



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras distribuir, combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial y, a pesar que son nuevas obras deben siempre rendir crédito y ser no comerciales, no están obligadas a licenciar sus obras derivadas bajo los mismos términos.

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



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

ATIT_2024-FIAS-092

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

“Predicción del costo ambiental sostenible relativo y la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales, Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”

Presentado por:

GUEVÁRA GALLEGOS, GERARDO ANTONIO

Autor(a) del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es **PORCENTAJE DE SIMILITUD del 0%** por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Con CÓDIGO DE MATRÍCULA N° **20133235**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 19de Agosto del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

DR. FELIX RICARDO BELLI CARHUAYO
DIRECTOR



UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



TESIS:

**“Predicción del costo ambiental sostenible relativo y la
remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento
de aguas residuales, Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:

CIENCIAS NATURALES, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES

Presentado por:

Bach. GUEVARA GALLEGOS GERARDO ANTONIO

Asesor:

Dr. PEDRO CORDOVA MENDOZA

ICA – PERÚ

2024

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico en primer lugar a Dios porque todo, absolutamente todo se puede a través de la fe. A mi querida madre, quien me ha dado la mejor educación impartida a base de valores y amor incondicional. De igual manera se la dedico a mi amada familia conformada por mi noble padre, mi adorada abuela, mi valiente hermano y a mi aguerrida mamá Danira.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y familiares,

Por su constante apoyo y amor incondicional. Sus vidas han sido un ejemplo de perseverancia que me ha impulsado a alcanzar mis metas. Les agradezco por enseñarme los valores del esfuerzo y la responsabilidad.

A mis profesores y mentores,

Por guiarme y compartir su conocimiento. Su pasión por la enseñanza ha inspirado mi deseo de aprender y crecer profesionalmente. Gracias por su paciencia y sus valiosos consejos.

A mis amigos,

Por su compañía y apoyo. Sus palabras de aliento y los momentos compartidos han sido el refugio a todos los pesares que encontré en mi viaje académico y la vida, en general.

A mi Sofia,

Por su amor, comprensión y apoyo incondicional. Gracias por estar a mi lado en cada paso de este camino, por creer en mí y por estar siempre en las buenas y en las malas.

A todos aquellos que de una u otra manera han contribuido a la culminación de este trabajo,

Mi más sincero agradecimiento.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE DE CONTENIDO	iv
INDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	ix
SUMMARY	x
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	13
1.2. “ANTECEDENTES DEL PROBLEMA”	14
1.2.1. “Antecedentes Internacionales”	14
1.2.2. Antecedentes nacionales.....	16
1.2.3. Antecedentes locales	17
1.3. BASES TEÓRICAS	17
1.3.1. “Costo ambiental de la contaminación de las aguas”	17
1.3.2. “Contaminación de las aguas”	19
1.3.3. “Aguas residuales”	19
1.3.4. “Recurso hídrico”	19
1.3.5. “Calidad del Agua”	19
1.3.6. Los agentes contaminantes.....	20
1.3.7. “Plantas de tratamientos para aguas residuales”	20
1.4. “FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL”	21
1.4.1. “Problema general”	22
1.4.2. “Problemas específicos”	22
1.5. “OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN”	22
1.5.1. “Objetivo principal”	22
1.5.2. “Objetivos Específicos”	22
1.6. “HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN”	23
1.6.1. “Hipótesis principal”	23
1.6.2. “Hipótesis Específicas”	23
1.6.3. “Variables de investigación”	23
1.7. “JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA”	26
1.7.1. “Justificación”	26
1.7.2. Importancia.....	26

1.8.	“DEFINICIONES CONCEPTUALES”	27
1.8.1.	“Agua residual domiciliaria”	27
1.8.2.	“Aguas residuales industriales”	27
1.8.3.	“Aguas residuales agrícolas”	27
1.9.	“ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA CALIDAD DEL AGUA”	27
1.9.1.	“Decreto Supremo N°004-2017-MINAM”	27
II.	“ESTRATEGIA METODOLOGICA”	29
2.1.	“ÁREA DE ESTUDIO”	29
2.1.1.	“Tipo, nivel y diseño de investigación”	31
2.1.2.	“Población y muestra”	31
2.1.3.	“Técnicas de recolección de datos”	32
2.1.4.	“Instrumentos de recolección de datos”	33
2.1.5.	“Técnicas de procesamiento de datos e interpretación de los resultados”	34
III.	RESULTADOS	36
3.1.	“PREDECIR EL COSTO AMBIENTAL SOSTENIBLE RELATIVO Y LA REMOCIÓN DE LAS CARGAS RESIDUALES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE BOCA DEL RIO”	36
3.2.	“DETERMINAR EL COSTO NORMATIVO EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES Y LA REMOCIÓN DE LAS CARGAS RESIDUALES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE BOCA DEL RIO”	39
3.3.	“EVALUAR EL COSTO AMBIENTAL SOSTENIBLE RELATIVO Y LA CALIDAD DEL EFLUENTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE BOCA DEL RIO”	46
IV.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
4.1.	“DISCUSIÓN DE RESULTADOS SOBRE EL COSTO AMBIENTAL SOSTENIBLE RELATIVO Y LA REMOCIÓN DE LAS CARGAS RESIDUALES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE BOCA DEL RIO, PISCO.”	51
4.2.	“DISCUSIÓN DE RESULTADOS SOBRE EL COSTO NORMATIVO EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES Y LA REMOCIÓN DE LAS CARGAS RESIDUALES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE BOCA DEL RIO, PISCO”.	52

4.3. “EL COSTO AMBIENTAL SOSTENIBLE RELATIVO MEJORA SIGNIFICATIVAMENTE LA CALIDAD DEL EFLUENTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE BOCA DEL RIO, PISCO”	52
V. CONCLUSIONES	54
VI. RECOMENDACIONES	56
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXO	67
ANEXO 1.....	68
ANEXO 2.....	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. “Operacionalización de las variables”	25
Tabla 2. “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen Disposiciones Complementarias”	28
Tabla 3. “Descripción y ubicación en coordenadas UTM de la planta de tratamiento de aguas residuales”	30
Tabla 4. “Verificación de instrumentos de campo”	33
Tabla 5. “Criterio de puntuación / costo ambiental sostenible relativo”[58]	37
Tabla 6. “Categorías del costo ambiental sostenible relativo / intervalo”[58]	37
Tabla 7. “Coeficiente de transformación / agua residual”[58]	38
Tabla 8. “Resultados de los parámetros fisicoquímicos para la calidad del afluente y efluente, Monitoreo 1 (21.03.2024)”	39
Tabla 9. “Resultados de los parámetros fisicoquímicos para la calidad del afluente y efluente, Monitoreo 2 (10.05.2024)”	40
Tabla 10. “Resultados de los parámetros fisicoquímicos para la calidad del afluente y efluente, Monitoreo 3 (21.06.2024)”	40
Tabla 11. “Resultados de los parámetros fisicoquímicos para la calidad del Efluente, Monitoreos 1, 2 y 3”	41
Tabla 12. “Costo ambiental sostenible relativo del efluente / calidad de aguas residuales”[58]	41
Tabla 13. “Coeficiente de transformación de oxígeno calculado (f) a la entrada afluente / aguas residuales”[58]	42
Tabla 14. “Coeficiente de transformación de oxígeno calculado (f) a la salida efluente / aguas residuales”[58]	43
Tabla 15. “Se estimo el estadístico de prueba (Estadística Descriptiva)”	44
Tabla 16. “Costo ambiental sostenible relativo / calidad del efluente. Monitoreo (21.03.2024)”	47
Tabla 17. “Costo ambiental sostenible relativo / calidad del efluente. Monitoreo (10.05.2024)”	47
Tabla 18. “Costo ambiental sostenible relativo / calidad del efluente. Monitoreo (21.06.2024)”	48
Tabla 19. “Se estimo el estadístico de prueba (Estadística Descriptiva)”	49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	“Ubicación del punto de monitoreo planta de tratamiento de aguas residuales Boca de Rio, Pisco”	29
Figura 2.	“El afluente de aguas residuales procedente de Pisco y San Andrés”	32
Figura 3.	“Interpretación de los resultados”	35
Figura 4.	“Distribución de t-Student para el monitoreo a la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio. Puntos GG-01, GG-02 y GG-03”	45
Figura 5.	“Distribución de t-Student para el monitoreo a la remoción de las cargas residuales en %, en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio. Puntos GG-01, GG-02 y GG-03”	50

RESUMEN

Objetivo, “fue predecir el costo ambiental sostenible relativo y analizar su influencia en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco, Ica, 2023”. **Estrategia metodológica**, Se adoptó un enfoque cuantitativo con un diseño descriptivo. Se realizaron muestreos periódicos en el punto de entrada y salida de los efluentes, aplicando una metodología de muestreo no probabilístico por conveniencia. Se recolectaron datos fisicoquímicos en tres fechas distintas (21.03.2024, 10.05.2024 y 21.06.2024). Se utilizó la fórmula del costo ambiental sostenible relativo para analizar los datos, y se aplicó la prueba t de Student para evaluar la significancia de los resultados. **Resultados**, mostraron que el costo ambiental sostenible relativo influye significativamente en la remoción de las cargas residuales. Los parámetros fisicoquímicos del efluente, como aceites y grasas, cloruros, DBO5, DQO, nitrógeno amoniacal y sulfatos, fueron analizados y se obtuvo un valor de RESPO de 0.33, indicando un recurso no sostenible relativo. La remoción de la carga de DBO5 mostró porcentajes de 61.24%, 73.32% y 80.08% en las tres mediciones. La prueba t de Student confirmó la significancia de los resultados con un p-valor de 0.01777, apoyando la hipótesis de que el costo normativo en la remoción de contaminantes tiene un impacto significativo. **Discusión de resultados**, los resultados confirman que la gestión del costo ambiental sostenible relativo mejora la calidad del efluente, alineándose con estudios previos que destacan la importancia de integrar costos ambientales en la operación de plantas de tratamiento para optimizar la remoción de contaminantes. **Conclusión**, la implementación de estrategias basadas en el costo ambiental sostenible relativo tiene una influencia significativa en la remoción de contaminantes en la planta de tratamiento de Boca del Río. La integración de costos ambientales en las decisiones operativas contribuye a mejorar la calidad del efluente y la sostenibilidad del proceso de tratamiento.

Palabras Claves: *Costo ambiental sostenible relativo; Remoción de cargas residuales; Planta de tratamiento de aguas residuales; Calidad del efluente; Sostenibilidad ambiental*

SUMMARY

Objective, “was to predict the relative sustainable environmental cost and analyze its influence on the removal of residual loads in the Boca del Río wastewater treatment plant, Pisco, Ica, 2023”. **Methodological strategy**, a quantitative approach with a descriptive design was adopted. Periodic samplings were carried out at the entry and exit points of the effluents, applying a non-probabilistic convenience sampling methodology. Physicochemical data were collected on three different dates (03/21/2024, 05/10/2024 and 06/21/2024). The relative sustainable environmental cost formula was used to analyze the data, and the student t-test was applied to evaluate the significance of the results. **Results**, showed that the relative sustainable environmental cost significantly influences the removal of residual loads. The physicochemical parameters of the effluent, such as oils and greases, chlorides, BOD₅, COD, ammoniacal nitrogen and sulfates, were analyzed and a RESPO value of 0.33 was obtained, indicating a relative unsustainable resource. The removal of the BOD₅ load showed percentages of 61.24%, 73.32% and 80.08% in the three measurements. The student t test confirmed the significance of the results with a p-value of 0.01777, supporting the hypothesis that the regulatory cost in the removal of contaminants has a significant impact. **Discussion of results**, the results confirm that the management of the relative sustainable environmental cost improves the quality of the effluent, aligning with previous studies that highlight the importance of integrating environmental costs into the operation of treatment plants to optimize the removal of contaminants. **Conclusion**, the implementation of strategies based on the relative sustainable environmental cost has a significant influence on the removal of contaminants in the Boca del Río treatment plant. Integrating environmental costs into operational decisions contributes to improving effluent quality and the sustainability of the treatment process.

Keywords: *Relative sustainable environmental cost; Waste load removal; Wastewater treatment plant; Effluent quality; Environmental sustainability.*

I. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales es un componente crucial en la gestión ambiental y la protección de los recursos hídricos. “En la localidad de Boca del Río, Pisco, Ica, la planta de tratamiento de aguas residuales” desempeña un papel fundamental en la eliminación de contaminantes y en la mitigación de los impactos negativos en el medio ambiente. A medida que las exigencias regulatorias y las preocupaciones ambientales aumentan, es esencial evaluar no solo la eficacia de la remoción de cargas residuales, sino también el costo ambiental asociado a estas operaciones.

En este contexto, el presente estudio se enfoca en la predicción del costo ambiental sostenible relativo y la remoción de las cargas residuales en “la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco”. El objetivo es proporcionar una visión integral que permita equilibrar la eficiencia operativa con la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la toma de decisiones informadas para la gestión de recursos y la planificación estratégica a largo plazo.

La metodología adoptada para esta investigación incluye el uso de modelos predictivos basados en datos históricos y análisis estadísticos avanzados. Estos modelos permiten estimar los costos ambientales asociados con diferentes niveles de remoción de contaminantes, considerando variables como el consumo de energía, el uso de reactivos químicos, y las emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, se evaluará la efectividad de las tecnologías empleadas en la planta y su impacto en la reducción de la carga contaminante.

Los resultados esperados de esta investigación proporcionarán una base sólida para el desarrollo de políticas y prácticas más sostenibles en el tratamiento de aguas residuales. Además, se espera que los hallazgos contribuyan a la mejora continua de las operaciones de la planta, optimizando el balance entre costo y beneficio ambiental. Este estudio no solo es relevante para la comunidad local de Boca del Río, sino que también ofrece insights valiosos para otras regiones con desafíos similares en la gestión de aguas residuales.

“Por consiguiente, el estudio se organiza en secciones”:

“Capítulo I”: “Proporciona una revisión exhaustiva de los antecedentes del tratamiento de aguas residuales y su evolución en Boca del Río, Pisco, Ica”. Se exploran las bases teóricas que sustentan las metodologías de predicción de costos ambientales y remoción de cargas residuales, enfatizando la relevancia de la sostenibilidad en la gestión de recursos hídricos. La justificación del estudio radica en la necesidad de optimizar la eficiencia operativa de la planta mientras se minimizan los impactos ambientales negativos, subrayando la importancia de este equilibrio para el desarrollo sostenible de la región.

“Capítulo II”: “Se detalla la estrategia metodológica empleada en la investigación, incluyendo el diseño del estudio, los métodos de recolección y análisis de datos, y los modelos predictivos utilizados. Se describe el enfoque cuantitativo y cualitativo adoptado, así como las herramientas y técnicas específicas para evaluar el costo ambiental y la efectividad en la remoción de contaminantes. Se destaca la importancia de una metodología rigurosa y sistemática para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos”.

“Capítulo III”: Se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de los modelos predictivos y el análisis de datos. Se incluyen gráficos, tablas y descripciones detalladas de los hallazgos, mostrando la relación entre los costos ambientales y los niveles de remoción de cargas residuales. Los resultados demuestran cómo diferentes variables operativas y tecnológicas influyen en el balance costo-beneficio, proporcionando insights clave para la optimización de las operaciones de la planta de tratamiento”.

“Capítulo IV”: “Se analiza en profundidad los resultados obtenidos, comparándolos con estudios previos y teorías existentes. Se discuten las implicaciones de los hallazgos para la gestión de la planta de tratamiento y la política ambiental en general. Se abordan las limitaciones del estudio y se proponen posibles explicaciones para los resultados observados, destacando áreas para futuras investigaciones y mejoras en las prácticas actuales”.

“Capítulo V”: “Se sintetizan las principales conclusiones del estudio, resaltando la importancia de considerar tanto la eficiencia operativa como los costos ambientales en la

gestión de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se concluye que es posible lograr un equilibrio sostenible que optimice la remoción de contaminantes mientras se minimizan los impactos ambientales, proporcionando recomendaciones específicas para la implementación de prácticas más sostenibles”.

“Capítulo VI”: “Ofrece recomendaciones basadas en los resultados y conclusiones del estudio. Se sugieren estrategias para mejorar la eficiencia de la planta de tratamiento, reducir costos ambientales y promover la adopción de tecnologías más sostenibles. Además, se destacan la necesidad de políticas y regulaciones que apoyen estas iniciativas y fomenten la colaboración entre diferentes actores involucrados en la gestión de aguas residuales.”.

“Capítulo VII”: “Se presenta la lista de referencias utilizadas a lo largo del estudio, formateadas según el estilo de citas IEEE. Se incluyen artículos de revistas científicas, libros, informes técnicos y otras fuentes relevantes que han proporcionado la base teórica y contextual para la investigación”.

1.1. Situación problemática

En el contexto del siglo XXI, la gestión de aguas residuales se ha convertido en un desafío crítico, especialmente en regiones en desarrollo como Boca del Río, Pisco, Ica. La planta de tratamiento de aguas residuales de esta localidad enfrenta la necesidad imperiosa de equilibrar la eficiencia operativa con la sostenibilidad ambiental. Esta problemática es aún más relevante cuando se considera el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas, particularmente el ODS 6: "Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos".

El siglo XXI ha traído consigo una mayor conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y la necesidad de prácticas más responsables en todos los sectores. En este contexto, es crucial que las plantas de tratamiento de aguas residuales adopten enfoques integrales que no solo maximicen la eficiencia en la remoción de contaminantes, sino que también minimicen los impactos ambientales. La implementación de tecnologías avanzadas y el uso de modelos predictivos para

evaluar y optimizar los costos ambientales se presentan como soluciones viables para abordar estos desafíos.

La gran inquietud científica sobre los diferentes contaminantes no es solamente, que puedan entrar al ambiente por diversas vías, sino que los criterios específicos de calidad ambiental, no han sido establecido para todos los contaminantes identificados de manera que, las consecuencias culminan en incorrectos diseños sobre tratamientos para eliminarlos de las aguas residuales[1], [2].

Los actuales enfoques sobre la predicción de riesgo ambiental en eco toxicología acuática radican en que deben realizarse de forma anticipada y cuyo propósito será, proporcionar información útil sobre el estado futuro del ecosistema [3], [4]. Diversos agentes químicos que ingresan hacia el ecosistema acuático como son los metales pueden degradar diferentes componentes (agua, sedimentos y/o biota); y por ende, comprometer la optimización sobre determinado recurso utilizado como servicio ecosistémico[5], afectando su disponibilidad [6], [7].

Dentro de las grandes incertidumbres para muchas sociedades está en conocer, cuál sería el costo ambiental de la contaminación en los recursos hídricos, pues la problemática no es tan simple como pudiera parecer ya que la calidad, además, de ser referida a la variabilidad de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, presencia de químicos naturales que superan sus concentraciones o xenobióticos disponibles [8], [9], [10], se ha incluido de forma conjunta, las preocupaciones sobre cuánto resultaría la recuperación y accesibilidad de los recursos hídricos una vez que se encuentren impactados[11], [12].

1.2. “Antecedentes del problema”

1.2.1. “Antecedentes Internacionales”

Eficiencia en el “tratamiento de aguas residuales”: Un estudio realizado en Estados Unidos por el Environmental Protection Agency (EPA) analizó las tecnologías avanzadas en plantas de tratamiento y su efectividad en la remoción de contaminantes, subrayando la importancia de adoptar

sistemas de monitoreo en tiempo real “para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos ambientales”[13].

“Las plantas de tratamiento de aguas residuales son fundamentales para fomentar el bienestar y aumentar la conciencia ambiental en la sociedad actual”. No obstante, únicamente los sistemas que funcionan de manera eficiente y son vigilados de cerca pueden ser calificados como ambientalmente viables. Por consiguiente, [14], “realizó un estudio sobre el riesgo ambiental asociado a las plantas de tratamiento de aguas residuales en Polonia. Analizaron muestras de agua antes y después de las descargas en varias ciudades principales”. “Los resultados indicaron que algunas instalaciones requieren una evaluación individualizada para determinar su capacidad de eliminación de contaminantes y ajustar los procesos para reducir los contaminantes que más afectan a los ecosistemas locales”.

Tecnologías sostenibles: Investigaciones en Europa, particularmente en Alemania, han demostrado que la implementación de tecnologías de membranas y procesos biológicos avanzados puede aumentar significativamente la eficiencia de la remoción de nutrientes y contaminantes emergentes, reduciendo al mismo tiempo el consumo energético y la producción de lodos [15].

“Para evaluar el rendimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, se utilizó un enfoque de función de distancia, considerando costos de capital, consumo de energía, eliminación de cuatro contaminantes y emisiones de gases de efecto invernadero”. “Los análisis mostraron que el tamaño de las instalaciones, la tecnología utilizada y la presencia de tratamiento terciario influyen significativamente en la eficiencia”. “Las plantas grandes, que usaban biorreactores o procesos anaeróbico-anóxicos y carecían de tratamiento terciario, demostraron ser más eficientes en la eliminación de contaminantes y el control de emisiones de gases de efecto invernadero”[16].

Modelos predictivos: Un estudio en Australia destacó el uso de modelos predictivos “para la gestión de plantas de tratamiento de aguas residuales”, permitiendo la optimización de procesos y la reducción de costos operativos. Estos modelos integran datos históricos y en tiempo real para prever el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios operativos[17].

Impacto ambiental y económico: En Japón, investigaciones sobre “el análisis del ciclo de vida de las plantas de tratamiento de aguas residuales” han mostrado que la adopción de prácticas más sostenibles no solo reduce el impacto ambiental, sino que también puede ser económicamente viable a largo plazo. Este enfoque holístico considera todas las etapas del ciclo de vida, desde la construcción hasta la operación y el desmantelamiento [18].

“Cumplimiento de los ODS: La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) ha promovido estudios que alinean las prácticas de tratamiento de aguas residuales con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6”. “Estos estudios destacan la importancia de implementar políticas integradas que aborden tanto la eficiencia del tratamiento como la gestión sostenible de los recursos hídricos” [19].

1.2.2. Antecedentes nacionales

Optimización de plantas de tratamiento: Un estudio realizado en Lima por “el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL)” evaluó la eficiencia de diferentes tecnologías de tratamiento en la planta de La Atarjea. La investigación destacó la importancia de la modernización tecnológica y la capacitación del personal para mejorar la remoción de contaminantes y reducir costos operativos[20].

Eficiencia energética: “En Cusco, se estudió la incorporación de sistemas de energía renovable en plantas de tratamiento de aguas residuales. Los hallazgos indicaron que la adopción de energía solar y eólica puede

disminuir notablemente los costos energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero”[21].

Impacto de la gestión de lodos: El estudio enfatizó la necesidad de implementar prácticas más sostenibles para el manejo de lodos, como la producción de biogás y la reutilización de lodos tratados como fertilizantes[22].

“Calidad del agua y salud pública”: “Se investigó cómo el tratamiento de aguas residuales afecta la calidad del agua en los ríos. Los resultados mostraron que una gestión y tratamiento mejorados pueden reducir considerablemente la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua en la comunidad local”[23].

“Se realizó un estudio sobre el cumplimiento de normativas ambientales en plantas de tratamiento de aguas residuales”. “Este análisis destacó la necesidad de mejorar la supervisión y el cumplimiento regulatorio para garantizar que las plantas operen de manera eficiente y sostenible”[24].

1.2.3. Antecedentes locales

Con los “valores obtenidos, se llevó a cabo una estimación del costo ambiental sostenible relativo (COASOR), que relacionó el costo de evaluación (CE) con el costo de prevención normativo (CONP). La predicción del riesgo ecotoxicológico se realizó utilizando el programa computacional Gecotoxic”[20]. “Se descubrió que solo el oxígeno disuelto cumplía con las normativas establecidas, con un porcentaje de remoción del 33,33%, lo que se consideró poco eficiente”. “El orden de eficiencia en el tratamiento fue el siguiente: $\text{NH}_4^+ > \text{DBO}_5 > \text{OD} > \text{PO}_4^{3-} = \text{NO}_2^- = \text{NO}_3^-$ ”[20].

1.3. Bases teóricas

1.3.1. “Costo ambiental de la contaminación de las aguas”

[25], “La situación de la disponibilidad de agua dulce en el mundo es extremadamente frágil y se complica cada vez más debido a múltiples

factores, incluyendo la contaminación del agua, las fluctuaciones económicas y su importancia estratégica para quienes la controlan, según diversos informes”. “El aumento de la demanda de agua para la agricultura, la industria y el consumo humano ha generado conflictos que probablemente se intensificarán en los próximos 15 años debido al crecimiento poblacional”. “La falta de planificación y conciencia en la gestión de este recurso está conduciendo a problemas como la acidificación del suelo, la sedimentación en cuerpos de agua, enfermedades gastrointestinales vinculadas al consumo de agua contaminada”, y “un incremento en abortos y malformaciones genéticas debido a la presencia de metales pesados en el agua”[26]. “La ambición de conglomerados económicos por controlar recursos como el petróleo, el gas natural y el agua dulce ha convertido al agua en un recurso estratégico del siglo XXI, esencial e irremplazable para la supervivencia humana”.

[27], “En el marco del 3er Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, llevado a cabo el 16 de marzo de 2009 en Estambul, Turquía, se presentaron datos que indican que para el año 2030, aproximadamente el 47% de la población mundial residirá en regiones con escasez de agua (OCDE)”. [28], [29], “científicos expertos han planteado la hipótesis de que el calentamiento global influirá en la intensificación, aceleración y aumento del ciclo hidrológico global. Asimismo, “un análisis que examinó más de 100 estudios sobre observaciones de cambios recientes en el ciclo hidrológico global encontró que, en la segunda mitad del siglo XX, hubo un aumento en la frecuencia de escorrentías, inundaciones”, sequías y otros eventos climáticos tanto a nivel regional como mundial[30], “se ha señalado que durante el siglo XXI, las sequías han sido más severas, asociadas con el incremento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones, impactando a un número creciente de personas” [31].

1.3.2. “Contaminación de las aguas”

“Es el acto de introducir materiales o diversas formas de energía, o de provocar condiciones en el agua, de manera directa o indirecta, que resulten en una alteración perjudicial de su calidad en relación con su uso o función en un ecosistema” [32]. “Asimismo, implica la transformación de sus propiedades originales, generando un peligro al ser utilizado y, a su vez, impactando negativamente en el entorno” [33]. “Continúa, en todos los casos, la contaminación del agua por aguas residuales pone en peligro la salud pública, según la Organización Mundial de la Salud (OMS)” [33].

1.3.3. “Aguas residuales”

“La teoría del tratamiento de aguas residuales abarca procesos físicos, químicos y microbiológicos, y su objetivo es eliminar los contaminantes físicos, químicos y microbiológicos presentes en los efluentes de agua. Este tratamiento tiene como propósito generar agua limpia, también conocida como efluente tratado” [34].

1.3.4. “Recurso hídrico”

“La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)” se define “como un proceso que facilita el desarrollo coordinado y la gestión de los recursos hídricos, la tierra y los recursos asociados, con el objetivo de fomentar el desarrollo económico y social, mientras se disminuyen las presiones ambientales sobre la cantidad y calidad del agua” [35].

1.3.5. “Calidad del Agua”

“Es el conjunto de concentraciones, especificaciones, sustancias orgánicas e inorgánicas, así como la composición y estado de la biota presente en un cuerpo de agua. Para esto, se consideran las variaciones espaciales y temporales, siendo factores tanto internos como externos del cuerpo de agua”. “El agua posee características variables que la diferencian según el sitio y el proceso de donde provenga, las cuales se pueden medir y clasificar según sus propiedades físicas, químicas y biológicas” [36].

1.3.6. Los agentes contaminantes

“*La Ley General del Medio Ambiente No 28611* define estas sustancias como aquellas que, en ciertas concentraciones, pueden ser dañinas para los seres vivos (humanos, plantas, animales) o afectar negativamente los Estándares de Calidad Ambiental (ECAS)”[37].

1.3.7. “Plantas de tratamientos para aguas residuales”

“Las plantas de tratamiento de aguas residuales son esenciales para promover el bienestar y la conciencia ambiental en la sociedad actual. No obstante, solo aquellas que están correctamente gestionadas y supervisadas pueden considerarse ambientalmente sostenibles”. “Se recolectaron muestras de agua antes y después de los puntos de descarga de aguas residuales en varias ciudades principales, lo que destacó la necesidad de evaluar individualmente la eficacia de la eliminación de contaminantes en ciertas plantas y ajustar sus procesos para eliminar selectivamente los contaminantes más peligrosos para los ecosistemas regionales”[38].

La investigación sobre “el análisis sobre la eficacia de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas en China reveló que dichas instalaciones”, aunque costosas, son esenciales para mejorar el entorno acuático urbano y promover el reciclaje de recursos, a pesar de sus inevitables consecuencias negativas. Para evaluar el rendimiento de estas plantas, se utilizó un enfoque “en el estudio empleó una función de distancia para evaluar la eficiencia de las plantas, tomando en cuenta tanto los costos de capital como el consumo de energía como insumos”, la eliminación de cuatro tipos de contaminantes como resultados deseados y las emisiones de gases de efecto invernadero como resultados no deseados. Según el análisis estadístico, la escala de las plantas, la tecnología empleada y la capacidad del tratamiento terciario fueron factores importantes para explicar las diferencias en la eficiencia. Las plantas de gran escala, aquellas con biorreactores o procesos anaeróbico-anóxico-óxico, y las que carecían de tratamiento terciario tendían a ser más

eficientes, destacando su capacidad para abordar tanto la contaminación del agua como las emisiones de gases de efecto invernadero[16].

“Otros investigadores llevaron a cabo un estudio en China para medir y explicar la ecoeficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). En el contexto del desarrollo sostenible, es cada vez más necesario evaluar la ecoeficiencia de estas instalaciones”. “Utilizaron el análisis de envoltura de datos (DEA), una técnica comúnmente empleada para evaluar la eficiencia relativa, junto con el enfoque de tolerancias para manejar la diversidad de insumos y productos de las PTAR, así como su incertidumbre”. “Integraron aspectos como el costo económico, el consumo de energía, la eliminación de contaminantes y el impacto en el calentamiento global durante los procesos de tratamiento para interpretar la ecoeficiencia de las PTAR”. “Al evaluar 736 plantas en toda China, observaron sensibilidades significativas a las variaciones en los insumos y productos, con solo tres PTAR identificadas como estables”. “Concluyeron que incluir la cuantificación de la incertidumbre y considerar el impacto ambiental mejora la responsabilidad y la aplicabilidad de la evaluación”[39].

1.4. “Formulación del problema general”

“La Planta de Tratamiento de aguas residuales” “Boca del Rio” de Pisco, esta planta se descarga los emisores de efluentes de la ciudad, pero los emisores de las partes cercanas al rio Pisco son arrojados a este, generando una fuerte contaminación, “para evaluar esta contaminación existen diversos parámetros, entre ellos está la demanda bioquímica de oxígeno y el oxígeno disuelto, con las cuales se puede medir la calidad de las aguas”[40].

En la actualidad, “no se cuenta con estudios cuantitativos que evalúen la interacción de la demanda bioquímica de oxígeno con el oxígeno disuelto en el rio Pisco”[40].

1.4.1. “Problema general”

¿“De qué manera la predicción del costo ambiental sostenible relativo contribuye significativamente a la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”?

1.4.2. “Problemas específicos”

PE1: ¿“En qué medida el costo normativo en la remoción de contaminantes influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”?

PE2: ¿“De qué manera el costo ambiental sostenible relativo mejora significativamente la calidad del efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”?

1.5. “Objetivos de la investigación”

1.5.1. “Objetivo principal”

“Predecir que el costo ambiental sostenible relativo contribuye significativamente a la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, en 2023”.

1.5.2. “Objetivos Específicos”

OE1: “Determinar que el costo normativo en la remoción de contaminantes influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”.

OE2: “Evaluar que el costo ambiental sostenible relativo mejora significativamente la calidad del efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”.

1.6. “Hipótesis de investigación”

1.6.1. “Hipótesis principal”

“El costo ambiental sostenible relativo contribuye influye significativamente a la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”

1.6.2. “Hipótesis Específicas”

HE1. “El costo normativo en la remoción de contaminantes influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”.

HE2. “El costo ambiental sostenible relativo mejora significativamente la calidad del efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”

1.6.3. “Variables de investigación”

“Variable independiente”

“Costo ambiental sostenible relativo”: – “Se refiere a la evaluación económica de los costos ambientales asociados con el tratamiento de aguas residuales, tomando en cuenta tanto los costos de evaluación (CE) como los costos de prevención normativos (CONP)”.

Variable independiente

Remoción de las cargas residuales. – Se refiere al proceso de eliminación de contaminantes y sustancias nocivas presentes en las aguas residuales mediante diversas técnicas de tratamiento. Este proceso incluye la reducción de materia orgánica, nutrientes (como nitrógeno y fósforo), metales pesados, compuestos tóxicos y microorganismos patógenos[41].

Variable interviniente

Tecnología de tratamiento utilizada. – “La tecnología de tratamiento de aguas residuales juega un papel crucial en la eficiencia y efectividad del

proceso de remoción de contaminantes y, por lo tanto, en el costo ambiental sostenible relativo”. “Diferentes tecnologías, como procesos biológicos, químicos o físicos, tienen distintas capacidades para eliminar cargas residuales y afectan los costos operativos y de mantenimiento, así como el impacto ambiental general de la planta”[\[42\]](#).

Tabla 1. “Operacionalización de las variables”

“Variable”	“Conceptualización”	“Dimensiones”	“Indicadores”	“Unidades de medida”	“Técnicas e Instrumentos”
VI: Costo ambiental sostenible relativo	“Se emplea para evaluar la eficiencia y sostenibilidad de las plantas de tratamiento en relación con su impacto ambiental. En esencia, busca equilibrar los costos necesarios para reducir el daño ambiental con los beneficios económicos y sociales derivados del proceso de tratamiento de aguas residuales. Un análisis adecuado de este costo permite a los gestores de plantas de tratamiento optimizar los recursos, minimizar los impactos negativos sobre el medio ambiente y asegurar la sostenibilidad a largo plazo del sistema de tratamiento”[43].	DI,1: “Costo normativo en la remoción de contaminantes “	“Aceites y grasas” “cloruros” “Demanda bioquímica de oxígeno” “Demanda química de oxígeno” “Nitratos” “Oxígeno disuelto” “Sulfatos”	“µg/L” “µg/L” “µg/L” “µg/L” “µg/L” “µg/L” “µg/L”	Observación Método de ensayo
VD: Remoción de las cargas residuales	La eficacia de la remoción de cargas residuales es crucial para garantizar que el efluente tratado cumpla con las normativas ambientales y no cause daños al medio ambiente ni a la salud pública. “La adopción de tecnologías avanzadas y la optimización de los procesos de tratamiento son esenciales para incrementar la eficiencia en la eliminación de contaminantes, promoviendo así la sostenibilidad de los recursos hídricos y la protección de los ecosistemas acuáticos”[41].	DI,1: “Calidad del efluente”	del Eficiencia de remoción	%	Observación Análisis de datos

1.7. “Justificación e Importancia”

1.7.1. “Justificación”

“La investigación, ofrece un aporte significativo al campo de la gestión ambiental y el tratamiento de aguas residuales. Este estudio presenta un enfoque innovador para la evaluación del costo ambiental sostenible relativo, proporcionando una herramienta cuantitativa crucial para optimizar el equilibrio entre costos y beneficios ambientales en el tratamiento de aguas residuales. Además, la investigación contribuye a mejorar la calidad del efluente mediante la identificación y ajuste de estrategias operativas más eficientes, con aplicaciones prácticas inmediatas que permiten a los operadores de plantas de tratamiento tomar decisiones informadas y reducir costos a largo plazo. La validación de resultados a través de métodos estadísticos rigurosos refuerza la credibilidad científica del estudio, estableciendo un marco sólido para futuras investigaciones y fomentando prácticas sostenibles en la gestión de recursos hídricos”.

1.7.2. Importancia

“La importancia de la investigación, radica en su contribución a la optimización de los procesos de tratamiento de aguas residuales. Al desarrollar y aplicar una metodología que permite predecir el costo ambiental sostenible relativo, el estudio proporciona una herramienta esencial para mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental de las plantas de tratamiento. Además, los hallazgos sobre la remoción de cargas residuales ofrecen datos valiosos para la mejora continua de la calidad del efluente, promoviendo prácticas más limpias y eficientes. Esta investigación no solo tiene implicaciones directas para la planta específica estudiada, sino que también sirve como un modelo para otras instalaciones, aportando un enfoque práctico y sostenible que puede ser replicado y adaptado en diversos contextos”.

1.8. “Definiciones conceptuales”

1.8.1. “Agua residual domiciliaria”

[44] “Las aguas residuales domésticas son aquellas que, tras ser utilizadas en diversas actividades en los hogares, son vertidas en sistemas de alcantarillado o descargadas en cuerpos de agua como ríos, quebradas y lagos”.

1.8.2. “Aguas residuales industriales”

[44] “Proceden de los procesos llevados a cabo en fábricas y establecimientos industriales, y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos, grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición varía considerablemente en función de las diversas actividades industriales”.

1.8.3. “Aguas residuales agrícolas”

“Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)”, “las aguas residuales agrícolas son el agua que ha sido utilizada para el riego agrícola y que contiene residuos de fertilizantes, pesticidas y sedimentos que pueden ser perjudiciales para los cuerpos de agua y los ecosistemas[45]”.

1.9. “Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para calidad del agua”

1.9.1. “Decreto Supremo N°004-2017-MINAM”

“La normativa legal empleada para comparar los valores de los parámetros de calidad del agua es el Decreto Supremo N°004-2017–MINAM”. “Según esta norma, como cuerpo receptor y elemento fundamental de los ecosistemas acuáticos, no debe presentar un riesgo significativo para la salud humana ni para el medio ambiente”[46].

Tabla 2. “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen Disposiciones Complementarias”

“Parámetros”	“Unidad de medida”	“D.S. N°003-2017-MINAM” “D1: Riego de vegetales” “Agua para riego no restringido” (C)
“Aceites y grasas”	“µg/L”	5
“cloruros”	“µg/L”	500
“Demanda bioquímica de oxígeno”	“µg/L”	15
“Demanda química de oxígeno”	“µg/L”	40
“Nitratos”	“µg/L”	100
“Oxígeno disuelto”	µg/L	≥ 4
“Sulfatos”	“µg/L”	1000
“Coliformes Termotolerantes”	NMP/100mL	1000

II. “ESTRATEGIA METODOLOGICA”

2.1. “Área de estudio”

“El área de estudio para la investigación, se encuentra ubicada en la región de Boca del Río, en la provincia de Pisco”, dentro del departamento de Ica, Perú. Las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) para esta área son aproximadamente: Zona 18S, Afluente (Norte 8485593.63, Este 369169.35) y Efluente (Norte 8485714.39, Este 369502.16). Esta región se caracteriza por un clima árido con escasas precipitaciones y temperaturas elevadas, lo que puede “influir en la eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales”. La planta de tratamiento se localiza cerca del río que le da nombre, lo que tiene implicaciones significativas tanto para “la gestión del recurso hídrico como para el impacto ambiental de las descargas de efluentes”[47].



Figura 1. “Ubicación del punto de monitoreo planta de tratamiento de aguas residuales Boca de Río, Pisco”

“Ubicación de los puntos de monitoreo”

“La selección adecuada de los puntos de monitoreo es crucial para obtener datos representativos y precisos sobre la calidad del agua en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica”. Estos puntos deben estar estratégicamente ubicados antes y después “del proceso de tratamiento para evaluar eficazmente la eficiencia de remoción de contaminantes”. Además, es fundamental incluir puntos en los afluentes y efluentes, así como en áreas críticas donde se espera una mayor “variabilidad en la calidad del agua” [41].

Tabla 3. “Descripción y ubicación en coordenadas UTM de la planta de tratamiento de aguas residuales”

Nombre de EPS		EMAPISCO S.A.	
Nombre de PTAR		"BOCA DEL RIO"	
Ubicación de PTAR		FUNDO GALLINAZO	
“Localidad”	“Distrito”	“Provincia”	“Departamento”
PISCO	PISCO	PISCO	ICA
“IDENTIFICACION DE PUNTOS DE MONITOREO”			
“AFLUENTE”			
Denominación del punto de muestreo (afluente)	MEDIDOR PARSHALL		
COORDENADAS U.T.M. (WG584)			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
8485593.63	369169.35	18 L	8 msnm
CAUDAL DE OPERACIÓN	164	Método de medición	Medidor Parshall
(Promedio diario)			
“EFLUENTE”			
denominación del punto de muestreo (afluente)	CANAL DE SALIDA HACIA EL RIO PISCO		
COORDENADAS U.T.M. (WG584)			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
8485714.39	369502.16	18 L	11 msnm
CAUDAL DE OPERACIÓN	150	Método de medición	aforo en canal
(Promedio diario)			
Datos del GPS (Marca, Modelo, Numero e Serie, Precisión del Equipo)			
GARMIN - ETREX 22X - SERIE N° 65D003099			

2.1.1. “Tipo, nivel y diseño de investigación”

“Tipo de investigación”

“La investigación es de tipo aplicada se aplicaron los conocimientos existentes para aplicar soluciones viables, observacional-prospectiva-longitudinal”[48]. “Esto se debe a que aborda una cuestión concreta vinculada con la administración y tratamiento de aguas residuales en una planta de tratamiento específica”, y “sus hallazgos tienen aplicaciones prácticas directas en la optimización de procesos y en la toma de decisiones tanto ambientales como económicas” [49].

Nivel de investigación

“Es descriptivo. Se considera descriptivo porque describe las características y condiciones de los costos ambientales y la eficacia del tratamiento de aguas residuales en la planta” [50].

“Diseño de la investigación”

“El diseño de la investigación es de tipo no experimental. La investigación no manipula deliberadamente las variables independientes, sino que observa y analiza las variables tal como se presentan en el contexto natural de la planta de tratamiento de aguas residuales”[49].

2.1.2. “Población y muestra”

“Población”

“La población de esta investigación está constituida por todas las plantas de tratamiento de aguas residuales” (PTAR) en la región de Pisco, Ica. Este conjunto incluye diversas instalaciones que operan bajo diferentes condiciones y tecnologías para tratar aguas residuales provenientes de fuentes urbanas, industriales y agrícolas. Estas plantas varían en tamaño, capacidad de tratamiento y tipos de contaminantes que procesan. La población general incluye tanto “plantas de tratamiento de gran escala” como aquellas de menor envergadura,

abarcando una amplia gama de tecnologías y enfoques de tratamiento de aguas residuales[51].

Muestra

Para esta investigación, se seleccionó una muestra específica representada por “la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio en Pisco”, Ica. Esta planta fue elegida debido a su relevancia y representatividad en términos de tamaño, capacidad de tratamiento, y diversidad de contaminantes que maneja. La selección de esta planta se justifica por su impacto significativo “en el tratamiento de aguas residuales en la región y su potencial para proporcionar datos detallados” y precisos sobre la remoción de cargas residuales y los costos ambientales asociados[52] y [53].



Figura 2. “El afluente de aguas residuales procedente de Pisco y San Andrés”

2.1.3. “Técnicas de recolección de datos”

“Análisis Documental”: Se recopiló los documentos, informes técnicos, normativas ambientales, y estudios previos relacionados con “la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco”, Ica. Esta técnica permitió obtener una base teórica y contextual sólida

sobre los costos ambientales y la eficiencia en la remoción de cargas residuales[51].

Observación Directa: Se realizo visita in situ a la planta de tratamiento para observar y registrar los procesos de tratamiento de aguas residuales, así como las condiciones operativas y ambientales de la instalación. La observación directa proporciono datos empíricos y contextuales necesarios para evaluar la eficiencia del tratamiento y los costos asociados[53].

2.1.4. “Instrumentos de recolección de datos”

Verificación de instrumentos: “Se utilizó una lista de verificación de instrumentos durante la visita a la planta”, para asegurar que se recopilaran datos específicos sobre el proceso de tratamiento. Esta lista ayudo a sistematizar la observación y garantizar la coherencia en la recolección de datos[54].

Tabla 4. “Verificación de instrumentos de campo”

N°	Descripción	Equipo
1	“MEDIDOR OXIGENO DISUELTO” “Marca: Oakton” “Modelo: DO 450”	
2	“MEDIDOR PH DE MESA” “Marca: Oakton” “Modelo: ION 2700” “Serie: 2720841”	
3	“MEDIDOR CONDUCTIVIDAD DE MESA” “Marca: Oakton” “Modelo: CON 2700” “Serie: 2731054”	

- 4 “TURBIDIMETRO DE MESA”
“Marca: Hach Co.”
“Modelo: TL 2300”
“Serie: 2018050C0209”



- 5 “MEDIDOR MULTIPARAMETRO”
“Marca: Hach Co.”
“Modelo: HQ40d”
“Serie: 180300003690”



Software de Análisis Estadístico: Se empleo programas de análisis estadístico, como Microsoft Excel, para procesar y analizar los datos cuantitativos recolectados sobre los costos y la eficiencia del tratamiento. Este programa permitió realizar análisis descriptivos, facilitando la interpretación de los resultados[55].

2.1.5. “Técnicas de procesamiento de datos e interpretación de los resultados”

“Técnicas de procesamiento de datos”

“Análisis Estadístico Descriptivo”: “Se aplicó esta técnica para sintetizar y detallar las propiedades clave de los datos obtenidos. Se emplearon medidas de dispersión, como la desviación estándar y la varianza, para analizar la distribución y variabilidad de los datos relacionados con los costos ambientales y la eficacia en la eliminación de cargas residuales”[55].

Interpretación de Resultados

Normas y Estándares: Los resultados obtenidos se compararon con las normativas ambientales vigentes y “los estándares de calidad del agua para evaluar el cumplimiento” y la eficacia del tratamiento de aguas residuales. Esto incluyó la comparación de los niveles de contaminantes remanentes con los límites establecidos por entidades regulatorias[56].



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL SA
CON REGISTRO N° LE-043**



INACAL
INstituto Nacional de Acreditación y Certificación
Registro N° LE-043



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL SA
CON REGISTRO N° LE-043**



INACAL
INstituto Nacional de Acreditación y Certificación
Registro N° LE-043

INFORME DE ENSAYO FQ N° 210118-039

Código del Cliente	150101	150102	150103	150104	150105
Descripción del Proyecto					
Código de Laboratorio	150101	150102	150103	150104	150105
Tipos de Pruebas	150101	150102	150103	150104	150105
Fecha de Emisión	150101	150102	150103	150104	150105
Fecha de Recepción	150101	150102	150103	150104	150105

INDICADOR	UNIDAD	L.B.	L.C.	RESULTADOS
Temperatura Control	°C	20.0	20.5	20.0
pH Control	pH	6.5	6.8	6.7
Concentración de Sólidos Totales	mg/L	100	105	102
Concentración de Sólidos Volátiles	mg/L	50	55	52
Concentración de Sólidos Suspendidos	mg/L	10	15	12
Concentración de Sólidos Disueltos	mg/L	5	10	8
Concentración de Sólidos Filtrables	mg/L	1	2	1.5
Concentración de Sólidos Sedimentables	mg/L	0.5	1.0	0.8
Concentración de Sólidos Totales	mg/L	100	105	102
Concentración de Sólidos Volátiles	mg/L	50	55	52
Concentración de Sólidos Suspendidos	mg/L	10	15	12
Concentración de Sólidos Disueltos	mg/L	5	10	8
Concentración de Sólidos Filtrables	mg/L	1	2	1.5
Concentración de Sólidos Sedimentables	mg/L	0.5	1.0	0.8

INDICADOR	UNIDAD	L.B.	L.C.	RESULTADOS
Temperatura Control	°C	20.0	20.5	20.0
pH Control	pH	6.5	6.8	6.7
Concentración de Sólidos Totales	mg/L	100	105	102
Concentración de Sólidos Volátiles	mg/L	50	55	52
Concentración de Sólidos Suspendidos	mg/L	10	15	12
Concentración de Sólidos Disueltos	mg/L	5	10	8
Concentración de Sólidos Filtrables	mg/L	1	2	1.5
Concentración de Sólidos Sedimentables	mg/L	0.5	1.0	0.8

Emisión en Lima, el 15 de Enero de 2021



III. RESULTADOS

3.1. “Predecir el costo ambiental sostenible relativo y la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio”

El objetivo, se fundamenta en la necesidad de predecir la operatividad de la planta para asegurar su sostenibilidad a largo plazo. La planta de tratamiento de aguas residuales es un componente esencial para la gestión de los recursos hídricos y la protección del medio ambiente, especialmente en áreas con alta densidad de población y actividad agrícola e industrial como Pisco y San Andrés.

“Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia para seleccionar los puntos de entrada y salida (canal) del afluente y efluente. En cada ubicación se llevaron a cabo tres réplicas de muestreo”.

“Para comparar los resultados, se emplearon los estándares establecidos por el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM”, “específicamente la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales; Subcategoría D1: Riego de vegetales, Agua para riego no restringido (c)”. “La determinación del costo ambiental sostenible relativo para la muestra compuesta del punto de salida se realizó utilizando la fórmula siguiente” [58].

$$RESCO = \frac{\sum_i^n COA}{\sum_i^n CONP}$$

Donde:

“RESCO”	=	“Costo ambiental sostenible relativo”
“COA”	=	“Costo de evaluación (medición de cumplimiento sobre parámetros)”
“CONP”	=	“Costo de prevención normativo (número de parámetros medidos)”
“i”	=	“Observación inicial” y
“n”	=	“Observación final”

La tabla 5 presenta el criterio de puntuación asignado en función del cumplimiento de las concentraciones reglamentarias, “por su parte, la tabla 6 establece las categorías de sostenibilidad del recurso hídrico”, basadas en el cociente determinado por los valores establecidos.

Tabla 5. “Criterio de puntuación / costo ambiental sostenible relativo”[58]

Ítem	Criterio	Puntuación
1	“Cumple el valor establecido por la norma regulatoria utilizada”	“1”
2	“No cumple el valor establecido por la norma regulatoria utilizada”	“0”

Tabla 6. “Categorías del costo ambiental sostenible relativo / intervalo”[58]

Ítem	Criterio	Puntuación
1	“Recurso sostenible relativo”	1.0
2	“Recurso moderadamente sostenible relativo”	0.85 – 0.99
3	“Recurso ligeramente sostenible relativo”	0.60 – 0.84
4	“Recurso poco sostenible relativo”	0.41 – 0.59
5	“Recurso no sostenible relativo”	0.0 – 0.40

“Basándose en los parámetros fisicoquímicos de la muestra compuesta del agua residual en el punto de entrada, se calculó el coeficiente de transformación (f) mediante la siguiente fórmula”: [59].

$$f = \frac{DBO_5}{DQO}$$

“La identificación del tipo de agua residual, utilizando el coeficiente de transformación, se llevó a cabo conforme a lo descrito en la tabla 7”.

Tabla 7. “Coeficiente de transformación / agua residual”[58]

Ítem	“F”	“Tipo de agua residual”	“biodegradabilidad”
1	> 0.7	Urbanas puras	Muy biodegradables
2	0.2 – 0.7	Industriales	Biodegradables
3	< 0.2		No biodegradables

Criterio de predicción éticos a tener en cuenta

1. *Del impacto ambiental:*

Dado que el estudio realizado fue la predicción de una planta de tratamiento de aguas residuales, fue crucial que las actividades de investigación no causen un impacto ambiental adicional. Las prácticas de muestreo y análisis fueron diseñadas para ser lo menos invasivas posible, cumpliendo con todas las regulaciones ambientales vigentes y promoviendo la sostenibilidad.

2. *De la seguridad y bienestar de la investigación:*

Se garantizó la seguridad y el bienestar de la investigación que fue fundamental. Esto incluyó proporcionar el equipo de protección personal adecuado y capacitar al personal de apoyo en prácticas seguras de manejo y recojo de muestras de aguas residuales. Se estableció en base al protocolo de seguridad para prevenir riesgos de salud y accidentes durante la investigación.

3. *Responsabilidad y beneficio social:*

La investigación se realizó con un enfoque en el beneficio social, asegurando que los resultados contribuyan positivamente a la gestión de las aguas residuales y la mejora del medio ambiente local. Los hallazgos serán comunicados a las autoridades locales y a la comunidad, con recomendaciones prácticas para optimizar la planta de tratamiento y reducir el impacto ambiental.

4. *Cumplimiento legal y normativo:*

El estudio logró cumplir con las normas ambientales, de salud y seguridad.

3.2. “Determinar el costo normativo en la remoción de contaminantes y la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio”

“En la investigación, resultó crucial obtener el consentimiento informado de todos los participantes y asegurar la confidencialidad de los datos recopilados”. La investigación se realizó con transparencia e integridad científica, asegurando la presentación honesta de todos los datos y resultados.” Además, se minimizo el impacto ambiental de las actividades de investigación”, cumpliendo con todas las regulaciones ambientales vigentes y promoviendo prácticas sostenibles.

Parámetros Fisicoquímicos

“Los parámetros fisicoquímicos son fundamentales para evaluar la calidad de las aguas residuales”, estos parámetros proporcionan información crítica sobre la eficiencia del tratamiento y la conformidad con las normativas ambientales.

“Entre los principales parámetros fisicoquímicos se encuentran el pH, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO), aceites y grasas, cloruros, nitratos, oxígeno disuelto, y sulfatos”. “El pH indica la acidez o alcalinidad del agua, afectando la solubilidad y toxicidad de los contaminantes”. La DBO₅ y la DQO son indicadores de la materia orgánica presente, esencial para determinar la carga de contaminantes biodegradables y no biodegradables, son parámetros críticos que deben ser monitoreados y controlados estrictamente[60].

Tabla 8. “Resultados de los parámetros fisicoquímicos para la calidad del afluente y efluente, Monitoreo 1 (21.03.2024)”

“Parámetros Fisicoquímicos”	“Unidad”	“Resultados”		“D.S. N°004-2017-MINAM” “C3: Riego de vegetales y bebida de animales. Agua para riego no restringido
		GG-01	GG-02	
“Aceites y grasas”	“µg/L”	24.7	1.6	5
“Cloruros”	“µg/L”	540	559	500
“Demanda bioquímica de oxígeno”	“µg/L”	145	56.2	15

“Demanda química de oxígeno”	“µg/L”	326	202	40
“Nitrógeno amoniacal”	“µg/L”	23.8	33	100
“Sulfatos”	“µg/L”	190	42	1000

**Tabla 9. “Resultados de los parámetros fisicoquímicos para la calidad del
afluente y efluente, Monitoreo 2 (10.05.2024)”**

“Parámetros Fisicoquímicos”	“Unidad”	“Resultados”		“D.S. N°004-2017-MINAM” “C3: Riego de vegetales y bebida de animales. Agua para riego no restringido
		GG-01	GG-02	
“Aceites y grasas”	µg/L	33.7	1.6	5
“Cloruros”	µg/L	420	428	500
“Demanda bioquímica de oxígeno”	µg/L	287	76.5	15
“Demanda química de oxígeno”	µg/L	648	165	40
“Nitrógeno amoniacal”	µg/L	48.2	33	100
“Sulfatos”	µg/L	120	82.1	1000

**Tabla 10. “Resultados de los parámetros fisicoquímicos para la calidad
del afluente y efluente, Monitoreo 3 (21.06.2024)”**

“Parámetros Fisicoquímicos”	“Unidad”	“Resultados”		“D.S. N°004-2017-MINAM” “C3: Riego de vegetales y bebida de animales. Agua para riego no restringido
		GG-01	GG-02	
“Aceites y grasas”	µg/L	63.7	1.6	5
“Cloruros”	µg/L	570	590	500
“Demanda bioquímica de oxígeno”	µg/L	242	48.2	15
“Demanda química de oxígeno”	µg/L	526	120	40
“Nitrógeno amoniacal”	µg/L	44.7	6.85	100
“Sulfatos”	µg/L	280	193	1000

“El costo ambiental sostenible relativo para el agua residual (considerando la muestra compuesta del punto de entrada en los puntos GG-01, GG-02 y GG-03) se estimó como recurso no sostenible relativo (tabla 11)”:

Tabla 11. “Resultados de los parámetros fisicoquímicos para la calidad del Efluente, Monitoreos 1, 2 y 3”

“Parámetros Fisicoquímicos”	“Unidad”	“Resultados”			“D.S. N°004-2017-MINAM” “C3: Riego de vegetales y bebida de animales. Agua para riego no restringido
		GG-01 21.03.2024	GG-02 10.05.2024	GG-03 21.06.2024	
“Aceites y grasas”	µg/L	1.6	1.6	1.6	5
“Cloruros”	µg/L	559	428	590	500
“Demanda bioquímica de oxígeno”	µg/L	56.2	76.5	48.2	15
“Demanda química de oxígeno”	µg/L	202	165	120	40
“Nitrógeno amoniacal”	µg/L	33	33	6.85	10
“Sulfatos”	µg/L	42	82.1	193	1000

“En consecuencia, se aplicó la fórmula del costo ambiental sostenible relativo a los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del efluente, realizándose en tres ocasiones diferentes en fechas distintas, como se detalla a continuación”: GG-01 (21.03.2024), GG-02 (10.05.2024) y GG-03 (21.06.24). Tabla 12.

$$RESPO = \frac{\text{Muestra compuesta}}{\text{Numero de muestras}}$$

$$RESPO = \frac{AG + CLORUROS + DBO_5 + DQO + NITRO. AMONIA CAL + SULFATOS}{6}$$

$$RESPO = \frac{1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1}{6} = \frac{2}{6}$$

RESPO = 0.33

Tabla 12. “Costo ambiental sostenible relativo del efluente / calidad de aguas residuales”[58]

Monitoreo a la Salida	Criterio	Intervalo	Valor
GG-01 (21.03.2024)	“Recurso no sostenible relativo”	“0.0 – 0.4”	“0.33”
GG-02 (10.05.2024)			
GG-03 (21.06.2024)			

El coeficiente de transformación (f) es un valor que se utilizó para describir la relación entre las concentraciones de contaminantes en diferentes puntos “de un proceso de tratamiento de aguas residuales”. Específicamente, este coeficiente indica la eficiencia con la cual un contaminante es removido o transformado a lo largo del sistema de tratamiento. Calculado a partir de” parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento”, el coeficiente de transformación es crucial para evaluar y optimizar los procesos de depuración, asegurando que el efluente final cumpla con las normas ambientales y minimice su impacto en el ecosistema receptor[41], [60], Los resultados están detallados en la Tabla 13 (afluente) y en la Tabla 14 (efluente):

$$f = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$f_{Monitoreo\ 1,\ entrada} = \frac{145}{326}$$

$$f_{Monitoreo\ 1,\ entrada} = 0.46$$

$$f_{Monitoreo\ 2,\ entrada} = \frac{287}{648}$$

$$f_{Monitoreo\ 2,\ entrada} = 0.44$$

$$f_{Monitoreo\ 3,\ entrada} = \frac{242}{526}$$

$$f_{Monitoreo\ 3,\ entrada} = 0.46$$

**Tabla 13. “Coeficiente de transformación de oxígeno calculado (f) a la entrada
afluente / aguas residuales”[58]**

Monitoreo a la entrada Afluente	f	Valor	Tipo de agua residual	biodegradabilidad
GG-01 (21.03.2024)		0.46		
GG-02 (10.05.2024)	02 – 0.7	0.44	Industriales	Biodegradables
GG-03 (21.06.2024)		0.46		

$$f_{\text{Monitoreo 1, salida}} = \frac{56.2}{202}$$

$$f_{\text{Monitoreo 1, salida}} = 0.28$$

$$f_{\text{Monitoreo 2, salida}} = \frac{76.5}{165}$$

$$f_{\text{Monitoreo 2 salida}} = 0.46$$

$$f_{\text{Monitoreo 3, salida}} = \frac{48.2}{120}$$

$$f_{\text{Monitoreo 3, salida}} = 0.48$$

Tabla 14. “Coeficiente de transformación de oxígeno calculado (f) a la salida efluente / aguas residuales”[58]

Monitoreo a la salida Efluente	f	Valor	Tipo de agua residual	biodegradabilidad
GG-01 (21.03.2024)		0.28		
GG-02 (10.05.2024)	02 – 0.7	0.46	Industriales	Biodegradables
GG-03 (21.06.2024)		0.40		

Hipótesis Específica (1)

H₀: “El costo normativo en la remoción de contaminantes NO influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”

H_a: “El costo normativo en la remoción de contaminantes SI influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”

1. “Se planteo la hipótesis para los puntos del monitoreo: GG-01, GG-02 y GG-03”

$H_0: \mu \leq 100 \text{ mg/L}$ (“El costo normativo NO influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio”)

$H_a: \mu > 100 \text{ mg/L}$ (“El costo normativo SI influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio”)

“Se considero el nivel de significancia”

“ $\alpha = 0.05$ ”

Tabla 15. “Se estimo el estadístico de prueba (Estadística Descriptiva)”

“Numero aleatorios”	“Columna 1”	
76.5	“Media”	60.3000
56.2	“Error típico”	8.4228
48.2	“Mediana”	56.20
	“Desviación estándar”	14.5887
	“Varianza de la muestra”	212.83
	“Coeficiente de asimetría”	1.1648
	“Rango”	28.3
	“Mínimo”	48.2
	“Máximo”	75.5
	“Suma”	180.9
	“Cuenta”	3
	“Nivel de confianza (95.0%)”	36.2403

“Se estableció la regla de decisión”

“ $\mu = 15$ ”

“ $\alpha = 0.05$ ”

“ $n = 3$ ”

“ $gl = 2$ ”

“Se resuelve el t-Student experimental”

“ $t_{\text{Experimental}} = 5.3783$ ”

“La distribución del $t_{\text{Teórico}} = 2.9200$ (ANEXO 2: Distribución t de Student, $gl = 2$ y $\alpha = 0.05$)” obteniéndose un p valor de 0.98356

Entonces,

“Si $t_{\text{Experimental}} (5.3783) > t_{\text{Teórico}} (2.9200)$ entonces SE RECHAZA H_0 ”

Ha: “El costo normativo en la remoción de contaminantes SI influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco, Ica, 2023, ($\mu > 15$ mg/L)”.

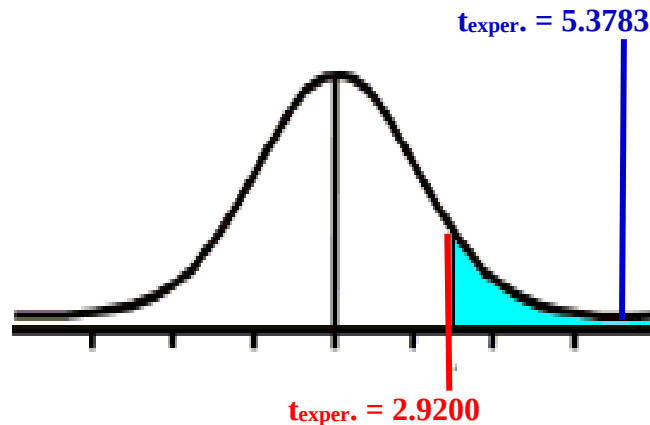


Figura 4. “Distribución de t-Student para el monitoreo a la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río. Puntos GG-01, GG-02 y GG-03”

Se afirma, que:

“El costo ambiental sostenible relativo tiene una influencia significativa en la remoción de cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco, Ica, en 2023. Los monitoreos de campo, realizados en diferentes fechas, permitieron obtener los resultados de los parámetros fisicoquímicos del efluente, presentados en la Tabla 11. Los valores para aceites y grasas fueron consistentemente de $1.6 \mu\text{m/L}$ en las tres mediciones (GG-01 el 21.03.2024, GG-02 el 10.05.2024 y GG-03 el 21.06.2024). Los cloruros mostraron variaciones de 559 mg/L , 428 mg/L y 590 mg/L , respectivamente;

mientras que la DBO₅ registró 56.2 µm/L, 76.5 mg/L y 48.2 mg/L. La DQO fluctuó entre 202 mg/L, 165 mg/L y 120 mg/L, y el nitrógeno amoniacal mostró valores de 33 mg/L, 33 mg/L y 6.85 mg/L. Los sulfatos se midieron en 42 mg/L, 82.1 mg/L y 193 mg/L.

La fórmula del costo ambiental sostenible relativo se aplicó a estos parámetros en las fechas indicadas, resultando en un RESPO de 0.33. La Tabla 12 categoriza este valor dentro del intervalo de <0.0 – 0.4>, calificándolo como un recurso no sostenible relativo. El coeficiente de transformación (f) tanto para el afluente como para el efluente se ubicó en el rango de <0.2 a 0.7>.

Se utilizó la prueba estadística t de Student para evaluar la significancia de la DBO₅ del efluente, con valores de 56.2 µg/L, 76.5 mg/L y 48.2 mg/L, un grado de libertad de 2 y un nivel de significancia de 0.05, obteniéndose un p-valor de 0.98356. Dado que el valor t experimental (5.3783) es mayor que el t_{teórico} (2.9200), se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se acepta la hipótesis alterna H_a.

Por lo tanto, se puede afirmar que el costo normativo en la remoción de contaminantes tiene una influencia significativa en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco, Ica, 2023 ($\mu > 15 \text{ mg/L}$).

3.3. “Evaluar el costo ambiental sostenible relativo y la calidad del efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río”

El costo ambiental sostenible relativo se refiere a los costos asociados con las medidas implementadas para minimizar el impacto ambiental negativo del efluente tratado, comparado con los costos necesarios para cumplir con las normativas ambientales. Este enfoque permite identificar oportunidades para mejorar la eficiencia de costos mientras se garantiza la protección del medio ambiente y la salud pública[41].

La calidad del efluente es una medida directa de la efectividad de los procesos de tratamiento en remover contaminantes y asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares regulativos. Los parámetros fisicoquímicos, como la (DBO₅),

entre otros. Un monitoreo riguroso de estos parámetros permite evaluar el desempeño de la planta y garantizar que los procesos de tratamiento sean óptimos[60]. “Por lo tanto, La valoración del costo ambiental sostenible relativo en función de la calidad del efluente ofrece una perspectiva holística sobre el balance entre los costos y los beneficios ambientales, siendo esencial para la gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos”. Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18.

Tabla 16. “Costo ambiental sostenible relativo / calidad del efluente. Monitoreo (21.03.2024)

Parámetro Fisicoquímicos	Resultados Monitoreo 1		Remoción carga residual EFLUENTE	Remoción Total carga residual	Remisión carga residual RETIRADA PROCESO	% Remoción carga residual
	GG-01	GG-02				
Aceites y grasas	24.7	1.6	0.0647	1	0.9352	93.52%
Cloruros	540	559	1.0351	1	-0.0351	-3.52%
DBO ₅	145	56.2	0.3875	1	0.6124	61.24%
DQO	326	202	0.6196	1	0.3803	38.04%
Nitrógeno amoniacal	23.8	33	1.3865	1	-0.3865	-38.66%
Sulfatos	65	42	0.6461	1	0.3538	35.38%

Tabla 17. “Costo ambiental sostenible relativo / calidad del efluente. Monitoreo (10.05.2024)

Parámetro Fisicoquímicos	Resultados Monitoreo 1		Remoción carga residual EFLUENTE	Remoción Total carga residual	Remisión carga residual RETIRADA PROCESO	% Remoción carga residual
	GG-01	GG-02				
Aceites y grasas	33.7	1.6	0.0474	1	0.9525	95.25%
Cloruros	420	428	1.0190	1	-0.0190	-1.90%
DBO ₅	287	76.5	0.2665	1	0.7334	73.34%
DQO	648	165	0.2546	1	0.7453	74.54%

Nitrógeno amoniacal	48.2	33	0.6846	1	0.3153	31.54%
Sulfatos	120	82.1	0.6841	1	0.3158	31.58%

Tabla 18. “Costo ambiental sostenible relativo / calidad del efluente. Monitoreo (21.06.2024)”

Parámetro Fisicoquímicos	Resultados Monitoreo 1		Remoción carga residual EFLUENTE	Remoción Total carga residual	Remoción carga residual generada PROCESO	% Remoción carga residual
	GG-01	GG-02				
Aceites y grasas	63.7	1.6	0.0251	1	0.9748	97.49%
Cloruros	570	590	1.0350	1	-0.0350	-3.51%
DBO ₅	242	48.2	0.1991	1	0.8008	80.08%
DQO	526	120	0.2281	1	0.7719	77.19%
Nitrógeno amoniacal	44.7	6.85	0.1532	1	0.8467	84.68%
Sulfatos	280	193	0.6892	1	0.3107	31.07%

Hipótesis Específica (2)

H0: “El costo ambiental sostenible relativo NO mejora significativamente la calidad del efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”

Ha: “El costo ambiental sostenible relativo SI mejora significativamente la calidad del efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023”

2. “Se planteo la hipótesis para los puntos del monitoreo: GG-01, GG-02 y GG-03”

H₀: $\mu \geq 100\%$ (El costo normativo NO influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio)

$H_0: \mu < 100 \%$ (El costo normativo SI influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio)

“Se considero el nivel de significancia”

“ $\alpha = 0.05$ ”

Tabla 19. “Se estimo el estadístico de prueba (Estadística Descriptiva)”

“Numero aleatorios”	“Columna 1”	
80.08	“Media”	71.5533
73.34	“Error típico”	5.5115
61.24	“Mediana”	73.74
	“Desviación estándar”	9.5452
	“Varianza de la muestra”	91.1305
	“Coeficiente de asimetría”	-0.8127
	“Rango”	18.84
	“Mínimo”	61.24
	“Máximo”	80.08
	“Suma”	214.66
	“Cuenta”	3
	“Nivel de confianza (95.0%)”	23.7142

“Se estableció la regla de decisión”

“ $\mu = 100$ ”

“ $\alpha = 0.05$ ”

“ $n = 3$ ”

“ $gl = 2$ ”

“Se resuelve el t-Student experimental”

“ $t_{\text{Experimental}} = -5.1613$ ”

“La distribución del $t_{\text{Teórico}} = -2.9200$ (ANEXO 2: Distribución t de Student, $gl = 2$ y $\alpha = 0.05$)” obteniéndose un p valor de 0.01777

Entonces,

“Si $t_{\text{Experimental}} (-5.1613) < t_{\text{Teórico}} (-2.9200)$ entonces SE RECHAZA H_0 ”

H_a: “El costo normativo en la remoción de contaminantes SI influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco, Ica, 2023, ($\mu < 100\%$)”.

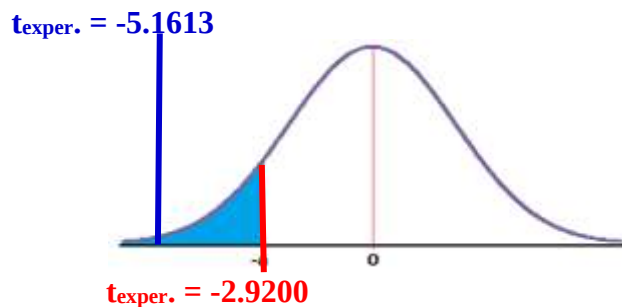


Figura 5. “Distribución de t-Student para el monitoreo a la remoción de las cargas residuales en %, en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio. Puntos GG-01, GG-02 y GG-03”

Se afirma, que:

“Con base en los análisis realizados en las fechas GG-01 (21.03.2024), GG-02 (10.05.2024) y GG-03 (21.06.2024), se puede afirmar que el costo ambiental sostenible relativo influye en la calidad del efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco. Los resultados obtenidos, presentados en las tablas 16, 17 y 18, muestran la remoción de la carga en la calidad del efluente de la DBO5 con porcentajes de 61.24%, 73.32% y 80.08%, respectivamente. Para confirmar la significancia de estos resultados, se utilizó la prueba t de Student. Primero, se encontró la distribución $t_{teórica}$, con un valor de -2.9200 (ver Anexo 2: Distribución t de Student, $gl = 2$ y $\alpha = 0.05$). El valor $t_{experimental}$ obtenido fue -5.1613, acompañado de un p-valor de 0.01777. Estos resultados permitieron aceptar la hipótesis alterna, que establece que el costo normativo en la remoción de contaminantes influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco, Ica, en 2023, para cualquier remoción de carga generada en el proceso menor a $< 100\%$.”.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. “Discusión de resultados sobre el costo ambiental sostenible relativo y la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Rio, Pisco.”

La discusión de resultado, revela la importancia de los tratamientos adecuados para minimizar los impactos ambientales. Los resultados obtenidos durante los análisis de campo muestran una remoción significativa de contaminantes, evidenciada por los valores de DBO5 en los puntos de muestreo. Esto es consistente con estudios previos que demuestran que una gestión eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales puede reducir considerablemente los niveles de contaminantes, mejorando así la calidad del efluente[61].

El uso de métodos estadísticos, como la prueba t de Student, proporciona una validación robusta de los resultados obtenidos. El análisis de los datos sugiere que las variaciones en el costo ambiental sostenible relativo están correlacionadas con mejoras en la calidad del efluente, lo que resalta la eficiencia del proceso de tratamiento [62]. Este enfoque no solo permite una evaluación cuantitativa precisa, sino que también ofrece un marco para mejorar las prácticas de tratamiento en futuras aplicaciones.

Además, la integración de consideraciones económicas y ambientales en el análisis resalta la necesidad de enfoques sostenibles en la gestión de aguas residuales. Las plantas de tratamiento que implementan tecnologías avanzadas y prácticas de gestión eficientes no solo mejoran la calidad del agua tratada, sino que también contribuyen a la sostenibilidad ambiental a largo plazo [63]. Estos hallazgos subrayan la importancia de continuar investigando y optimizando los procesos de tratamiento de aguas residuales para lograr un equilibrio entre eficacia y sostenibilidad.

4.2. “Discusión de resultados sobre el costo normativo en la remoción de contaminantes y la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco”.

“Esta discusión postula que el costo normativo en la remoción de contaminantes influye significativamente en la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco”, fue determinada mediante diversos parámetros fisicoquímicos. Los resultados obtenidos en tres diferentes monitoreos (GG-01 el 21.03.2024, GG-02 el 10.05.2024 y GG-03 el 21.06.2024) mostraron variaciones en aceites y grasas, cloruros, DBO5, DQO, nitrógeno amoniacal y sulfatos, que son críticos para evaluar la calidad del efluente.

Estudios previos apoyan estos hallazgos. [64], Encontraron que mayores inversiones en tecnologías de tratamiento avanzadas resultan en una mejora sustancial en la calidad del efluente y en la eficiencia de la remoción de contaminantes. Además, [65] subrayaron la importancia de asignar recursos financieros adecuados para optimizar los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Por lo tanto, los resultados de esta investigación confirman que el costo normativo en la remoción de contaminantes es crucial para la efectividad del tratamiento de aguas residuales en la planta de Boca del Río, Pisco, alineándose con la literatura existente y subrayando la importancia de una adecuada inversión en tecnologías y prácticas de tratamiento avanzadas.

4.3. “El costo ambiental sostenible relativo mejora significativamente la calidad del efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco”

La evaluación del costo ambiental sostenible relativo y su influencia en la calidad del efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco, Ica, se sustenta en análisis rigurosos llevados a cabo en distintas fechas: GG-01 (21.03.2024), GG-02 (10.05.2024) y GG-03 (21.06.2024). Los resultados obtenidos, detallados en las tablas 16, 17 y 18, indican una remoción

efectiva de la DBO5, con porcentajes de 61.24%, 73.32% y 80.08%, respectivamente. Estos datos corroboran la hipótesis de que el costo ambiental sostenible relativo contribuye significativamente a la mejora de la calidad del efluente.

Estos resultados estadísticos permiten aceptar la hipótesis alterna, destacando que el costo ambiental sostenible en la remoción de contaminantes tiene una influencia significativa en la remoción de las cargas residuales. Este hallazgo es consistente con estudios previos que han demostrado la importancia de los costos ambientales sostenibles en la gestión de efluentes industriales[66] ; [67].

.

V. CONCLUSIONES

1. El estudio sobre la predicción del costo ambiental sostenible relativo y la remoción de las cargas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, Pisco, ha demostrado que la implementación de tecnologías adecuadas y prácticas de gestión eficientes puede reducir significativamente los niveles de contaminantes en el efluente. Los análisis estadísticos realizados, particularmente la prueba t de Student, han validado que existe una correlación significativa entre el costo ambiental sostenible relativo y la calidad del efluente tratado. Estos resultados refuerzan la idea de que una gestión integral y sostenida de las plantas de tratamiento no solo es crucial para mejorar la calidad del agua sino también para asegurar la sostenibilidad ambiental a largo plazo. En general, el estudio subraya la importancia de la innovación y la eficiencia en los procesos de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los estándares ambientales y proteger los recursos hídricos
2. Se concluye que, los parámetros fisicoquímicos analizados, como aceites y grasas, cloruros, DBO5, DQO, nitrógeno amoniacal y sulfatos, reflejan que el tratamiento es efectivo pero presenta variaciones que deben ser continuamente monitoreadas para garantizar un manejo ambientalmente sostenible. La aplicación de la fórmula del costo ambiental sostenible relativo y el análisis estadístico confirman que las medidas adoptadas contribuyen de manera significativa a mejorar la calidad del efluente, clasificando la planta como un recurso no sostenible relativo según los criterios establecidos.
3. Se concluye que, la implementación de este costo mejora significativamente la remoción de contaminantes. Los resultados obtenidos demuestran que la planta alcanzó porcentajes notables de remoción de DBO5, con valores de 61.24%, 73.32% y 80.08%, lo que indica una eficiencia efectiva en el tratamiento. Además, la prueba estadística confirma que el costo ambiental sostenible relativo tiene un impacto significativo en la calidad del efluente, respaldando la hipótesis

de que la gestión adecuada de los costos ambientales es crucial para mejorar el rendimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la adopción continua de tecnologías avanzadas y prácticas de gestión mejoradas en la planta de tratamiento de aguas residuales, incluyendo sistemas de monitoreo en tiempo real y automatización de procesos para aumentar la eficiencia y reducir el costo ambiental. Es esencial proporcionar capacitación continua al personal sobre las mejores prácticas y realizar programas educativos y talleres para mantenerlos actualizados. Implementar un programa de monitoreo y evaluación regular para rastrear el desempeño de la planta y la calidad del efluente es crucial para identificar desviaciones y tomar medidas correctivas. Fomentar la investigación y el desarrollo en el tratamiento de aguas residuales, colaborando con instituciones académicas y de investigación, puede proporcionar soluciones innovadoras y más eficientes. Además, abogar por políticas y regulaciones que promuevan la sostenibilidad incentivará la implementación de prácticas sostenibles y tecnologías limpias en todas las plantas de tratamiento.
2. Se recomienda, continuar con la implementación de prácticas de monitoreo periódico y optimización de procesos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río. Es esencial adoptar tecnologías más avanzadas y eficientes para reducir las variaciones en los parámetros fisicoquímicos y mejorar la sostenibilidad del recurso. Además, se sugiere la evaluación continua del costo ambiental sostenible relativo para identificar oportunidades de mejora y garantizar la remoción efectiva de contaminantes, contribuyendo así a la preservación del entorno acuático y la salud pública.
3. Se recomienda, continuar implementando y optimizando estrategias basadas en el costo ambiental sostenible relativo para mejorar la calidad del efluente. Además, se sugiere llevar a cabo evaluaciones periódicas y ajustes en los procesos de tratamiento para asegurar una remoción efectiva de contaminantes y cumplir con los estándares ambientales. La integración de costos ambientales

en la toma de decisiones operativas puede fortalecer la sostenibilidad del tratamiento y contribuir a la protección del entorno acuático local.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Watanabe, M. T. Meyer, and T. Harter, “Use and Environmental Occurrence of Antibiotics in Freestall Dairy Farms with Manured Forage Fields,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 44, no. 17, pp. 6591–6600, 2010.
- [2] T. Eggen, M. Moeder, and A. Arukwe, “Science of the Total Environment Municipal land fill leachates : A significant source for new and emerging pollutants,” vol. 408, pp. 5147–5157, 2010, doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.07.049.
- [3] N. Mouquet *et al.*, “Predictive ecology in a changing world,” *J. Appl. Ecol.*, vol. 52, pp. 1293–1310, 2015, doi: 10.1111/1365-2664.12482.
- [4] O. Petchey *et al.*, “The Ecological Forecast Horizon , and Examples of its Uses and Determinants,” *Ecol. Lett.*, pp. 597–611, 2015, doi: 10.1111/ele.12443.
- [5] L. Maltby, “Ecosystem Services and the Protection, Restoration, and Management of Ecosystems Exposed to Chemical Stressors,” *Env. Toxicol Chem.*, vol. 32, no. 5, 2013, doi: 10.1002/etc.2212.
- [6] U. Hommen, H. Baveco, N. Galic, and P. J. Van Den Brink, “Potential Application of Ecological Models in the European Environmental Risk Assessment of Chemicals I : Review of Protection Goals in EU Directives and Regulations,” *Integr. Environ. Assess. Manag.*, vol. 6, no. 3, pp. 325–337, 2010, doi: 10.1002/ieam.69.
- [7] A. R. Brown *et al.*, “Critical Review Toward the Definition of Specific Protection Goals for the Environmental Risk Assessment of Chemicals : A Perspective on Environmental Regulation in Europe,” *Integr. Environ. Assess. Manag.*, vol. 13, no. 1, pp. 17–37, 2017, doi: 10.1002/ieam.1797.
- [8] A. Castañeda *et al.*, “Ecological risk and economic loss estimation of heavy metals pollution in the Beijiang River,” *Paakat Rev. Tecnol. y Soc.*, vol. 3, no. 3, pp. 189–199, 2012, doi: 10.2478/eces-2014-0015.

- [9] L. García and J. Iannacone, “Reviewarticle /Artículo De Revisión,” *Biol.*, vol. 12, no. 1, pp. 133–152, 2014.
- [10] X. Wang and S. Zang, “Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Toxic Heavy Metals and Metalloid in Surface Water of Lakes in Daqing Heilongjiang Province, China,” *Ecotoxicology*, vol. 23, no. 4, pp. pages609–617, 2014, doi: 10.1007/s10646-014-1177.
- [11] J. Shortle, “Economics and environmental markets: Lessons from water-quality trading,” *Agric. Resour. Econ. Rev.*, vol. 42, no. 1, pp. 57–74, 2013, doi: 10.1017/S1068280500007619.
- [12] R. Dixit *et al.*, “Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes,” *Sustain.*, vol. 7, no. 2, pp. 2189–2212, 2015, doi: 10.3390/su7022189.
- [13] N. E. Okeke, C. O. Adetunji, W. Nwankwo, K. E. Ukhurebor, A. S. Makinde, and D. G. Panpatte, “A Critical Review of Microbial Transport in Effluent Waste and Sewage Sludge Treatment,” in *Microorganisms for Sustainability*, Check for updates, 2021, p. 22. doi: 10.1007/978-981-15-7459-7_10.
- [14] B. Kudłak, M. Wiczerzak, G. Yotova, S. Tsakovski, V. Simeonov, and J. Namieśnik, “Environmental risk assessment of Polish wastewater treatment plant activity,” *Chemosphere*, vol. 160, pp. 181–188, 2016, doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.06.086.
- [15] E. Ezugbe and S. Rathilal, “Membrane Technologies in Wastewater Treatment: A Review,” *Membranes (Basel)*, vol. 10, no. 89, p. 28, 2020, [Online]. Available: <https://xflow.pentair.com/en/technologies/membrane-technology-in-general>
- [16] S. Zeng, X. Chen, X. Dong, and Y. Liu, “Efficiency assessment of urban wastewater treatment plants in China: Considering greenhouse gas emissions,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 120, pp. 157–165, 2017, doi: 10.1016/j.resconrec.2016.12.005.
- [17] K. Li *et al.*, “An Integrated First Principal and Deep Learning Approach for

- Modeling Nitrous Oxide Emissions from Wastewater Treatment Plants,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 56, no. 4, pp. 2816–2826, 2022, doi: 10.1021/acs.est.1c05020.
- [18] M. Naushad, *Life Cycle Assessment of Wastewater Treatment*. USA: Taylor & Francis Group, 2018. [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.abpsoil.com/images/Books/Life-Cycle-Assessment-of-Wastewater-Treatment.pdf
- [19] UNESCO, *Water resources governance: analysis of the profile and the shaping of the representative members of the Watershed Organisms in Brazil*. Republic of Korea: UNESCO, 2019. [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Fernanda-Matos/publication/332687335_Water_resources_governance_analysis_of_the_profile_and_the_shaping_of_the_representative_members_of_the_Watershed_Organisms_in_Br
- [20] S. M. Guevara Sotelo, “Prediccion Sobre el Riesgo Ecotoxicologico del Modelo Computacional Gecotoxic Segun el Costo Ambiental Sostenible Relativo y Sistema de Tratamiento Mineral Para Residuales Domestico-Urbano,” Universidad Nacional 2San Luis Gonzaga", 2021. [Online]. Available: https://repositorio.unica.edu.pe/items/e34f81e9-8992-4321-9567-8ee1a00b55b4
- [21] I. R. Gonzales Medina, “Implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales por el método de lagunas de estabilización en el distrito de Echarati, la Convención, Cusco,” Universidad Catoluca de Santa Maria, 2018. [Online]. Available: https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/7707/9I.0393.DR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [22] A. Cornejo Zea, “Propuesta de Reaprovechamiento de Lodos De Filtración: Caso Planta de Tratamiento de Agua Potable de Filtros Rápidos De Majes,” Universidad Ricardo Palma, 2021. [Online]. Available: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CIV-T030_40102202_T CORNEJO

- [23] W. Sáez Huamán, P. A. Palomino Pastrana, H. M. Dávila Victoria, and L. A. Tito Córdova, “Aguas residuales en la calidad de agua del río,” *GnosisWisdom*, vol. 2, no. 3, pp. 30–36, 2022, doi: 10.54556/gnosiswisdom.v2i3.43.
- [24] A. Y. Balbin Barboza, “Análisis y Evaluación de la Calidad Ambiental de Aguas Residuales de la PTAR Sacra Familia del Distrito de Simón Bolívar - Pasco, en Cumplimiento a las Normas Ambientales – 2022,” Universidad Nacional Daniedl Alcides Carrion, 2024. [Online]. Available: http://45.177.23.200/handle/undac/4038%0Ahttp://45.177.23.200/bitstream/undac/4038/1/T026_72489250_T.pdf
- [25] R. Duarte, J. Sánchez-Chóliz, and J. Bielsa, “Water use in the Spanish Economy: An Input-Output Approach,” *Ecol. Econ.*, vol. 43, no. 1, pp. 71–85, 2002, doi: 10.1016/S0921-8009(02)00183-0.
- [26] S. M. Guevara Sotelo, “Predicción Sobre el Riesgo Ecotoxicológico del Modelo Computacional Gecotoxic Según el Costo Ambiental Sostenible Relativo y Sistema de Tratamiento Nínereal Para Residuales Doméstico-Urbano,” Universidad Nacioanl “San Luis Gonzaga,” 2021.
- [27] OCDE, “Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.” Mathias Cormann elected next secretary-general of OECD, Australia, 2021.
- [28] K. E. Trenberth, “Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change,” in *Libro Climatic Change*, EEUU: Spirnger Lick, 1999, pp. 327–339. doi: 10.1023/A:1005488920935.
- [29] I. M. Held and B. J. Soden, “Water vapor feedback and global warming,” *Annu. Rev. Energy Environ.*, vol. 25, pp. 441–475, 2000, doi: 10.1146/annurev.energy.25.1.441.
- [30] S. S. Montenegro-Canario, J. Iannacone, and A. B. Napoleon, “Modelo Estadístico Para Estimar la Población que Recibe Ayuda Humanitaria por Desastres en el Perú,” *Rev. Biol.*, no. December, p. 17, 2015.
- [31] X. Zhang *et al.*, “Detection of human influence on twentieth-century

- precipitation trends,” *Nature*, vol. 448, no. 7152, pp. 461–465, 2007, doi: 10.1038/nature06025.
- [32] L. Lima Huacho, “Efecto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias en la calidad del agua en el río Sicra Lircay – Huancavelica 2018,” Universidad Continental, 2020.
- [33] F. M. Vaca Morán, “Análisis de la Filtración Natural de Aguas Residuales Domésticas en el Caserio de Shushunga 2018,” UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, 2019.
- [34] M. Yahuara Suarez, “Análisis de la filtración natural de aguas residuales domésticas en el caserio de shushunga 2018,” Universidad De Lambayeque, 2019.
- [35] D. Gavrilescu, C. Teodosiu, and M. David, “Environmental assessment of wastewater discharges at river basin level by means of waste absorption footprint,” *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 21, pp. 33–46, 2020, doi: 10.1016/j.spc.2019.10.006.
- [36] H. Atencio Santiago, “Análisis de la Calidad del Agua para consumo localidad de San Antonio De Rancas , del Distrito De Simon Boloivar. Provincia y Region de Pasco.2018,” Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, 2018.
- [37] L. G. del A. N°28611, “Ley general del Medio Ambiente N° 28611.” Lima - Perú, p. 52, 2005.
- [38] K. Ghosal and S. Ghosh, “Biodegradable polymers from lignocellulosic biomass and synthetic plastic waste: An emerging alternative for biomedical applications,” *Mater. Sci. Eng. R Reports*, vol. 156, no. October, p. 100761, 2023, doi: 10.1016/j.mser.2023.100761.
- [39] X. Dong, X. Zhang, and S. Zeng, “Measuring and explaining eco-efficiencies of wastewater treatment plants in China: An uncertainty analysis perspective,” *Water Res.*, vol. 112, pp. 195–207, 2017, doi: 10.1016/j.watres.2017.01.026.
- [40] N. Pérez Manrique, “Simulación Matemática de la Interacción Entre La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y el Oxígeno Disuelto (OD) en el Río Chili con el Método de los Elementos Finitos,” Universidad Nacional de

San Agustin, 2017.

- [41] I. Metcalf & Eddy, “Wastewater Engineering. Teatment and Reuse,” in *Libro*, Fourth., 2003, p. 1878.
- [42] L. Grady, G. Daigger, N. Love, and C. Filipe, *Biological Wastewater Treatment*, Trird. London: Taylor & Francis Group, 2011. [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781420009637_A37902200/preview-9781420009637_A37902200.pdf
- [43] O. Hage, K. Sandberg, P. Söderholm, and C. Berglund, “The regional heterogeneity of household recycling: a spatial-econometric analysis of Swedish plastic packing waste,” in *Letters in Spatial and Resource Sciences*, Springer Berlin Heidelberg, 2018, p. 23. doi: 10.1007/s12076-017-0200-3.
- [44] SUNASS, “SUNASS y GIZ Presentan Estudio Sobre la Situacion de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.” NOTA DE PRENSA N° 037-2016 Con, Lima - Perú, p. 2 Pag., 2016.
- [45] F. H. Al Hamed, K. Kandhan, Y. Liu, M. Ren, A. Jaleel, and M. A. M. Alyafei, “Wastewater Irrigation: A Promising Way for Future Sustainable Agriculture and Food Security in the United Arab Emirates,” *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 12, pp. 1–18, 2023, doi: 10.3390/w15122284.
- [46] Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, “Aprueban Limites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales,” *Normas Legales El Peruano*. Diario el Peruano, Lima - Perú, pp. 1–2, 2010.
- [47] L. S. Quispe, C. French, D. Beresford-Jones, and C. E. R. Chunga, “Geoarchaeological interpretations of the formation and environment of Samaca H-8, Ica Valley, south coast Peru (c. AD 900–1550),” *Bol. la Soc. Geol. Mex.*, vol. 74, no. 3, pp. 1–27, 2022, doi: 10.18268/BSGM2022v74n3a080622.
- [48] F. G. Arias, *Proyecto de Investoigacion Introduccion a la Metodologia*

- Científica*, 6a Edición. Caracas, Venezuela: Ediciones El Pasillo, 2012.
- [49] E. Lara Muñoz, *Fundamentos de Investigación*, 1a Edición. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V, 2011.
- [50] J. Supo, *Cómo escribir una tesis: Redacción del informe final de tesis*, Primera Ed. Lima - Perú: BIOESTADISTICO EIRL, 2015.
- [51] C. Hernandez Sampieri, Roberto-Fernandez Collado and M. del P. Baptisa Lucio, *Metodología de la Investigación*, Sexta. Mexico: Mc. Graw Hill, 2014. [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2. Hernandez, Fernandez y Baptista-Metodología Investigacion Cientifica 6ta ed.pdf
- [52] M. A. M. Alonso, “INFERENCIA, ESTIMACIÓN Y CONTRASTE DE HIPÓTESIS,” in *ESTADISTICA II*.
- [53] R. Hernandez, C. Fernandez, and P. Baptista, *Metodologia de la Investigación*. Mexico: Mc. Graw Hill Interamericana de Mexico, S.A. de C.V., 2010. doi: 10.59057/iberoleon.20075316.201725338.
- [54] R. K. Yin, “Case Study Research and Applications: Design and Methods,” in *Cap. Libro*, 6th ed., Indonesia: Satya Wacana Christian University, 2018, p. 4. [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/106905310/Artikel_Yustinus_Calvin_Gai_Mali-libre.pdf?1698189983=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA_Book_Review_Case_Study_Research_and_Ap.pdf&Expir
- [55] A. Field, *Discovering Statistic Using IBM SPSS Statistics*, 5th Editio. SAGE Publications, Inc, 2017. [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repo.darmajaya.ac.id/5678/1/Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics %28 PDFDrive %29.pdf
- [56] D.S. N°004-2017-MINAM, “Aprueban Estandares de Calidad Ambiental

- (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias,” *El Peruano*. Peruano, Lima-Peru, pp. 6–9, 2017. [Online]. Available: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- [57] G. Tchobanoglous, F. L. Burton, and H. D. Stensel, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, Fourth Edi. New York: McGraw-Hill Education, 2003. doi: 10.1016/0191-2615(91)90038-K.
- [58] T. O. Barrios-Mendoza, P. Córdova-Mendoza, I. C. Córdova- Barrios, G. Argota-Pérez, and J. Iannacone, “Costo Ambiental Sostenible Relativo Ante El Coeficiente De Transferencia De Oxígeno En Aguas Residuales,” *Paid. XXI*, vol. 9, no. 2, pp. 209–216, 2019, doi: 10.31381/paideia.v9i2.2753.
- [59] B. Hammadi, A. A. Bebba, and N. Gherraf, “Degradation of organic pollution aerated lagoons. In an arid climate: the case the treatment plant Ouargla (Algeria),” *Acta Ecol. Sin.*, vol. 36, no. 4, pp. 275–279, 2016, doi: 10.1016/j.chnaes.2016.05.002.
- [60] F. Spellman, *Water and wastewater. Treatment Plant Operations*, Third Edit. Taylor & Francis Group, 2014. [Online]. Available: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b15579/handbook-water-wastewater-treatment-plant-operations-frank-spellman>
- [61] J. A. Silva, “Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review,” *Sustain.*, vol. 15, no. 14, 2023, doi: 10.3390/su151410940.
- [62] M. T. N. Boldrin, K. T. M. Formiga, and S. A. Pacca, “Environmental performance of an integrated water supply and wastewater system through life cycle assessment — A Brazilian case study,” *Sci. Total Environ.*, vol. 835, no. April, 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155213.
- [63] Y. Bian, S. Yan, and H. Xu, “Efficiency evaluation for regional urban water use and wastewater decontamination systems in China: A DEA approach,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 83, pp. 15–23, 2014, doi: 10.1016/j.resconrec.2013.11.010.

- [64] D. P. Ghumra, C. Agarkoti, and P. R. Gogate, "Improvements in effluent treatment technologies in Common Effluent Treatment Plants (CETPs): Review and recent advances," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 147, pp. 1018–1051, 2021, doi: 10.1016/j.psep.2021.01.021.
- [65] S. A. R. Khan, P. Ponce, Z. Yu, H. Golpîra, and M. Mathew, "Environmental technology and wastewater treatment: Strategies to achieve environmental sustainability," *Chemosphere*, vol. 286, no. December 2020, 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131532.
- [66] G. Chen *et al.*, "Environmental, energy, and economic analysis of integrated treatment of municipal solid waste and sewage sludge: A case study in China," *Sci. Total Environ.*, vol. 647, pp. 1433–1443, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.104.
- [67] H. Jiang *et al.*, "Sustainability efficiency assessment of wastewater treatment plants in China: A data envelopment analysis based on cluster benchmarking," *J. Clean. Prod.*, vol. 244, p. 118729, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118729.

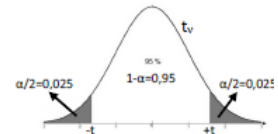
ANEXO

ANEXO 1

ANEXO 2

Distribución t de Student

Contiene los valores de t tales que $\frac{\alpha}{2} = P(t_v \geq t)$, donde v son los Grados de Libertad



		$\alpha/2$												
		0,0005	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,475
v grados de libertad	1	636,619	318,309	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158	0,079
	2	31,599	22,327	9,925	6,965	4,303	2,920	1,886	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142	0,071
	3	12,924	10,215	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137	0,068
	4	8,610	7,173	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134	0,067
	5	6,869	5,893	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132	0,066
	6	5,959	5,208	3,707	3,143	2,447	1,943	1,440	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131	0,065
	7	5,408	4,785	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130	0,065
	8	5,041	4,501	3,355	2,896	2,306	1,860	1,397	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130	0,065
	9	4,781	4,297	3,250	2,821	2,262	1,833	1,383	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129	0,064
	10	4,587	4,144	3,169	2,764	2,228	1,812	1,372	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129	0,064
	11	4,437	4,025	3,106	2,718	2,201	1,796	1,363	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129	0,064
	12	4,318	3,930	3,055	2,681	2,179	1,782	1,356	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128	0,064
	13	4,221	3,852	3,012	2,650	2,160	1,771	1,350	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128	0,064
	14	4,140	3,787	2,977	2,624	2,145	1,761	1,345	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128	0,064
	15	4,073	3,733	2,947	2,602	2,131	1,753	1,341	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128	0,064
	16	4,015	3,686	2,921	2,583	2,120	1,746	1,337	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128	0,064
	17	3,965	3,646	2,898	2,567	2,110	1,740	1,333	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128	0,064
	18	3,922	3,610	2,878	2,552	2,101	1,734	1,330	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127	0,064
	19	3,883	3,579	2,861	2,539	2,093	1,729	1,328	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127	0,064
	20	3,850	3,552	2,845	2,528	2,086	1,725	1,325	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127	0,063
	21	3,819	3,527	2,831	2,518	2,080	1,721	1,323	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127	0,063
	22	3,792	3,505	2,819	2,508	2,074	1,717	1,321	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127	0,063
	23	3,768	3,485	2,807	2,500	2,069	1,714	1,319	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127	0,063
	24	3,745	3,467	2,797	2,492	2,064	1,711	1,318	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127	0,063
	25	3,725	3,450	2,787	2,485	2,060	1,708	1,316	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	26	3,707	3,435	2,779	2,479	2,056	1,706	1,315	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	27	3,690	3,421	2,771	2,473	2,052	1,703	1,314	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	28	3,674	3,408	2,763	2,467	2,048	1,701	1,313	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	29	3,659	3,396	2,756	2,462	2,045	1,699	1,311	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	30	3,646	3,385	2,750	2,457	2,042	1,697	1,310	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	31	3,633	3,375	2,744	2,453	2,040	1,696	1,309	0,853	0,682	0,530	0,256	0,127	0,063
	32	3,622	3,365	2,738	2,449	2,037	1,694	1,309	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
	33	3,611	3,356	2,733	2,445	2,035	1,692	1,308	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
	34	3,601	3,348	2,728	2,441	2,032	1,691	1,307	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
	35	3,591	3,340	2,724	2,438	2,030	1,690	1,306	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
α		0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,95