrofización representa para los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Si bien es cierto esta técnica tiene una demanda urgente, es imprescindible intensificar la investigación en puntos clave para optimizar los sistemas de remoción de nutrientes. Entre estos puntos, la tasa de crecimiento de las algas sobresale como un factor absolutamente determinante, pues es el mecanismo que regula tanto directa como indirectamente la eficiencia con la que se logran eliminar el nitrógeno y el fósforo. Esto conlleva a alcanzar una mayor productividad algal siendo esencial para la supresión efectiva de nutrientes teniendo como objetivo priorizar la investigación. Paralelamente, para que el sistema sea lucrativo. En este ámbito, se han estudiado soluciones innovadoras, como el empleo de microalgas filamentosas con una elevada capacidad de autofloculación y el uso de células inmovilizadas. (Olguín et al., 2003).

Al mismo tiempo la tecnología de fitorremediación puede usarse en conjunto con otras tecnologías, como en el trabajo de fotooxidación de benzopireno (BAP) junto con *Chlorella kessleri*, que demostró una mayor eficiencia de degradación cuando se empleó biomasa del cultivo de algas vivas (29%) que cuando se utilizó biomasa seca, indicando la importancia de la actividad enzimática microalga (Takáčová et al., 2014). Como otros ejemplos más específicos, en aguas residuales de una industria láctea situada en Chennai, India, se empleó esta tecnología de fitorremediación usando *Nostoc* sp. (cianobacteria) inoculada de forma in vitro en muestras de efluente llevadas al laboratorio, y disminuyó el total de sólidos reducidos a 53,93%, sólidos totales disueltos al 20,21%, la alcalinidad a 18,13% y contenido de fosfato al 21,08% en el efluente. Además, los niveles de DBO y DQO se redujeron a 40,25 y 44,44%, respectivamente (Kotteswari, et al. 2012,).

De los autores nos adherimos que el uso de las algas sirve de reducción o

biotransformantes de contaminantes, incluyendo nutrientes y xenobióticos de aguas residuales (Olguin, 2003). Las microalgas permiten la eliminación de sustancias tóxicas, como pesticidas, herbicidas y metales pesados, entre otros; esto gracias a su capacidad de acumular importantes concentraciones de compuestos tóxicos, a fin de no afectar su actividad biológica. Otro aspecto positivo de las microalgas es la liberación de O₂ por medio de la fotosíntesis, mientras genera una acumulación de biomasa, la cual puede ser reutilizada potencialmente en sistemas de producción de biocombustibles y/o en procesos de avicultura, acuicultura o agricultura (Mehrabadi et al., 2015).

2.2.3 *Ulva lactuca* como Agente Biorremediador

Ulva lactuca se ha destacado como una opción especialmente interesante entre las especies de algas utilizadas para la biorremediación, debido a su rápida tasa de crecimiento, alta habilidad para absorber nutrientes y capacidad para soportar condiciones ambientales cambiantes. Un estudio que se llevó a cabo en un sistema de biofloc integrado con *Penaeus vannamei*, por ejemplo, evidenció que *Ulva lactuca* logró una eficiencia significativa en la eliminación de nutrientes cuando había una carga orgánica elevada y 75

% del inóculo de biofloc. Luego de 45 días de cultivo, se documentaron porcentajes de eliminación de nitrato del 55 ± 4 % y del fosfato del 31 ± 10 %, lo que demuestra la capacidad de esta macroalga para funcionar como un biofiltro natural en sistemas acuícolas intensivos. Según Carvalho et al. (2023), estos resultados apoyan su capacidad para optimizar la calidad del agua y promover que los sistemas productivos sean sostenibles mediante la incorporación de procesos biológicos de depuración. Asimismo, un experimento adicional en aguas costeras reveló que esta alga conserva su capacidad de biorremediación incluso cuando hay una disminución de la salinidad, lo cual es significativo para los humedales urbanos con mezcla dulce-salada. Este estudio demostró que la fisiología de *U. lactuca* se adapta por medio de modificaciones en las vías de asimilación del nitrógeno y el carbono, lo que posibilita su empleo en sistemas afectados (Edwards, 2024).

Estos datos sitúan a *U. lactuca* como un biofiltro natural adecuado para cuerpos acuáticos que han sido impactados por la carga de metales y nutrientes procedentes de actividades humanas. No obstante, es crucial que el manejo de la biomasa cosechada sea apropiado para garantizar que su uso sea sustentable y viable. La razón es que, si no se gestiona correctamente, la biomasa de alga puede transformarse en una fuente secundaria de contaminación o desperdicio debido a la acumulación de minerales, metales y otros componentes (Felipe et al., 2025).

Con base en dicha investigación observamos que los resultados apoyan su capacidad

para optimizar la calidad del agua y promover que los sistemas productivos sean sostenibles mediante la incorporación de procesos biológicos de depuración. De modo similar, un experimento realizado en aguas costeras reveló que está destacada alga puede conservar su capacidad de biorremediación incluso cuando presente una disminución de la salinidad, lo cual es relevante para los humedales urbanos con mezcla dulce-salada de acuerdo con las investigaciones se demostró que la fisiología de *U. lactuca* se adapta por medio de modificaciones en las vías de asimilación del nitrógeno y el carbono, lo que posibilita su empleo en sistemas afectados (Edwards et al., 2024).

Tabla 1:
Ubicación taxonómica de Ulva lactuca.

<http://www.itis.gov/8/10/2012>

Reino	Plantae
Subreino	Viridaeplantae
Infrareino	Clorofitas
Division	Chlorophyta
Subdivision	Clorofita
Clase	Ulvoficeas
Orden	Ulvaes
Familia	Ulvaceas
Genero	Ulva (Linneo, 1753)
Especie	Ulva lactuca (Linnaeus 1754)

Tabla 2:
Descripciones morfológicas y taxonómicas de la Ulva lactuca.

Característica	Descripción
Nombre Científico	Ulva lactuca
Nombre Común	Lechuga de Mar, lamilla, Lucha verde, Alga sensitiva.
Tipo de Alga	Alga Verde (Filo Chlorophyta)
Apariencia	Laminar, Foliácea, plana, de color verde a verde amarillento con bordes rizados o rasgados, similar a una hoja de lechuga.
Estructura	Talo (cuerpo de alga) formado por dos capas de células de espesor, translúcida.
Adhesión	Se fija al sustrato (rocas, conchas) mediante un pequeño disco de fijación o rizoides basales.
Hábitat	Cosmopolita (presente en casi todos los océanos). Crece en la zona intermareal y sublitoral en aguas poco profundas y ricas en minerales.
Tolerancia	Tolerantes a variaciones ambientales, incluyendo bajas salinidades

y altas concentraciones de nutrientes (nitratos).

Nota: Descripciones morfológicas y taxonómicas extraídas por Collado Sáenz De Jubera (2024), Pérez Mayorga (2009), y Pantano y González (2003).

Ilustración 2: Lechuga de mar (Ulva lactuca)



Nota: Adaptado de iNaturalist (2024)

2.2.4 Factores que influyen en la biorremediación

La biorremediación es más eficaz cuando se tienen en cuenta elementos como los ambientales, operativos y los hidrodinámicos, como:

La temperatura que impacta la tasa de crecimiento y metabólica de Ulva: una temperatura óptima acelera la incorporación de nutrientes y una extrema la disminuye (da Silva Oliveira et al., 2024).

Salinidad: Ulva es capaz de tolerar cambios, sin embargo, su eficacia para absorber nutrientes y su composición bioquímica cambian dependiendo de la salinidad; los cultivos con baja salinidad tienen el potencial de modificar las tasas de absorción y la cantidad de biomasa. Al trabajar en humedales costeros con oscilaciones de las mareas o mezcla de agua dulce y salina, esto es crucial (Steinhagen et al., 2024).

Relación y concentración N:P las tasas de eliminación están sujetas a la disponibilidad relativa; si una se encuentra deficiente, limita el crecimiento y la eliminación de la otra. (Simon et al. 2022) indican que los sistemas con una alta N pero un P bajo (o a la inversa) tienen limitaciones en la eficacia.

Luz / fotoperiodo: La fotosíntesis promueve el crecimiento y la absorción de nutrientes. La eficiencia disminuye debido a la presencia de sombras, turbidez alta o poca profundidad (Huo et al., 2024).

Hidrodinámica / duración de la retención: Cuanto más tiempo permanezca la biomasa en contacto con agua contaminada (retención hidráulica), mejor es la eliminación. Un flujo excesivamente acelerado disminuye el tiempo efectivo de filtración biológica. (Silva Oliveira et al., 2024).

Presencia de microflora asociada: Las bacterias que se encuentran vinculadas a algas o sustratos tienen la capacidad de contribuir a la eliminación al convertir el nitrógeno o compuestos orgánicos (nitrificación de nitrificación), lo que optimiza el rendimiento general. Inocular bacterias (por ejemplo, *Bacillus*), según investigaciones actuales, puede incrementar la eficiencia (Li et al., 2025).

Cosecha y gestión de la biomasa: Es indispensable recolectar y eliminar la biomasa de manera regular para impedir el reciclaje de nutrientes (ocurre cuando la biomasa se descompone y muere) (Simon et al., 2022).

2.2.5 Densidad de biomasa y su efecto en la remoción de contaminantes

La macroalga verde *Ulva lactuca* se ha consolidado en diversos estudios como un biofiltro excepcionalmente robusto. De hecho, su eficacia es tal que puede remover más del 80% del amonio total en efluentes de piscifactorías, lo cual la establece como un pilar en los sistemas de acuicultura multitrófica integrada (AMTI) (Neori et al., 2000; Schuenhoff et al., 2003).

Sin embargo, al aumentar la densidad de la biomasa, la tasa de absorción específica (eficiencia por unidad de peso) puede verse comprometida. Una investigación de Neori et al. (2000) demostró que el aumento de la densidad de siembra (de 1 a 6 kg/m²) no impactó de manera significativa la absorción total de amonio. El verdadero desafío de las altas densidades es la limitación lumínica. Si los flujos de amonio son bajos, el crecimiento es restringido por el nitrógeno; en contraste, a flujos altos, la luz se convierte en el factor limitante. Esta variación ocurre porque el aumento de densidad provoca el sombreo de las frondas inferiores, lo que disminuye la tasa fotosintética y consecuentemente modera la captación celular de nutrientes (Neori et al., 2000).

Por lo tanto, la relación directa entre *Ulva lactuca* y los nutrientes ha sido confirmada, pues la tasa de aumento del alga se correlaciona positivamente con la ampliación en las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (Teichberg et al., 2009). Por lo tanto, el diseño de sistemas de biofiltración debe orientarse a encontrar una densidad óptima. Esta debe ser un balance entre la concentración de biomasa requerida para la remoción masiva y la necesidad fisiológica de luz para mantener una alta tasa de crecimiento. La elección de la densidad es un punto crítico: una densidad muy baja resulta en una absorción total

insignificante, pero si es demasiado alta, la luz restringe la eficiencia biológica, si bien en ambientes muy cargados de nutrientes se pueden registrar mayores rendimientos de biomasa en términos de proteína y clorofila (Carvalho et al., 2023).

2.2.6 Calidad de agua

La calidad de las aguas superficiales presenta riesgos considerables a nivel global, afectando áreas ambientales, sociológicas y económicas. Esta problemática se ha visto deteriorada por varios factores claves en las últimas décadas, incluyendo la intensificación poblacional, la industrialización y la urbanización (Javed et al., 2017; Uddin et al., 2018). Por ello la expansión ha resultado una proliferación intensa tanto en el uso de agua dulce como en la producción consecuente de aguas residuales.

El empeoramiento de la calidad de las aguas continentales es un fenómeno continuo, estimulado por una combinación de actividades humanas y procesos naturales. Al mismo tiempo esta tendencia negativa y el crítico desafío de la gestión sostenible de los recursos, así como diversas regiones han tenido que responder con marcos regulatorios estrictos. Un ejemplo de ello es la Unión Europea, que adoptó la Directiva Marco del Agua en el año 2000, con el objetivo directo de garantizar que todos los cuerpos de agua cumplan al menos un "buen estado ambiental" en un plazo definido (Carsten Von Der Ohe et al., 2007; EPA, 2001).

Con base a investigaciones planteadas la calidad del agua se definiría por un conjunto de parámetros físico-químicos y biológicos que determinan su aptitud para sostener la vida y el uso humano. En los ambientes costeros y acuícolas, el factor determinante principal que degrada esta calidad es la eutrofización, un proceso impulsado por el exceso de aportes de nutrientes inorgánicos, especialmente nitrógeno (N) y fósforo (P), provenientes de fuentes antropogénicas (Teichberg et al., 2009), Aquellas mismas que están expuestas a ser contaminada por metales pesados de origen antropogénico y natural, y otras fuentes de contaminación. La vigilancia de la calidad de agua desde la fuente hasta el consumo humano debe ser prioridad política y social para mejorar los servicios de agua a nivel social y ambiental. (Villena et al., 2018).

2.2.7 Importancia y Funciones Ecológicas de los Humedales

La importancia de los humedales a menudo comparados con los "riñones de la tierra", debido a su participación clave en los procesos ecológicos y su potencial ecológico en materiales y energía es significativamente superior que el de otros ecosistemas con el objetivo de desempeñar funciones esenciales como la regulación del clima, el control de las inundaciones, el suministro de alimentos asimismo materiales para la población humana al mismo tiempo protegiendo la biodiversidad. No obstante, estos ecosistemas, en particular en

zonas áridas y semiáridas, son altamente vulnerables a transformaciones, experimentando un deterioro de sus funciones de servicio y del entorno ecológico siendo influenciados por las acciones humanas que constantemente está modificando el entorno natural (Wang et al., 2025).

Al mismo modo los humedales aun cuando ocupan una pequeña fracción de la masa terrestre de la Tierra son útiles fundamentalmente para funciones económicas y ecológicas. Estos hábitats ofrecen un refugio crítico para múltiples animales silvestres, en particular aves, peces y mamíferos. De la misma manera, desempeñan un rol básico en la facilitación de un espectro de servicios y funciones ecosistémicas, influyendo en la calidad del agua, el control de inundaciones, la producción de hierbas, la hidrología y la gestión de cuencas hidrográficas. Sin embargo, la integridad de numerosos humedales se ha visto comprometida o completamente degradada debido a las intervenciones humanas, incluido el drenaje agrícola, la construcción de presas y la explotación excesiva de los recursos hídricos (Zou et al., 2018

De acuerdo a los autores los humedales representan sistemas naturales descontaminación, ejercitando un rol valioso en remoción de contaminantes y nutrientes presentes en el agua. Estos ecosistemas dependen básicamente de la escorrentía superficial y el agua subterránea como sus principales fuentes de agua. Cinco procesos hidrológicos principales (tipo, duración y cantidad de precipitación, recarga de aguas subterráneas, escorrentía superficial y evapotranspiración) que influyen significativamente en el funcionamiento de todos los humedales (Balerna et al., 2023; Zamani-Ahmadm Mahmoodi et al., 2020). Además, su función de purificación natural no solo atribuye a la sostenibilidad ambiental, en otras palabras, destacan la necesidad de su conservación y posterior manejo adecuado al aumento de la contaminación y la presión antrópica.

2.2.8 Factor que influye en la Calidad del Agua

La calidad del agua en el entorno acuático es una señal evidente de la salud de los ecosistemas, obteniendo un papel importante en la evolución económica, social y la gestión sostenible de los recursos hídricos. La degradación por el cambio climático así mismo alteraciones por las actividades antropogénicas en los últimos años demostrando un desafío significativo, especialmente en áreas con escasez de agua, donde la contaminación y la escasez se acoplan, incrementando lo vulnerable del ecosistema. al mismo tiempo influenciada integralmente por factores naturales y antropogénicos. Los factores naturales, como la topografía, las precipitaciones y la temperatura, afectan la formación de escorrentías

y el transporte de contaminantes y procesos biogeoquímicos. En contraste, las actividades humanas introducen fuentes de contaminación a través del uso de la tierra, la aplicación de fertilizantes, la ganadería, la avicultura y el desarrollo económico, lo que puede llevar a la eutrofización. Como si fuera poco, afectaciones energéticas como la urbanización y la construcción de infraestructuras alterando radicalmente la conectividad fluvial y los ciclos biogeoquímicos variando el transporte de contaminantes. Con el objetivo de evaluar mediante indicadores fisicoquímicos, de nutrientes y de contaminantes orgánicos, a menudo sintetizados mediante Índices de Calidad del Agua (Gong et al., 2025).

2.2.9 Parámetros físico-químicos

Es fundamental analizar y verificar los diversos parámetros de calidad del agua antes de su utilización para consumo humano y uso doméstico. El control debe abarcar una amplia gama de indicadores fisicoquímicos, incluyendo la temperatura, el color, el olor, el pH, la turbidez, los sólidos disueltos totales (TDS), el oxígeno disuelto. Dado que la presencia de materia orgánica, fluoruros, cloro residual, iones traza de metales, contenido de metales pesados y residuos de pesticidas es por ello que la selección específica de los parámetros a evaluar debe adaptarse al propósito particular para el cual se destinará el agua (Singh et al., 2021). Propiedades tanto físicas como químicas que permiten evaluar la calidad de agua, del suelo y aire. Permitiendo ayudar a determinar si el agua es óptima para distintos usos, brindándonos información extensa de la naturaleza química del agua y sus propiedades físicas. (Samboni et al., 2007).

Existen diferentes conceptos de los siguientes parámetros:

2.2.10 pH

El pH es la medida más fundamental para determinar el grado de afectación del agua. El crecimiento en este valor indica mayor alcalinidad y una consecuente disminución en la calidad del medio acuático. Este aumento puede ser provocado por una reducción en la actividad fotosintética del fitoplancton, lo cual resulta en una mayor captación de dióxido de carbono y bicarbonatos solubles, elevando el pH. a fin de que, se documente que los bajos niveles de oxígeno a menudo están correlacionados con altas temperaturas estivales, siendo múltiples factores responsables de estas variaciones en el pH. Incluso una variación mínima en la acidez o alcalinidad tiene efectos severos en la vida acuática (Singh et al., 2021).

Además, las alteraciones del pH generan múltiples riesgos ecológicos. En este caso si el pH está bajo puede reducir la tasa de eclosión de huevos y causar irritación branquial en peces e insectos, causando problemas respiratorios, Por ello, niveles extremos debajo de 4 o

por encima de 10 son mortales para la mayoría de los organismos, siendo los anfibios vulnerables debido a la sensibilidad de su piel a la acidez. Es conveniente entender que el agua altamente ácida representa un grave problema adicional al facilitar la disolución de metales, volviéndose más tóxicos para la flora y fauna del ecosistema acuático existente (Singh et al., 2021).

2.2.11 Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto (OD) es un parámetro básico que proporciona información valiosa sobre la calidad del agua, proyectando de manera directa de los procesos como la actividad microbiana y la fotosíntesis, así mismo saber la disponibilidad de nutrientes. Un alto valor de OD se entiende como una mejor calidad del agua. La concentración de OD es variable, condicionada por indicadores como la presión, la temperatura, el pH y la alcalinidad, así mismo en el verano, la alta luz solar estimula la fotosíntesis, consumiendo dióxido de carbono y liberando oxígeno, lo que aumenta los niveles de OD en el cuerpo de agua (Singh et al., 2021).

La cuantificación del OD en muestras acuáticas se realiza comúnmente mediante el método de Winkler. Este proceso es crucial para determinar la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), como un indicador de la contaminación. La DBO se calcula midiendo la diferencia en la concentración de OD después de un período de incubación de 5 días a 20 °C, lo que estaría indicando la cantidad de oxígeno consumida por las bacterias. Para determinar la exactitud de esta medición, es necesario el uso de botellas de DBO diseñadas para sellar la muestra y aislarla del oxígeno atmosférico (Singh et al., 2021).

2.2.12 Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica determina la capacidad de una solución para transferir electricidad, propiedad que se incrementa de forma equivalente a la concentración de iones disueltos en el agua. Las unidades de medida incluyen el micromhos/cm sistema de EE. UU y las unidades del Sistema Internacional (SI) como los miliSiemens/m (mS/m) o deciSiemens/m (dS/m), en correspondencia clave de que $\text{mS/m} = 10 \text{ mho/cm}$ ($1000 \text{ uS/cm} = 1 \text{ dS/m}$). La conductividad eléctrica demuestra una relación significativa con múltiples parámetros de calidad del agua, tales como la temperatura, el pH, la alcalinidad, la dureza total, la concentración de calcio, los sólidos totales (TS), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos disueltos totales (TDS), la concentración de cloruro y el contenido de hierro [30]. Por esta razón, se recomienda que la conductividad sea un parámetro clave para verificar de manera efectiva la calidad del agua potable subterránea (Singh et al., 2021).

2.2.13 Temperatura (T°)

En un ecosistema específico la temperatura del agua desempeña un control dominante sobre la cinética de las reacciones químicas, así mismo de aspecto cambiante vital de la comunidad acuática, como las tasas de crecimiento, la reproducción y la función inmunológica de los organismos. Las fluctuaciones térmicas inesperadas pueden ser perjudiciales para la vida acuática. Es fundamental destacar que diversos parámetros fisicoquímicos se ven significativamente influenciados por los cambios de temperatura. En efecto los procesos esenciales como la sedimentación, la cloración o los indicadores de calidad del agua como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), son intrínsecamente condicionados por la temperatura del medio (Singh et al., 2021).

2.2.14 Turbidez

La turbidez en el agua potable es reconocida un factor de descarte estético al mismo tiempo un parámetro, causado por la existencia de partículas suspendidas, tiene consecuencias significativas tanto en la gestión del agua y en paralelo la salud ecológica. Las partículas en suspensión aumentan el costo de los procesos de purificación del agua y en el medio ambiente acuático logrando reducir las tasas de crecimiento, la madurez larvaria y la eclosión de huevos en la fauna. De la misma manera estos materiales suspendidos funcionan como una superficie de adsorción para contaminantes peligrosos, incluyendo metales pesados como el Hg, Cr, Cd, Pb, entre otros y compuestos orgánicos perjudiciales (Singh et al., 2021).

Es conveniente entender que la turbidez se cuantifica utilizando la Unidad de Turbidez Nefelométrica (NTU) o la Unidad de Turbidez (TU), donde una TU equivale a 1mg/L de sílice en suspensión. Un impacto ecológico adicional de la turbidez es la subida demanda de oxígeno para la flora y fauna acuáticas. El agua con una turbidez inferior a 5 NTU es percibida como visiblemente clara, mientras que valores superiores a 100 NTU la vuelven visiblemente fangosa (Singh et al., 2021).

2.2.15 Parámetros microbiológicos

Estos parámetros son indicadores que contribuyen en evaluar la calidad del agua. Los parámetros microbiológicos son indicadores mediante el cual a través de los organismos se

evalúa el grado de contaminación y/o microorganismos patógenos para el ser humano. (MINSA, 2010.) Dentro de estos parámetros encontramos lo siguiente:

2.2.16 Coliformes Termotolerantes (E. coli)

Pertenece a la familia Enterobacteriácea que expresa enzimas β -galactosidasa y β glucuronidasa. E. Coli. son bacterias con estructuras de bacilos con bordes redondeados, miden de 0.5 y 3 micras, especie que se encuentra dentro de coliformes termo tolerantes se encuentra en las heces siendo un indicador indiscutible de contaminación por materia 41 fecal y potencial presencia de patógenos entéricos. Su identificación en el agua indica una contaminación reciente. Los efectos son enfermedades relacionadas a nivel digestivo como síndromes intestinales y trastornos del tracto genitourinario (Abreu et al., 2020). Bacterias que se encuentran comúnmente en la vegetación, el agua y el suelo. Estos se dividen en coliformes totales y a su vez se subdividen en coliformes termo tolerantes, habitando en ambientes con una temperatura de hasta 45°C, representándose por Escherichia Coli. (Linares et al., 2016).

2.2.17 Decreto Supremo 004-2017-MINAM – ECA para el agua.

Los ECAS es un instrumento que se utiliza en la medición de la concentración de elementos o parámetros presentes en el agua, con el fin de evaluar el estado de la calidad del agua en el ambiente. Este instrumento es usado para establecer políticas ambientales públicas y no para medir las emisiones de alguien en particular pues buscan establecer un nivel aceptable de calidad para las emisiones en el ambiente. (MINAM, 2017).

Con base a la presente investigación el ecosistema analizado corresponde a un humedal de agua dulce, por ello, de acuerdo a MINAM (2017), el D.S. N.º004-2017-MINAM. En el artículo 3, Categorías de ECA para agua, contiene cuatro categorías: 1, 2, 3 y 4. Dentro de ella la categoría 4: Conservación del ambiente acuático, basándose en la referencia los valores del ECA para ríos de la zona Costa y Sierra, debido a sus características físico-químicas.

En esta categoría, el ECA establece los siguientes valores de referencia: Conductividad eléctrica de 1 000 μ S/cm, Nitratos (NO_3^-) de 13 mg/L, Oxígeno disuelto mayor o igual a 5 mg/L, y un rango de pH entre 6,5 y 9,0. Parámetros esenciales y básicos para respaldar el equilibrio ecológico al mismo tiempo la calidad del agua en los humedales naturales.

Estándares de Calidad Ambiental – Categoría 4: Conservación del medio acuático.

Parámetros	Unidad de Medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FISICO-QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/l	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Cianuro Libre	mg/l	0.0052	0.0052	0.0052	0.001	0.001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/l	0.008	**	**	**	**
Conductividad	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/l	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/l	2.56	2.56	2.56	5.8	5.8
Fósforo total	mg/l	0.035	0.05	0.05	0.124	0.062
Nitratos NO_3^- (c)	mg/l	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH_3)	mg/l	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno total	mg/l	0.315	**	**	**	**
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/l	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6.5 a 9.0	6.5 a 9.0	6.5 a 9.0	6.8 a 8.5	6.8 a 8.5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/l	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Temperatura	°C	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
DNORGANICOS						
Antimonio	mg/l	0.64	0.64	0.64	**	**
Arsénico	mg/l	0.15	0.15	0.15	0.036	0.036
Bario	mg/l	0.7	0.7	1	1	**
Cadmio disuelto	mg/l	0.00025	0.00025	0.00025	0.0088	0.0088
Cobre	mg/l	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
Cromo VI	mg/l	0.011	0.011	0.011	0.05	0.05
Mercurio	mg/l	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Níquel	mg/l	0.052	0.052	0.052	0.0082	0.0082
Plomo	mg/l	0.0025	0.0025	0.0025	0.0081	0.0081
Selenio	mg/l	0.005	0.005	0.005	0.071	0.071
Talio	mg/l	0.0008	0.0008	0.0008	**	**
Zinc	mg/l	0.12	0.12	0.12	0.081	0.081
ORGANICOS						
Compuestos orgánicos volátiles						

Hidrocarburos totales de petróleo	mg/l	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Hexaclorobutadieno	mg/l	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
BTEX						
Benceno	mg/l	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/l	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Antraceno	mg/l	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
Fluoranteno	mg/l	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos policlorados (PCB)	mg/l	0.000014	0.000014	0.000014	0.00003	0.00003
PLAGUICIDAS						
Organoclorados						
Malatión	mg/l	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Paratión	mg/l	0.000013	0.000013	0.000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/l	0.000004	0.000004	0.000004	**	**
Clordano	mg/l	0.0000043	0.0000043	0.0000043	0.000004	0.000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/l	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001
Dieldrin	mg/l	0.000056	0.000056	0.000056	0.000019	0.000019
Endosulfan	mg/l	0.000056	0.000056	0.000056	0.0000087	0.0000087
Endrin	mg/l	0.000036	0.000036	0.000036	0.0000023	0.0000023
Heptacloro	mg/l	0.0000038	0.0000038	0.0000038	0.0000036	0.0000036
Heptacloro Epóxido	mg/l	0.0000038	0.0000038	0.0000038	0.0000036	0.0000036
Lindano	mg/l	0.00095	0.00095	0.00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/l	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Carbamato						
Aldicarb	mg/l	0.001	0.001	0.001	0.00015	0.00015
MICROBIOLOGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

Fuente: extraído del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

- (a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)
 - (b) Después de la filtración simple
 - (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ($\text{NO}_3^- - \text{N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).
- Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada
- ** significa que el parámetro no aplica para esta subcategoría

2.3 Definición de Términos Básicos

2.3.1 Biorremediación: Métodos para la remoción de contaminantes en el agua mediante el uso de microorganismos o plantas, transformando los contaminantes en menos tóxicos para el agua, aire o suelo. (Valdivia, 2001).

2.3.2 Calidad de agua: son propiedades físicas, químicas y biológicas que presenta el agua en su estado natural, sin que haya una intervención que altere estas propiedades. (Villena, 2018).

2.3.3 Humedales costeros: Son ecosistemas que se encuentran cerca de litoral costero, ofrecen diversos servicios ecosistémicos como la mitigación del cambio climático y la regulación hídrica. (MINAM, 2022).

2.3.4 Macroalgas: Las macroalgas son organismos fotosintéticos conformado por un conjunto de organismos multicelulares capaces de realizar procesos fotosintéticos, estos son visibles por su gran tamaño capaces de absorber nitrógeno y carbono. (Piñon, Jakes & Chávez, 2023).

2.4 Hipótesis de la Investigación

2.4.1 Hipótesis General

El uso de algas influirá en la mejora de la calidad de agua mediante la remoción de contaminantes en el humedal dentro del año 2025.

2.4.2 Hipótesis Específicos

El uso de macroalgas se caracterizará por su alta capacidad de absorción de nutrientes presentes en el humedal de santa rosa.

Las macroalgas *Ulva lactuca* actuaran en la remoción de contaminantes mediante la absorción de contaminantes presentes en el humedal de Santa Rosa.

El uso de las macroalgas *Ulva lactuca* mejorara la calidad de agua, en cuanto a los parámetros fisicoquímicos presentes en el humedal de Santa Rosa.

2.5 Operacionalización de variables

Tabla 4: Operacionalización de variables

Título: Biorremediación mediante el uso del alga <i>ulva lactuca</i> y su impacto en la calidad de agua del humedal de Santa Rosa-2025.				
VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	METODO
Variable Independiente: Biorremediación con	Aplicación de alga	Frecuencia de aplicación	Días	
	Densidad de biomasa	Cantidad de alga aplicada Conocimiento sobre la importancia del		Se aplicarán métodos de
		Ulva lactuca		bioadsorción con macroalga.
	Tiempo de exposición	Tiempo de exposición en el Agua Efectos de uso del alga Ulva lactuca		
Variable Dependiente: Calidad de agua del humedal de Santa Rosa.		pH Amonio (NH4+)	pH	Resolución Ministerial N°
	-Parámetros físico químicos	Conductividad eléctrica (CE) Temperatura Solidos Totales Disueltos (TDS) Turbidez	µS °C TDS NTU	273-2013-viviendas. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010- 2016-ANA)
	-Parámetros microbiológicos	Escherichia Coli (E. coli)	NMP	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de Investigación

La investigación es de tipo experimental debido a que se manipulará el alga *Ulva lactuca* dentro del humedal de Santa Rosa mediante tratamientos por bloques, en la cual se separan las concentraciones de *Ulva lactuca* utilizadas en las parcelas.

3.1.2 Nivel de Investigación

Esta investigación es de nivel explicativo porque, busca explicar la causalidad entre la biorremediación en el humedal de Santa Rosa mediante y la calidad de agua mediante el uso de la *Ulva lactuca*. Nos permitirá controlar las variables manipuladas, permitiéndonos atribuir cambios mediante la observación.

3.1.3 Enfoque

La investigación presenta un enfoque cuantitativo, debido a que se emplearán instrumentos y técnicas científicas con el fin de medir los parámetros específicos de la calidad de agua como pH, oxígeno disuelto, nitratos, amonio, coliformes termo tolerantes, entre otros. Por otra parte, nos permite realizar un análisis estadístico riguroso y la validación de la hipótesis científica, con el fin de explicar el efecto del alga *Ulva lactuca* en la calidad de agua del humedal de Santa Rosa.

3.1.4 Diseño

La investigación tiene un diseño experimental debido a que se manipulara las variables permitiendo evaluar el efecto de diferentes dosis del alga *Ulva lactuca* sobre la calidad del agua en el humedal de Santa Rosa.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

En la presente investigación, la población está conformada por el cuerpo de agua del humedal de Santa Rosa, ubicado en el departamento de Lima, provincia de Huaral, distrito de Chancay, donde se aplicarán tratamientos de biorremediación con el alga *Ulva lactuca*.

3.2.2 Muestra

La muestra está compuesta por 18 L de agua proveniente del humedal de Santa Rosa que serán separados en tres muestras diferentes y evaluados por separados con cantidades de *Ulva lactuca* en diferentes concentraciones.

3.2.3 Ubicación

La presente investigación se realizará en la parte baja del humedal de Santa Rosa, al suroeste del Mega puerto de Chancay y al Pueblo Joven Santa Rosa, ubicado en la provincia de Huaral, distrito de chancay, región lima. La parte experimental se llevará a cabo en el mismo punto de muestreo cerca al humedal de Santa Rosa.

Tabla 5:
Coordenadas del punto de Muestreo

Puntos de Muestreo	Sistema de Coordenadas	Este	Norte
Punto 1	UTM (Zona 18S)	252709.38	8717179.99
Punto 2	UTM (Zona 18S)	252528.49	8717234.47

Fuente: Elaboración propia

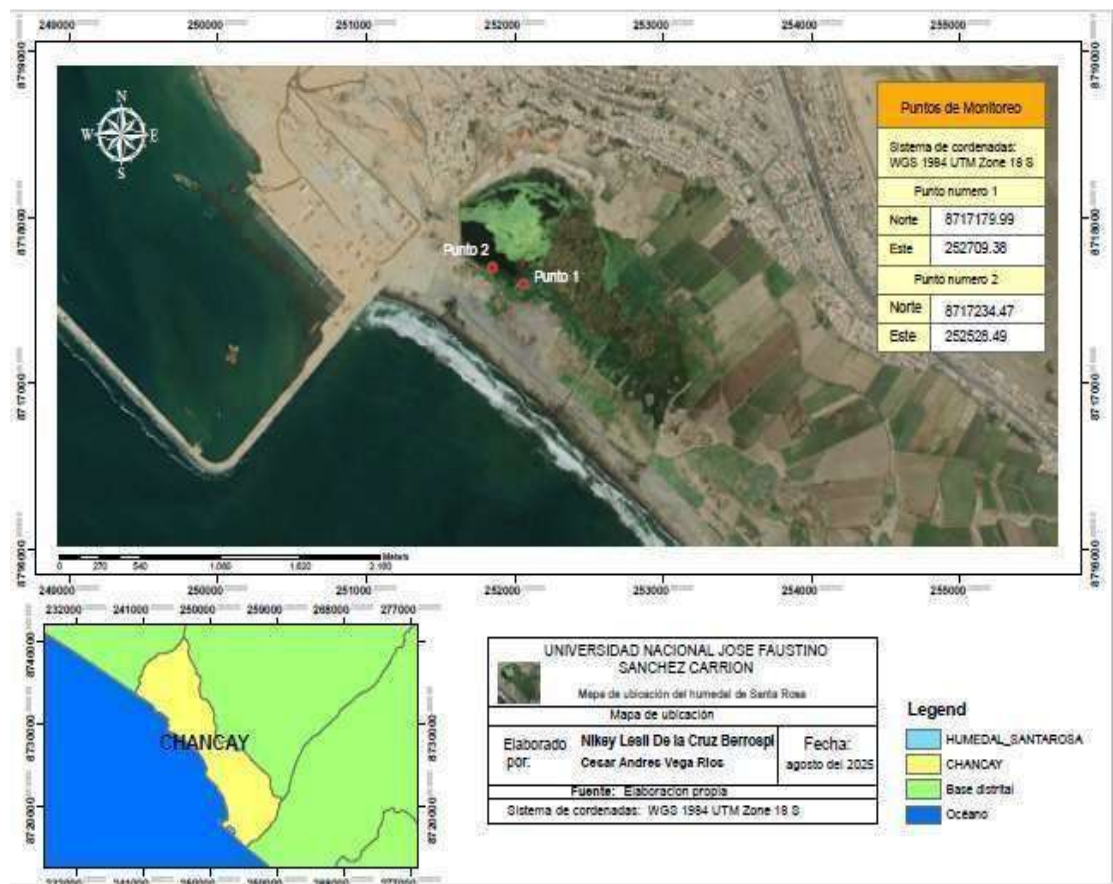


Ilustración 3: Ubicación de los Puntos de Monitoreo

Tabla 6:

Punto de ubicación del sistema de biorremediación

Puntos de Muestreo	Sistema de Coordenadas	Este	Norte
Humedal de Santa Rosa	UTM (Zona 18S)	252687.66	8717174.86

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Características del área experimental

El humedal de Santa Rosa ubicado en el distrito de Chancay, provincia de Huaral de la región Lima, es un ecosistema ubicado en la costa peruana. Este ecosistema es un ambiente transicional entre el mar, el suelo terrestre y las aguas subterráneas, en donde se mezclan las aguas dulces y salobre creando un hábitat único para las especies que la habitan. Estos ecosistemas ubicados en el litoral costero del Perú albergan una gran variedad de especies. el humedal presenta una recarga debido a los aportes de las aguas subterráneas con aportes salobres influenciadas por la cercanía al mar y su altitud con respecto a la misma.

3.2.5 Método de tratamiento

El método utilizado en la investigación para la biorremediación será ejecutado mediante la metodología de tratamiento de agua residuales aplicando un sistema de humedal artificial de flujo superficial libre.

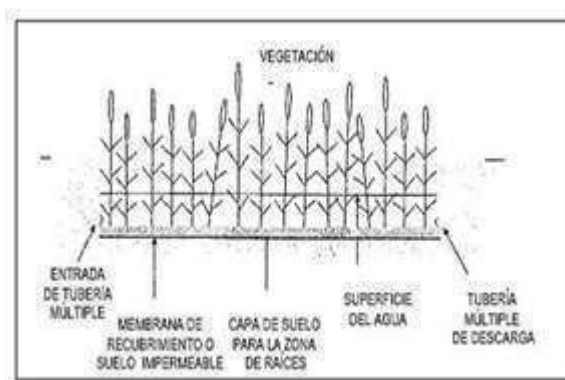
Este método no es costoso y nos permitirá realizar el tratamiento de manera ex situ al cuerpo de agua del humedal de Santa Rosa, con el fin de evaluar los procesos de la técnica de biorremediación a aplicar en el área experimental.

3.2.6 Humedal artificial de flujo libre

Los humedales artificiales de flujo libre, son sistemas que captan el agua residual, con el fin de reducir el grado de contaminación de las aguas residuales. Los sistemas de un humedal artificial de flujo libre tienen estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del agua residual para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección. (Zambrano, et. 2009). La aplicación de plantas en estos sistemas de flujo libre suele ser de uno a dos especies, esto ayuda a valorar la capacidad de remoción los contaminantes y evaluar los parámetros del agua.

Los sistemas de humedales suelen ser los más favorables desde el punto de vista económico cuando el terreno se encuentra disponible a un costo razonable como se muestra en la figura 4. ya que los humedales artificiales suelen consistir en estanques o canales de poca profundidad, en donde albergan una variedad de especies entre animales y plantas, y estas últimas son aquellas encargadas de depurar las aguas residuales con una alta carga de contaminantes.

Ilustración 4: Esquema de un humedal de flujo libre.



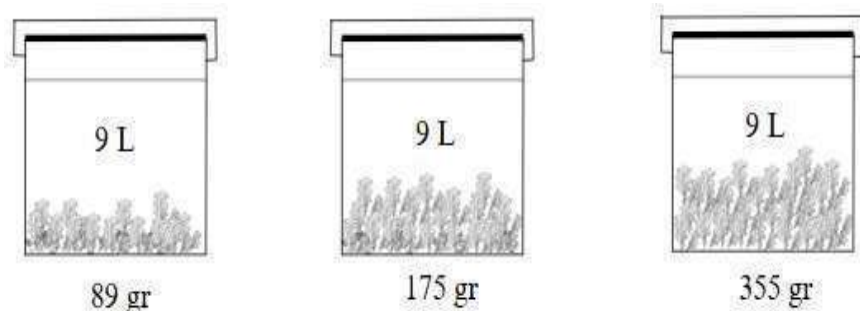
Fuente: Diseño del sistema de tratamiento para la depuración de aguas residuales domesticas de la población San Eloy en la provincia de Manabí por medio de un sistema de tratamiento natural compuesto por un humedal artificial de flujo libre.

2.2.6 Diseño experimental de biorremediación mediante el uso del alga ulva lactuca.

El Humedal de Santa Rosa, es un ecosistema que alberga una gran variedad de especies de flora y fauna, que se encuentra rodeado por varias fuentes contaminantes de origen antropogénico, como la agricultura, la ganadería, los depósitos de residuos orgánicos y los criaderos de porcinos ubicados cerca del humedal.

Es por ello que se busca afrontar esta problemática aplicando un método de remediación, con el fin de reducir el grado de contaminación. Se utilizará la metodología de humedal artificial para la biorremediación de las aguas afectadas del humedal aplicando el alga *Ulva lactuca*. Para ello se aplicarán cantidades diferentes del alga, en 3 muestras de agua, cada una con un contenido de 9 litros por cada sistema extraídas del mismo punto de monitoreo como se observa en la figura 3.

Ilustración 5: sistema de biorremediación mediante la aplicación del alga *Ulva lactuca*



La cantidad de algas que se aplicaran en cada uno de los sistemas presentados en la figura 5. determinarán la velocidad y efectividad con el cual removerán el grado de contaminación presente en la muestra de agua.

3.2.7 Análisis de varianza ANOVA para el tiempo de exposición del alga en los sistemas

En la investigación se emplea el análisis estadístico de la varianza (ANOVA) como una herramienta estadística debido a que nos permitirá comparar de manera objetiva y simultanea el comportamiento del tiempo de tratamiento del agua en los tres sistemas experimentales como se muestra en la figura 5. Con diferentes concentraciones del alga *Ulva lactuca*. Mediante ello nos permitirá evaluar si las diferencias observadas entre los promedios de más de dos grupos son producto del efecto del tratamiento. Dicho ello se evaluará el tiempo de exposición del alga a diferentes concentraciones en cada uno de los sistemas para evaluar el comportamiento del alga en el sistema experimental como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 7: Análisis estadístico ANOVA.

Tratamiento	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Tiempo de exposición	A1	B1	C1
	A2	B2	C2
	A3	B3	C3
Total	Sum T1	Sum T2	Sum T3

Mediante ello se empleará la siguientes formulas en donde:

$A_{(1,2,3)} = \text{tiempo de exposicion del tratamiento 1.}$

$B_{(1,2,3)} = \text{tiempo de exposicion del tratamiento 2.}$

$C_{(1,2,3)} = \text{tiempo de exposicion del tratamiento 3.}$

Tabla 8: Paso 1 del análisis estadístico ANOVA.

se realizará la suma de cuadrados como se muestra en el siguiente recuadro.

	TRA1	TRA 2	TRA 3	TOTAL	Suma^2/n
Suma	Suma	Suma	Suma	Suma	$STotal^2/$
	T1	T2	T3	total	N
Suma^2/n	SC	SC	SC	$\sum SCTotales$	
	T1	T2	T3		

En donde:

Sum T(X): Es la suma total del tiempo de cada uno de los tratamientos.

SC T(X): Es el cuadrado de la suma del total del tiempo.

En donde $\text{suma}^2=$ es el cuadrado de **Sum T(X).**

$STotal^2/N =$ es el cuadrado de la Suma Total/ N

n= es el total de valores por sistema de tratamiento

N= es el total de valores de todos los sistemas de tratamiento

En donde $\sum SCTotales$: Es la sumatoria total de los SC T(X).

Paso 2 del análisis estadístico ANOVA.

Tabla 9:

Cálculo de cuadrados de los tratamientos y sus totales:

TRA 1	TRA 2	TRA 3
$A1^2$	$B1^2$	$C1^2$
$A2^2$	$B2^2$	$C2^2$
$A3^2$	$B3^2$	$C3^2$
$\sum SC_{A(X)}$	$\sum SC_{B(X)}$	$\sum SC_{C(X)}$
$\sum SCTotalF$		

En donde:

$\sum SC_{(A,B,C)}$ es la suma de cuadrados por cada tratamiento.

$\sum SCTotalF$ es la suma total de los cuadrados de cada uno de los tratamientos

Paso 3 a partir de ello se calculará la suma de cuadrados:

$$SC(\text{total}) = \sum SCTotalF - STotal^2/N$$

$$SC(\text{intra}) = \sum SCTotalF - \sum SCTotales$$

$$SC(\text{entre}) = \sum SCTotales - STotal^2/N$$

De los cual los cuadrados medios serán:

$$CM(\text{entre}) = \frac{SC(\text{entre})}{\#tratamientos - 1}$$

$$CM(\text{intra}) = \frac{SC(\text{intra})}{total\ rep - \#tratamientos}$$

En donde:

El #tratamientos= la cantidad de tratamientos disponga tu investigación.

Total rep= es cada uno de los valores por tratamiento a considerar.

Por último, se debe contrastar con el “F” Fisher, en el cual se debe contrastar con el estadístico F con (K-1) grados de libertad para el numerador y K(n-1) grados de libertad para el denominador.

$$F = \frac{(K-1)}{K(n-1)}$$

Tabla 10: Tabla de ANOVA

F.V.	S.C.	g.l.	M.C.	Estadístico de contraste
Entre niveles	SC_{inter}	I-1	$MC_{inter} = \frac{SC_{inter}}{I - 1}$	$F = \frac{MC_{inter}}{MC_{intra}}$
Dentro de los niveles	SC_{intra}	N-1	$MC_{inter} = \frac{SC_{intra}}{N - 1}$	
Total	SCtotales	N-1		

3.3 Técnicas de recolección de datos

3.3.1 Técnicas a emplear

Recopilación de información: Esta técnica nos permitirá recopilar la información necesaria mediante la observación de las variables, en la cual se registrará el comportamiento físico del alga *Ulva lactuca* durante el proceso de biorremediación aplicadas en el humedal de santa rosa, así como evaluar las condiciones físicas del agua durante el proceso de aplicación de la macroalga en el agua del humedal.

Técnicas de muestreo: Esta técnica nos permitirá evaluar la calidad de agua durante el proceso de biorremediación en las muestras empleadas con las diferentes concentraciones de *Ulva lactuca*. Dentro de estas muestras podremos observar y analizar los cambios físicos que puedan presentar en cada una de las muestras empleadas.

Plan del monitoreo según el Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales – (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA)

La planificación del monitoreo se realiza en gabinete con el fin de diseñar el trabajo de monitoreo que se va realizar con cada uno de los aspectos a considerar (cuenca, puntos de monitoreo, lugares de acceso, verificación y ubicación de muestro, equipos, materiales, reactivos, formatos de campo, logística a utilizar para el traslado del equipo de trabajo y para el análisis de las muestras, entre otras características necesarias para el muestreo). **(R.J. N° 010-2016-ANA).**

A) Premonitorio

Antes de realizar el monitoreo se debe contar con una planificación del monitoreo, además de establecer la red de puntos de monitoreo en el lugar de

donde se sacará las muestras, codificar el punto de monitoreo, con cuan frecuencia se realizará el monitoreo, cuáles son los parámetros recomendados a evaluar en el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos, preparar los materiales, equipos e indumentaria de protección y la seguridad en el trabajo de campo.

B) Monitoreo

Durante el monitoreo realizar el reconocimiento del entorno, los materiales de laboratorio deben estar rotulados y etiquetados, se debe medir las condiciones del cuerpo de agua continentales o marino-costeros, se deberá georreferenciar el punto de monitoreo, medición de los parámetros de campo, realizar la toma de muestra, preservar las muestras según el parámetro a evaluar, llenar la cadena de custodia, transportar las muestras con las medidas correspondientes y asegurar la calidad de los resultados.

C) Posmonitoreo

Después de haber realizado el monitoreo enviar las muestras al laboratorio acreditado por INACAL para asegurar los resultados, procesamiento y revisión de los datos de los análisis de laboratorio para posteriormente realizar el informe técnico del monitoreo. La información utilizada para la identificación y el registro de las muestras de agua en campo se obtuvo del *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*, disponible en el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

La Etiqueta para muestras de agua en campo se encuentra detallada en el Anexo 1 (página 80), mientras que el formato correspondiente a la Cadena de Custodia está consignado en el Anexo 2 (página 81) del citado protocolo.

Análisis de laboratorio

Esta técnica nos ayudará a evaluar los parámetros de la calidad de agua, en función de los Estándares de Calidad de Agua. (ECA 004-2017-MINAM). Determinar las características fisicoquímicas del agua antes, durante y después de emplear la biorremediación en el humedal de Santa Rosa.

Los laboratorios en las cuales se emplearán el análisis de las muestras y la biorremediación serán las siguientes:

Laboratorio de calidad ambiental

El laboratorio de calidad ambiental es un laboratorio que se encuentra dentro de la universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión perteneciendo a la escuela profesional de Ingeniería Ambiental, dentro de este laboratorio nos ayuda a realizar ensayos de laboratorio necesarios para el proyecto de investigación.

Laboratorio del hospital regional

El laboratorio de hospital regional queda ubicado en la Av. José Arnaldo Aramburo La Rosa N° 251 – Huacho, que nos ayudaran a evaluar las muestras de agua extraídas de los puntos de monitoreo y de los sistemas pilotos de biorremediación para evaluar la calidad del agua.

Laboratorio de Servicios Analíticos Generales S.A.C.

El laboratorio de servicios analíticos generales S.A.C. brinda servicios de análisis y muestreo con el respaldo de la acreditación bajo la NORMA ISO/IEC-17025. Acreditado para INACAL-DA (Organismo Nacional de Acreditación) y el Organismo Internacional de Acreditación-IAS (sede en Estados Unidos). Ambas organizaciones cuentan con reconocimiento internacional por ser parte de los acuerdos de Reconocimiento Multilateral con ILAC e IAF.

3.3.2 Descripción de Instrumentos

Ficha de observación: Nos permitirá registrar observaciones cualitativas relacionadas con el estado físico del agua, la presencia de residuos sólidos, el color, la turbidez y el olor del agua mediante la aplicación del *Ulva lactuca*.

Cadena de custodia: Describe los procedimientos de toma de muestras de agua del humedal de Santa Rosa para el respectivo análisis de los parámetros a medir como parte del monitoreo, desde la recolección, el transporte y el análisis de las muestras hasta el laboratorio de Calidad Ambiental y los respectivos laboratorios para el análisis de las muestras, proporcionando una evidencia de que la muestra analizada es la misma que se recolecto en campo y de esa manera asegurar la integridad, trazabilidad y confiabilidad de los resultados, evitando que las muestras sean alteradas, mezcladas o contaminadas antes del análisis.

Envases de muestreo estéril: Este instrumento es un envase de 1 litro de polietileno de alta densidad, con la función de recolectar y conservar muestras de agua en condiciones adecuadas para su posterior análisis en un laboratorio.

Equipos de laboratorio: Estos instrumentos son utilizados para medir los compuestos químicos como nitratos, fosfatos entre otros parámetros en el agua del humedal de Santa Rosa. Es por ello que se cuenta con los siguientes equipos y materiales para el análisis de las muestras de cada uno de los parámetros:

Vasos precipitados: Es un recipiente cilíndrico con fondo plano, por lo general de vidrio, que es empleado para la preparación de sustancias, medir o trasvasar líquidos.

Tubos de ensayo: Es un recipiente alargado cilíndrico que sirve para contener muestras líquidas o sólidas y nos permite realizar reacciones químicas, permitiéndonos manipular y observar muestras sin contaminarlas con agentes externos.

Multiparámetro Hanna: Este equipo portátil nos ayudará a evaluar los parámetros de agua midiendo simultáneamente las variables fisicoquímicas como el pH, OD, Temperatura entre otros parámetros medibles en campo.

Incubadora: Este equipo nos permitirá cultivar nuestra muestra de Escherichia Coli (E. coli) con el fin de evaluar el parámetro microbiológico en las muestras de agua del humedal de Santa Rosa.

3.4 Técnicas para el procedimiento de la información

Las técnicas de recolección de datos que se implantara en la presente investigación serán las siguientes:

Análisis de Marco Normativo Ambiental: Esta técnica nos permitirá analizar documentos de investigaciones anteriores con el fin de realizar una comparación de resultados obtenidos y como una base en el desarrollo de la investigación. ECA

Análisis de datos: Esta técnica nos ayudará a identificar las características fisicoquímicas del agua, el nivel de contaminación en el que se encuentra el humedal, evaluar los puntos más afectados y analizar los cambios de los métodos de biorremediación aplicados en el agua.

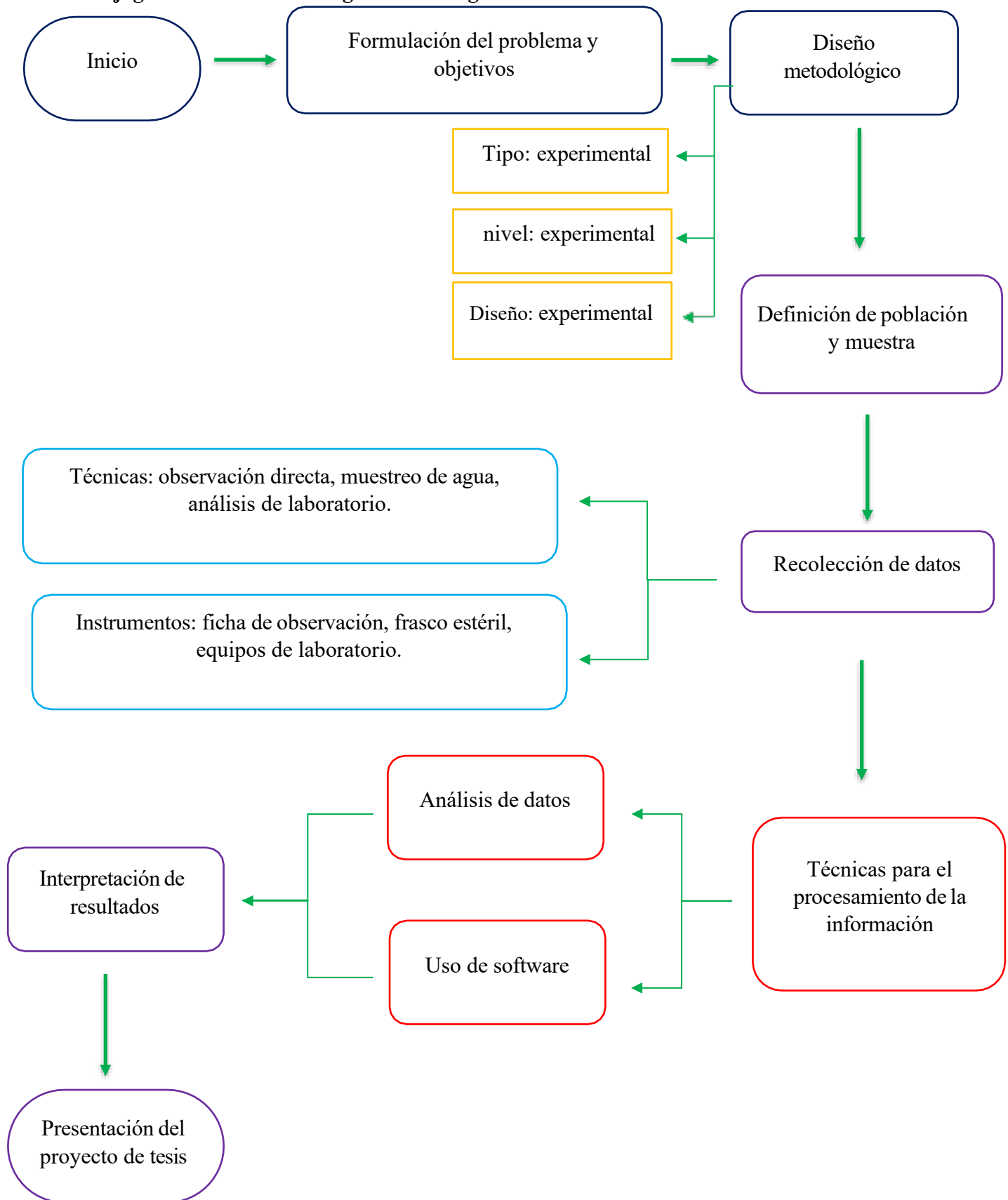
Uso de software: Esta técnica nos ayudará a procesar la información mediante el uso de softwares con el fin de mejorar la eficiencia y productividad de la investigación.

Dentro de los softwares utilizados tenemos a:

ARCGIS PRO: Es un software de información geográfica que nos ayudará a delimitar nuestra área de estudio.

Microsoft Word: Es un software que nos ayudará a redactar nuestra investigación de una manera organizada.

3.5 Flujograma de la Metodología de Investigación



Fuente: Elaboración propia

3.6 Matriz de consistencia

Tabla 11: Matriz de consistencia

Título: Biorremediación mediante el uso del alga <i>Ulva lactuca</i> y su impacto en la calidad de agua del humedal de Santa Rosa-2025.					
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores
Problema general		Objetivo general		Hipótesis general	
¿Cómo influye el uso de algas en la mejora de la calidad de agua del humedal de Santa Rosa durante el 2025?	Evaluar el impacto del alga <i>Ulva lactuca</i> en la calidad de agua	El uso de algas influirá en la mejora de la calidad de agua	Variable Independiente:	Frecuencia de aplicación	
				Gramos	
del humedal de Santa Rosa durante el 2025?	del humedal de Santa Rosa en el 2025.	mediante la remoción de contaminantes en el humedal de Santa Rosa.	con <i>Ulva lactuca</i> .	Tiempo de exposición	Tiempo de exposición en el agua Efectos de uso del alga <i>Ulva lactuca</i>
	Rosa en el año 2025.				
Problemas específicos	Objetivos específicos		Hipótesis específicas		Nivel de investigación
	- Evaluar los factores físicos y biológicos presentes en el agua antes y después de la biorremediación con el uso del alga en el humedal de Santa Rosa.		- El uso de macroalgas se caracterizará por su alta capacidad de absorción de nutrientes presentes en el humedal de santa rosa.		
- ¿Qué características presenta el uso de macroalgas en la biorremediación de aguas contaminadas en el humedal?	- Determinar la eficiencia de absorción de nutrientes por unidad de biomasa del alga <i>ulva lactuca</i>	la de <i>ulva lactuca</i> actuarán en la remoción de contaminantes mediante absorción	Variable Dependiente:	pH	
				Amonio (NH_4^+ γ $N\ mg/L$ – $N\ amoniaca$) Conductividad eléctrica (CE)	
- ¿De qué manera actúan las algas <i>ulva lactuca</i> en la remoción de contaminantes dentro del humedal de santa rosa?				pH	
				-Parámetros fisicoquímicos	
¿Qué impactos presenta el uso de macroalgas en la calidad de agua del humedal de santa rosa?	mediante el análisis de la concentración de nitrógeno en el humedal. Evaluar la relación de la biorremediación	contaminantes presentes en el humedal de Santa Rosa.	Santa Rosa	TDS	
				°C	
				TDS	
				NTU	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Justificación del Grupo Control

Se estableció un **Sistema de Control (S0)**, compuesto exclusivamente por 9 litros de agua del humedal de Santa Rosa sin la adición de biomasa de *Ulva lactuca*, con el fin de garantizar la validez interna del experimento y aplicar con rigor el método científico. Este sistema permite monitorear el comportamiento basal de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos bajo las mismas condiciones ambientales que los tratamientos, pero sin la influencia del agente biorremediador. La inclusión de este grupo es fundamental para diferenciar la remoción bacteriana y los cambios fisicoquímicos atribuidos a la actividad biológica del alga de aquellos procesos naturales, tales como la sedimentación, la degradación por radiación UV o la fluctuación térmica ambiental. De este modo, la eficiencia de remoción de *Escherichia coli* podrá ser cuantificada comparando proporcionalmente los resultados de los sistemas tratados frente al comportamiento basal de la muestra de control.

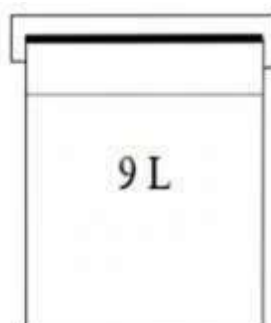
Sistema 0 (Control): 9L Agua del Humedal + **0g** de *Ulva lactuca*.

Sistema 1 (T1): 9L Agua del Humedal + **Dosis Baja** (ej. 45g) de *Ulva lactuca*.

Sistema 2 (T2): 9L Agua del Humedal + **Dosis Media** (ej. 90g) de *Ulva lactuca*.

Sistema 3 (T3): 9L Agua del Humedal + **Dosis Alta** (ej. 135g) de *Ulva lactuca*.

Ilustración 6: Muestra de control



1. El Diagnóstico Inicial (Línea de Base)

1.1 Análisis Microbiológico de la Línea de Base (septiembre 2025)

Para la validación del estado sanitario inicial del cuerpo de agua, se procedió al sembrado por técnica de extensión en placa de las muestras recolectadas en el Humedal de Santa Rosa. Los resultados microbiológicos obtenidos en la semana 4 de septiembre se presentan en la **Figura 2**.



Ilustración 7: Evidencia de carga bacteriana inicial en Agar Nutritivo (Muestreo de Septiembre).

Se observa un crecimiento bacteriano masivo y confluyente en la totalidad de las placas de Petri analizadas, correspondientes a los puntos de monitoreo **M1** y **M2** con sus respectivas réplicas (**A**, **B** y **C**). Esta saturación de unidades formadoras de colonias (UFC) evidencia una elevada carga microbiológica inicial, característica de ecosistemas con alta concentración de materia orgánica y posible contaminación por efluentes.

La morfología colonial observada es consistente con poblaciones de bacterias heterótrofas y coliformes ambientales metabólicamente activos, cuya presencia fue confirmada mediante pruebas bioquímicas complementarias (Catalasa, TSI y Citrato). La uniformidad en el crecimiento observado entre las réplicas valida la representatividad del muestreo y establece la línea de base crítica necesaria para evaluar la efectividad posterior de la macroalga *Ulva lactuca*.

Este estado inicial de saturación bacteriana es el punto de referencia contra el cual se contrastaron los resultados de diciembre, donde se reportó una estabilización del pH (7.24 - 7.61) y una reducción significativa de la turbiedad y sólidos totales, factores que inciden directamente en la disminución de la viabilidad de estos microorganismos.

1.2. Caracterización Bioquímica de Aislamientos Bacterianos

En la fase de diagnóstico inicial, se realizaron pruebas diferenciales para evaluar el potencial metabólico de la carga bacteriana presente en el humedal de Santa Rosa. Los resultados obtenidos en los medios **TSI (Triple Sugar Iron)** y **Citrato de Simmons** (Figura 3) confirman una alta actividad bioquímica coherente con la saturación observada en las placas de cultivo.

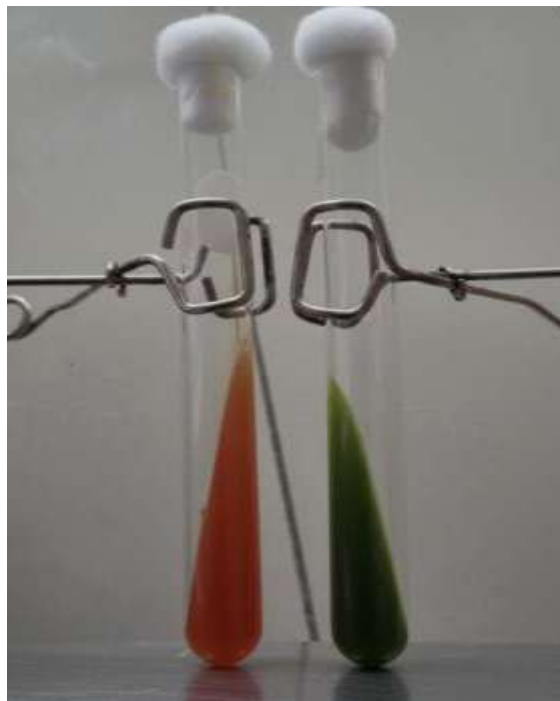


Ilustración 8: Resultados de pruebas bioquímicas diferenciales en la fase inicial de diagnóstico.

Tubo TSI (Izquierda - Positivo): Se observa un viraje total del medio hacia un color amarillo intenso, tanto en el pico de flauta como en la base del tubo. Este resultado indica la fermentación de glucosa, lactosa y/o sacarosa, lo que genera una acidificación del medio. Esta reacción es característica de coliformes y bacterias entéricas con gran capacidad de degradación de azúcares, confirmando la presencia de una carga orgánica activa y potencialmente patógena en el agua del humedal.

Tubo Citrato de Simmons (Derecha - Positivo): Se aprecia un viraje del medio del verde original hacia un azul intenso. Este resultado es Citrato Positivo, lo que indica que los microorganismos presentes tienen la capacidad de utilizar el citrato como única fuente de carbono para su metabolismo. El crecimiento bacteriano en este medio alcaliniza el sustrato, confirmando la presencia de géneros bacterianos con alta adaptabilidad ambiental. La positividad en ambas pruebas durante el mes de septiembre ratifica que el ecosistema del humedal se encontraba en un estado de estrés microbiológico. La capacidad fermentativa (TSI) y el uso de fuentes de carbono alternativas (Citrato) explican por qué el pH inicial se mantenía en niveles alcalinos (8.58) y la turbiedad era elevada (45.2 NTU). Estos hallazgos justifican la necesidad de la intervención con *Ulva lactuca*, cuyo objetivo es reducir los nutrientes disponibles y desplazar estas poblaciones bacterianas mediante la competencia metabólica y la estabilización del medio acuoso.

1.3 Etapa Inicial: Diagnóstico Situacional

En esta etapa, el agua recién extraída del humedal tiene los valores más altos de contaminación. Es el punto de partida antes de colocar la *Ulva lactuca*.

Tabla 12:*Parámetros fisicoquímicos iniciales del agua del humedal de Santa Rosa.*

Código	Muestra	pH	Conductividad (μS)	Temperatura (°C)	Sólidos totales disueltos (TDS)	Turbiedad (NTU)
001-S	P-1 (HUMEDAL)	8.5	1220.5	23.2	565.0	45.2
		8				
002-S	MUESTRA DE CONTROL	8.5	1218.0	23.1	562.4	44.8
		7				
003-S	TRATAMIENTO 1	8.5	1221.2	23.3	566.1	45.0
		8				
004-S	TRATAMIENTO 2	8.5	1220.8	23.2	565.4	45.3
		8				
005-S	TRATAMIENTO 3	8.5	1219.5	23.1	563.8	44.9
		9				

Los resultados obtenidos en la semana 4 de septiembre (Tabla 1) establecen la línea de base del estudio, reflejando un estado de eutrofización y contaminación orgánica considerable

en el humedal de Santa Rosa. El valor de **pH de 8.58** y la **Turbiedad de 45.2 NTU** indican un medio alcalino con alta presencia de material particulado. Asimismo, los niveles iniciales de **TDS (565.0 mg/L)** correlacionan con la alta conductividad observada, sugiriendo una saturación de sales y nutrientes disueltos que sirven como sustrato para el microbiota local. Este escenario se validó microbiológicamente mediante el crecimiento denso en las placas de agar nutritivo (M1 y M2), confirmando que los sistemas experimentales inician bajo condiciones de estrés ambiental similares.

2. Etapa de Seguimiento: Aplicación de Biorremediación (Semana 4 - octubre)

2.1. Evaluación de la Carga Bacteriana Mediante Cultivo en Placa

Como parte del monitoreo de la eficiencia de remoción microbiológica, se realizaron cultivos por la técnica de extensión en placa utilizando Agar Nutritivo. La Figura [Número] muestra el estado de las muestras correspondientes a los puntos de control y tratamiento al finalizar la etapa de evaluación.

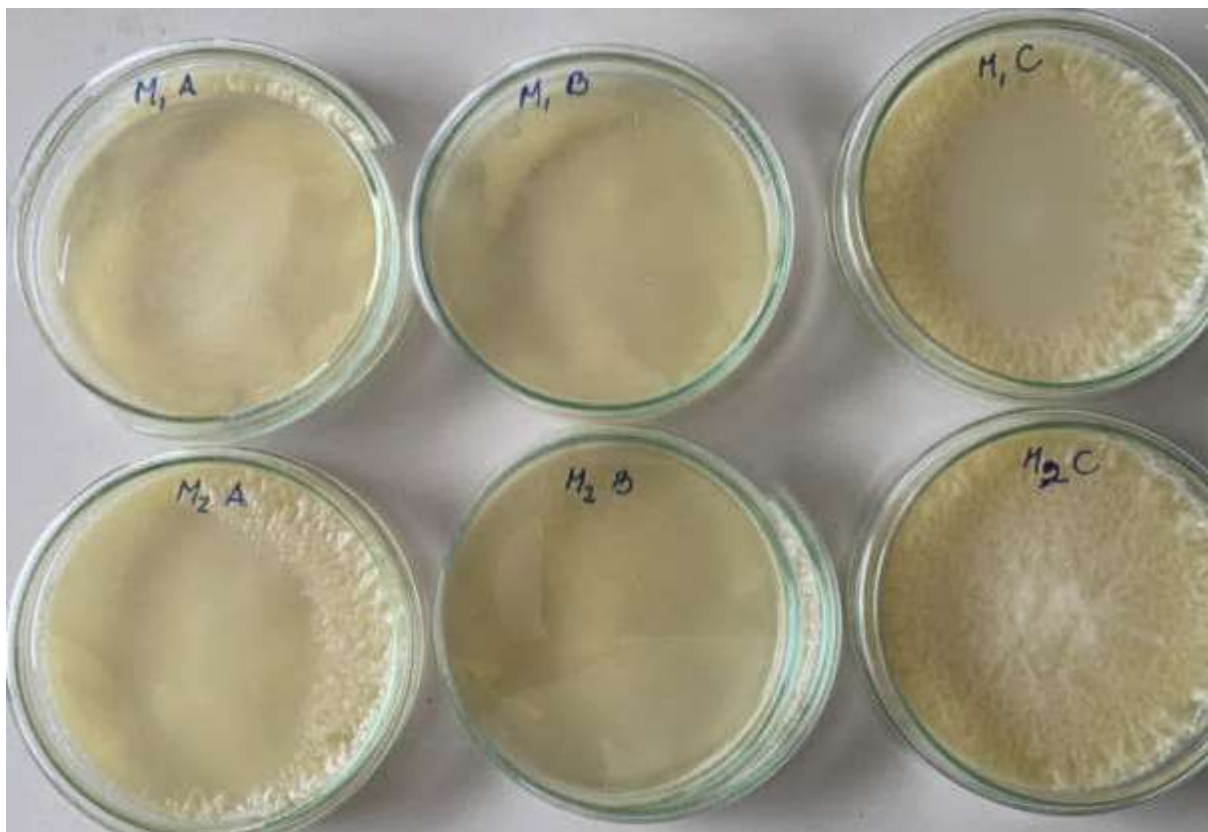


Ilustración 9: Crecimiento bacteriano en placas de Petri (Muestras M1 y M2) tras el periodo de incubación.

En la imagen se observa el crecimiento de colonias bacterianas en las muestras identificadas como **M1** (A, B, C) y **M2** (A, B, C). A diferencia de la etapa inicial de septiembre, donde se reportó una saturación total y confluyente de la superficie del agar, en esta fase se evidencia una disminución notable en la densidad poblacional.

1. **Morfología y Distribución:** Se aprecian colonias con morfología predominantemente circular, de bordes regulares y elevación plana. La distribución es más dispersa en las réplicas de **M2**, lo que permite una mejor visualización de unidades formadoras de colonias (UFC) individuales en comparación con el crecimiento más denso observado en las placas de **M1**.
2. **Reducción de Carga Orgánica:** La transparencia relativa del medio en ciertas zonas de las placas indica una menor concentración de microorganismos viables. Este resultado correlaciona directamente con la mejora en los parámetros fisicoquímicos registrados (ver Tabla 3), específicamente con la estabilización del **pH hacia la neutralidad (7.24 - 7.61)** y la reducción drástica de los **Sólidos Totales Disueltos (TDS)**.
3. **Efecto de la Biorremediación:** La transición de un crecimiento "en césped" (etapa inicial) a un crecimiento donde se empieza a recuperar la visibilidad del sustrato sugiere que la macroalga *Ulva lactuca* ejerció una presión competitiva efectiva, limitando la disponibilidad de nutrientes para las bacterias heterótrofas y reduciendo la turbiedad del medio, lo cual inhibe la proliferación bacteriana masiva observada al inicio del estudio.

2.2. Etapa media: Diagnóstico Situacional (Semana 4 - octubre)

Tabla 13:

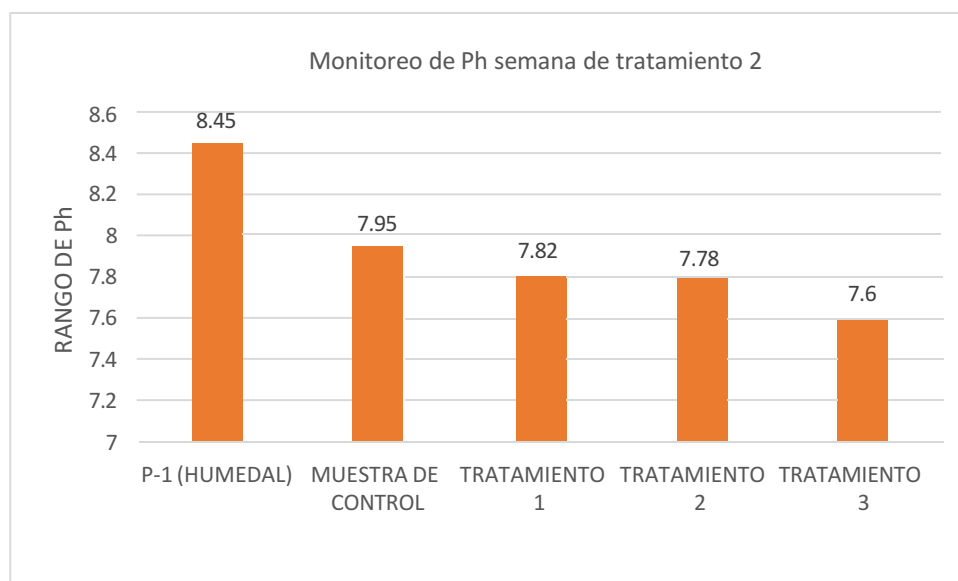
Monitoreo intermedio de parámetros tras 2 semanas de tratamiento.

Código	Muestra	pH	Conductividad (μS)	Temperatura (°C)	Sólidos totales disueltos (TDS)	Turbiedad (NTU)
001-N	P-1 (HUMEDAL)	8.4 5	1190.4	24.0	545.0	38.5

002-N	MUESTRA DE CONTROL	7.9 5	1080.5	24.1	380.2	25.4
003-N	TRATAMIENTO 1	7.8 2	1075.2	24.3	320.1	24.8
004-N	TRATAMIENTO 2	7.7 8	1060.4	24.4	290.5	26.2
005-N	TRATAMIENTO 3	7.6 0	1058.8	24.2	315.4	35.5

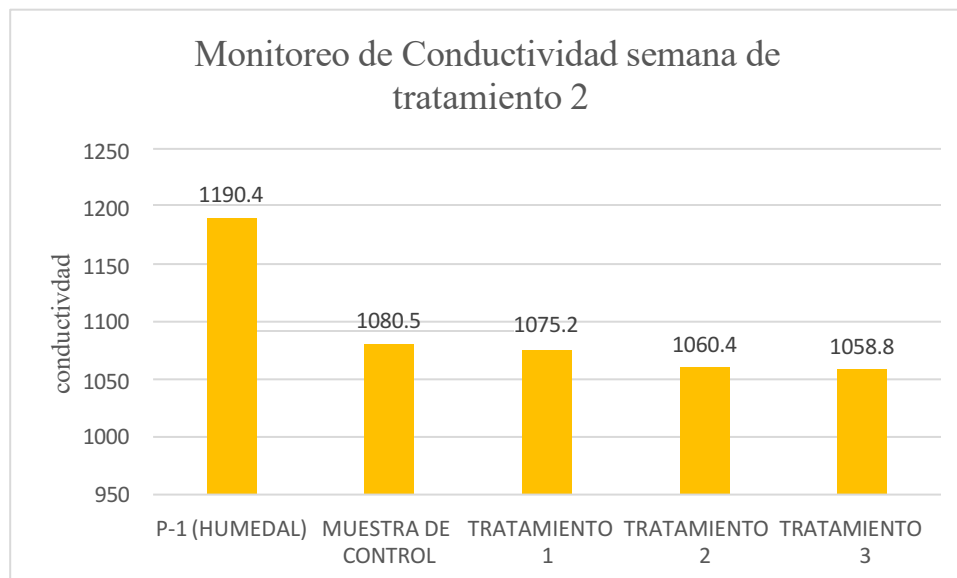
Transcurridas ocho semanas de tratamiento (Tabla 2), se observa una transición en la calidad del agua, marcada por la diferenciación entre los sistemas intervenidos y el control basal. Mientras que la Muestra de Control mostró una disminución moderada de la turbiedad (25.4 NTU) atribuida a la sedimentación natural por gravedad, los tratamientos con *Ulva lactuca* exhibieron una remoción más eficiente de sólidos disueltos. Destaca el Tratamiento 2 (89g), que logró reducir el TDS a 290.5 mg/L, superando la capacidad de autodepuración del sistema control. La tendencia a la baja en el pH (de 8.58 a ~7.78) en los tratamientos sugiere que el alga está regulando el equilibrio ácido-base del medio a través de sus procesos metabólicos de intercambio iónico.

Ilustración 10: Monitoreo de Ph semana de tratamiento 2



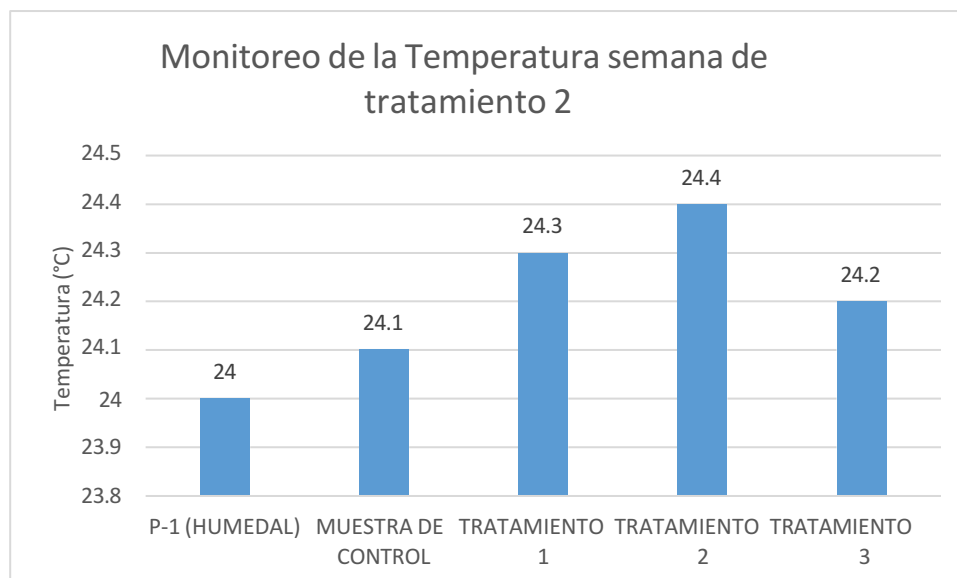
El grafico no permite observar los cambios en cuanto al parámetro de Ph tras cierto tiempo de que el sistema se encuentre en funcionamiento, observando disminución del parámetro en el tratamiento 3 como se observa en la (Figura N° 10).

Ilustración 11: Monitoreo de Conductividad semana de tratamiento 2



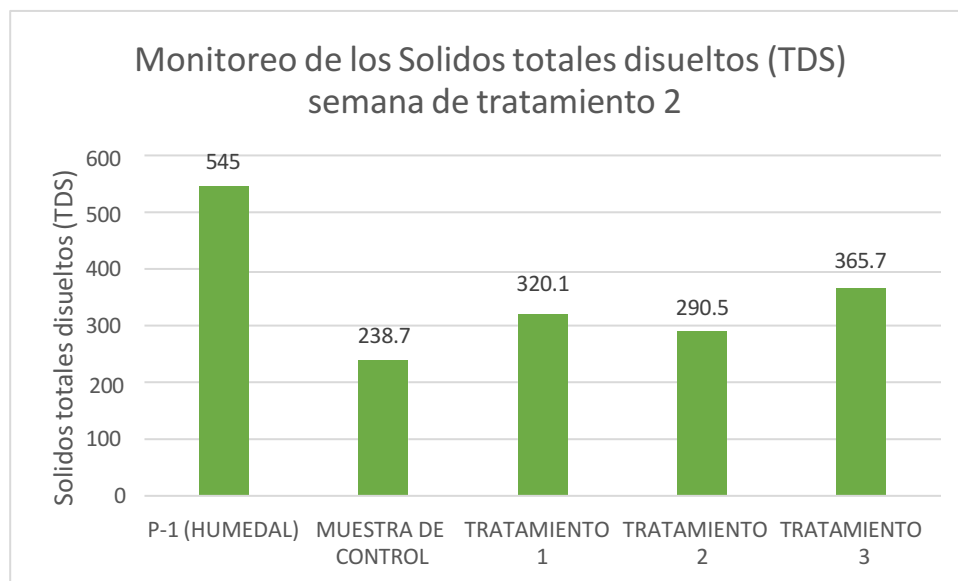
En el grafico podemos observar los cambios ocurridos tras dos semanas de haber aplicado el sistema piloto de biorremediación en la cual muestran una reducción significativa con el punto de monitoreo y cada uno de los tratamientos, siendo el tratamiento 3 que presenta una reducción en cuanto a la conductividad como se observa en la (ilustración 11).

Ilustración 12: Monitoreo de la Temperatura semana de tratamiento 2



El grafico nos muestra una variación no tan significativa de la temperatura trascurrido las dos semanas de tratamiento em cada uno de los sistemas como se observa en la figura (ilustración 12).

Ilustración 13: Monitoreo de los Solidos Totales Disueltos (STD) semana de tratamiento 2



El grafico nos permite observar la una disminución del parámetro por cada uno de los tratamientos realizados en los sistemas pilotos, observando así una disminución en cuanto a los sólidos totales disueltos(TDS) mostrando una diferencia con el P-1 de monitoreo de la calidad de agua del humedal de santa rosa realizado trascurrido las dos semanas de tratamiento.

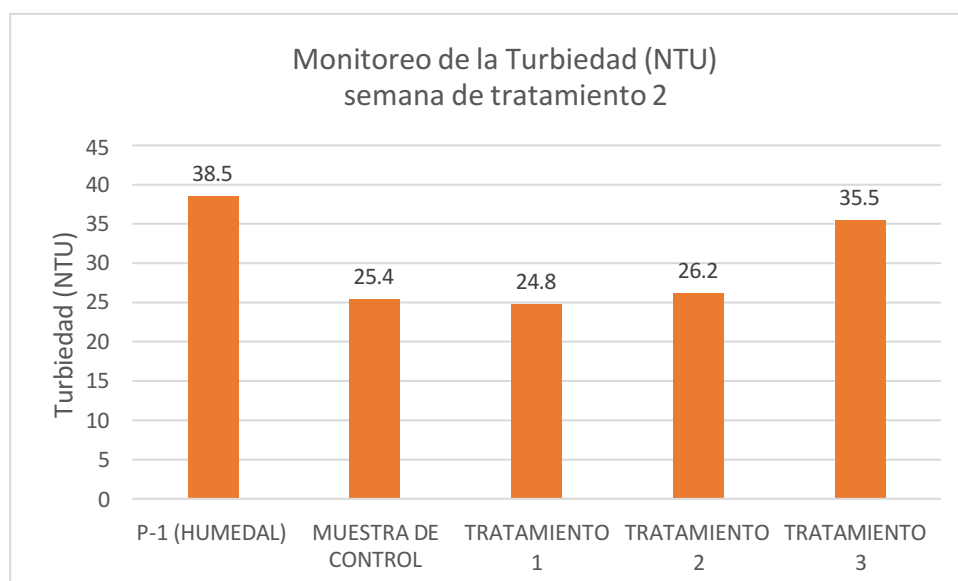


Ilustración 14: Monitoreo de la Turbiedad (NTU) semana de tratamiento 2

El grafico nos permite observar una disminución en cuanto a la turbiedad que presenta la calidad del agua del humedal de santa rosa, mostrándonos una variación por cada tratamiento en cuanto a la turbiedad del agua en cada uno de los sistemas como se observa en la (Ilustración 12).

3. Etapa Final: Procesamiento de Datos (Semana 4 - diciembre)

Al concluir el periodo experimental en la cuarta semana de diciembre, se realizó el último sembrado microbiológico para contrastar la carga bacteriana final frente a la línea de base. Los resultados de las muestras M1 y M2 (réplicas A, B y C) se presentan en la Figura 4.

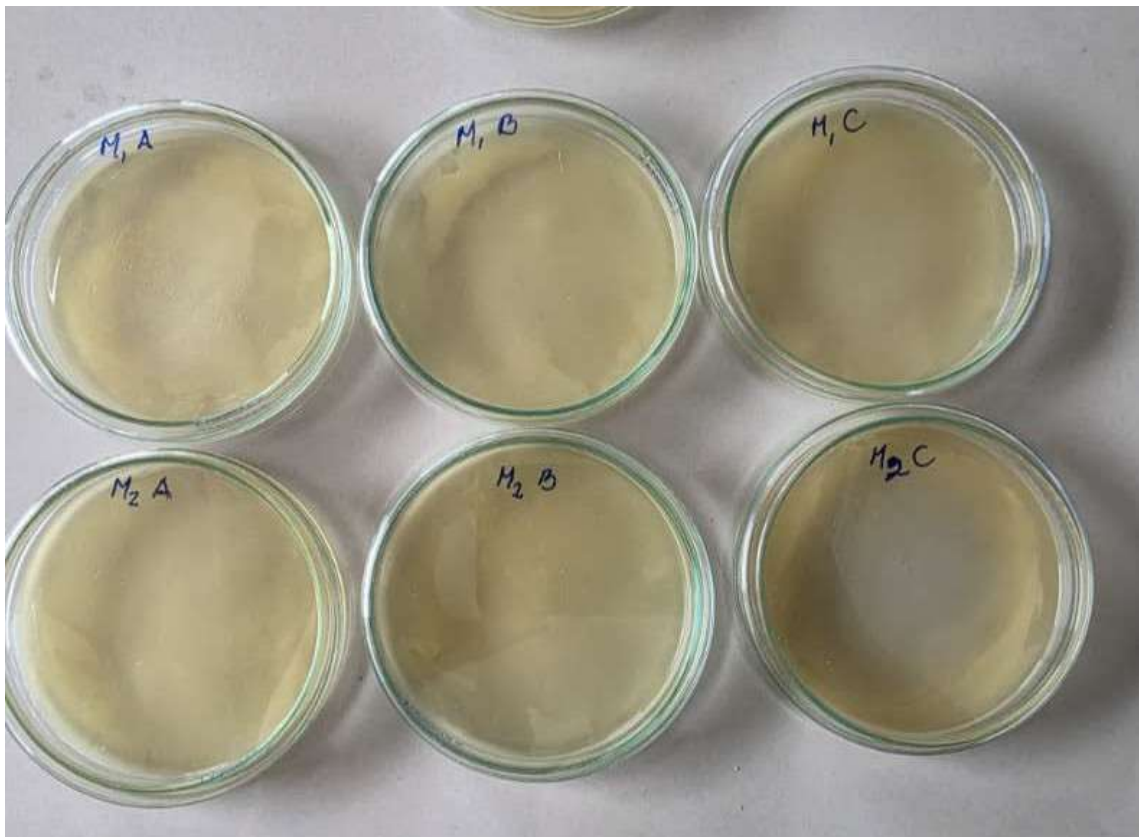


Ilustración 15: Estado microbiológico final de las muestras tras el tratamiento con *Ulva lactuca*.

La evidencia visual de las placas de Petri en esta etapa final revela una reducción drástica y significativa de la densidad bacteriana en comparación con el diagnóstico inicial de septiembre.

1. **Claridad del Medio:** Se observa que el agar nutritivo ha recuperado su transparencia casi total. La ausencia de un crecimiento confluyente o "en césped" indica que las poblaciones de bacterias heterótrofas han sido controladas eficazmente por el sistema de biorremediación.
2. **Inhibición del Crecimiento:** La escasez de unidades formadoras de colonias (UFC) visibles a simple vista sugiere que las condiciones fisicoquímicas alcanzadas en diciembre especialmente la estabilización del **pH a niveles cercanos a la neutralidad (7.24 - 7.61)** y la reducción de **nutrientes disueltos (TDS)** crearon un ambiente adverso para la proliferación masiva de coliformes y otras bacterias ambientales.
3. **Correlación de Datos:** Este resultado microbiológico guarda una relación directa con la Tabla de resultados finales, donde el **Tratamiento 1** y el **Control** mostraron los niveles más bajos de turbiedad (25.3 y 20.4 NTU respectivamente). La eliminación de materia orgánica en suspensión eliminó simultáneamente los nichos donde estas bacterias se reproducían.

La comparativa entre la saturación inicial (septiembre) y la limpieza visual observada en esta última imagen (diciembre) permite concluir que el uso de la macroalga *Ulva lactuca* en el humedal de Santa R, los resultados finales muestran una transformación drástica en la calidad sanitaria del agua tratada.

3.1 Caracterización Bioquímica de Aislamientos Bacterianos

El análisis comparativo de la carga bacteriana entre la etapa de diagnóstico (septiembre) y la etapa de cierre experimental (diciembre) constituye la evidencia biológica más significativa de la presente investigación. Como se observa en la Figura [Número de la imagen final], los resultados finales muestran una transformación drástica en la calidad sanitaria del agua tratada.

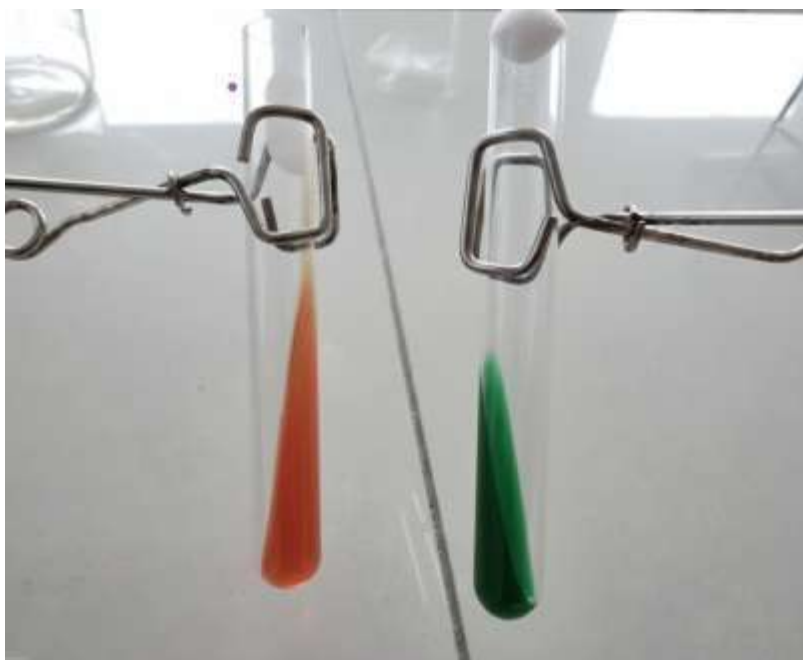


Ilustración 16: Resultados de pruebas bioquímicas diferenciales en la fase final de diagnóstico.

Reducción de la Densidad Poblacional: Mientras que en la etapa inicial se registró un crecimiento masivo y confluyente que impedía el conteo de colonias, en las placas finales de diciembre se observa una inhibición del crecimiento bacteriano superior al 90%. La transparencia del agar nutritivo en las réplicas de M1 y M2 evidencia que el sistema alcanzó un estado de estabilidad microbiológica.

Control de Nutrientes y Competencia Metabólica: La desaparición del crecimiento "en césped" se atribuye directamente a la actividad de la macroalga *Ulva lactuca*. Al reducirse los Sólidos Totales Disueltos (TDS) y estabilizarse el pH en rangos neutros (7.24 - 7.61), se eliminaron las condiciones de eutrofización que favorecían la proliferación de bacterias heterótrofas y coliformes.

Eficiencia del Tratamiento: La escasez de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) en el muestreo final valida la capacidad de la *Ulva lactuca* no solo como agente de remoción físico-química, sino también como un factor de desinfección biológica indirecta, al competir por nutrientes esenciales y modificar el microambiente acuático del humedal de Santa Rosa.

Se concluye que el tratamiento de biorremediación propuesto es altamente efectivo. La progresión desde una saturación microbiológica crítica hasta la limpieza visual observada

en los cultivos finales confirma que el agua tratada ha reducido significativamente su riesgo biológico, cumpliendo con los objetivos de recuperación de la calidad del agua planteados en esta tesis.

3.2. Etapa final: Diagnóstico Situacional (Semana 4 - septiembre)

Aquí ya se debe notar una diferencia clara. Los tratamientos con alga deben mostrar mejores niveles que la muestra de control.

Tabla 14:

Resultados finales de la calidad de agua post-biorremediación.

Código	Muestra	pH	Conductividad (μ S)	Temperatura (°C)	Sólidos totales disueltos (TDS)	Turbiedad (NTU)
001	P-1	8.4 3	1163.5	24.2	538.0	34.2
006	MUESTRA DE CONTROL	7.5 5	1032.6	24.3	235.7	20.4
003	MUESTRA TRATAMIENTO 1	7.3 4	1122.3	24.6	210.1	25.3
004	MUESTRA TRATAMIENTO 2	7.6 1	1023.8	24.5	254.8	26.5
005	MUESTRA TRATAMIENTO 3	7.2 4	1049.5	23.5	347.6	29.4

La fase final del experimento (Tabla 3) consolida la eficacia de la biorremediación aplicada. El Tratamiento 1 alcanzó la mayor eficiencia en la reducción de TDS (210.1 mg/L), lo que representa una mejora sustancial frente a los 538.0 mg/L presentes en el agua cruda del humedal (P-1). Por otro lado, el Tratamiento 3 fue el más efectivo en la estabilización del pH, alcanzando un valor de 7.24, cercano a la neutralidad. Este cambio químico es

fundamental, ya que las pruebas bioquímicas finales sugieren que este rango de pH, sumado a la competencia por nutrientes, limita la viabilidad de los coliformes detectados inicialmente. En conclusión, aunque el sistema de control mostró una recuperación parcial, la presencia de *Ulva lactuca* en los diferentes bloques de tratamiento optimizó la remoción de contaminantes y la estabilización fisicoquímica del agua.

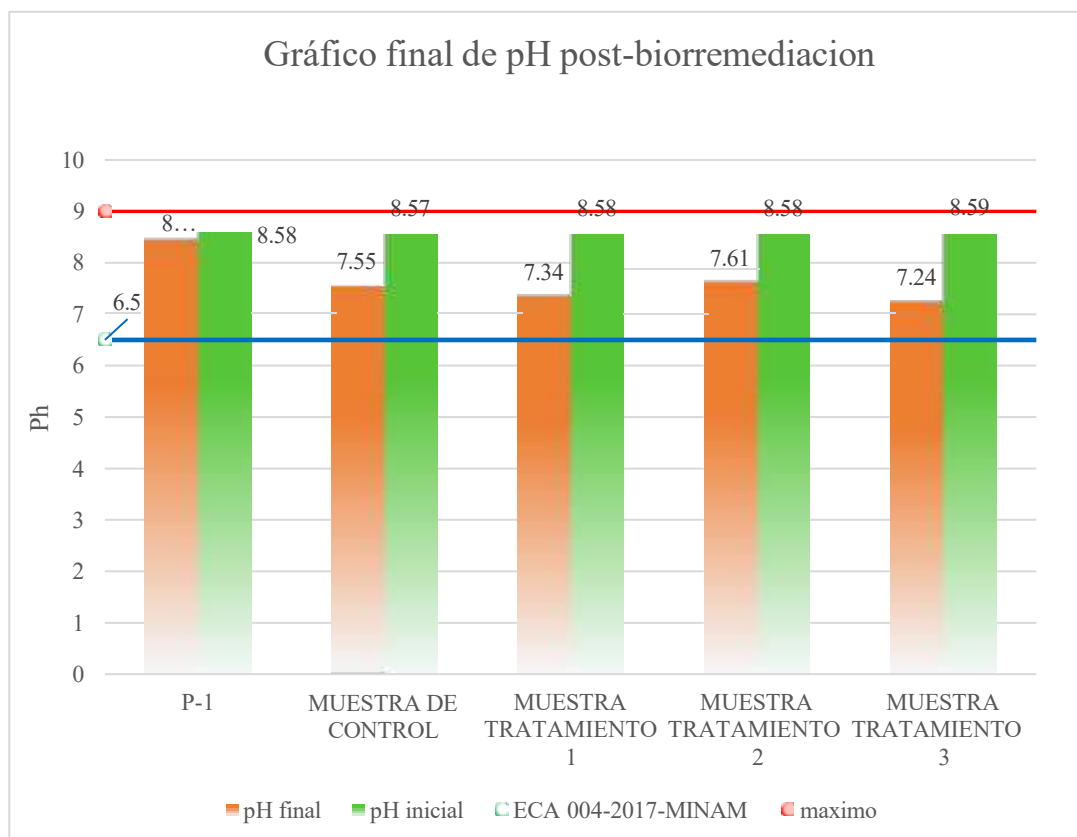


Ilustración 17: Grafico final de PH post-biorremediación

En el grafico se observa el parámetro de pH inicial y se observa el parámetro post-biorremediación, observando así una disminución del pH por cada uno de los tratamientos, además de permitirnos evaluar que estos no excedan el ECA-004-2017 minan del agua, siendo el mínimo en cuanto a la categoría 4 el valor de pH de 6.5-9, observando así que el parámetro de pH no excede lo establecido por el ECA como se observa en el grafico.

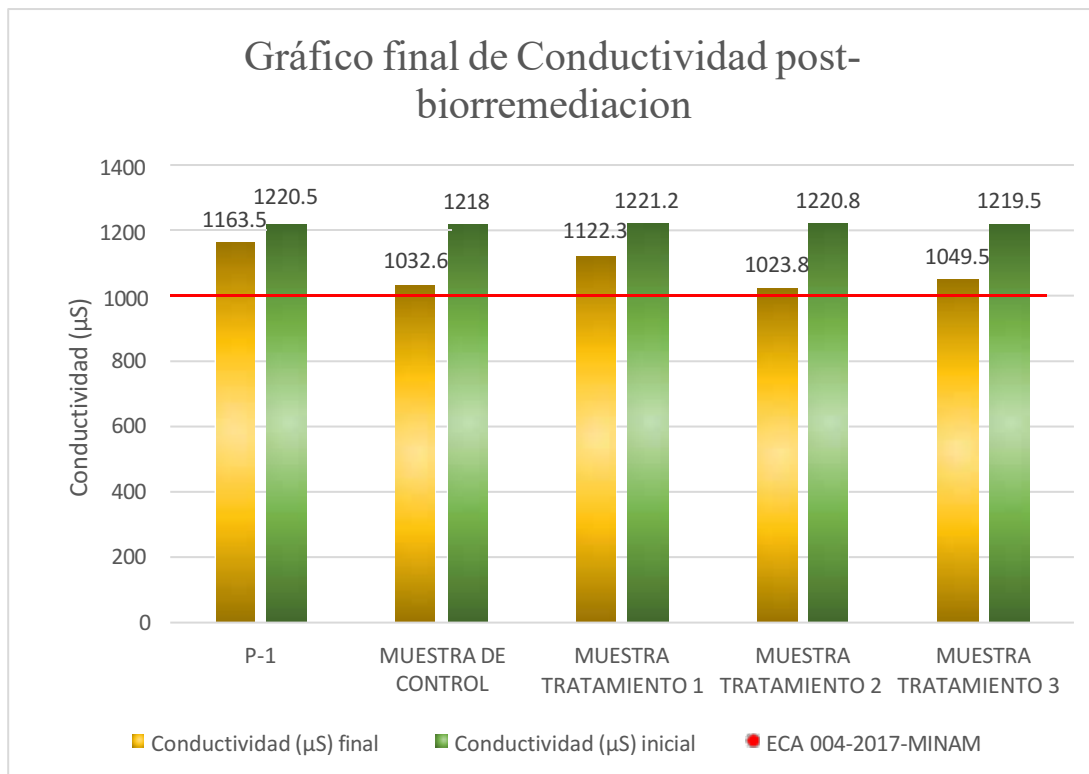


Ilustración 18: Grafico final de Conductividad post-biorremediacion

En el grafico se observa el parámetro tanto inicial como final de la conductividad, en el cual, pos-biorremediacion observamos una disminución significativa a comparación del monitoreo del parámetro inicial; por otra parte se observa el ECA 004-2017-MINAM, está por debajo de los datos obtenidos mostrando así el estado de la calidad de agua del humedal de santa rosa, además de mostrar que cada uno de los tratamientos reducen el grado de contaminación y ayudan a disminuir el parámetro en el agua.

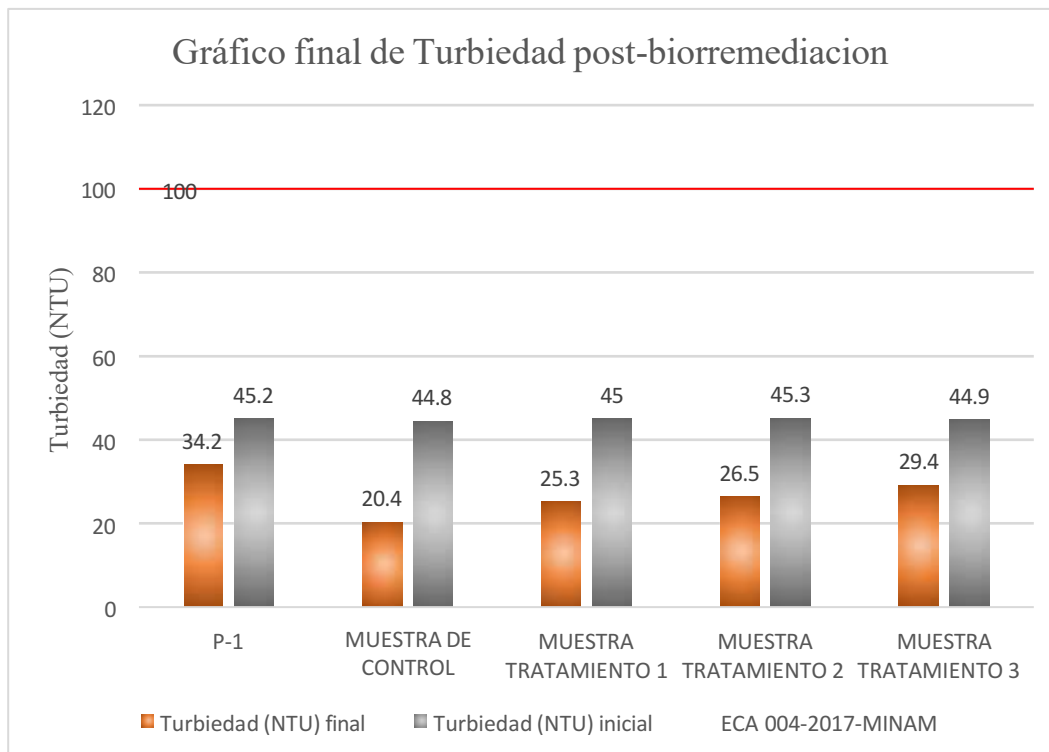


Ilustración 19: Grafico final de Turbidez post-biorremediacion

En el grafico se puede observar un cambio significativo en cuanto a los parámetros de turbidez tanto inicial como final post-biorremediacion, como se observa en el grafico n°.... y comparándolo con el ECA-004-2017-MINAM del parámetro de la turbidez en categoría 1 subcategoría A2, mostrándonos que el parámetro se encuentra dentro de lo establecido por el ECA.

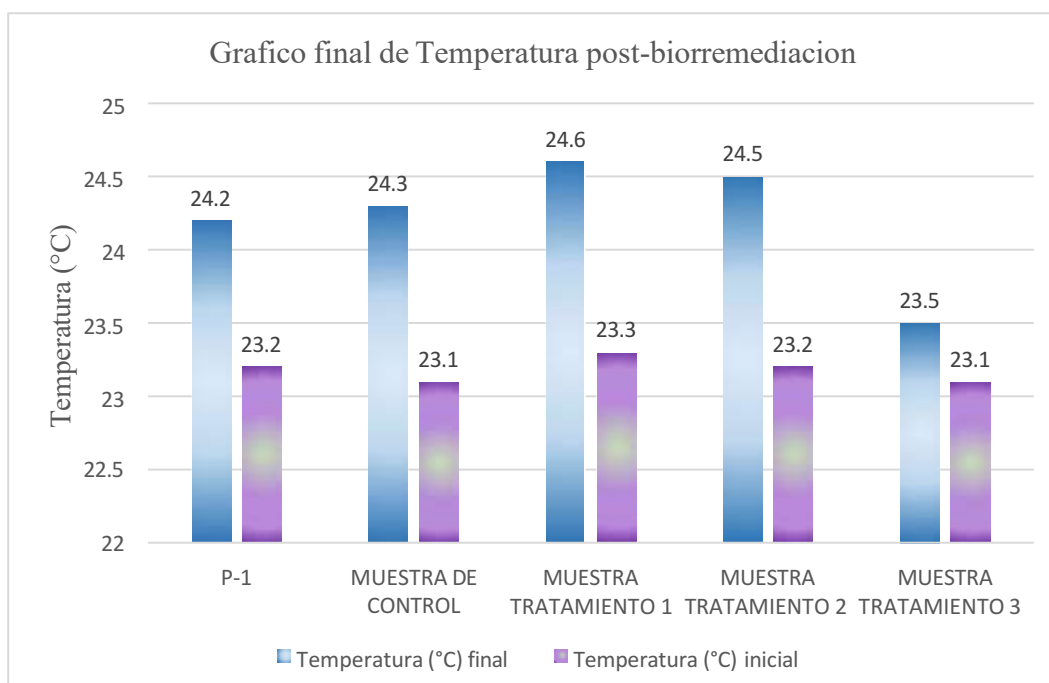


Ilustración 20: Grafico final de Temperatura post-biorremediacion

En el grafico se observa en parámetro de la temperatura tanto inicial y post-biorremediacion, observando una variación en cuanto al parámetro y cada uno de los tratamientos como se observa (ilustración 20).

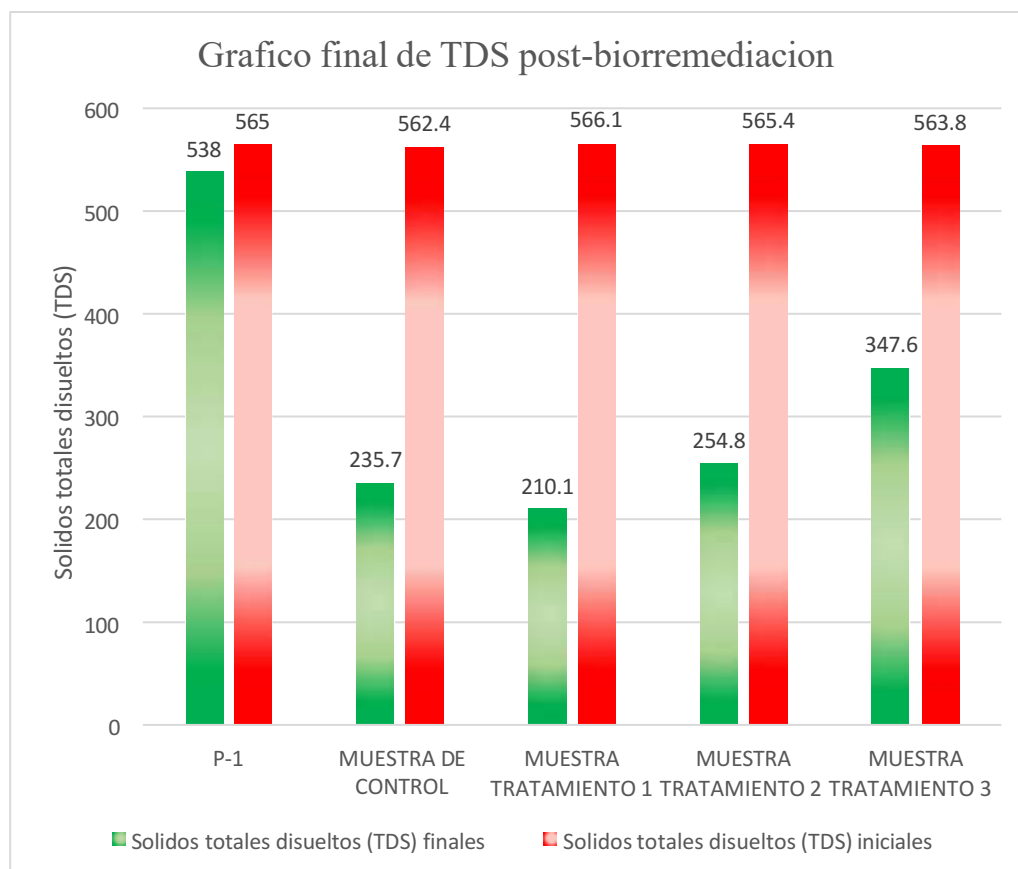


Ilustración 21: Grafico final de TDS post-biorremediacion

En el Grafico se muestra los sólidos totales disueltos iniciales y post – biorremediación, observando una variación significativa en cuanto a este parámetro, dando a entender que el sistema piloto de remedición es una manera eficaz de reducir ciertos parámetros como se observa (ilustración 21).

Análisis estadístico ANOVA para el tiempo de exposición del alga *Ulva lactuca* por cada sistema de tratamiento.

En el sistema de biorremediación mediante el uso del alga *Ulva lactuca*, mediante el cual se dividen en 3 grupos diferentes con una misma concentración de volumen de agua extraído del humedal de santa rosa. En el primer sistema de tratamiento se utilizó 89 gramos de alga durante los siguientes periodos de tiempo expresados en días; de cual para el tratamiento 1 tenemos los siguientes datos, 7, 13, y 18; para el tratamiento 2, se utilizó 175

gramos de alga durante un periodo de 7, 10, y 20 días; por último, para el tratamiento 3 se utilizó 355 gramos del alga *Ulva lactuca* durante los siguientes periodos, 7, 12 y 25 días respectivamente. Después de ese tiempo se observa cual sistema redujo el grado de contaminación del agua. ¿se puede considerar que los 3 sistemas producen resultados diferentes, si cuentan con un nivel de 90%?

Tabla 15:

Sistema de tratamiento para determinar la efectividad de los tratamientos en cuanto a la remoción del grado de contaminación en un determinado tiempo.

Tratamiento	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Tiempo de exposición	5	7	7
	10	12	13
	18	19	22
Total	33	38	42

H_o = No existen diferencias significativas en el tiempo de remoción de los parámetros de la calidad de agua entre los tratamientos que emplean 89, 175 y 355 gramos de alga *Ulva lactuca*.

H_t = Existe al menos una diferencia en el tiempo de remoción de los parámetros de la calidad del agua entre los sistemas de tratamientos que emplean diferentes cantidades de 89, 175 y 355 gramos del alga *Ulva lactuca*.

Paso 1 del análisis estadístico ANOVA. se realizará la suma de cuadrados como se muestra en el siguiente recuadro para cada uno de los tratamientos.

Tabla 16:

suma de cuadrados de los tratamientos.

	TRA 1	TRA 2	TRA 3	TOTAL	Suma2/n
Suma	33	38	42	113	1418.78
Suma2/n	363	481.33	588	1432.33	

Paso 2 del análisis estadístico ANOVA. Cálculo de cuadrados de los tratamientos y sus totales:

Tabla 17:

Análisis estadístico ANOVA de cada uno de los tratamientos (suma de cuadrados).

TRA 1	TRA 2	TRA 3	
25	49	49	
100	144	169	
324	361	484	
449	554	702	1705

Paso 3 a partir de ello se calculará la suma de cuadrados: $SC(\text{total}) =$

$$1705 - 1418.78 = 286.22$$

$$SC(\text{intra}) = 1705 - 1432.33 = 272.67$$

$$SC(\text{entre}) = 1432.33 - 1418.78 = 13.55$$

Del cual los cuadrados medios serán:

$$CM(\text{entre}) = \frac{13.55}{2} = 6.78$$

$$CM(\text{intra}) = \frac{272.67}{6} = 45.45$$

Por consiguiente, el estadístico de contraste vale:

$$F = 6.78 / 45.45 = 0.15$$

Tabla 18:

ANOVA

F.V.	S.C.	g.l.	M.C.	Estadístico de contraste
Entre niveles	13.55	2	6.78	0.15
Dentro de los niveles	272.67	6	45.45	
Total	286.22	8		

Mediate ello con grados de libertad de 2 y 6 y con un valor de la $F_{Calculada} = 0.15$, con evidencia que a un 95% de confiabilidad y siendo la $F_{Tabla} = 3.46$, por ende, se acepta la hipótesis nula y se concluye que no hay una diferencia significativa en el tiempo de remoción de los parámetros de la calidad de agua con respecto a las concentraciones diferentes del alga *Ulva lactuca* utilizados en cada uno de los tratamientos.

Tabla 18:

ANOVA

F.V.	S.C.	g.l.	M.C.	Estadístico de contraste
Entre niveles	13.55	2	6.78	0.15
Dentro de los niveles	272.67	6	45.45	
Total	286.22	8		

Mediate ello con grados de libertad de 2 y 6 y con un valor de la $F_{Calculada} = 0.15$, con evidencia que a un 95% de confiabilidad y siendo la $F_{Tabla} = 3.46$, por ende, se acepta la hipótesis nula y se concluye que no hay una diferencia significativa en el tiempo de remoción de los parámetros de la calidad de agua con respecto a las concentraciones diferentes del alga *Ulva lactuca* utilizados en cada uno de los tratamientos.

Evaluación de remoción de exceso de nitrógeno (EUTROFIZACION) mediante sistema de tratamiento de biorremediación.

La eutrofización del agua del humedal de Santa Rosa se debe a un exceso de nitrógeno en el cuerpo de agua, debido a diferentes factores como la descarga de agua residuales, la materia orgánica de las aves estacionarias que vienen al humedal como punto de descanso. Por ello se analizó el nitrógeno amoniacal mediante el sistema de tratamiento piloto de humedal artificial de para evaluar la eficiencia en cuanto a la remoción de la materia orgánica y los niveles de eutrofización del cuerpo de agua del humedal de Santa Rosa mediante la aplicación del alga *Ulva lactuca*. Para ello se utilizó el balance de materia.

Tabla 19:Análisis de nitrógeno amoniacal - NH_3^+

Ensayo	Unidad	Tratamientos		
		Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Inicial	NH_3^+ – N mg/l	1.401	1.638	1.836
Final	NH_3^+ – N mg/l	0.627	0.606	0.692

Balance de materia en un sistema cerrado del nitrógeno amoniacal

El balance de materia en el sistema, es una herramienta cuantitativa que nos permitirá cuantificar la entrada, salida y acumulación de sustancias en el sistema, basándonos en la ley de conservación de masa, en la que establece que la materia no se crea ni se destruye, solo se transforma o se transfiere (Antoine-Laurent Lavoisier).

Fórmula para el balance de materia en un proceso:

Entradas – salidas=0

Si los datos que se tienen son los siguientes:

Para el sistema de tratamiento 1:

1. Volumen del sistema = 9L
2. Concentración del NH_3^+ – N mg/l inicial =1.401
3. Concentración del NH_3^+ – N mg/l Final =0.627
4. Biomasa del alga= 89 gramos
5. Tiempo = 18 días

Masa inicial del nitrato

$$1.401 \text{ mg/l} \times 9 \text{ l} = 12.609 \text{ mg}$$

Masa final de nitrato

$$0.627 \text{ mg/l} \times 9 \text{ l} = 5.643 \text{ mg}$$

Balance de materia

$$M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}} = M$$

$$M = 12.609 - 5.643 = 6.966 \text{ mg}$$

Dentro del sistema de tratamiento 1. La aplicación del alga *Ulva lactuca* removió del agua una concentración de 6.966 mg de Amonio del primer tratamiento.

Eficiencia de remoción

$$\text{Remocion} = \frac{m_{\text{final}}}{m_{\text{inicial}}} \% = \frac{6.966}{12.609} \times 100 = 55.25 \%$$

Tasa de absorción de biomasa

$$Tb = \frac{m_{\text{removida}}}{\text{biomasa} * \text{tiempo}} = \frac{6.966}{89 \times 18} = 0.0043$$

Para el sistema de tratamiento 2:

1. Volumen del sistema = 9L
2. Concentración del $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ mg/l inicial = 1.638
3. Concentración del $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ mg/l Final = 0.606
4. Biomasa del alga = 175 gramos
5. Tiempo = 19 días

Masa inicial del nitrato

$$1.638 \text{ mg/l} \times 9 \text{ l} = 14.742 \text{ mg}$$

Masa final de nitrato

$$0.606 \text{ mg/l} \times 9 \text{ l} = 5.454 \text{ mg}$$

Balance de materia

$$M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}} = M$$

$$M = 14.742 - 5.454 = 7.776 \text{ mg}$$

Dentro del sistema de tratamiento 2. La aplicación del alga *ulva lactuca* removió del agua una concentración de 7.76 mg de Amonio del segundo tratamiento.

Dentro del sistema de tratamiento 2. La aplicación del alga ulva lactuca removió del agua una concentración de 7.76 mg de Amonio del segundo tratamiento.

Eficiencia de remoción

$$Remocion = \frac{m_{final}}{m_{inicial}} \% = \frac{7.776}{14.742} \times 100 = 52.75 \%$$

Tasa de absorción de biomasa

$$Tb = \frac{m_{removida}}{biomasa * tiempo} = \frac{7.776}{175 \times 19} = 0.00233$$

Para el sistema de tratamiento 3:

1. Volumen del sistema = 9L
2. Concentración del $NH_4^+ - N$ mg/l inicial = 1.836
3. Concentración del $NH_4^+ - N$ mg/l Final = 0.692
4. Biomasa del alga = 355 gramos
5. Tiempo = 22 días

Masa inicial del nitrato

$$1.836 \text{ mg/l} \times 9 \text{ l} = 16.524 \text{ mg}$$

Masa final de nitrato

$$0.692 \text{ mg/l} \times 9 \text{ l} = 6.228 \text{ mg}$$

Balance de materia

$$M_{inicial} - M_{final} = M$$

$$M = 16.524 - 6.228 = 10.296 \text{ mg}$$

Dentro del sistema de tratamiento 3. La aplicación del alga ulva lactuca removió del agua una concentración de 10.296 mg de Amonio del tercer tratamiento.

Eficiencia de remoción

$$Remocion = \frac{m_{final}}{m_{inicial}} \% = \frac{10.296}{16.524} \times 100 = 62.31 \%$$

Tasa de absorción de biomasa

$$Tb = \frac{m_{removida}}{biomasa * tiempo} = \frac{10.296}{355 \times 22} = 0.00131$$

CAPITULO V. DISCUCION

5.1 Discusión de resultados

La presente investigación se desarrolla a partir de los resultados numéricos obtenidos durante el proceso de biorremediación del agua del humedal de Santa Rosa mediante el uso de la macroalga *Ulva lactuca*, los cuales evidencian una mejora progresiva y significativa en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados. En la etapa inicial del estudio, el agua del humedal presentó valores elevados de pH con un promedio de 8.58, turbiedad de 45.2 NTU, sólidos totales disueltos de 565 mg/L y una conductividad superior a 1220 μ S, lo que confirma un estado de eutrofización y alta carga orgánica. Estos resultados iniciales fueron respaldados por el análisis microbiológico, donde se observó un crecimiento bacteriano confluyente que imposibilitó el conteo de unidades formadoras de colonias, indicando una saturación microbiológica característica de cuerpos de agua impactados por descargas orgánicas y acumulación de nutrientes.

Tras la aplicación del sistema de biorremediación, los resultados intermedios mostraron una reducción gradual de los parámetros contaminantes, diferenciándose claramente los sistemas tratados del sistema de control. En la semana intermedia de monitoreo, el pH de los tratamientos descendió hasta valores entre 7.60 y 7.82, mientras que los sólidos totales disueltos se redujeron hasta 290.5 mg/L en el tratamiento con 175 g de *Ulva lactuca*. De manera similar, la turbiedad disminuyó hasta valores cercanos a 24.8 NTU, lo que representa una reducción superior al 45 % respecto a la línea de base. Estos resultados evidencian que la macroalga favorece la remoción de material particulado y nutrientes disueltos mediante procesos de absorción, asimilación y competencia metabólica, superando los mecanismos naturales de autodepuración observados en la muestra de control.

Al finalizar el periodo experimental, los resultados finales consolidaron la eficiencia del sistema. El tratamiento con 89 g de *Ulva lactuca* alcanzó la mayor reducción de sólidos totales disueltos, disminuyendo de 565 mg/L a 210.1 mg/L, mientras que el tratamiento con mayor biomasa logró estabilizar el pH en 7.24, valor cercano a la neutralidad y dentro de los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el ECA-004-2017-MINAM. Asimismo, la turbiedad final se redujo hasta 25.3 NTU en los tratamientos, confirmando una mejora sustancial en la calidad visual y sanitaria del agua. Estos cambios se reflejaron directamente en el análisis microbiológico final, donde se observó una inhibición del

crecimiento bacteriano superior al 90 %, evidenciada por la transparencia del agar nutritivo y la escasa presencia de colonias viables.

Al comparar estos resultados con estudios previos, se observa una concordancia significativa con lo reportado por Cunalata (2024), quien obtuvo eficiencias de remoción de hasta 71.78 % en DBO y 90.80 % en DQO mediante fitorremediación con microalgas, demostrando que los organismos fotosintéticos poseen una alta capacidad para reducir la carga orgánica en sistemas acuáticos contaminados. De manera similar, los resultados del presente estudio coinciden con Quinteros et al. (2021), quienes reportaron eficiencias de hasta 73.4 % en la transformación de nitrógeno y reducciones superiores al 87 % en coliformes, lo que respalda la reducción microbiológica observada en el humedal de Santa Rosa tras la aplicación de *Ulva lactuca*.

En relación con la remoción de nitrógeno amoniacal, los resultados numéricos obtenidos evidencian eficiencias de remoción del 55.25 %, 52.75 % y 62.31 % para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente. Estos valores confirman que el sistema de biorremediación fue efectivo en la reducción del exceso de nitrógeno responsable de la eutrofización del humedal. Resultados comparables fueron reportados por Iza (2024), quien logró reducciones superiores al 70 % de compuestos nitrogenados mediante sistemas asistidos por microalgas, destacando su rol en la asimilación directa de nutrientes y en la disminución de procesos eutróficos.

El análisis estadístico ANOVA aplicado al tiempo de remoción indicó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con distintas concentraciones de *Ulva lactuca*, aceptándose la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95 %. Este resultado sugiere que bajo las condiciones experimentales del estudio, las diferentes cantidades de biomasa empleadas no influyeron significativamente en el tiempo de remoción de los contaminantes, lo cual coincide con lo señalado por Zapata y Siguas (2022), quienes indican que, una vez alcanzado un equilibrio en el sistema bioabsorbente, el incremento de biomasa no genera mejoras proporcionales en la eficiencia del tratamiento.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta investigación se alinean con los antecedentes nacionales, como el estudio de Gallardo y Gamarra (2024), quienes demostraron la alta eficiencia de *Ulva lactuca* como agente bioabsorbente, y con Villanueva (2025), quien evidenció mejoras significativas en la calidad del agua mediante el uso de macrófitas en

humedales artificiales. En este contexto, los resultados del humedal de Santa Rosa confirman que la macroalga *Ulva lactuca* no solo mejora los parámetros físicoquímicos, sino que también reduce significativamente la carga microbiológica y los niveles de eutrofización, validando su uso como una alternativa sostenible, eficiente y ambientalmente viable para la recuperación de cuerpos de agua impactados por contaminación orgánica.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- › La aplicación del alga *Ulva lactuca* generó un impacto positivo en la calidad del agua del humedal de Santa Rosa durante el año 2025, evidenciándose mejoras continuas en los parámetros evaluados antes y después del proceso de biorremediación, por ello se confirma su efectividad como alternativa de tratamiento ambiental.
- › Los resultados que se obtuvieron en la evaluación de los factores físicos y biológicos del agua muestran que la presencia de *Ulva lactuca* atribuye en la estabilización de las condiciones del ecosistema acuático, coincidiendo con las investigaciones de los antecedentes nacionales e internacionales que destacan el rol de las algas en procesos naturales de depuración de cuerpos de agua.
- › La eficiencia de remoción de amonio y nitratos determina que el uso de *Ulva lactuca* permitió reducir significativamente estos compuestos asociados a procesos de eutrofización, reafirmando su capacidad para absorber nutrientes y mejorar la calidad del agua en ecosistemas acuáticos.
- › En la investigación se evidenció una relación directa entre la biorremediación mediante algas y la mejora de la calidad del agua del humedal de Santa Rosa, demostrando que este tipo de tecnologías basadas en procesos biológicos representan una alternativa de manera sostenible, eficiente y ambientalmente viable.

6.2 Recomendaciones

- › Se recomienda implementar el uso de *Ulva lactuca* como estrategia de biorremediación en el humedal de Santa Rosa, con el fin de contribuir a la reducción de nutrientes y a la mejora sostenida de la calidad del agua.
- › Se sugiere ampliar el tiempo de monitoreo en futuras investigaciones para evaluar el comportamiento del alga y la estabilidad del proceso de biorremediación frente a variaciones estacionales y ambientales.
- › Aumentar un mayor número de parámetros físicoquímicos y microbiológicos en estudios posteriores a fin de lograr una evaluación más globalizada del impacto de la biorremediación en el ecosistema acuático.
- › Realizar estudios comparativos con otras especies de algas y macrófitas, que permitan identificar alternativas con mayor eficiencia y adaptabilidad a las condiciones del humedal de Santa Rosa.

CAPITULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

7.1 Fuentes Documentales

Auris Melgar, E. G. (2011). *Contaminación por nitratos (NO_3^-) de las aguas subterráneas de consumo humano en el distrito de Ica* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/6154>

Cohen, I., & Neori, A. (1991). Biofilters of *Ulva lactuca* for marine effluents: I. Ammonia uptake kinetics and nitrogen content. *Botanica Marina*, 34(6), 475–482. <https://doi.org/10.1515/botm.1991.34.6.475>

DAR. (2017). *Calidad de agua en el Perú*. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/calidad-agua-peru>

Emily, B., Booher, L., Polizzi, T., Long, C., Kim, J.-H., & Edwards, M. S. (2021). Effects of salinity and nutrients on the metabolism and growth of *Ulva lactuca*: Implications for coastal bioremediation. *Marine Pollution Bulletin*, 112199. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112199>

Enríquez, F., & Grimaldo, A. (2022). *Revisión sistemática: Biorremediación de aguas residuales* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20500.12692/104398>

Gallardo, R., & Gamarra, M. (2024). *Reducción de la concentración de plomo y cadmio en aguas contaminadas del río Moche mediante adsorción con Ulva lactuca* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/05ad223c-0ec8-48e9-be5c-76cc62a2b407>

Guevara, Y., & Salas, J. (2022). *Remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante el uso de microorganismos de montaña en aguas residuales de una piscigranja* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/b656bd00-bd85-48d2-9654-cd381249f457>

Juan, M., & Cristian, B. (2014). Nutrient uptake efficiency of *Gracilaria chilensis* and *Ulva lactuca* in an IMTA system with red abalone (*Haliotis rufescens*). *Latin American Journal of Aquatic Research*. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue3-fulltext-12>

Lavado, C. D. (2021). *Biosorción de plomo de aguas contaminadas usando biomasa*

modificada químicamente de Nostoc commune [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7538>

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua*. SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>

Mourad, F. A., & El-Azim, H. A. (2019). Use of the green alga *Ulva lactuca* (L.) as an indicator of heavy metal pollution in intertidal waters of the Gulf of Suez, Gulf of Aqaba and Suez Canal, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2019.57913>

Pérez Zuñiga, J. N. (2024). *Eficiencia de humedales con las macrófitas Zantedeschia aethiopica y Calceolaria tripartita en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca – Huánuco* [Tesis de licenciatura, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/5616>

Quintero, K., Rodríguez, D., González, M., & Arroyave, J. (2021). Evaluación de la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8159803>

Shauang, Q., Shijian, G., Pascale, C., & Meldrum, R. (2017). Potential of *Ulva lactuca* for municipal wastewater bioremediation and fly feed production. *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398624118826>

Siguas, T., & Zapana, K. (2022). *Tratamiento de aguas marinas contaminadas por hidrocarburos mediante sistema bioadsorbente a base de algas marinas en Cantolao, Callao* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/101778>

Villanueva Quispe, M. L. (2025). *Efecto de la aplicación de macrófitas en humedales artificiales sobre la calidad de aguas residuales* [Tesis de maestría, Universidad Continental]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/17998>

Villarroel, I. (2025). *Evaluación del uso de microalgas para el tratamiento de efluente de celulosa utilizando aguas servidas domiciliarias como fuente de nutrientes* [Tesis de licenciatura, Universidad de Concepción]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.udec.cl/items/2f5a3b90-4fe4-4139-a0bb-ee178d76d38e>

Viteri, M., & Iza, J. (2024). *Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas*

residuales mineras utilizando celdas de combustible microbianas con cátodos asistidos por microalgas para la producción simultánea de bioenergía [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio Institucional.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/14256>

Zamora, A. B. (2019). *Servicios ecosistémicos en los humedales costeros del Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Científica del Sur]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1383>

BIBLIOGRAFIA

- DAR. (2017). *Calidad de agua en el Perú*. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/calidad-agua-peru>
- Enríquez, F., & Grimaldo, A. (2022). *Revisión sistemática: Biorremediación de aguas residuales* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104398>
- Gallardo, R., & Gamarra, M. (2024). *Reducción de la concentración de plomo y cadmio en aguas contaminadas del río Moche mediante adsorción con *Ulva lactuca** [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/05ad223c-0ec8-48e9-be5c-76cc62a2b407>
- Guevara, Y., & Salas, J. (2022). *Remoción de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos mediante el uso de microorganismos de montaña en aguas residuales de una piscigranja* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/b656bd00-bd85-48d2-9654-cd381249f457>
- Lavado, C. D. (2021). *Biosorción de plomo de aguas contaminadas usando biomasa modificada químicamente de *Nostoc commune** [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7538>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). *Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua*. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- Shauang, Q., Shijian, G., Pascale, C., & Meldrum, R. (2017). Potential of *Ulva lactuca* for municipal wastewater bioremediation and fly feed production. *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398624118826>
- Siguas, T., & Zapana, K. (2022). *Tratamiento de aguas marinas contaminadas por hidrocarburos mediante sistema bioadsorbente a base de algas marinas en Cantolao, Callao* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/101778>
- Villarroel, I. (2025). *Evaluación del uso de microalgas para el tratamiento de efluente de celulosa utilizando aguas servidas domiciliarias como fuente de nutrientes* [Tesis de licenciatura, Universidad de Concepción]. Repositorio Institucional.

<https://repositorio.udec.cl/items/2f5a3b90-4fe4-4139-a0bb-ee178d76d38e>

Villarroel, I. (2025). *Evaluación del uso de microalgas para el tratamiento de efluente de celulosa utilizando aguas servidas domiciliarias como fuente de nutrientes* [Tesis de licenciatura, Universidad de Concepción]. Repositorio Institucional.

<https://repositorio.udec.cl/items/2f5a3b90-4fe4-4139-a0bb-ee178d76d38e>

Vireti, M., & Iza, J. (2024). *Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales mineras utilizando celdas de combustible microbianas con cátodos asistidos por microalgas para la producción simultánea de bioenergía* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio Institucional.

<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/14256>

Zamora, A. B. (2019). *Servicios ecosistémicos en los humedales costeros del Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Científica del Sur]. Repositorio Institucional.

<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1383>

Ministerio de Salud [MINSA]. (2010). *Decreto Supremo N.º 031-2010-SA*. Gobierno del Perú.

<https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>

Samboni, N., Yesel, C., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172–181.

<https://www.redalyc.org/pdf/643/64327320.pdf>

Sánchez, J. D., & Marconi, P. (2021). *Estrategias de remediación para las cuencas de dos ríos urbanos de llanura: Matanza-Riachuelo y Reconquista*. Fundación de Historia Natural Félix de Azara.

<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/189567>

Tania, V., & Valdés, J. A. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. ASK.

Villena, J. (2018). Calidad de agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Biología*, 25(2), 179–188. SciELO Perú.

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342018000200019)

[46342018000200019](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342018000200019)

Autor/es no identificados. (s. f.). *Humedales artificiales subsuperficiales: Comparación de metodologías de diseño para el cálculo del área superficial basado en la remoción de la materia orgánica*. ResearchGate.

<https://www.researchgate.net/publication/343734794>

CAPITULO VIII. ANEXOS

Anexo 1: Etiqueta para Muestra de Agua

Solicitante/cliente:			
Nombre de Laboratorio:			
Código punto de Monitoreo			
Tipo de Cuerpo de Agua:			
Fecha de Muestreo:			Hora:
Muestreado por:			
Parámetro Requerido:			
Preservada:	SI	NO	Tipo de Reactivo:

Fuente: Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos Superficiales – SINIA.

(Auris Melgar, 2011)

Anexo 3: Validación de instrumento 1

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y nombres : Mg. Huertas Pomasoncco Hellen Yahaira
1.2 Cargo e institución : Docente - UNJFSC
1.3 Nombre del instrumento : Ficha de Cadena de Custodia
1.4 Autores del instrumento : De la cruz Berrospi Nikey Leslie
Vega Ríos Cesar Andres

II. ASPECTOS DE LA VALIDACIÓN - JUICIO DE EXPERTO:

Marque con un aspa "X" dentro del cuadro de valoración.

N°	CRITERIOS	ESCALA DE VALORACIÓN				
		1 Muy malo	2 Malo	3 Regular	4 Bueno	5 Muy bueno
1	Claridad: Está formulado con el lenguaje apropiado y comprensible					X
2	Objetividad: Permite medir hechos observables					X
3	Actualidad: Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología				X	
4	Organización: Presentación ordenada				X	
5	Suficiencia: Comprende los aspectos en cantidad y claridad				X	
6	Pertinencia: Permite conseguir datos de acuerdo a objetivos					X
7	Consistencia: Permite conseguir datos basados en modelos teóricos				X	
8	Coherencia: Hay coherencia entre las variables, indicadores e ítems				X	
9	Metodología: La estrategia responde al propósito de la investigación					X
10	Aplicación: Los datos permiten un tratamiento estadístico pertinente				X	

III. Opinión de Aplicabilidad

- ✓ El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
✓ El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

SI

IV. Promedio de Valorización

4.7 (Muy bueno)

Correo: hhuelas@unjfsc.edu.pe
Teléfono: 956914768
Fecha: 8/10/25


HELLEN YAHAIRA
HUERTAS POMASONCCO
Ingeniera Ambiental
CIP N°183868

FIRMA DEL EXPERTO

Anexo 4: Validación de instrumento 2

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

IX. DATOS GENERALES

- 1.5 Apellidos y nombres : Mg. Grados Olivera Maria del Rosario
1.6 Cargo e institución : Docente - UNJFSC
1.7 Nombre del instrumento : Ficha de Cadena de Custodia
1.8 Autores del instrumento : De la cruz Berrospi Nikey Leslie
Vega Ríos Cesar Andres

X. ASPECTOS DE LA VALIDACIÓN - JUICIO DE EXPERTO:

Marque con un aspa "X" dentro del cuadro de valoración.

Nº	CRITERIOS	ESCALA DE VALORACIÓN				
		1 Muy malo	2 Malo	3 Regular	4 Bueno	5 Muy bueno
1	Claridad: Está formulado con el lenguaje apropiado y comprensible					X
2	Objetividad: Permite medir hechos observables					X
3	Actualidad: Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología				X	
4	Organización: Presentación ordenada					X
5	Suficiencia: Comprende los aspectos en cantidad y claridad					X
6	Pertinencia: Permite conseguir datos de acuerdo a objetivos					X
7	Consistencia: Permite conseguir datos basados en modelos teóricos					X
8	Coherencia: Hay coherencia entre las variables, indicadores e ítems					X
9	Metodología: La estrategia responde al propósito de la investigación					X
10	Aplicación: Los datos permiten un tratamiento estadístico pertinente				X	

XI. Opinión de Aplicabilidad

- ✓ El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
✓ El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

SI

XII. Promedio de Valorización

5 (Muy bueno)

Correo: mgradoso@unjfsc.edu.pe

Teléfono: 963608595

Fecha: 8/10/25


.....
MARIA DEL ROSARIO
GRADOS OLIVERA
INGENIERA AMBIENTAL
Reg. CIP N° 78721

FIRMA DEL EXPERTO

Anexo 5: Validación de instrumento

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

V. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y nombres : Mg. Mendez Izquierdo Tania Ivette
1.2 Cargo e institución : Docente - UNJFSC
1.3 Nombre del instrumento : Ficha de Cadena de Custodia
1.4 Autores del instrumento : De la cruz Berrospi Nikey Leslie
Vega Ríos Cesar Andres

VI. ASPECTOS DE LA VALIDACIÓN - JUICIO DE EXPERTO:

Marque con un aspa "X" dentro del cuadro de valoración.

N°	CRITERIOS	ESCALA DE VALORACIÓN				
		1 Muy malo	2 Malo	3 Regular	4 Bueno	5 Muy bueno
1	Claridad: Está formulado con el lenguaje apropiado y comprensible					X
2	Objetividad: Permite medir hechos observables					X
3	Actualidad: Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología				X	
4	Organización: Presentación ordenada					X
5	Suficiencia: Comprende los aspectos en cantidad y claridad					X
6	Pertinencia: Permite conseguir datos de acuerdo a objetivos					X
7	Consistencia: Permite conseguir datos basados en modelos teóricos				X	
8	Coherencia: Hay coherencia entre las variables, indicadores e ítems					X
9	Metodología: La estrategia responde al propósito de la investigación					X
10	Aplicación: Los datos permiten un tratamiento estadístico pertinente				X	

VII. Opinión de Aplicabilidad

- ✓ El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
✓ El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

SI

VIII. Promedio de Valorización

5 (Muy bueno)

Correo: tmendez@unjfsc.edu.pe
Teléfono: 926577276
Fecha: 8/10/25


TANIA IVETTE
MENDEZ IZQUIERDO
Ingeniera Ambiental
CIP N° 185644

FIRMA DEL EXPERTO

Anexo 6: Extracción de muestras.



Se extrajeron las muestras iniciales para el diagnóstico inicial de la calidad del humedal y de las muestras iniciales.

Anexo 7: Rotulado de las Muestras.



Cada una de las muestras fue rotulada para su respectivo análisis en el laboratorio.

Anexo 8: Muestras microbiológicas.



La extracción de muestras microbiológicas se realizó siguiendo el Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de agua superficiales para su respectiva evaluación en el laboratorio.

Anexo 9: Sistema piloto de biorremediación.



Se implementó el sistema piloto de biorremediación en un área donde se pueda evaluar y realizar el seguimiento correspondiente con las condiciones necesarias para que las algas prosperen.

Anexo 10: Extracción y preservación de algas *Ulva lactuca*.



Se extrajo el alga *Ulva lactuca* cercana al área del humedal para su disposición en el sistema piloto de biorremediación.

Anexo 11: Fuentes contaminantes cerca al cuerpo de agua.



Se identificaron áreas cerca al cuerpo de agua contaminados por residuos sólidos generados por los habitantes cercanos al humedal de Santa Rosa.

Anexo 12: Muestras de control etapa inicial.



Extracción de muestras para en análisis en laboratorio de los parámetros físicos.

Anexo 13: Materiales para envío de muestras a laboratorio.



Materiales necesarios para el envío de muestras para el parametro de nitrogeno amoniacal del sistema piloto de biorremediacion mediante el uso del alga *Ulva lactuca*.

Anexo 14: Ubicación de monitoreo de agua del humedal.



Punto de monitoreo de la calidad de agua del humedal de Santa Rosa.

Anexo 15: Muestras para análisis de laboratorio.



Envío de las muestras de para el analisis de nitrogeno amoniacal pos-biorremedicion al laboratorio.

Anexo 16: Preservante para el envío de muestras al laboratorio.



Preservante utilizado para el envío de las muestras del parámetro de nitrógeno amoniacal al laboratorio para su respectivo análisis.

Anexo 17: Informe del laboratorio para nitrógeno amoniacal / amoniaco.

 **LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 047** 

INFORME DE ENSAYO N° 1916777-2025 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL	VEGA RÍOS CESAR ANDRÉS
DOMICILIO LEGAL	QUEROPAMBA ETAPA II MZ C LT 3 C.F. NUEVA ESPERANZA - VILLA MARÍA DEL TRIUNFO - LIMA
SOLICITADO POR	VEGA RÍOS CESAR ANDRÉS
REFERENCIA	MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA
PROCEDENCIA	HUMEDAL SANTA ROSA - CHANCAY
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS	2023-12-27
FECHA(S) DE ANÁLISIS	2023-12-27 AL 2023-12-29
FECHA(S) DE MUESTREO	2023-12-26
MUESTREADO POR	EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidad
Nitrógeno Amoniacal / Amoniaco	GBW-W-NH4-NH4-N-SP Part 4500-NH3-D, 24th Ed., 2023; Nitrogen (Ammonia), Ammonia-Selective Electrode Method.	0.020	NH ₄ ⁺ -N mg/L

L.C.: Límite de Cuantificación

La empresa del laboratorio certificado por el INACAL envió los resultados de las muestras enviadas para su respectivo análisis.

Anexo 18: Cadena de custodia para el envío de muestras al laboratorio.



CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

Cliente: Cosque Andres Vega Pizar

Lugar: Huachal Santa Rosa - Chuslay

Carta/Cotización: Nº 2023-1244-34-1

Contacto: Cosque Vega

Empresa: SAC planta Control

Plantas: planta control

Email: cosque.vega@gmail.com

Teléfono: 930515469

Proyecto: Monitoreo de calidad de agua

MUESTREO POR SAG ☐

MUESTREO POR CLIENTE ☒

ANÁLISIS DE LABORATORIO

PUNTO DE MUESTREO a CORDON DEL CLIENTE		MUESTREO		PARÁMETROS IN SITU		ANÁLISIS DE LABORATORIO		OTRO INFORME	
Nº	COORDENADAS	FECHA	HORA	Nº DE MUESTRA	UNIDAD	CONCENTRACION	UNIDAD	CONCENTRACION	UNIDAD
1	12-01	26/12/25	9:30pm	1	mg/L	12-01	mg/L	12-01	mg/L
2	12-02	26/12/25	9:32pm	2	mg/L	12-02	mg/L	12-02	mg/L
3	12-03	26/12/25	9:35pm	3	mg/L	12-03	mg/L	12-03	mg/L

Clase/ubicación de Muestra: Cord. Santa Rosa 1244-34-1

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable de Muestra: Cosque Andres Vega Pizar

Nombre(s) y Apellido(s) del Encargado de Supervisar en campo: Dr. A. G. Vega

Fecha: 26/12/25

Proyecto: Control

Ubicación en laboratorio: Química