

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**IMPACTO AMBIENTAL POR VERTIMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN EL LITORAL MARINO COSTERO DE
ILO, MOQUEGUA**

TESIS

Presentada por:

M.Sc. RODOLFO RAFAEL SÁNCHEZ VALENCIA

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

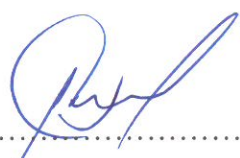
TACNA – PERÚ


2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**Escuela de Posgrado****DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES****IMPACTO AMBIENTAL POR VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL
LITORAL MARINO COSTERO DE ILO, MOQUEGUA**

Tesis sustentada y aprobada el 30 de enero del 2026; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : 
.....
Dr. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

SECRETARIO : 
.....
Dr. Alberto Savino Pacheco Pacheco

MIEMBRO : 
.....
Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

ASESOR : 
.....
Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Dante Ulises Morales Cabrera, en mi condición de asesor acreditada con Resolución de Escuela de Posgrado N° 11634-2022-ESPG/UNJBG Tacna, 09 de agosto del 2022, del trabajo de tesis titulado: "IMPACTO AMBIENTAL POR VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL LITORAL MARINO COSTERO DE ILO, MOQUEGUA", presentado por el M.Sc. Rodolfo Rafael Sanchez Valencia, para optar el Grado Académico de Doctorado en Ciencias (Doctor Scientiae) con mención en Ciencias Ambientales.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 7%.

Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y esta de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes.

Se emite el presente certificado a solicitud del interesado con fines de continuar con los tramites respectivos para la obtención del Grado Académico de Doctorado en Ciencias (Doctor Scientiae) con mención en Ciencias Ambientales.

Tacna, 10 de febrero 2026

FIRMA ASESOR

Nombre y apellidos

.....
nombre Dr. Dante Ulises Morales Cabrera
DNI: 00432101



FIRMA TESISTA

Nombre y apellidos

.....
nombre M.Sc. Rodolfo Rafael Sanchez Valencia
DNI: 29381281



DEDICATORIA

A mis padres, María Teresa Valencia de Sánchez y Agapito Sánchez Soto, cuyo inquebrantable esfuerzo, responsabilidad y amor han cimentado los valores que son pilares esenciales de mi formación personal y profesional.

A mi esposa, Magda, por su incondicional apoyo, entrega y constante motivación.

A mis hijas, Alexandra y Katherine, por ser la luz que impulsa mi camino en la búsqueda y promoción perpetua de la educación y la cultura.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero reconocimiento a todo el equipo de trabajo que, con su compromiso y dedicación, me acompañó en el desarrollo riguroso del presente estudio.

Expreso mi profunda gratitud a mi asesor, el Dr. Dante Ulises Morales Cabrera, por su guía experta, la dirección metodológica y la invaluable paciencia que aseguraron la calidad científica de esta investigación.

Un agradecimiento muy especial a mi amigo y colega, el Dr. Manuel Aníbal Rodríguez Salas, por su apoyo constante y colaboración técnica a lo largo de este proyecto doctoral.

Mi reconocimiento más profundo y sentido al Dr. Graeme Spiers, un gran colega cuya perspicacia y palabras inspiradoras trascendieron la esfera académica. Su visión fue crucial para reorientar mi interpretación de los desafíos presentados, enfocándola en el compromiso ineludible con el bienestar de la sociedad y la humanidad. Su perspectiva transformadora es el motor ético de mis futuras contribuciones profesionales.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
RESUMO.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Identificación del problema	3
1.2. Formulación del Problema.....	4
1.2.1. Problema Principal.....	4
1.2.2. Problemas Secundarios	4
1.3. Justificación de la Investigación	5
1.3.1. Justificación Teórica	5
1.3.2. Justificación Metodológica	5
1.3.3. Justificación Práctica	5
1.3.4. Justificación Social	6
1.3.5. Justificación ambiental	6
1.3.6. Importancia de la investigación	6
1.4. Objetivos de la Investigación.....	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivos Específicos	7
1.5. Hipótesis de la Investigación	7
1.5.1. Hipótesis General.....	7

1.5.2.	Hipótesis Específicas	8
1.5.3.	Hipótesis Nula.....	8
1.6.	VARIABLES	8
1.6.1.	Identificación de las variables: Ver tabla 1.....	8
1.6.2.	Operacionalización de variables	8
1.6.3.	Limitaciones de la investigación.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		11
2.1.	Antecedentes del estudio	11
2.1.1.	Antecedentes Internacionales	11
2.1.2.	Antecedentes Regionales (Latinoamérica)	12
2.1.3.	Antecedentes Nacionales	13
2.1.4.	Antecedentes Locales (Moquegua).....	15
2.2.	Bases teóricas.....	16
2.2.1.	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Media Luna EPS ILO	16
2.2.2.	Impacto Ambiental: Concepto y Dimensiones	16
2.2.3.	Ecosistemas Marinos–Costeros: Características y Vulnerabilidad.....	16
2.2.4.	Aguas Residuales y su Impacto en Ambientes Marinos.....	17
2.2.5.	Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales.....	17
2.2.6.	Emisarios Submarinos y Disposición Marina de Efluentes.....	17
2.2.7.	Indicadores de Calidad Ambiental en Zonas Marino-Costeras	18
2.2.8.	Evaluación de Impacto Ambiental (EIA):	18
2.2.9.	Marco Normativo Peruano sobre Vertimientos y Calidad Ambiental del Agua	19
2.2.9.1.	Leyes Fundamentales.....	19
2.2.9.2.	Instrumentos de Gestión Ambiental	19

2.2.9.3.	Monitoreo y Estrategia.....	19
2.2.9.4.	Institucionalidad.....	20
2.2.9.5.	Agua Residual Doméstica.....	20
2.2.11.	Constituyentes del Agua Residual	20
2.2.12.	Caracterización de las Aguas Residuales.....	21
2.2.13.	Caracterización del Cuerpo Receptor	21
2.2.14.	Zona de Mezcla.....	22
2.3.	Definición de términos.....	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		35
3.1.	Tipo de investigación.....	35
3.2.	Nivel de la investigación.....	35
3.3.	Diseño de la investigación	35
3.4.	Enfoque de la investigación.....	36
3.5.	Población y muestra.....	36
3.6.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	37
3.6.1.	Parámetros Físico-químicos del Agua Residual y de Puntos o Zonas de Muestreo georreferenciados en la columna de agua <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	38
3.6.1.1.	Parámetros Físico químicos <i>In Situ</i>	39
3.6.2.	Parámetros biológicos y microbiológicos del Agua Residual y de los Puntos o Zonas de Muestreo georreferenciados en la columna de agua <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	43
3.6.2.1.	Colecta e Identificación <i>In Situ</i> de la Macrofauna y Macroflora.....	43
3.6.2.2.	Colecta e Identificación <i>Ex Situ</i> de la Microfauna y Microflora	43
3.6.2.2.1.	Coliformes Termotolerantes	43
3.6.2.2.2.	Fitoplancton	43

3.6.2.2.3. Zooplancton	44
3.7. Índices de Diversidad y Dominancia	44
3.8. Valoración del Impacto ambiental	45
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	48
4.1. Resultados de la investigación	48
4.2. Parámetros Físicoquímicos de Puntos de Muestreo del Agua Residual PTAR y Marina en la Tabla 5.....	48
4.2.2. La caracterización de los Parámetros Físicoquímicos de las descargas del Efluente PTAR (Estación 1).....	48
4.3. Comunidad de Macrofauna Bentónica	51
4.3.1. Punto 1 (Zona de Impacto Directo)	52
4.3.2. Punto 2 (Zona de Referencia)	53
4.3.3. Comparación Clave de los Índices.....	54
4.4. Comunidad de microfauna y microflora	55
4.5. Evaluación del Impacto con la Matriz de Conesa.....	58
DISCUSIONES	61
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES.....	66
ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Constituyentes del agua residual.....	22
Tabla 2	Equipos utilizados en el Monitoreo Calidad de agua y sedimento marino.....	38
Tabla 3	Valoración del Impacto con la Matriz de Conesa	46
Tabla 4	Clasificación de la importancia (I) del nivel impacto según la Matriz de Conesa	47
Tabla 5	Parámetros físico químicos de puntos de muestreo del agua residual PTAR y marino.....	50
Tabla 6	Identificación de especies bentónicas de la zona de impacto directo	52
Tabla 7	Índices de diversidad y dominancia en la zona de impacto directo	53
Tabla 8	Identificación de especies bentónicas de la zona de referencia	54
Tabla 9	Índices de diversidad y dominancia en la zona de referencia.....	54
Tabla 10	Comparación de los Índices	55
Tabla 11	Porcentaje de abundancia de fitoplancton por estación y por especie	56
Tabla 12	Abundancia de zooplancton por taxón y Estación ZM01	57
Tabla 13	Valoración del impacto ambiental con la Matriz de Conesa.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estaciones de muestreo – PTAR Media Luna.....	37
---	----

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el nivel de impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales en el litoral marino de Ilo, Moquegua. La metodología consistió en la evaluación del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y su medio receptor, contrastando los parámetros clave con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA) vigentes, además de describir las alteraciones ecológicas en la fauna y flora de la zona de estudio. El efluente de la PTAR mostró un incumplimiento severo de los LMP en parámetros clave, registrando una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) de 124,3 mg/L y los niveles de coliformes termotolerantes que duplicaron el límite normativo. En la zona de mezcla (ZM,01), se evidenció anoxia severa, con niveles de Oxígeno Disuelto (OD) de hasta 0,06 mg/L (muy por debajo del ECA de 5,0 mg/L), junto con contaminación fecal que superó el ECA por más de dos veces. Se confirmó una perturbación crónica en la macrofauna y flora bentónica de la zona de estudio, manifestada por la dominancia absoluta de especies oportunistas (Emérita análoga) y la exclusión de especies sensibles. La aplicación de la matriz de Conesa arrojó un índice de importancia ($I = -69$), clasificó el impacto ambiental como crítico. Se concluye que el vertido de aguas residuales en el litoral marino de Ilo tiene un impacto ambiental crítico. El deficiente tratamiento de las aguas residuales por parte de la PTAR es causa directa y probada de la degradación ambiental del litoral marino de Ilo, Moquegua.

Palabras Clave: impacto ambiental, aguas residuales, litoral marino ILO, PTAR, límites máximos permisibles, ECA

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the level of environmental impact of wastewater discharge on the marine coastline of Ilo, Moquegua. The methodology consisted of evaluating the effluent from the Wastewater Treatment Plant (WWTP) and its receiving environment, comparing key parameters with the Maximum Permissible Limits (MPL) and Environmental Quality Standards (ECA) in force, as well as describing the ecological alterations in the fauna and flora of the study area. The WWTP effluent showed severe non-compliance with the MPLs in key parameters, registering a Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) of 124,3 mg/L and thermotolerant coliform levels that doubled the regulatory limit. In the mixing zone (ZM.01), severe anoxia was evident, with Dissolved Oxygen (DO) levels as low as 0,06 mg/L (well below the ECA of 5,0 mg/L), along with fecal contamination that exceeded the ECA by more than two times. Chronic disturbance of the benthic macrofauna and flora in the study area was confirmed, manifested by the absolute dominance of opportunistic species (*Emerita analoga*) and the exclusion of sensitive species. The application of the Conesa matrix yielded an importance index ($I = -69$), classifying the environmental impact as critical. It is concluded that the discharge of wastewater into the marine coastline of Ilo has a critical environmental impact. The inadequate treatment of wastewater by the WWTP is a direct and proven cause of environmental degradation of the marine coastline of Ilo, Moquegua.

Keywords: environmental impact, wastewater, marine coastline ILO, WWTP, maximum permissible limits, ECA

RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar o nível de impacto ambiental do despejo de águas residuais no litoral marinho de Ilo, Moquegua. A metodologia consistiu na avaliação do efluente da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) e seu meio receptor, comparando os parâmetros-chave com os Limites Máximos Permitidos (LMP) e Padrões de Qualidade Ambiental (PQA) vigentes, além de descrever as alterações ecológicas na fauna e flora da área de estudo. O efluente da ETAR apresentou um grave incumprimento dos LMP em parâmetros-chave, registrando uma Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) de 124,3 mg/L e níveis de coliformes termotolerantes que duplicaram o limite normativo. Na zona de mistura (ZM.01), evidenciou-se anóxia grave, com níveis de oxigênio dissolvido (OD) de até 0,06 mg/L (muito abaixo do ECA de 5,0 mg/L), juntamente com contaminação fecal que ultrapassou o ECA em mais de duas vezes. Foi confirmada uma perturbação crônica na macrofauna e flora bentônica da zona de estudo, manifestada pelo domínio absoluto de espécies oportunistas (*Emerita analoga*) e pela exclusão de espécies sensíveis. A aplicação da matriz de Conesa resultou em um índice de importância ($I = -69$), classificando o impacto ambiental como crítico. Conclui-se que o despejo de águas residuais no litoral marinho de Ilo tem um impacto ambiental crítico. O tratamento deficiente das águas residuais pela ETAR é causa direta e comprovada da degradação ambiental do litoral marinho de Ilo, Moquegua.

Palavras-chave: impacto ambiental, águas residuais, litoral marinho ILO, ETAR, limites máximos permitidos, ECA

INTRODUCCIÓN

La gestión de las aguas residuales es un desafío global, especialmente en ecosistemas sensibles como el litoral marino costero. A pesar de los esfuerzos por implementar infraestructuras de saneamiento como las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), el vertimiento de sus efluentes, aun después del tratamiento, puede introducir una carga significativa de contaminantes, incluyendo materia orgánica, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y sólidos suspendidos. Este aporte continuo altera la calidad del agua, desencadenando procesos de eutrofización y afectando la estructura de las comunidades biológicas receptoras.

En el contexto peruano, y particularmente en la Provincia de Ilo, Departamento de Moquegua, la PTAR Media Luna descarga sus efluentes directamente en el litoral marino. La ubicación y la naturaleza constantes de este vertimiento generan una preocupación ambiental crucial sobre su capacidad para impactar el hábitat costero adyacente. Por ello, fue imperativo realizar un diagnóstico real y físico-químico exhaustivo, que permita determinar y clasificar el verdadero alcance de esta perturbación.

La presente investigación busca responder a la siguiente interrogante central: ¿Cuál es el Nivel de Impacto Ambiental por el vertimiento de las aguas residuales de la PTAR Media Luna en el Litoral Marino Costero de Ilo, Moquegua?, siendo el objetivo del estudio el de determinar el nivel de impacto ambiental generado por el vertimiento de aguas residuales de la PTAR Media Luna en el litoral marino costero de Ilo, Moquegua. Para cumplir se evaluó la variación espacial de los parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO, SST, pH, T, conductividad, salinidad, grasas y aceites) del agua en la zona de descarga y en los puntos de muestreo del litoral marino costero de Ilo, de la estructura y composición de la comunidad macrofauna bentónica (diversidad, dominancia y riqueza) en la zona de impacto directo y en la zona de referencia, la composición de la comunidad de microfauna y microflora (fitoplancton y zooplancton, coliformes) en las estaciones de muestreo en relación con el aporte del efluente y clasificando el nivel de impacto ambiental mediante la aplicación de la Matriz modificada de Conesa, integrando la evidencia físico-química y biológica obtenida.

La investigación se justifica por la necesidad de generar conocimiento técnico y cuantificable sobre el estado de un recurso ecosistémico fundamental en el litoral de Ilo. La metodología empleada, que combina la medición de la calidad del agua in situ y ex situ con el análisis de indicadores biológicos sensibles (macrofauna y plancton), ofrece una evaluación robusta de la salud ecosistémica.

El resultado central del estudio, que clasifica el nivel de impacto como crítico, proporciona una alerta ambiental de alta relevancia. Esta evidencia empírica es vital para las entidades de regulación y gestión ambiental, pues fundamenta la necesidad de implementar mejoras urgentes en el proceso de tratamiento de la PTAR, reevaluar el punto de descarga y la viabilidad del proyecto bajo las condiciones actuales. Establecer planes de monitoreo y remediación para proteger la biodiversidad y garantizar la seguridad sanitaria del área costera.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La descarga de aguas residuales domésticas (ARD) sin el tratamiento adecuado o con deficiencias en el proceso constituye una de las principales presiones ambientales sobre los ecosistemas marinos costeros (ONU, 2021). Este vertimiento introduce una carga significativa de materia orgánica, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y microorganismos patógenos, lo que desencadena procesos de eutrofización y degradación de la calidad del agua (Galloway et al., 2017).

En el contexto peruano, la problemática se agudiza por la baja eficiencia operativa de muchas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), lo que resulta en efluentes que no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa nacional (MINAM, 2020).

La ciudad de Ilo, Moquegua, posee una importante actividad pesquera y turística que depende directamente de la salud de su litoral. Sin embargo, se ha identificado que la descarga de aguas residuales generadas por la población constituye un foco de contaminación persistente. El impacto ha sido observado directamente en los organismos del litoral. Específicamente, un estudio en la zona de descarga y áreas cercanas a la Playa Media Luna reportó alteraciones en las comunidades fitoplanctónicas, con una disminución de la diversidad y una alta proliferación de especies oportunistas, lo que indica un ecosistema bajo estrés y enriquecimiento de nutrientes está afectando a la biota marina propia de zona en condiciones naturales (Neyra López & Yucra Torres, 2017).

La calidad sanitaria de las playas de Ilo es un foco de preocupación constante. Monitoreos locales han evaluado el índice de calidad sanitaria en playas como Pozo de Lisas y Boca del Río, encontrando la presencia de coliformes termotolerantes que comprometen la salud de los bañistas y la seguridad de los recursos hidrobiológicos, constituyendo un riesgo sanitario latente (Tesis UJCM, 2020).

El problema central de esta investigación radica en la insuficiencia de la gestión y el tratamiento de las aguas residuales domésticas, lo que resulta en el vertimiento de efluentes que no cumplen con los estándares de calidad en ecosistemas marinos costeros sensibles, generando un impacto ambiental que amenaza la salud ecológica y socioeconómica de estas zonas.

Si bien la existencia de contaminación es conocida, el nivel integral del impacto ambiental que este vertimiento genera en el ecosistema no ha sido cuantificado y categorizado mediante una metodología rigurosa que integre y correlacione el vertimiento de aguas residuales domésticas y las dimensiones del impacto ambiental; por lo tanto, es imperativo transformar los datos analíticos de calidad del agua y la biota en una valoración precisa de su Importancia Ambiental.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema Principal

¿Cuál es el nivel de impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales en el litoral marino de Ilo?

1.2.2. Problemas Secundarios

- a) ¿Cómo afecta el vertimiento de aguas residuales a la calidad físico-química de las aguas del litoral marino de Ilo?
- b) ¿Cómo influye el vertimiento de aguas residuales en los indicadores microbiológicos de las aguas del área de estudio del litoral marino de Ilo?
- c) ¿De qué manera afecta el vertimiento de aguas residuales a la diversidad y abundancia de especies de la biota marina (flora y fauna) del litoral marino de Ilo?
- d) ¿Cuál es la correlación con la matriz de Conesa del vertimiento de aguas residuales y el impacto ambiental en el litoral marino de Ilo?

1.3. Justificación de la Investigación

Según Ñaupas Paitán et al. (2014) y Hernández & Mendoza (2018), la justificación consta de una perspectiva teórica, práctica, metodológica social y ambiental, siendo de vital importancia para la gestión ambiental de Ilo, Moquegua.

1.3.1. Justificación Teórica

El estudio contribuirá a la literatura científica al cuantificar el nivel de impacto ambiental mediante una aproximación descriptiva-enfoque mixto que integra parámetros físico-químicos, microbiológicos y biológicos (biota marina). La aplicación de la Matriz de Conesa proporcionará un marco riguroso para la categorización del impacto, enriqueciendo los modelos teóricos sobre la evaluación de riesgos en ecosistemas costeros tropicales y subtropicales.

1.3.2. Justificación Metodológica

La principal justificación metodológica radica en el uso de la Matriz de Importancia de Impactos Ambientales de Vicente Conesa Fernández-Vítora (1997). Este método es crucial porque permite trascender de la descripción de la medición de la Variable Independiente y de indicadores precisos como el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H') para la biota de la Variable Dependiente por separado para llegar a una valoración cualitativa y cuantitativa del impacto.

La matriz se aplica evaluando la correlación del cambio en cada factor ambiental (calidad del agua, macro y microbiota, etc.), utilizando una fórmula que pondera diez atributos del impacto, clasificándolo de un nivel de la Importancia (I) a categorizar el Nivel de Impacto Ambiental (VD) de manera robusta, pasando de un enfoque meramente analítico a uno de gestión ambiental integral.

1.3.3. Justificación Práctica

Los resultados de esta investigación brindarán datos objetivos y medibles sobre el cumplimiento de los ECA para Agua (categoría 4) en el litoral de Ilo. Servirán de base técnica para exigir el mejoramiento o la ampliación de la infraestructura de saneamiento

de la PTAR de Ilo ante las entidades fiscalizadoras. Permitirán formular e implementar planes a las autoridades locales para la gestión ambiental costera y de salud pública, protegiendo zonas de baño y áreas de extracción pesquera de riesgo sanitario. Asegurará la transparencia y el acceso a información a la población sobre la calidad de las aguas que utilizan para recreación y consumo de recursos hidrobiológicos.

1.3.4. Justificación Social

La contaminación por aguas residuales impacta directamente en la calidad de vida de los habitantes de Ilo. Un impacto ambiental negativo significativo sobre el litoral marino costero se traduce en la pérdida de recursos pesqueros (fuente de ingresos), riesgos a la salud pública (por patógenos y biotoxinas) y el deterioro de la imagen turística de la zona. Por lo tanto, el estudio está justificado socialmente al buscar la protección del ecosistema marino como patrimonio natural y el aseguramiento de la salud pública y el bienestar económico de la comunidad local.

1.3.5. Justificación ambiental

La justificación ambiental de esta investigación radica en la importancia de proteger y conservar los recursos naturales, en particular los ecosistemas marinos. La contaminación del agua puede tener impactos negativos irreversibles en la biodiversidad marina y en la ecología del litoral costero. La investigación busca evaluar el impacto del vertimiento de aguas residuales en la zona litoral costera de la playa Media Luna y determinar las consecuencias para los recursos marinos bentónicos y pelágicos. La protección y conservación de estos recursos naturales es fundamental para mantener la salud de los ecosistemas marinos y garantizar la sostenibilidad de las actividades pesqueras y recreativas en la zona.

1.3.6. Importancia de la investigación

El agua es fundamental tanto para la vida como para la salud del medio ambiente. Sin embargo, durante más de diez años, el ecosistema marino ha recibido el vertimiento de aguas residuales, con un grave impacto de contaminación. Esta situación ha provocado que la mayoría de los cuerpos de agua hayan superado su capacidad natural de

autodepurarse. Por ello, resulta crucial evaluar el impacto ambiental de estos vertimientos que caracterizan las aguas residuales que incluyen los parámetros fisicoquímicos, altas concentraciones de microorganismos, nitratos y fosfatos, desechos fecales y metales. La presencia de estos elementos altera la calidad del agua, un problema que se agrava especialmente cuando estos recursos son utilizados para el consumo.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Determinar el nivel de impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales en el litoral marino de Ilo.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a) Evaluar la afectación del vertimiento de aguas residuales a la calidad fisicoquímica de las aguas del litoral marino de Ilo.
- b) Evaluar la influencia del vertimiento de aguas residuales en los indicadores microbiológicos de las aguas del área de estudio del litoral marino de Ilo.
- c) Describir la afectación del vertimiento de aguas residuales en la diversidad y abundancia de la biota marina (flora y fauna) del litoral marino de Ilo.
- d) Evaluar la correlación con la matriz de Conesa del vertimiento de aguas residuales y el impacto ambiental en la zona de estudio del litoral marino de Ilo.

1.5. Hipótesis de la Investigación

1.5.1. Hipótesis General

El vertimiento de aguas residuales tiene un nivel de impacto ambiental negativo significativo (Severo a Crítico) en la calidad de las aguas y la biota del litoral marino de Ilo.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- a) El vertimiento de aguas residuales deteriora la calidad físico-química de las aguas en la zona de influencia, superando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).
- b) El vertimiento incrementa significativamente los indicadores microbiológicos (Coliformes totales) en las aguas de la zona de estudio, superando los límites permitidos para aguas marinas costeras.
- c) El vertimiento de aguas residuales altera la diversidad y abundancia de especies de flora y fauna marina, reduciendo el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H) en la zona de impacto en comparación con la zona de control.
- d) Existe una correlación con la matriz de Conesa del vertimiento de aguas residuales y el impacto ambiental en la zona de estudio.

1.5.3. Hipótesis Nula

El vertimiento de aguas residuales no tiene un nivel de impacto ambiental negativo significativo (Severo a Crítico) en la calidad de las aguas y la biota del litoral marino costero de Ilo, Moquegua.

1.6. Variables

1.6.1. Identificación de las variables: Ver tabla 1

Variable Independiente (VI): Vertimiento de Aguas Residuales.

Variable Dependiente (VD): Impacto Ambiental

Variable Interviniente: nivel de impacto ambiental

1.6.2. Operacionalización de variables

La matriz de la operacionalización de las variables se muestra en la en el cuadro de operacionalización de variables.

1.6.3. Limitaciones de la investigación

A pesar de las limitaciones presupuestales, se mantuvo un estricto compromiso ético mediante la tercerización analítica con laboratorios acreditados ante INACAL, asegurando que la limitación de equipos propios no sesgara la objetividad de los resultados. Primo el principio de transparencia y trazabilidad, garantizando que los hallazgos reportados correspondan fielmente a la realidad físico-química y biológica del litoral de Ilo.

Matriz de Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems/Instrumento
Independiente (VI) Vertimiento de Aguas Residuales	Es la descarga de efluentes líquidos, tratados o no, provenientes de actividades domésticas, industriales o comerciales, hacia el cuerpo receptor (litoral marino costero).	Medición del volumen y la caracterización físico-química y biológica del efluente descargado directamente en el punto de vertimiento al mar.	Caudal de Vertimiento	Volumen (m ³ /día)	Aforos en la tubería de descarga, registros de la entidad operadora.
Dependiente (VD) Impacto Ambiental	Alteración significativa, positiva o negativa, de las condiciones ambientales (calidad del agua y biota marina) como resultado del vertimiento de aguas residuales.	Comparación de los resultados de los análisis de laboratorio y los muestreos biológicos de las áreas de estudio con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (categoría 4: Aguas Marinas Costeras) y las áreas de control.	Calidad Física-química del Agua	Parámetros físico-químicos: DBO, DQO, Sólidos Suspendidos Totales (SST). Parámetros microbiológicos: Coliformes Totales y Fecales.	Análisis de laboratorio en las zonas de influencia y comparación con los ECA.
			Calidad Microbiológica del Agua	Indicador: Coliformes Termotolerantes/Fecales (NMP/100 mL).	Muestreo y análisis en las zonas de influencia y comparación con ECA.
			Afectación a la Biota Marina	Flora: Diversidad y Abundancia de especies de macroalgas y fitoplancton. Fauna: Diversidad y Abundancia de especies de macroinvertebrados bentónicos.	Muestreo biológico, Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H'),
Interviniente (VIN): Nivel de impacto ambiental	Es una herramienta para medir el nivel de impacto ambiental	Mide el nivel de la correlación del vertimiento de aguas residuales y el impacto ambiental en la zona de estudio	Compatible Moderado Severo Crítico	$ I < 25$ $25 \leq I < 39$ $40 \leq I < 55$ $ I \geq 55$	Matriz de Conesa.

Nota. Estructura técnica de las variables independiente, dependiente e interviniente de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Diversas investigaciones de nivel internacional han abordado los impactos ambientales generados por los vertimientos de aguas residuales en ecosistemas costeros, enfocándose en la metodología de evaluación, la identificación de contaminantes y los efectos ecológicos.

La European Commission (2020) aplicó en la bahía de Palma, Mallorca, un marco metodológico que combina modelos hidrodinámicos con indicadores ecológicos para analizar la dispersión del efluente y su influencia en la calidad del agua. Este enfoque se consolida como una referencia clave para estudios en contextos geográficos similares. Por otro lado, el World Bank (2017) ha desarrollado guías técnicas sobre el diseño y la operación de emisarios submarinos, destacando la necesidad de evaluar los impactos acumulativos y proponer medidas de mitigación adecuadas.

En Turquía, Kalkan y Demirci (2021) evidenciaron que los vertimientos de plantas de tratamiento son una fuente importante de contaminantes microplásticos en ambientes marinos costeros. De manera complementaria, Li y Wang (2021) revisaron cómo las descargas de aguas residuales alteran las comunidades microbianas, lo cual repercute significativamente en la estructura y el funcionamiento del ecosistema.

La National Academy of Sciences (2020) analizó vertimientos en el sureste de Florida. Sus conclusiones indican que las descargas con tratamiento secundario pueden, a pesar de la dilución, contribuir a la eutrofización y afectar la biota costera, dependiendo de la capacidad de dilución del cuerpo receptor.

2.1.2. Antecedentes Regionales (Latinoamérica)

A nivel regional, se han documentado los severos efectos de los vertimientos en Latinoamérica, particularmente en México y Colombia, confirmando que el tratamiento insuficiente resulta en una carga masiva de nutrientes y contaminación microbiológica.

Ahumada (1992) y Aguerren et al. (2009), citados en Vega Ventosilla (2024), documentaron que en la Bahía de San Vicente, Chile, la existencia de carga contaminante, principalmente por plantas procesadoras de pescado e industrias que arrojan sus desechos sin tratamiento, ha generado serias alteraciones ambientales, ecológicas, químicas y estéticas. Esta experiencia subraya la potencial severidad del impacto de efluentes industriales y domésticos en ecosistemas marinos.

Vega Ventosilla (2024) ha establecido que las descargas de aguas servidas, sobre todo en América Latina, llegan frecuentemente a las costas sin el tratamiento adecuado, provocando la contaminación y el debilitamiento de los recursos hídricos, siendo los efluentes industriales a menudo más peligrosos que las aguas residuales domésticas.

Martín (2016), en Cartagena, Colombia, realizó un estudio enfocado en la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales para su descarga mediante emisario submarino, titulado *"Estudio para la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales de Cartagena para su descarga mediante emisario submarino en el Mar Caribe"*. La investigación concluyó que la optimización del sistema contribuye a la recuperación y preservación de la bahía y la Ciénaga de la Virgen, lo cual permitiría aprovechar el ambiente para actividades recreativas y comerciales.

Vargas (2012) investigó los efectos de la desviación de aguas residuales urbanas en la Ensenada La Salada, Sonora, México, en el estudio titulado *"Vertimientos de aguas residuales urbanas y sus efectos en la condición ambiental de la Ensenada La Salada, Sonora, México"*. El estudio, que buscó evaluar la condición ambiental mediante índices de Calidad Ambiental Costera y de Estado Trófico, concluyó que el tratamiento primario es insuficiente. Se cuantificó una carga anual de 1237 toneladas de nitrógeno y 811 toneladas de fósforo, determinando que la calidad del agua fue mala estacionalmente (principalmente en primavera e invierno) debido a esta carga masiva de nutrientes.

Chalarca et al. (2007), en su aproximación a la determinación del impacto de los vertimientos de aguas residuales domésticas en la Ciénaga de Ayapel (Colombia), emplearon el análisis de parámetros fisicoquímicos para evaluar la alteración en la calidad del agua, una metodología clave aplicable al litoral de Ilo.

Urbano (1992) analizó el estado de la Bahía de Cartagena, Colombia, frente a la contaminación en el artículo "*Estado actual de la Bahía de Cartagena V/S Contaminación*". La metodología incluyó la verificación de las corrientes marinas mediante sensores remotos (imágenes de satélite). El estudio concluyó que la principal fuente de afectación es la contaminación microbiológica generada por las descargas de aguas negras y alcantarillado sanitario, cuyos niveles superan los límites permisibles.

2.1.3. Antecedentes Nacionales

Diversos estudios a nivel nacional han abordado la problemática de la gestión y el impacto de los vertimientos de aguas residuales en el Perú, evidenciando desafíos significativos en el tratamiento y monitoreo ambiental.

Huayanay-Quevedo (2022) evaluó la presencia de *Escherichia coli* en la Playa Pucusana, Lima, encontrando valores promedio de este indicador de contaminación fecal superiores a 1000 NMP/100 mL en todas las muestras. La conclusión apuntó a una carencia de salubridad ambiental y su relevancia en la salud pública, confirmando el impacto directo de las descargas en la calidad del agua de playa.

Galarza y Kamiche (2020), citados en Vega Ventosilla (2024), también señalaron que los impactos negativos del vertimiento de efluentes, tanto industriales como domésticos, han generado serias alteraciones ambientales en zonas marino-costeras del Perú, como se observó en la Bahía de San Vicente, Chile, enfatizando que la contaminación conduce al envilecimiento del medio ambiente.

Araujo y Pineda (2020) evaluaron el impacto ambiental de un efluente submarino en la costa central del Perú. Su estudio identificó alteraciones significativas en parámetros fisicoquímicos (oxígeno disuelto, sólidos suspendidos y nutrientes) y, de forma crítica,

detectó la presencia de metales pesados en concentraciones que superaban los límites establecidos por la normativa nacional, subrayando la urgencia de controles más estrictos.

Núñez (2019) evaluó la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cajabamba, Cajamarca. Los hallazgos indicaron que la PTAR no es eficiente en la remoción de sólidos suspendidos totales (50 %) ni en la remoción de materia orgánica, con valores de remoción para DBO₅ y DQO de 23,20 % y 27,63 %, respectivamente, evidenciando que el sistema de tratamiento es deficiente, según la Norma Técnica de Edificación OS.090 (2006).

Conopuma Rivera (2018) investigó el monitoreo de las aguas residuales vertidas en la Bahía del Callao, utilizando imágenes satelitales Landsat. Este estudio, realizado desde 1985 hasta 2015, demostró que la descarga de efluentes residuales y los colectores marinos causan un aumento de temperatura superficial del mar y alteraciones en la coloración, identificando una alta correlación entre la temperatura in situ y la satelital.

Espinoza (2018) aplicó la matriz de Leopold en un estudio de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Lambayeque. Los resultados revelaron deficiencias en el tratamiento, generando riesgos potenciales de contaminación para aguas subterráneas y ecosistemas costeros adyacentes. La matriz permitió priorizar los impactos más significativos y proponer alternativas de mitigación focalizadas.

Cerna (2012) investigó la contaminación de la Bahía de El Ferrol (Chimbote, Áncash) con aguas residuales domésticas. El estudio concluyó que los niveles de contaminación son altos, especialmente durante los periodos de veda, y exceden los límites normativos en la mayoría de las estaciones. Determinó que las aguas residuales domésticas son un factor de contaminación importante y resaltó la necesidad vital de un tratamiento eficiente.

2.1.4. Antecedentes Locales (Moquegua)

En el sur del Perú, particularmente en Ilo (Moquegua), las investigaciones han brindado un análisis más detallado sobre los efectos ecológicos directos de los vertimientos de aguas residuales, enfocándose en las comunidades biológicas, lo cual se relaciona directamente con el objetivo de la presente tesis.

Giovana (2023) evaluó el índice de calidad sanitaria de playas como Pozo de Lisas, Boca del Río y Puerto Inglés en la provincia de Ilo durante enero-junio de 2020, documentando la presencia de coliformes termotolerantes. Aunque su enfoque es en la calidad sanitaria de playas, reafirma la existencia de contaminación microbiana en el litoral de Ilo, potencialmente vinculada a descargas de aguas residuales.

Díaz y López (2019) realizaron una investigación en la zona marino-costera de Ilo centrada en el impacto de los vertimientos en las comunidades fitoplanctónicas. Los resultados mostraron un aumento significativo de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en los puntos cercanos al emisario, lo que indujo un cambio estructural en las comunidades, con una disminución de especies sensibles y un incremento de especies oportunistas asociadas a procesos de eutrofización.

Neyra y Yucra (2017) desarrollaron un estudio descriptivo sobre el *"Impacto del vertimiento de aguas residuales en las comunidades fitoplanctónicas de la zona marina costera de Ilo, Moquegua"*. Determinaron que existen variaciones significativas en la estructura comunitaria (composición y abundancia) y la heterogeneidad espacial del fitoplancton a lo largo de los puntos de muestreo. Asimismo, se constató que la calidad de las descargas de la PTAR "Media Luna" es inadecuada, ya que superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) conforme al D.S. N° 003-2010-MINAM.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Media Luna EPS ILO

La PTAR Media Luna en Ilo trata las aguas residuales de la población, que contienen materia orgánica e inorgánica, evitando su descarga directa y los riesgos asociados a la salud y al medio ambiente.

El Sistema de Tratamiento consta de cinco lagunas de estabilización (una primaria y cuatro facultativas: dos secundarias y dos terciarias). Diseñada para un máximo de 179 l/s. Carece de sistema de aireación en la laguna primaria y de desinfección a la salida, lo que genera contaminación y malos olores. Se monitorean los parámetros críticos: el número más probable de coliformes fecales (NMP. C.F.) y la demanda biológica de oxígeno a cinco días (DBO5). La conductividad supera los 20,0 mS/cm. Las lagunas están operativas con mantenimiento constante. La primaria tiene revestimiento de arcilla cemento, y las facultativas, de geomembrana de HDPE. Se aplican biocatalizadores para reducir olores. El efluente se concentra en una caseta y es enviado por un emisor de 30 m de longitud, quedando luego expuesto a la intemperie y conduciendo al mar los vertidos.

2.2.2. Impacto Ambiental: Concepto y Dimensiones

El Impacto Ambiental es cualquier alteración significativa (positiva o negativa) del ambiente, causada por la acción humana o procesos naturales (Ley N.º 28611). Los impactos de vertimientos de aguas residuales son fisicoquímicos, como los cambios en el oxígeno disuelto (OD), temperatura, pH, sólidos suspendidos, turbidez y nutrientes (N y P). Los biológicos en la alteración en la composición y abundancia de fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados bentónicos e ictiofauna y sociales en la afectación de actividades recreativas, turismo, pesca artesanal y salud pública (CONAM, 2002).

2.2.3. Ecosistemas Marinos–Costeros: Características y Vulnerabilidad

Son zonas de transición (playas, estuarios, manglares) altamente productivas y biodiversas, estratégicas para la pesca y el turismo. Son vulnerables a la contaminación, por la proximidad a centros urbanos e industriales, tienen limitada capacidad de

renovación (especialmente en bahías cerradas) y son sensibles a pequeños cambios físico-químicos que afectan la biota (UNEP, 2016).

2.2.4. Aguas Residuales y su Impacto en Ambientes Marinos

Las aguas residuales (domésticas, comerciales, industriales) vertidas sin tratamiento adecuado causan: eutrofización por el exceso de nutrientes provocan proliferación de algas (Bloom algal) (Smith et al., 2006)., disminución de O₂ disuelto e hipoxia, contaminación bacteriológica con la presencia de coliformes fecales y patógenos, afectando la salud y la calidad sanitaria de las playas y la bioacumulación con la incorporación de metales pesados y compuestos tóxicos a la cadena trófica (Ribeiro et al., 2018).

2.2.5. Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales

Los sistemas de tratamiento se clasifican según el nivel de remoción de contaminantes:

- Tratamiento Primario: Remoción de sólidos gruesos y sedimentables.
- Tratamiento Secundario: Reducción de la carga orgánica mediante procesos biológicos.
- Tratamiento Terciario: Eliminación de nutrientes, microorganismos patógenos y contaminantes emergentes (fármacos, microplásticos).

2.2.6. Emisarios Submarinos y Disposición Marina de Efluentes

Es una estrategia para la disposición de efluentes tratados al mar, cuyo diseño debe considerar:

- Distancia de descarga: Mínimo recomendado de 1 km mar adentro.
- Profundidad, dilución inicial y dispersión lateral (zonas de mezcla).
- Impacto acumulativo en la zona costera receptora.

Un diseño deficiente o un tratamiento previo insuficiente puede causar contaminación visible en la costa (World Bank, 2017).

2.2.7. Indicadores de Calidad Ambiental en Zonas Marino-Costeras

La evaluación de impacto se basa en parámetros:

- Físico-químicos: OD, DBO₅, SST, Nutrientes (N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄).
- Microbiológicos: Coliformes totales y fecales (indicadores sanitarios).
- Biológicos: Composición y abundancia de fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados bentónicos.

La metodología de evaluación puede apoyarse en el uso de índices ecológicos (diversidad de Shannon, índices tróficos), análisis multivariado y monitoreo temporal antes–durante–después del vertimiento (EPA, 2002).

2.2.8. Evaluación de Impacto Ambiental (EIA):

Herramientas y Enfoques

La EIA es un instrumento preventivo para identificar, predecir y valorar los efectos de un proyecto, teniendo Herramientas Clave como:

- La Matriz de Conesa: Relaciona actividades con componentes ambientales para calificar la magnitud e importancia del impacto.
- La Evaluación de Riesgo Ambiental: Estima la probabilidad y consecuencias de eventos contaminantes.
- Los Modelos de Dispersión Hidrodinámica: Simulan el comportamiento del efluente (pluma de mezcla) en el cuerpo receptor.

2.2.9. Marco Normativo Peruano sobre Vertimientos y Calidad Ambiental del Agua

El sistema legal peruano establece una regulación exhaustiva para el manejo de vertimientos y la protección de la calidad ambiental en el ámbito hídrico.

2.2.9.1. Leyes Fundamentales

- Ley General del Ambiente (Ley N.º 28611): Es el pilar de la legislación ambiental, establece los principios y normas básicas para la protección del medio ambiente y la gestión sostenible de los recursos naturales.
- Ley de Recursos Hídricos (Ley N.º 29338): Regula el uso, gestión y conservación del agua como recurso natural, vital para el desarrollo del país.

2.2.9.2. Instrumentos de Gestión Ambiental

- Límites Máximos Permisibles (LMP) para Vertimientos (D.S. N.º 003-2010-MINAM): Estas normas establecen las concentraciones o cantidades máximas de contaminantes que pueden contener las descargas de efluentes, asegurando que el vertimiento no exceda la capacidad de asimilación del cuerpo receptor.
- Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) (D.S. N.º 004-2017-MINAM): Fijan el nivel de concentración de contaminantes que no debe exceder en el agua para proteger la salud humana y el ecosistema, funcionando como metas de calidad a alcanzar en los cuerpos de agua.

2.2.9.3. Monitoreo y Estrategia

- Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N.º 010-2016-ANA): Proporciona la metodología estandarizada para evaluar de forma regular el estado de calidad de los ríos y lagos.

- Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos (R.J. N° 042-2016-ANA): Define las líneas de acción prioritarias a nivel nacional para la conservación y recuperación de la calidad de las fuentes de agua.
- Clasificación de cuerpos de agua continentales superficiales (R.J. N° 056-2018-ANA): Categoriza los cuerpos de agua según su uso actual o potencial (consumo humano, recreación, riego, conservación de ecosistemas), lo cual determina los ECA-Agua aplicables.

2.2.9.4. Institucionalidad

- Reglamento de Organización y Funciones (ROF) de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) (D.S. N° 018-2017-MINAGRI): Define la estructura, las funciones y las competencias de la ANA, el organismo rector en la gestión integrada y multisectorial de los recursos hídricos en Perú.

2.2.9.5. Agua Residual Doméstica

Resultado de la actividad diaria en hogares (higiene, cocina, lavado). Contiene materia orgánica, nutrientes, detergentes y patógenos.

- Representan el 80 % a 90 % del consumo de agua y su caudal varía a lo largo del tiempo.
- La normativa ambiental peruana prohíbe su uso o vertimiento sin tratamiento previo.

Servicio de tratamiento lo prestan las EPS a nivel nacional.

2.2.11. Constituyentes del Agua Residual

Se clasifican en físicos, químicos y biológicos. Los más importantes, y para cuya remoción se diseñan las instalaciones, son los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos. (Gómez Rendón, 2013, p. 31).

2.2.12. Caracterización de las Aguas Residuales

Implica el análisis cualitativo y cuantitativo de las aguas residuales, las cuales pueden incluir aguas domésticas y aguas industriales que cumplan con los Valores Máximos Admisibles (VMA). La provincia de Ilo tiene dos zonas de drenaje, con la mayoría de los desagües (Drenaje N° 01) conducidos por gravedad a la PTAR Media Luna. Figura 1.

2.2.13. Caracterización del Cuerpo Receptor

El cuerpo receptor de la PTAR Ilo es el Océano Pacífico en la playa Media Luna.

Las bahías de Ilo e Ite en el contexto histórico fueron catalogadas como áreas críticas por relaves mineros hasta 1996 (Guillén, 1984 y PNUMA).

Estudios previos (Sánchez et al., 1995, 1998, 1999) han reportado altas concentraciones de contaminación fecal cerca de la descarga, alteraciones por contaminación con silicatos y bajas densidades macrobentónicas.

IMARPE Clasificó el área costera de Ilo como levemente contaminada.

Tabla 1*Constituyentes del agua residual*

Constituyentes	Concentración (mg/l)		
	Alta	Media	Baja
Sólidos totales	1000	500	200
- Volátiles	700	350	120
- Fijos	300	150	80
S. Totales en suspensión	500	300	100
- Volátiles	400	250	70
- Fijos	200	100	50
S. Totales disueltos	500	200	100
- Volátiles	300	100	50
- Fijos	200	100	50
S. Sedimentables (ml/l)	12	8	4
DBO ₅	300	200	100
Consumo de oxígeno	150	75	30
Oxígeno disuelto	0	0	0
Nitrógeno total	85	50	25
- Orgánico	35	20	10
- Amoniacal	30	30	15
- Nitrito	0,1	0,05	0
- Nitrato	0,4	0,20	0,1
Cloruros	175	100	15
Alcalinidad (CaCa ₃)	200	100	50
Aceites y grasas	40	20	0

Nota. American Public Health Association

2.2.14. Zona de Mezcla

Es el volumen de agua alrededor del punto de descarga donde aún se identifican características del efluente. No se le aplican los ECA-Agua definidos para el cuerpo receptor (MINAM, 2015).

La dimensión, la extensión y la dispersión de este dependen de los contrastes existentes entre el efluente y el cuerpo receptor en lo que respecta a densidad y temperatura, así como de la profundidad, el caudal, la inclinación del vertido y la velocidad de la corriente marina.

En la PTAR Ilo, el efluente se descarga en la superficie con una densidad inferior a la del agua de mar, lo cual produce una dispersión superficial y lateral en dirección a la corriente.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Agua Limpia y Saneamiento

El ODS 6 tiene como objetivo asegurar el acceso y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos para el año 2030. Esto consiste en garantizar que todos tengan acceso a agua potable segura, servicios de saneamiento apropiados, incrementar la calidad del agua, optimizar su uso, proteger los ecosistemas acuáticos y fomentar la colaboración internacional para implementar proyectos en naciones en desarrollo.

2.3.2. Bacterias

Son microorganismos unicelulares que miden entre 0.5 y 5 μm de longitud; algunos necesitan oxígeno para vivir, mientras que para otros este gas es letal; algunos producen oxígeno y otros generan azufre.

2.3.3. Bacterias Coliformes

Es una señal de la presencia de contaminantes y patógenos. Normalmente se hallan en el tracto intestinal de los humanos y otros animales de sangre caliente.

2.3.4. Bacterias enteropatógenas

Microorganismos, generalmente bacterias, capaces de causar enfermedades en el tracto intestinal. Se transmiten principalmente a través de alimentos, agua, fecal-oral.

2.3.5. Bentos

Comunidad constituida por las entidades que residen en el fondo de los ecosistemas acuáticos.

2.3.6. Calidad en el tratamiento de aguas residuales

El 37,1 % de los 170 informes de monitoreo que pertenecen a EPS y municipalidades en el año 2020 cumplen con los Límites Máximos Permisibles

establecidos para efluentes provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales o domésticas.

2.3.7. Caudal

Flujo de agua superficial en un canal o en un río: la unidad de medida es litros por segundo para los caudales de aguas residuales.

2.3.8. Cloración

Se trata de desinfectar el agua; se agrega para controlar la presencia de microorganismos. Oxida las sustancias contaminantes presentes en el agua.

2.3.9. Cloro

Es un gas de color verde y amarillo que es muy tóxico para los seres humanos y animales. Es un desinfectante muy utilizado; sin embargo, su uso conlleva ciertos peligros, como la generación de trihalometanos (Kiely, 1999).

2.3.10. Coliforme

Son especies bacterianas que, al tener rasgos bioquímicos, se convierten en indicadores de contaminación en el análisis de aguas residuales domésticas. La palabra significa "con forma de coli". En 1860, el alemán Theodor von Escherich identificó la bacteria conocida científicamente como *Escherichia coli*.

2.3.11. Componentes sólidos

Los elementos biológicos, químicos y físicos constituyen las aguas residuales urbanas. Es una combinación de materiales orgánicos que están suspendidos o disueltos en el agua. La proporción de material sólido es aproximadamente del 0,1% (Rolim, 2000).

En un ARU, los elementos sólidos más comunes son: microorganismos, metales pesados, nutrientes, materia inorgánica y materia orgánica. Una parte significativa de estos está en estado coloidal y disueltos (70 %), mientras que el 30 % restante está en forma particulada. Por lo general, evaluamos esta parte a través de la concentración de

materia en suspensión (MES). Entre ellos, la mayoría (73 %) son sedimentables; los demás no lo son (Metcalf & Eddy, 2003; Rolim, 2000).

El ARU está constituido por un 99,9 % de agua y un 0,1 % de sólidos. De estos últimos, el 70 % son sólidos orgánicos (grasas, carbohidratos, proteínas) y el otro 30 % son sólidos inorgánicos como metales, sales o arenas (Rolim, 2000).

2.3.12. Contaminación

Es una modificación dañina en los atributos biológicos, químicos y físicos de nuestra agua, aire y tierra que tiene el potencial de perjudicar la vida humana y la de especies útiles.

2.3.13. Crecimiento Aeróbico

Crecimiento de microorganismos en presencia de oxígeno disuelto y que son impulsados por un aireador.

2.3.14. Demanda química de oxígeno (DQO)

Se logra a través de la oxidación del agua residual en una solución ácida de permanganato o bicromato de potasio ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$). Casi todos los compuestos orgánicos se oxidan en agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2) en este proceso. En más del 95 % de los casos, la reacción es completa. La ventaja de las mediciones de DQO es que sus resultados son rápidos (alrededor de tres horas), pero su desventaja es que no brindan información sobre la proporción de materia orgánica que es oxidada por las bacterias (Cisterna, Peña, 1999; Sánchez, 2006; Rolim, 2000).

2.3.15. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

El requerimiento bioquímico de oxígeno es el volumen de oxígeno que se utiliza en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, bajo condiciones específicas de temperatura y tiempo. Es el indicador principal para medir cuán contaminada está el agua residual.

La depuración de aguas residuales en lagunas de estabilización es altamente efectiva dependiendo del clima de la región, incluyendo la temperatura, la fuerza y frecuencia de los vientos locales y la radiación solar; todos estos elementos tienen un impacto directo sobre la biología del sistema (Mara, Pearson, 1998).

La DBO_5 se calcula normalmente a 20 °C, tras cinco días de incubación; se cuantifica el oxígeno que las bacterias consumen mientras oxidan la materia orgánica del agua residual. La DBO_5 , que muestra la demanda bioquímica a cinco días de incubación, se usa en la práctica porque es más fácil de medir que la DBO_f , que representa el oxígeno requerido para lograr una biooxidación total del agua residual.

2.3.16. Desinfección

Se utiliza para disminuir, antes de la disposición final, el contenido de virus, bacterias y quistes amebianos en las aguas residuales tratadas. La desinfección es la eliminación específica de los gérmenes que provocan enfermedades.

La desinfección suele llevarse a cabo con la ayuda de agentes físicos, mecánicos, químicos y radiación. La desinfección química con cloro es la más empleada de todos ellos.

2.3.17. Ecología

La ecología es una parte de la biología que investiga las interacciones entre los distintos seres vivos y su medio ambiente.

2.3.18. Environmental Protection Agency (EPA)

Agencia de Protección Ambiental. Agencia gubernamental federal de EE. UU. que tiene la responsabilidad de salvaguardar el medio ambiente, el aire, el agua y los suelos, así como la salud de las personas.

2.3.19. Floraciones algales

Las denominadas Floraciones Algales Nocivas (FAN) son sucesos naturales que ocurren en entornos acuáticos, debido a que determinadas especies de microalgas —

principalmente dinoflagelados— se multiplican en un corto período de tiempo y en exceso. La presencia de miles o millones de estas células por milímetro cúbico es la responsable de otorgarle al agua una "coloración" distintiva, gracias a los pigmentos que las componen. Se manifiesta como resultado de la multiplicación y acumulación de organismos fitoplanctónicos en un periodo de días u horas, que ocurre bajo condiciones ambientales que generan eutrofización, como el incremento de nutrientes disponibles o del calor, o la escasa movilidad del agua.

2.3.20. Fósforo (P)

Es un componente que promueve la eutrofización en el agua residual; su presencia estimula el desarrollo de algas planctónicas, se presenta como fosfato en ambientes acuáticos y funciona como un nutriente limitante, porque si se usa por completo, las plantas dejan de crecer, sin importar la cantidad de nitrógeno disponible o existente.

2.3.21. Instituto del Mar del Perú (IMARPE)

Instituto Marítimo del Perú. Entidad técnica especializada del Ministerio de la Producción, enfocada en la investigación científica y el análisis y entendimiento del mar peruano y sus recursos. Su propósito es asesorar al Estado en la toma de decisiones sobre cómo emplear los recursos pesqueros de manera racional y preservar el medio ambiente marino.

2.3.22. Índice de Shannon

El Índice de Shannon (también conocido como Índice de Diversidad de Shannon-Wiener o Shannon-Weaver) es una medida muy utilizada para estimar la diversidad biológica de una comunidad. Este índice considera tanto la riqueza de especies (número total de especies presentes) como la equidad (distribución equitativa de individuos entre esas especies).

2.3.23. Límites Máximos Permisibles (LMP)

Es el nivel de concentración o grado de parámetros, elementos o sustancias químicas, físicas y biológicas que definen un efluente o una emisión. Cuando se sobrepasa

este umbral, puede producirse daño a la salud y al bienestar humano, así como al medio ambiente.

2.3.24. Línea de Agua

La línea de agua de una PTAR está formada por todas las unidades a través de las cuales el agua residual pasa desde que entra a la planta hasta que se vierte al cuerpo receptor.

2.3.25. Línea de muestreo

Conducto que conduce desde la sonda de muestreo hasta el sitio donde se entrega la muestra o hasta el equipo analítico.

2.3.26. Marea

Oscilaciones regulares y alternas de subida y bajada del nivel mar, que son causadas por la atracción gravitacional que ejercen sobre el planeta Tierra, en especial el Sol y la Luna.

2.3.27. Marea Roja

Fenómeno natural que se distingue por una elevación en la concentración de determinados organismos que forman parte del plancton. Cuando las condiciones del medioambiente son las adecuadas, se genera un incremento desmesurado de organismos fitoplanctónicos, en particular los dinoflagelados. A este fenómeno se le conoce como floración, florecimiento algal o "bloom". Este proceso produce variaciones significativas en la coloración del agua a causa de la presencia de pigmentos. Estos pigmentos pueden tener color verde, rojo, amarillo o café, así como combinaciones de estos colores. La tonalidad rojiza es la más común y por eso se ha popularizado el término "Marea Roja" a nivel global.

2.3.28. Matriz de Conesa

También conocida como el método de causa-efecto, es una herramienta cualitativa para la evaluación de impactos ambientales. Consiste en una tabla que cruza las acciones

de un proyecto con los factores ambientales, permitiendo identificar y calificar la magnitud e importancia de los impactos potenciales de forma visual.

2.3.29. Medio Ambiente

Conjunto de componentes biológicos, químicos, sociales y físicos que tienen la capacidad de generar impactos directos o indirectos, ya sea en el corto o largo plazo, sobre los seres vivos y las acciones humanas.

2.3.30. Metales pesados

Los metales pesados son aquellos elementos cuya densidad es igual o superior a 5 g/cm³ en su forma elemental. En la tabla periódica, estos son los elementos que poseen una densidad más alta que la del hierro y un número atómico mayor de 20, con la salvedad de los metales alcalinos y alcalino-térreos (Toral citado por M. Acosta, 2007).

2.3.31. Metano

Gas sin color, con olor y que es inflamable; más ligero que el aire. Se genera a partir de la descomposición de la materia orgánica.

2.3.32. Microorganismo

Organismos microscópicos, como bacterias, algas y hongos, entre otros; algunos producen azufre y otros oxígeno.

2.3.33. Ministerio de Salud (MINSA)

La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), perteneciente al Ministerio de Salud, se encarga de fijar las normas técnicas sanitarias para el suministro de agua para consumo humano, así como la gestión, reutilización y vertido de aguas residuales domésticas y la disposición de excrementos. Además, supervisa el estado sanitario de los sistemas de agua y saneamiento con el objetivo de proteger la salud de las personas. Además, elabora e implementa el sistema para registrar y controlar los vertimientos en términos de su efecto sobre el cuerpo receptor.

2.3.34. Mitigación

Acciones o medidas dirigidas a mitigar o reducir los efectos negativos que un proyecto puede tener sobre el medio ambiente.

2.3.35. Modelos de Dispersión hidrodinámica

Son software que emplea algoritmos matemáticos relacionados con la dirección, velocidad y tiempo de difusión, que simula comportamientos de propagación de contaminantes teniendo en cuenta las propiedades físico-químicas y los procesos hidrodinámicos de mezcla, de modo que evalúa la eficiencia de la dispersión de las aguas residuales vertidas.

2.3.36. Muestra Compuesta

Se trata de dos o más muestras y submuestras combinadas, en proporciones adecuadas que se conocen (ya sea de forma discreta o continua), a partir de las cuales se puede determinar el promedio de una cualidad deseada. Normalmente, las proporciones se fundamentan en mediciones de flujo y de tiempo.

2.3.37. Muestra Simple

Muestra aleatoria (en cuanto a tiempo y/o ubicación) de un cuerpo acuático.

2.3.38. Monitoreo

Recopilación, en términos de espacio y tiempo, de información concreta acerca del estado de las variables medioambientales, que sea útil para los procesos de supervisión y monitoreo ambiental.

2.3.39. Nitrógeno (N)

El amoníaco requiere grandes cantidades de oxígeno para transformarse en nitrato. La oxidación inicial se lleva a cabo a través de bacterias nitrosomonas y produce nitrito. El nitrito se emplea como conservante alimentario, aunque es tóxico. Un segundo conjunto de bacterias se encarga de oxidar el nitrito hasta convertirlo en nitrato. Es poco frecuente que el nivel de nitrito en una colonia bacteriana sea aproximadamente 0,1 mg/l.

2.3.40. Nutriente

Barajas (2002) En su investigación de tesis doctoral "Eliminación biológica de nutrientes en un reactor biológico secuencial, caracterización y estimulación de las fuentes de carbono presentes en el agua residual urbana". Concluye que, en la mayor parte de las situaciones, los nutrientes más importantes son el fósforo y el nitrógeno. Son fundamentales para el desarrollo de vida acuática no deseada, por lo que también se les conoce como bioestimuladores. Es necesario añadir nutrientes cuando la cantidad de estos no es suficiente para llevar a cabo las funciones metabólicas fundamentales de los microorganismos. En cambio, si para proteger los usos previstos se necesita controlar las algas en la masa de agua receptora, puede ser necesario disminuir o eliminar el fósforo y el nitrógeno.

2.3.41. Oxígeno disuelto (OD)

Es un componente significativo para la respiración de los microorganismos aerobios y tiene una solubilidad en el agua muy baja. Una de las variables que intervienen en los olores desagradables es su deficiencia.

El análisis en el laboratorio determina la concentración de oxígeno disuelto O₂ en una solución, que se introduce desde la superficie del medio ambiente o por medio de aireación.

2.3.42. Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH es un indicador de la alcalinidad y la acidez. Nos señala la concentración de iones de hidrógeno $[H]^+$ que están en algunas disoluciones. Para eliminar la contaminación orgánica, el pH ideal de los lodos activados debe estar entre 6.5 y 8.5.

2.3.43. Pluma de Dispersión

Una pluma de dispersión marina es un término que describe un penacho de sustancia (como humo o contaminantes) que se mueve en el agua, o una masa de agua contaminada que se propaga en un acuífero.

2.3.44. Punto de Muestreo

Ubicación exacta en la que se recogen las muestras dentro de un espacio de muestreo.

2.3.45. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTAR)

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas o Domésticas (PTAR): Procesos e infraestructura que posibilitan la purificación de las aguas residuales de tipo doméstico o municipal (2010, MINAM)

2.3.46. Re-uso

Reutilizar el agua residual es una opción para aliviar la falta de este recurso, puesto que su uso y conservación deben ser una responsabilidad fundamental de todos. Asimismo, la utilización de aguas tratadas supone una ventaja económica que tiene el potencial de ayudar a mantener los sistemas sanitarios y las compañías proveedoras.

2.3.47. Sedimentación

Es el procedimiento de separación de las partículas que son más densas que el agua y poseen una sedimentación notoria, lo cual posibilita que lleguen al fondo del tanque sedimentador por medio de la gravedad.

2.3.48. Sólidos Totales en suspensión (STS)

Todos los flujos residuales contienen sólidos en suspensión. Las aguas que llegan de las redes de alcantarillado doméstico contienen entre 150 y 250 mg/l, en función de su concentración. Los residuos petroquímicos pueden presentar STS por encima de los 400 mg/l. Algunas corrientes residuales, como las que provienen de los procesos petroquímicos, plantas papeleras y residuos alimenticios, contienen más de 1000 mg/ml de STS.

2.3.49. Tecnología de Tratamiento de Aguas Residuales

El proceso de tratamiento de aguas residuales puede describirse como el compendio de recursos que permiten comprobar las fases de purificación de un flujo en un área delimitada, aislada y bajo condiciones controladas.

Las etapas que constituyen un sistema de tratamiento de aguas residuales se pueden clasificar de manera general en tratamiento preliminar, primario, secundario, terciario y de lodos.

2.3.50. Valores Máximos Admisibles (VMA)

Se refiere a la concentración de parámetros específicos, ya sean físicos o químicos, presentes en las descargas de aguas residuales no domésticas destinadas a los sistemas de alcantarillado sanitario. Al superar dicha concentración, se produce un daño inmediato o progresivo a la infraestructura y equipos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, y tiene repercusiones adversas en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

2.3.51. Vertimiento marino

Descarga definitiva de elementos, compuestos o sustancias que se encuentran en un medio líquido a una superficie de agua marina o superficial, al alcantarillado o al suelo.

2.3.52. Zona Eufótica

Es la región superficial de la columna de agua que se limita por la profundidad en la que el nivel de luz se reduce a un 1% del que ha alcanzado la superficie; es el umbral más allá del cual no se puede llevar a cabo el proceso de fotosíntesis.

2.3.53. Zona intermareal

Se encuentra alternativamente cubierta por el mar y expuesta al aire; esto favorece la formación de un ecosistema particular, adaptado simultáneamente a las condiciones aéreas y marinas, capaz de resistir las olas y las mareas, y capaz de resistir las olas y las mareas.

2.3.54. Zona Marino Costera

Se refiere al espacio geomorfológico situado a ambos lados de la margen marítima, donde se produce la interacción entre la parte marina y la terrestre mediante los sistemas ecológicos y los recursos complejos constituidos por elementos bióticos y abióticos.

2.3.55. Zona de Mezcla

Se refiere a la cantidad de agua presente en el cuerpo receptor que permite la dilución del vertimiento mediante procesos hidrodinámicos y dispersión, sin tener en cuenta otros factores como el decaimiento bacteriano, la sedimentación, la asimilación en materia orgánica y la precipitación química.

2.3.56. Zona Submareal

Zona permanentemente inmersa o únicamente expuesta por períodos de tiempo breves.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Según Ñaupas Paitán et al. (2014) y Hernández & Mendoza (2018), la metodología de la investigación es:

3.1. Tipo de investigación

Aplicada,

- **Aplicada:** utiliza conocimientos científicos para resolver un problema ambiental y de salud pública, buscando validar información para la toma de decisiones.

3.2. Nivel de la investigación

Descriptivo, correlacional, explicativo.

- **Descriptivo:** Se describieron las características del vertimiento (VI) y las condiciones actuales del litoral (VD), incluyendo la calidad del agua y la biota.
- **Correlacional:** Se estableció la relación entre la concentración de los contaminantes del vertimiento y el grado de alteración del ecosistema marino (impacto ambiental).
- **Explicativo:** Se estableció la relación causa-efecto.

3.3. Diseño de la investigación

No Experimental, transversal.

Los datos se recolectaron en un único momento o periodo de muestreo, sin manipular intencionalmente la variable independiente (vertimiento).

3.4. Enfoque de la investigación

Cuantitativo: Se recolectaron datos numéricos (concentraciones de contaminantes, caudales, índices de diversidad) y cualitativamente se determinó el nivel de impacto mediante la matriz de Conesa, para probar la hipótesis.

3.5. Población y muestra

Población de Estudio: El área de influencia está constituida por el ecosistema marino del litoral de Ilo, Moquegua, que comprende desde el:

Punto 1 (Zona de Impacto Directo): Ubicado a 30 metros al norte de la zona de descarga del efluente: Latitud Sur :17°35'27.05" y Longitud Oeste:71°21'22.96" y el Punto 2 (Zona de Referencia): Ubicado a más de 100 metros al sur del punto cero o zona de descarga con coordenadas geográficas: Latitud Sur 17°35'48.09" y Longitud Oeste:71°21'14.42, con coordenadas obtenidas con GPSMAP 64S Garmin

Muestra y Puntos de Muestreo: La muestra estará constituida por **puntos o zonas de muestreo** georreferenciados en la columna de agua: figura 2.

Para la colecta e identificación *in situ* de la macrofauna y macroflora

- Punto 1 o Zona de Impacto Directo (ZI): Es el área de aproximadamente de 150 m² (10 metros de ancho x 15 metros de largo) ubicados a 30 metros al norte de la zona de vertimiento: Latitud Sur :17°35'27.05" y Longitud Oeste:71°21'22.96"
- Punto 2 (Zona de Referencia): Es el área de aproximadamente de 150 m² (10 metros de ancho x 15 metros de largo) ubicados a 100 metros al sur de la zona de vertimiento: Latitud Sur 17°35'48.09" y Longitud Oeste:71°21'14.42,

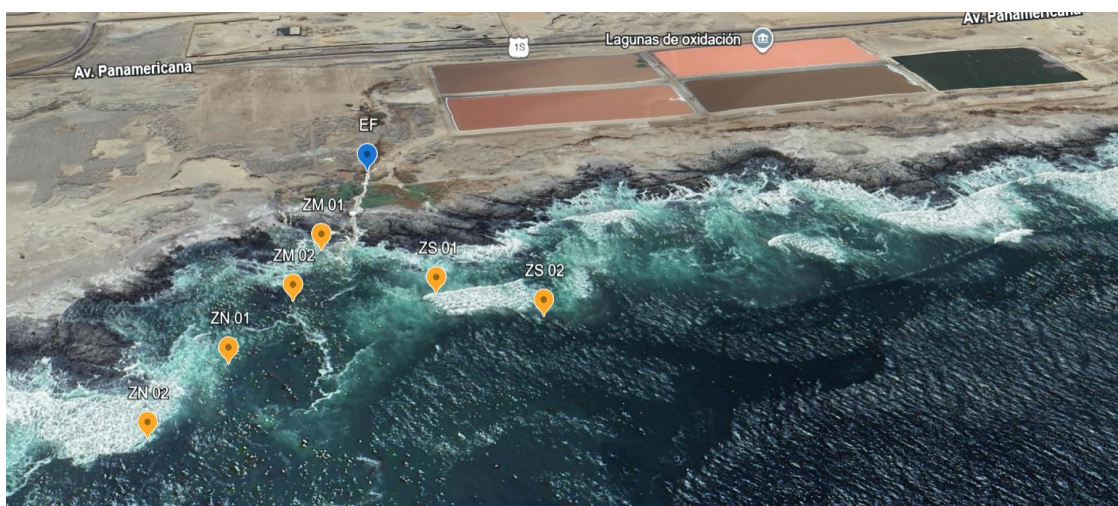
Para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

- Estación Punto 0 ubicado en S 17° 35' 27" y W 71° 21' 19"
- Estación ZM02 ubicado en S 17° 35' 26" y W 71° 21' 25"

- Estación ZM01 ubicado en S 17° 35' 26" y W 71° 21' 23"
- Estación ZS 01 ubicado en S 17° 35' 29" y W 71° 21' 24"
- Estación ZS 02 ubicado en S 17° 35' 31" y W 71° 21' 24"
- Estación ZN02 ubicado en S 17° 35' 25" y W 71° 21' 29"
- Estación ZN01 ubicado en S 17° 35' 26" y W 71° 21' 27"
- Estación Punto 3 ubicado en S 17°39'24" y W 71°21'19"

Figura 1

Estaciones de muestreo – PTAR Media Luna



Nota. Adaptado de Google Earth

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La recolección de datos se realizó mediante muestreos y el análisis en el laboratorio especializado Certificaciones del Perú S.A. (CERPER) de Arequipa, que utiliza guías metodológicas respaldadas ante el Instituto Nacional de Calidad – INACAL.

3.6.1. Parámetros Físico-químicos del Agua Residual y de Puntos o Zonas de Muestreo georreferenciados en la columna de agua *in situ* y *ex situ*

Equipos de Monitoreo

Tabla 2

Equipos utilizados en el Monitoreo Calidad de agua y sedimento marino

Equipo	Marca	Uso para:
Multiparámetro	Hanna Instruments	Medición de pH, CE, OD, T
Estereoscopio	Carl Zeiss	Ampliación y visualización de muestras.
Turbidímetro	Hach	Medición de turbiedad
Salino metro	Portasal	Medición de salinidad
GPSMAP 64S	Garmin	Geolocalización
Balanza analítica	OHAUS	Pesar muestras
Freezer	Oliveros	Conservar muestras
Estufa	MMM Ecocell	Secar y Esterilizar muestras.

Nota. Especificaciones del equipamiento técnico utilizado para la medición de parámetros *in situ* y el procesamiento de muestras en gabinete.

Materiales de Campo

- ✓ Baldes y jarras.
- ✓ Frascos de muestra para análisis de Calidad de Agua
- ✓ Frascos de muestra para análisis recursos hidrobiológicos
- ✓ Solución amortiguadora de pH.
- ✓ Formatos (registro de datos de campo, etiquetas para las muestras de agua residual y agua de mar, cadena de custodia)
- ✓ Filtros 0,45µm.
- ✓ Cajas térmicas (coolers) para preservación de las muestras.
- ✓ Ice packs.
- ✓ Bolsas ziplock
- ✓ Guantes descartables.

- ✓ Papel Tissue.
- ✓ Papel Toalla.
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Chalecos salvavidas
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Casco
- ✓ Zapatos de Seguridad
- ✓ Máscaras anti gases
- ✓ Botas de PVC
- ✓ Cabo de 20 m
- ✓ Cuadrante de 50 x50 cm
- ✓ Tamiz 0,0625 mm (Marca Forney, made in USA)

Accesibilidad

Se gestionó la autorización de zarpe con la Dirección de Capitanía del Puerto de Ilo (DICAPI); posterior al permiso se pudo acceder a la zona de muestreo, siendo 6 puntos los que se abordaron, oscilando profundidades entre 7 a 10 m.

La geografía de este litoral marino costero, ubicado frente al PTAR EPS Ilo, es rocosa y presenta escasa presencia de arena de playa, cuyas corrientes de agua presentan fuertes oleajes que hicieron riesgoso el trabajo de muestreo de agua, sedimento e invertebrados.

3.6.1.1. Parámetros Físico químicos *In Situ*

Se tomaron muestras de agua y con un multiparámetro de marca Hanna Instruments se tomaron los siguientes datos *in situ*:

pH

Se aplicó el protocolo (SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 4500-H+B, 23rd Ed (revisión 2021) 2017).

Conductividad

Se aplicó el protocolo (SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B. 23rd Ed (revisión 2021), para analizar la conductividad en diferentes tipos de agua, incluyendo agua superficial, agua potable y aguas residuales (diluidas en mar).

Temperatura

El método se basa en el protocolo (SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed (revisión 2021), principio simple de sumergir el dispositivo de medición de temperatura en la muestra de agua o en la fuente, y esperar hasta que se alcance el equilibrio térmico para realizar la lectura.

Oxígeno Disuelto

Con la Sonda Instrumental (Electroquímica) de acuerdo con la norma ASTM D888-18 (revisión de 2018), se midió el oxígeno disuelto en el agua.

Salinidad

La salinidad se determina según protocolo (SMEWW-APHA-AWWA-WEF 23rd Ed. 2017 Part-2520 B), midiendo la Conductividad Eléctrica (CE) de la muestra de agua y luego convirtiendo este valor a salinidad mediante un cálculo empírico.

Parámetros físico químicos Ex Situ

Las muestras recolectadas se enviaron al laboratorio especializado Certificaciones del Perú S.A. (CERPER) en Arequipa, que utiliza guías metodológicas respaldadas ante el Instituto Nacional de Calidad – INACAL para el análisis de los siguientes parámetros:

Sólidos Totales en Suspensión (STS)

Según el protocolo (SMEWW-APHA-APHA-WEF Part 2540 D, 24th Ed.) 2023. Solids. Total, Suspended Solids Dried at 103-105 °C. Es un método gravimétrico que implica filtrar una muestra de agua, secar el residuo retenido en el filtro y pesarlo. Determina la materia suspendida (no disuelta) en muestras de agua, agua residual o efluentes.

Fósforo Total

Se aplicó el protocolo SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 24th Ed. 2023. Phosphorus. Ascorbic Acid Method, método espectroscópico que mide el fósforo en agua, determinándose concentraciones de ortofosfato en diversos tipos de agua, incluyendo agua natural, potable, residual y salina. La muestra es filtrada y digestada hasta conseguir el tiempo de reacción y la medición espectrofotométrica con posibles interferencias de arseniatos y cromo hexavalente.

Nitrógeno Total

Se aplicó el protocolo SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 24th Ed. 2023. Nitrogen. Persulfate Method, Es un procedimiento de digestión oxidativa alcalina con persulfato para convertir todas las formas de nitrógeno presentes en la muestra de agua (nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato) en una única forma medible: nitrato mediante espectrofotometría.

Sulfuros

Se aplicó el protocolo SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-S2 E, 24th Ed. 2023. Sulfide. Gas Dialysis, Automated Methylene Blue Method. Proceso automatizado de diálisis de gases para aislar el sulfuro de la matriz de la muestra antes de hacerlo reaccionar con dimetil-p-fenilendiamina y cloruro férrico para formar el compuesto coloreado azul de metileno.

Aceites y Grasas

Para la determinación de aceites y grasas se aplicó el protocolo EPA Method 1664, Revisión B. 2010. n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel

Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry. Método basado en el desempeño aplicable a matrices acuosas que requiere el uso de n-hexano como solvente de extracción y gravimetría como técnica de determinación. Se han incorporado al método 1664 procedimientos de control de calidad diseñados para monitorear la precisión y la exactitud.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno se determinó mediante el protocolo SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2023. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test. Este método mide la contaminación orgánica en una muestra de agua determinando la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos durante un periodo de incubación de 5 días a 20 °C. El procedimiento consiste en medir el oxígeno disuelto (OD) inicial de una muestra diluida e inoculada, incubarla en frascos herméticos durante 5 días y, posteriormente, medir el OD final. La DBO se calcula a partir de la diferencia entre los valores de OD inicial y final.

Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno fue determinada por el protocolo SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed. 2023. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method. Es un método estándar para medir la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en muestras de agua mediante un procedimiento colorimétrico de reflujo cerrado. Utiliza un agente oxidante fuerte, el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), para oxidar químicamente la materia orgánica e inorgánica de la muestra bajo condiciones específicas de tiempo de digestión, concentración del reactivo y temperatura. La cantidad de oxígeno consumido se mide colorimétricamente después de la reacción, reduciéndose el ion dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$) al ion crómico (Cr^{3+}).

3.6.2. Parámetros biológicos y microbiológicos del Agua Residual y de los Puntos o Zonas de Muestreo georreferenciados en la columna de agua in situ y ex situ

3.6.2.1. Colecta e Identificación *In Situ* de la Macrofauna y Macroflora

Se evaluaron *in situ* la macrofauna bentónica y pelágica y macroflora de los Puntos 1 y 2, y su identificación taxonómica se confirmó en el laboratorio de calidad de agua de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua.

3.6.2.2. Colecta e Identificación *Ex Situ* de la Microfauna y Microflora

Las muestras de agua conteniendo la microfauna y microflora se enviaron al laboratorio especializado Certificaciones del Perú S.A. (CERPER) en Arequipa, que utiliza guías metodológicas respaldadas ante el Instituto Nacional de Calidad – INACAL para su identificación y el análisis de los siguientes parámetros:

3.6.2.2.1. Coliformes Termotolerantes

Fue determinada con la aplicación del protocolo SMEWWAPHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 24th Ed. 2023. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Thermotolerant (Fecal) Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium). La prueba del Número Más Probable (NMP), específicamente la técnica de fermentación en tubos múltiples para coliformes termotolerantes (fecales), Esta prueba determina la densidad de bacterias coliformes fecales en agua mediante la inoculación de múltiples tubos de un caldo especial (medio EC) con diluciones de la muestra de agua y su incubación a alta temperatura (44,5 °C) para detectar la producción de gas, un resultado positivo.

3.6.2.2.2. Fitoplancton

Se utilizó el protocolo SMEWW-APHA AWWA-WEF Part 10200 C.2, F.2.c.1, 24th Ed. 2023. Plankton. Concentration Techniques. Phytoplankton Counting Techniques, que describe las técnicas de concentración y recuento de fitoplancton, que

consisten en concentrar una muestra de agua y luego contar los organismos dentro de un volumen específico en una cámara de recuento bajo un microscopio.

3.6.2.2.3. Zooplancton

El zooplancton se determinó mediante el protocolo SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 10200. C.6, G.1,2, 24th Ed. 2023. Plankton. Concentration Techniques. Zooplankton Counting Techniques, cuyo desarrollo se centra en las técnicas de plancton, específicamente en la concentración de muestras y el recuento de zooplancton. Los métodos de concentración suelen implicar la filtración, mientras que el recuento se realiza a menudo utilizando un microscopio estereoscópico y cámaras de recuento especializadas como la cámara de Bogorov.

3.7. Índices de Diversidad y Dominancia

Se identificó y cuantificó la abundancia de las especies; la estructura de la comunidad de macrofauna se determinó mediante:

Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H): Mide la diversidad de especies, considerando la riqueza (número de especies) y la equitatividad (uniformidad de las abundancias).

$$H = \sum_{i=1}^S PiLn(Pi) \quad \text{Ec.1}$$

Pi = Proporción de número total de individuos de la especie i

Ln = logaritmo

Ec. 1 : Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949)

Índice de Diversidad de Simpson (D): Mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, y se enfoca en la dominancia. Un valor alto de D indica baja diversidad (alta dominancia).

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S P_i^2} \quad \text{Ec.2}$$

Pi= Proporción de número total de individuos de la especie

Ec. 2 : Simpson, E. H. (1949)

El valor de 1/D se utiliza a menudo como indicador de diversidad, donde valores mayores refieren mayor diversidad.

$$\text{Equidad (J)} = H / \ln(S) \quad \text{Ec.3}$$

Riqueza de Especies (S)

Ec. 3 : Pielou, E. C. (1966)

3.8. Valoración del Impacto ambiental

Se utilizó la Matriz de Conesa para transformar los resultados cuantitativos y correlacionarlos en una categoría de Importancia Ambiental (Tabla 3).

1. Se identificaron las **acciones** del proyecto (descarga de efluente) y los **factores ambientales** afectados (calidad Físico-Química, calidad microbiológica, biota marina).
2. Para cada interacción (Vertimiento Calidad Físico-Química), se les asignó un valor a los diez atributos de la matriz de Conesa (Intensidad, Extensión, Reversibilidad, etc.), justificando la puntuación con los resultados de laboratorio.
3. Se aplicó la fórmula de Conesa para obtener un valor numérico de Importancia (I) para cada factor ambiental.

Tabla 3*Valoración del Impacto con la Matriz de Conesa*

Atributo	Valoración (Escala 1-12) Justificación Basada en Resultados
Intensidad (IN)	
Extensión (EX)	
Momento (MO)	
Persistencia (PE)	
Reversibilidad (RV)	
Sinergia (SI)	
Acumulación (AC)	
Efecto (EF)	
Periodicidad (PR)	
Recuperabilidad (RC)	

Nota. Asignación de pesos a diez atributos específicos

Debido a que el estudio se centra en el impacto de un vertimiento de aguas residuales ya existente. El signo será negativo (-) al tratarse de una contaminación.

$$\mathbf{I = \pm (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RC)}$$

Clasificación: El valor I se clasificó en las categorías, lo que permitió determinar el Nivel de Impacto Ambiental (Tabla 4).

Tabla 4

Clasificación de la importancia (I) del nivel impacto según la Matriz de Conesa

Suma de criterios (I)	Clasificación del Impacto	Relevancia y Medidas Requeridas
$I < 25$	Impacto Compatible	Afección asumible, no requiere medidas correctoras.
$25 \leq I < 39$	Impacto Moderado	Afección notable; requiere medidas correctoras si la magnitud del proyecto lo justifica.
$40 \leq I < 55$	Impacto Severo	Afección significativa; requiere medidas correctoras, y la viabilidad ambiental del proyecto es dudosa si la afección persiste.
$I \geq 55$	Impacto Crítico	Afección muy grave y de gran magnitud; requiere medidas correctoras intensivas, urgentes e inmediatas. La viabilidad del proyecto está comprometida en estas condiciones.

Nota. Matriz de Conesa Fernández-Vítora, adaptada para la calificación de los impactos ambientales detectados en el litoral de Ilo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados de la investigación

Actualmente, el PTAR Media Luna capta las aguas residuales provenientes de toda la provincia a través de cinco (05) Colectores, un (01) Interceptor Central y un (01) Emisor Caduceo. El efluente tiene un caudal de 196 L/s, lo que representa 6 096.384 m³/año, superando en un 15 % su capacidad de diseño; un indicador no favorable para su operatividad.

Las condiciones ambientales para los meses de junio y septiembre fueron T=17 °C y 16 °C, los niveles de riesgo, de muy alto (índice UV > 8) y de moderado a alto (Índice UV entre 3 y 8), una velocidad promedio del viento alrededor de los 26,1 km/h a 13,2 km/h, respectivamente.

Objetivo 1. Evaluar la afectación del vertimiento de aguas residuales a la calidad físico-química de las aguas del litoral marino de Ilo.

4.2. Parámetros Físicoquímicos de Puntos de Muestreo del Agua Residual PTAR y Marina en la Tabla 5

Los resultados de la investigación revelan una afectación significativa en el cuerpo receptor marino debido a la presencia y concentración de contaminantes provenientes de la descarga efluente en la playa Media Luna de las lagunas de tratamiento de la PTAR como se detalla en la Tabla 5.

4.2.2. La caracterización de los Parámetros Físicoquímicos de las descargas del Efluente PTAR (Estación 1)

Las muestras de agua del PTAR mostraron valores extremadamente altos:

- Nitrógeno Total (N-Total): Valores de hasta 78 mg/L (septiembre), que contrastan drásticamente con los valores en el mar (<0,01 mg/L) en algunas estaciones, indicando una carga de nutrientes masiva.

- **Fósforo Total (P-Total):** Valores de hasta 4,8 mg/L (septiembre) en el efluente.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):** Con valores de hasta 124,3 mg/L (junio), confirmando una altísima carga de materia orgánica.

Estas concentraciones superan ampliamente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas marinas y costeras.

La investigación determinó la existencia de una zona de afectación definida:

- **Plumas de Dispersión:** Se identificaron dos plumas de dispersión de contaminantes con una longitud de 450 metros en dirección suroeste.
- **Acumulación y Estratificación:** El efluente presenta una baja salinidad (5,6 ppt vs. 35-39 ppt en el mar) y una mayor temperatura (23 °C vs. 15-18 °C en el mar), lo que favorece la flotación y estratificación del contaminante en la superficie, limitando su dispersión y provocando su acumulación cerca de la costa.

Objetivo 2. Evaluar la influencia del vertimiento de aguas residuales en los indicadores microbiológicos de las aguas del área de estudio del litoral marino de Ilo.

Los resultados biológicos se complementan con la data del Oxígeno Disuelto (OD):

- **Hipoxia Severa:** En la campaña de septiembre ('Set'), los valores de OD en estaciones cercanas a la descarga (por ejemplo, Estación 3 (ZM01) con 0,06 mg/L y Estación 4 (ZS01) con 0,17 mg/L) caen a niveles críticamente bajos.
- **Alteración de Especies:** Las elevadas concentraciones de nutrientes están causando alteraciones en las comunidades fitoplanctónicas (base de la cadena alimentaria marina).

Tabla 5

Parámetros físico químicos de puntos de muestreo del agua residual PTAR y marino

Parámetro Físico Químico	Efluente ptar		Estaciones en mar											
	Estación 1		Estación 2		Estación 3		Estación 4		Estación 5		Estación 6		Estación 7	
	S 17° 35' 27" W 71° 21' 19"		S 17° 35' 26" W 71° 21' 25"		S 17° 35' 26" W 71° 21' 23"		S 17° 35' 29" W 71° 21' 24"		S 17° 35' 31" W 71° 21' 24"		S 17° 35' 25" W 71° 21' 29"		S 17° 35' 26" W 71° 21' 27"	
	Set	Jun	ZM02 – Set	ZM02 – Jun	ZM01 – Set	ZM01 – Jun	ZS 01 – Set	ZS 01 – Jun	ZS 02 – Set	ZS 02 – Jun	ZN02 – Set	ZN02 – Jun	ZN01 – Set	ZN01 – Jun
T	23	21	17,2	16,4	17,7	17,5	15,5	16	15,6	15,8	15,5	17,6	15,2	18
PH	7,63	7,8	8,17	8,62	8,15	8,5	7,98	8	7,93	8,3	7,96	8,73	7,91	8,39
CE (mS/cm)	8,86	8,82	57,77	47,6	56,66	52,27	53,86	51,87	52,68	52,33	53,84	54,91	53,3	55,08
Salinidad (ppt)	5,6	5,58	39,35	32,462	37,7	35,082	37,7	34,906	36,82	35,044	37,7	35,086	37,7	34,895
OD (mg/l)	6,36	5,2	0,28	7,2	0,06	5,8	0,17	7,3	0,25	5,9	0,13	4,36	0,18	5,2
TDS (ppt)	26	24,9	48,13	46,4	48,5	32,6	70	49,1	56,2	40,7	48,55	42,2	42,2	39,04
NTU	12,15	10,6	0,538	-	9,815	-	0,578	-	0,818	-	0,555	-	0,579	-
STS	108	29,6	< 2,5	18	< 2,5	22	< 2,5	8	< 2,5	16	< 2,5	10	< 2,5	2,6
P-Total (mg/L)	4,8	4,2	0,129	-	0,126	-	0,132	-	0,13	-	0,139	-	0,14	-
N-Total (mg/L)	78	72	< 0,01	0,5	< 0,01	0,7	< 0,01	0,2	< 0,01	0,24	< 0,01	0,3	< 0,01	0,28
Sulfuros (mg/L)	0,991	0,873	< 0,001	-	< 0,001	-	< 0,001	-	< 0,001	-	< 0,001	-	< 0,001	-
Aceites y Grasas	4,3	5,6	< 0,5	0,389	< 0,5	0,324	< 0,5	0,014	< 0,5	0,0109	< 0,5	0,0111	< 0,5	0,0156
DBO ₅	104,5	124,3	< 2	20	< 2	22	< 2	12	< 2	15	< 2	18	< 2	12
DQO	265,1	298,4	< 10	59	< 10	56	< 10	27	< 10	29	< 10	42	< 10	36
CCTT	24 000	16 200	3 350	2 200	4 750	3 500	450	1 800	24	820	78	420	42	690

Nota. Los valores reportados corresponden a las campañas de monitoreo realizadas en los periodos de junio y septiembre.

En la tabla 5, se puede observar que la concentración de Coliformes Termotolerantes del Efluente de aguas residuales de la PTAR de Ilo en ambos periodos (septiembre y junio) es mayor a lo normado en el D.S. N°003-2010-MINAM, teniendo una influencia microbiológica significativa y localizada, que deteriora la calidad del agua del litoral costero, superando en más del doble los LMP, amenazando nocivamente el hábitat de todo recurso bentónico e invertebrados con mayor relevancia en la zona de mezcla y menor en las zonas adyacentes.

Es la evidencia concluyente de que el vertimiento es la fuente primaria de contaminación microbiológica en el litoral. La influencia del efluente es máxima en la zona de mezcla y se disipa gracias a la dilución, la dispersión oceanográfica y la muerte bacteriana, logrando la recuperación de la calidad del agua a partir de los 200 m (E6 y E7).

La influencia del vertimiento es cuantificable, localizada y significativa. La carga microbiológica introducida supera el estándar de calidad ambiental (ECA) en las dos primeras estaciones (E2, E3), poniendo en riesgo la calidad del ecosistema marino costero más cercano a la descarga, además de ser un riesgo sanitario inmediato.

Los valores observados en E2 y E3 son incompatibles con el uso recreativo de contacto primario y la extracción segura de mariscos, evidenciando un deterioro microbiológico directo causado por la mezcla inicial del efluente con el agua de mar.

Objetivo 3. Describir la afectación del vertimiento de aguas residuales en la diversidad y abundancia de la biota marina (flora y fauna) del litoral marino de Ilo.

4.3. Comunidad de Macrofauna Bentónica

No se registró la presencia de macroalgas ni de especies pelágicas en las zonas de impacto directo y de referencia.

4.3.1. Punto 1 (Zona de Impacto Directo)

En la Tabla 6, se muestra la identificación de 76 individuos pertenecientes a 11 especies bentónicas. Las especies más abundantes fueron *Grapsus tenuicrustatus* con 13 individuos (17,11 %), *Perumytilus purpuratus* y *Nerita melanotragus* con 8 individuos cada uno (10,53 %) y *Emérta análoga* 38,16 %

En la Tabla 7, el Índice de Shannon-Wiener $H=1,856$ y de Simpson $1/D=4,831$ confirman la baja diversidad y una distribución relativamente equilibrada. La especie *Emérta análoga* (38,16 % del total) es la más dominante y limita el índice de diversidad y disminuye la equidad de la distribución en el Punto 1.

Tabla 6

Identificación de especies bentónicas de la zona de impacto directo

Especies	Número de Individuos (N)	$P_i*(N/76)$	$P_i*\ln(P_i)$	P_i^2
<i>Fissurella máxima</i>	5	0,0658	-0,1691	0,0043
<i>Arbacia lixula</i>	1	0,0132	-0,0543	0,0002
<i>Grapsus tenuicrustatus</i>	13	0,1711	-0,3015	0,0293
<i>Phymanthea pluvia</i>	1	0,0132	-0,0543	0,0002
<i>Perumytilus purpuratus</i>	8	0,1053	-0,2372	0,0111
<i>Acanthopleura spp.</i>	1	0,0132	-0,0543	0,0002
<i>Brachidontes granulatus</i>	2	0,0263	-0,0932	0,0007
<i>Austrolittorina peruviana</i>	4	0,0526	-0,1477	0,0028
<i>Nerita melanotragus</i>	8	0,1053	-0,2372	0,0111
<i>Emérta análoga</i>	29	0,3816	-0,3686	0,1456
<i>Glycera</i>	3	0,0395	-0,1287	0,0016
Total	76	1,0000	-1,8561	0,2071

Nota. Los datos de riqueza y abundancia corresponden a la fase de muestreo biológico realizada en la zona de impacto directo del litoral de Ilo.

Tabla 7*Índices de diversidad y dominancia en la zona de impacto directo*

Índice	Valor Calculado	Interpretación
Riqueza de Especies (S)	11	Alta riqueza.
Equidad (J)	0,774	Equidad moderada, sesgada por la dominancia de <i>E. análoga</i> .
Inverso de Simpson (1/D)	4,831	Baja diversidad efectiva debido a que una sola especie (<i>E. análoga</i>) es muy abundante y contribuye al 70 % de la dominancia.
Shannon- Wiener (H)	1,856	Diversidad moderada a baja, refleja el desequilibrio en la distribución de la abundancia.

Nota. Los valores de Riqueza (S), Equidad (J) e índices de Simpson y Shannon-Wiener se derivan del procesamiento estadístico de los datos biológicos recolectados en la zona de impacto directo.

4.3.2. Punto 2 (Zona de Referencia)

En la tabla 8, se muestra que identificaron 363 individuos pertenecientes a 7 especies bentónicas

En la Tabla 9, el Índice de Shannon-Wiener ($H = 1,024$) confirma la baja diversidad y dominancia de especies y el Inverso de Simpson ($1/D = 1,969$) la alta dominancia en la comunidad bentónica, concentrada en mayor número de individuos de *Perumytilus purpuratus*, que registró 250 individuos (68,87 %); otras especies presentes fueron *Nerita melanotragus* (15,98 %) y *Arbacia lixula* (7,71 %) del total.

Tabla 8*Identificación de especies bentónicas de la zona de referencia*

Especies	Número de Individuos (N)	Pi	Pi*LnPi	Pi^2
<i>Heliaster helianthus</i>	13	0,0358	-0,1192	0,0013
<i>Arbacia lixula</i>	28	0,0771	-0,1976	0,0059
<i>Phymanthea pluvia</i>	9	0,0248	-0,0917	0,0006
<i>Perumytilus purpuratus</i>	250	0,6887	-0,2568	0,4743
<i>Nerita melanotragus</i>	58	0,1598	-0,2930	0,0255
<i>Grapsus tenuicrustatus</i>	4	0,0110	-0,0497	0,0001
<i>Loxechinus albus</i>	1	0,0028	-0,0162	0,0000
Total	363	1,0000	-1,0243	0,5078

Nota. Inventario taxonómico y registro de abundancia (N=363).**Tabla 9***Índices de diversidad y dominancia en la zona de referencia*

Índice	Valor	Interpretación
Shannon-Wiener (H)	1,024	Baja diversidad
Inverso de Simpson (1/D)	1,969	Alta dominancia

Nota. Valores permiten cuantificar la estructura de la comunidad bentónica en condiciones no perturbadas por el vertimiento directo.

4.3.3. Comparación Clave de los Índices

Los resultados indican 11 especies, en la tabla 10, el Punto 1 o la zona de impacto directo, de las cuales 5 son en común y 6 exclusivas, lo que da una mayor riqueza o diversidad de especies que el Punto 2, o la zona de referencia, con 7 especies, de las cuales 2 son exclusivas. De la abundancia total es significativamente menor en el punto 1 y su composición incluye fauna bentónica asociada a perturbaciones o inestabilidad por el impacto directo de las aguas residuales en las especies, mientras que el Punto 2 es un

hábitat menos perturbado con las aguas residuales y dominado por una especie tolerante, *P. purpuratus*.

Tabla 10

Comparación de los Índices

Índice	Punto 1 (Impacto Directo)	Punto 2 (Referencia)	Interpretación
Riqueza (S)	11 especies	7 especies	Mayor riqueza o diversidad de especies en la zona de impacto.
Abundancia (N)	76 individuos	363 individuos	Mayor abundancia total en la zona de referencia.
Shannon-Wiener (H)	1,856	1,024	Mayor equitatividad/diversidad aparente en P1.
Inverso de Simpson (1/D)	4,831 (moderada a baja)	1,969 (Alta Dominancia)	El P2 está fuertemente dominado por <i>P. purpuratus</i> .

Nota. Análisis comparativo de los indicadores bióticos entre la zona de impacto directo y la zona de referencia.

4.4. Comunidad de microfauna y microflora

Según la Tabla 11, el fitoplancton muestra patrones que concuerdan con los procesos de eutrofización vinculados al vertido de aguas residuales. Las diatomeas, especies propias de entornos con una alta concentración de nutrientes, fueron las que más abundaron en ambas estaciones. En la estación ZN02 predominan *Chaetoceros*, *Thalassiosira* y *Eucampia*, que son indicadores de entornos con abundancia de silicio y nitrógeno.

La presencia de *Pseudo-nitzschia spp.*, a pesar de ser en densidad baja, es ecológicamente importante debido a su potencial toxígeno, lo que demuestra un riesgo latente vinculado con la descarga de nutrientes.

En ZM01, es el punto más próximo de la descarga, la cantidad total de fitoplancton fue más baja, pero se nota un hecho importante: el dominio absoluto de fitoflagelados

(58,8 %), organismos que proliferan en situaciones de turbidez, mezcla irregular y aporte orgánico fuerte. Este patrón es característico de sistemas tensionados debido a la contaminación orgánica y representa un indicio precoz de floraciones algales dañinas.

Los fitoplanctonos muestran que las diatomeas son predominantes en ambas estaciones, lo cual indica un medio ambiente costero de gran productividad. La presencia abundante de géneros como *Guinardia*, *Chaetoceros* y *Thalassiosira* señala que hay una disponibilidad de nutrientes propia de zonas con influencia humana. La presencia minoritaria de *Pseudo-nitzschia* indica que existe un riesgo toxicológico bajo, pero latente. La presencia elevada de fitoflagelados pequeños en la estación ZM01 sugiere una eutrofización moderada que podría estar vinculada a descargas orgánicas costeras. Estos hallazgos indican que el sistema marino es productivo, con indicios de enriquecimiento orgánico y la presencia ocasional de especies posiblemente dañinas.

Tabla 11

Porcentaje de abundancia de fitoplancton por estación y por especie

Estación ZN02 (Fitoplancton)				Estación ZM01 (Fitoplancton)		
Grupo	Especie	Abundancia (org/L)	%	Especie	Abundancia (org/L)	%
Diatomeas	<i>Chaetoceros</i>	238,510	17,5	<i>Chaetoceros</i>	42,470	3,8
	<i>Curvisetus</i>			<i>constrictus</i>		
Diatomeas	<i>Thalassiosira</i>	140,490	10,3	<i>Thalassionema</i>	71,880	6,5
	spp.			<i>nitzschoides</i>		
Diatomeas	<i>Eucampia</i>	109,450	8,05	<i>Guinardia</i>	125,790	11,5
	<i>Zodiacus</i>			<i>striata</i>		
Fitoflagelados	Grupo no Identificado	405,140	29,8	Grupo no identificado	643,650	58,8
Diatomeas	<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	Baja	—	<i>Skeletonema</i> sp	101,290	9,3
Otros	Varias especies	254,960	19	Varias especies	107,920	9,9
TOTAL		1,348,550	100 %		1,092,000	100 %

Nota. Composición porcentual de la comunidad fitoplanctónica recolectada en las estaciones de muestreo

Según se desprende de la Tabla 12, la estructura comunitaria del zooplancton evidencia una perturbación ecológica de nivel moderado, atribuible a la presencia de carga orgánica en la columna de agua. El hallazgo de larvas de poliquetos de la familia Spionidae ha sido enriquecido a partir de vertimientos de aguas residuales y se constituye un biomarcador de enriquecimiento orgánico; su baja abundancia relativa sugiere que la alteración del hábitat aún no ha alcanzado umbrales críticos. Paralelamente, la dominancia de los copépodos *Paracalanus parvus*, que crece en aguas ricas en nutrientes, y *Oithona sp.* valida su utilidad como especies bioindicadoras en la zona de estudio; el primero asociado a condiciones eutróficas y el segundo a entornos con mayor turbidez y disponibilidad de materia orgánica particulada, ambos copépodos predominantes. No obstante, el registro de estadios meroplácticos, tales como huevos de peces y larvas de cirrípedos, denota que la funcionalidad reproductiva del sistema pelágico se mantiene activa, revelando una resiliencia ecológica parcial frente al estrés ambiental imperante.

Tabla 12

Abundancia de zooplancton por taxón y Estación ZM01

Filo	Grupo / Especie	Abundancia (org/L)
Annelida	Poliquetos (<i>Spionidae</i> – larvas)	0,1
Arthropoda	<i>Paracalanus parvus</i>	0,35
Arthropoda	<i>Oithona sp.</i>	0,25
Arthropoda	Larvas de cirrípedos	0,2
Chordata	Huevos de peces (<i>Clupeiformes</i> – <i>Engraulidae</i>)	0,05
TOTAL	—	0,95 org/L

Nota. Registro de abundancia de zooplancton (org/L).

Objetivo 4. Evaluar la correlación con la matriz de Conesa del vertimiento de aguas residuales y el impacto ambiental en la zona de estudio del litoral marino de Ilo.

4.5. Evaluación del Impacto con la Matriz de Conesa

En la tabla 13, se muestran los resultados de la valorización del impacto ambiental con la Matriz de Conesa, que permite evaluar la importancia (I) de un impacto ambiental a partir de la ponderación de diez atributos de un impacto.

Tabla 13*Valoración del impacto ambiental con la Matriz de Conesa*

Atributo	Valoración (Escala 1-12)	Justificación Basada en Resultados
Intensidad (IN)	12	Valores altos de DBO ₅ (124,3 mg/L) y DQO (298,4 mg/L) en el Punto 0, y valores elevados en la zona de impacto (22 mg/L de DBO ₅ en ZM01), indican un impacto muy fuerte en la calidad del agua.
Extensión (EX)	4	Los efectos se concentran en el Punto 1 (Impacto Directo) y en las estaciones cercanas (ZM01, ZN02), lo que representa un impacto parcial en el ecosistema marino costero.
Momento (MO)	4	El vertimiento es continuo, lo que implica una afección crónica y sostenida a largo plazo.
Persistencia (PE)	4	El vertimiento constante y permanente de contaminantes no permite la disolución natural a corto plazo.
Reversibilidad (RV)	2	Aunque los efectos son persistentes, la comunidad bentónica (Tabla 11) y el plancton (Tabla 12) demuestran cierta resiliencia. La eliminación de la fuente podría permitir la recuperación en un plazo medio.
Sinergia (SI)	4	El aumento de la carga orgánica (DBO ₅ /DQO) y de los nutrientes (N-Total) tiene un efecto sinérgico fuerte, promoviendo la eutrofización y alterando la estructura bentónica.
Acumulación (AC)	4	Los contaminantes (materia orgánica, N-Total) y sus efectos (biomasa planctónica) se acumulan en el sistema, especialmente en los sedimentos.
Efecto (EF)	1	El vertimiento es la causa directa de la alteración de la calidad del agua y la fauna.
Periodicidad (PR)	4	El vertido de la PTAR es un proceso ininterrumpido.
Recuperabilidad (RC)	2	La presencia de especies clave (huevos de peces, zooplancton) y la existencia de una zona de referencia (Punto 2) sugieren una capacidad de recuperación, pero limitada por la persistencia del vertido.

Nota. Cuantificación de los atributos de impacto ambiental fundamentada en los hallazgos fisicoquímicos y bióticos de la zona de estudio

Debido a que el estudio se centra en el impacto de un vertimiento de aguas residuales ya existente. El signo será negativo (-) al tratarse de una contaminación.

$$I = \pm (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RC)$$

Sustituyendo los valores asignados:

$$I = - [(3 \times 12) + (2 \times 4) + 4 + 4 + 2 + 4 + 4 + 1 + 4 + 2]$$

$$I = - [36 + 8 + 4 + 4 + 2 + 4 + 4 + 1 + 4 + 2]$$

$$I = - [69]$$

Según la Matriz de Conesa, el valor de la importancia (I) del nivel de impacto es -69, lo cual se considera un impacto crítico ($I > 55$). Esto se debe a la modificación fisicoquímica del agua (incremento de nutrientes y DBO₅/DQO), así como al cambio en la comunidad bentónica (variación en dominancia y diversidad) y a la microflora y microfauna (eutrofización y aumento de especies oportunistas).

DISCUSIONES

En este capítulo se analizó el impacto ambiental generado por el vertimiento de aguas residuales procedentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la calidad fisicoquímica de las aguas del litoral marino de Ilo, Moquegua. Se abordó principalmente la calidad del efluente comparada con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por normativa nacional, así como el impacto en los estándares de calidad ambiental (ECA).

Parámetros físico químicos de la PTAR

La revisión de los datos del efluente de la PTAR revela un incumplimiento significativo de la normativa ambiental peruana, particularmente en lo que respecta a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Específicamente, los valores de 124,3 mg/L para DBO₅ y 298,4 mg/L para DQO superan los LMP establecidos (100 mg/L y 200 mg/L respectivamente), indicando una carga orgánica que puede ocasionar graves consecuencias a la calidad del agua marina. La elevación de estos parámetros genera una disminución en la concentración de oxígeno disuelto (OD), vital para los organismos marinos. En este sentido, de acuerdo con Wieczorek et al. (2023), el fortalecimiento de la regulación sobre el efluente de las PTAR es crucial para mitigar el impacto de la contaminación por aguas residuales en las zonas costeras. Consecuentemente, es obligación de las autoridades peruanas migrar hacia un enfoque de control basado en el riesgo donde el LMP no sea un número fijo nacional, sino un valor ajustado a la capacidad de dilución y asimilación de cada ecosistema marino.

La presencia elevada de nutrientes como el nitrógeno total (N-Total) y fósforo total (P-Total), aunque no regulados por el LMP, contribuye a un fenómeno de eutrofización en el ecosistema marino. Se observó en el análisis un rango de N-Total entre 72-78 mg/L y P-Total de 4,2-4,8 mg/L, lo cual sugiere una nutrición excesiva que promueve el crecimiento desmesurado de fitoplancton. Este fenómeno se alinea con investigaciones que muestran una correlación entre las concentraciones de nutrientes y el aumento de floraciones algales dañinas en los ecosistemas acuáticos (Sun et al., 2022).

Parámetros físico químicos de las estaciones marinas

Los resultados obtenidos en las estaciones marinas evidencian un claro incumplimiento de los ECA, particularmente durante el mes de septiembre, donde se reportaron valores de oxígeno disuelto extremadamente bajos (0,06 – 0,28 mg/L), indicando condiciones de hipoxia, un estado peligroso para la fauna marina. Por otro lado, los valores de fósforo total en septiembre (0,126 – 0,140 mg/L) exceden el ECA máximo de 0,062 mg/L, sugiriendo un grado de eutrofización que puede resultar en un deterioro del hábitat acuático. Estudios previos han relacionado condiciones similares de eutrofización con un aumento en la mortalidad de organismos acuáticos importantes para la cadena trófica (Sun et al., 2022).

Impacto en los parámetros microbiológicos

Paralelamente, la concentración de coliformes termotolerantes en el efluente de la PTAR excede el límite permitido (10 000 NMP/100 ml), con niveles en septiembre que alcanzan los 24 000 NMP/100 ml, revelando serias deficiencias en la capacidad de tratamiento de la planta. Esta evidencia indica un alto riesgo sanitario no solo para los ecosistemas marinos, sino también para las comunidades humanas que dependen de estos recursos (Mu et al., 2021).

Impacto en la fauna marina

La evaluación de la macrofauna y microflora en el área afectada refleja una clara distinción en la diversidad y abundancia de especies entre la zona de referencia y la zona de impacto directo. En la zona de impacto, se observaron cambios en la composición de especies que podrían no solo afectar la biodiversidad, sino también alterar las dinámicas del ecosistema debido a la presencia de especies oportunistas y la disminución de taxa sensibles. Este patrón es común en sistemas marinos estresados por contaminación y ha sido documentado en otros estudios donde la eutrofización alteró las comunidades bentónicas, favoreciendo a especies resistentes al estrés (Fajemila et al., 2020).

Además, el uso de la matriz de Conesa para la evaluación del impacto arrojó un puntaje de -69, clasificando el vertimiento de aguas residuales como crítico. Este

resultado respalda firmemente las conclusiones de la evaluación fisicoquímica y microbiológica del impacto ambiental en el ecosistema marino de Ilo, enfatizando la urgencia en la mejora de las prácticas de gestión de las aguas residuales y el monitoreo continuo de su impacto sobre los cuerpos de agua costeros (Bağ et al., 2021).

En resumen, la información recopilada indica que el vertimiento de efluentes de la PTAR en el litoral marino de Ilo ha conducido a un deterioro significativo de la calidad del agua y a un impacto negativo en la salud del ecosistema, en concordancia con las evidencias científicas previas sobre la relación entre cargas orgánicas, nutrientes excedidos y sus consecuencias en ambientes costeros (Wieczorek et al., 2023; Sun et al., 2022). Estas conclusiones enfatizan la necesidad de medidas correctivas y regulaciones más estrictas para mitigar el impacto de las descargas de aguas residuales en la salud del medio ambiente acuático.

Correlación con la matriz de Conesa

Existe una correlación de los vertidos frente al impacto ambiental; el resultado de -69 valida la hipótesis planteada, demostrando una correlación directa y negativa entre el vertimiento deficiente y la integridad del ecosistema marino". El incumplimiento normativo reportado por el MVCS en 2022 tiene un reflejo matemático exacto en tu evaluación de Conesa. La obtención de un índice de importancia de -69 mediante la Matriz de Conesa transforma la percepción social de contaminación en Ilo en un dato técnico irrefutable. Este valor clasifica el impacto como Severo, evidenciando que la zona de influencia de 100 m analizada se encuentra en un estado de degradación que compromete no solo la biodiversidad bentónica, sino la seguridad de los recursos hidrobiológicos que sustentan la economía local.

El impacto ambiental por vertimiento de aguas residuales en el litoral marino costero de Ilo es crítico. La evidencia biológica y fisicoquímica del estudio apoya de manera firme este resultado.

CONCLUSIONES

1. El vertimiento de aguas residuales afecta directamente los parámetros físico-químicos de la calidad de las aguas del litoral marino al no cumplir con DS-004-2017-MINAM Cat 4. Conservación del Ambiente Acuático y, por ende, a la biodiversidad y abundancia de especies de macro y microflora y fauna marina.
2. El alto nivel de coliformes fecales como indicador microbiológico de calidad de agua del área de estudio del litoral marino revela un problema crítico por el vertimiento de aguas residuales que exceden el LMP en 2 a 3 veces, lo que representa un peligro ambiental y de salud pública para las zonas costeras. La descarga está generando una fuerte contaminación fecal en el mar adyacente, aunque esta contaminación se mitiga (disminuye) a medida que el agua se dispersa a zonas más alejadas.
3. La comunidad bentónica en la región de impacto directo es empobrecida en cuanto a abundancia y está dominada por especies oportunistas (*Emérta análoga*), lo cual concuerda con el patrón de contaminación crónica. Por otro lado, la zona de referencia está dominada por una especie tolerante, *Perumytilus purpuratus*, lo que sugiere un régimen de estrés distinto. La proliferación de fitoflagelados y diatomeas señala un desequilibrio en la base de la red trófica marina y la no presencia de macroalgas y especies pelágicas confirma el impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales de la PTAR.
4. Se concluye que el vertimiento de aguas residuales en el litoral costero de Ilo genera un impacto ambiental severo, cuantificado con un índice de importancia de -69 mediante la metodología de Conesa. Este valor técnico valida la hipótesis de la investigación al demostrar una correlación directa y negativa entre la deficiencia del sistema de disposición y la integridad del ecosistema marino. Los hallazgos confirman que el incumplimiento normativo reportado en 2022 ha derivado en una degradación crítica dentro de la zona de influencia de 100 m, comprometiendo la biodiversidad bentónica y la seguridad de los recursos hidrobiológicos que sustentan la economía de la localidad."

5. Finalmente, el vertido de aguas residuales en el litoral marino de Ilo tiene un nivel de impacto ambiental crítico ($I > 55$), vulnerando el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la zona de influencia inmediata del efluente, comprometiendo a la salud pública y ecológica.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones para futuros estudios y acciones

Con base en los resultados de esta investigación y en la comprensión de la problemática del vertimiento de aguas residuales en el litoral marino costero de Ilo, se plantean las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones y acciones por parte de la Academia, EPS Ilo, MVCS y Red de salud Ilo:

1. **Monitoreo continuo de la calidad del agua y evaluación de efluentes:** Es fundamental establecer un programa de monitoreo regular y sistemático que evalúe tanto la calidad del efluente de la PTAR como la de las aguas marinas cercanas a la zona de descarga. Este monitoreo debe incluir no solo parámetros fisicoquímicos, sino también indicadores microbiológicos, como coliformes termotolerantes, en concordancia con lo señalado por Holcomb y Stewart (2020). La implementación de métodos moleculares más avanzados, como técnicas de PCR, podría mejorar la detección y evaluación de fuentes de contaminación fecal, aunque su complejidad puede limitar su uso en el monitoreo rutinario.
2. **Investigación sobre la eutrofización y sus efectos:** Se sugiere realizar estudios enfocados en la eutrofización y su impacto en la biodiversidad marina y las cadenas tróficas. Evaluar cómo las descargas de aguas residuales influyen en el incremento de nutrientes y la proliferación de fitoplancton es vital. Se debe investigar la correlación entre las concentraciones elevadas de fósforo y nitrógeno en el efluente y las floraciones algales, así como sus efectos en los organismos marinos, tal como se documenta en estudios previos que vinculan estos fenómenos al deterioro del hábitat acuático (Rimachi & Huamán, 2023), (Aguilar et al., 2024).
3. **Implementación de tecnologías de tratamiento más efectivas:** La investigación y adopción de tecnologías innovadoras para el tratamiento de aguas residuales son esenciales. Se deben explorar alternativas como los humedales artificiales, que han demostrado ser eficientes en la remoción de contaminantes, incluyendo nutrientes, lo cual podría contribuir a la disminución de la carga orgánica y el enriquecimiento de los cuerpos de agua (Aguilar et al., 2024), (Sáenz-Arias et al., 2023).

4. **Desarrollar estrategias de gestión integral de recursos hídricos:** Se recomienda implementar una política pública integral que contemple la gestión y uso sostenible de los recursos hídricos en la región. Esto incluye abordar las causas de la contaminación, facilitar la comunicación entre las distintas entidades gubernamentales y promover la educación ambiental en las comunidades locales para fomentar prácticas de uso y manejo responsable del agua (Rimachi & Huamán, 2023), (González-Hunt, 2023).
5. **Estudios interdisciplinarios básicos y aplicados:** Fomentar estudios interdisciplinarios que integren las ciencias ambientales, biológicas y sociales para entender mejor el impacto de la contaminación en la salud pública y la biodiversidad. La aplicación de enfoques sistémicos en estos estudios podría facilitar la identificación de soluciones efectivas y sostenibles a largo plazo. También sería beneficioso estudiar el impacto de la contaminación por microplásticos y otros contaminantes emergentes en los ecosistemas costeros, dado que estos tienen efectos nocivos sobre la salud de la fauna marina y, potencialmente, en la salud humana (Holcomb & Stewart, 2020), (Sáenz-Arias et al., 2023).
6. **Estudios especializados en Biota Bentónica como Bioindicador Superior:** El estudio de la biota bentónica es una recomendación esencial, ya que estos organismos actúan como bioindicadores superiores al reflejar el impacto crónico de la contaminación, una limitación del monitoreo puntual de Coliformes. Esta superioridad radica en que los organismos bentónicos, siendo inmóviles, viven en el sedimento que acumula contaminantes durante largos periodos. Investigaciones como las de Gómez-Gutiérrez et al. (2023) han demostrado que los vertidos de aguas residuales en ambientes costeros tropicales y subtropicales (similares al Pacífico Sudoriental) causan alteraciones significativas en las comunidades macrobentónicas. La investigación de Bustamante et al. (2020) sobre el impacto toxicológico en zonas costeras contaminadas por vertidos también resalta que la biota marina (como los moluscos bivalvos, que son filtradores) actúa como un integrador de contaminantes como metales traza, ofreciendo información vital sobre la bioacumulación que es imposible obtener solo con muestras de agua.

7. **Fortalecimiento de la regulación y la gestión pública:** Finalmente, se hace necesario que las entidades competentes refuercen las normativas reguladoras existentes e implementen mecanismos de sanción efectivos para aquellos que no cumplan con los estándares establecidos. Coordinar esfuerzos entre el Estado y las comunidades locales para mejorar y cumplir con las normativas relacionadas con el tratamiento y vertimiento de aguas residuales es primordial para la preservación de la calidad del medio ambiente acuático y terrestre (Miranda, 2023).
8. **Optimización operativa, Confinamiento y extensión del emisor:** Se recomienda la reingeniería del sistema de disposición final y el cumplimiento estricto del plan de mantenimiento. Se debe canalizar y hermetizar el tramo de 100 m en tierra mediante tubería de conducción cerrada, esto reduce la interfaz gas-liquido minimizando el ácido sulfhídrico (H₂S) y compuestos orgánicos volátiles (COV) que generan los olores nauseabundos, El emisor actual de 30 m debe extenderse técnicamente fuera de la zona de rompiente y mezcla turbulenta. Por otra parte, la ineficiencia reportada en el tratamiento es una consecuencia directa de la falta de mantenimiento preventivo y correctivo en las unidades de proceso.
9. Se recomienda la implementación obligatoria de un Sistema de Monitoreo y Predicción Oceanográfica Dinámico, que integre los datos históricos de la Capitanía de Puerto con mediciones in-situ de alta resolución. Este sistema debe utilizar modelos numéricos avanzados, como WAVEWATCH III para el estado del mar y Delft3D para la dispersión de contaminantes, con el fin de proyectar el desplazamiento de la pluma de vertimiento. Esta integración es crítica dado que la dirección predominante Sur-Norte y la influencia de los vientos en los afloramientos costeros.

Estas acciones no solo contribuirán a la conservación de la biodiversidad y el ecosistema marino, sino también a la protección de la salud de las comunidades que dependen de estos recursos. El compromiso colectivo entre la ciencia, el gobierno y la sociedad civil es clave para establecer prácticas sólidas y sostenibles que mitiguen el impacto del vertimiento de aguas residuales y mejoren la calidad del litoral marino de Ilo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, O., Bada-Carbajal, L., & Olivares, M. (2024). Diseño de un humedal artificial subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales en el arroyo Tántala, Milcahual, Álamo Temapache, Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 4(2), 1-23. <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.04.05>
- Álamo, V., & Valdivieso, V. (1997). Lista sistemática de moluscos marinos del Perú. *Boletín – Volumen extraordinario*. Instituto del Mar del Perú. ISSN 0378-7699.
- Bak, J., Barbusiński, K., & Thomas, M. (2021). Review of methods for assessing the impact of wwtps on the natural environment. *Clean Technologies*, 3(1), 98-122. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol3010007>
- Bak, J., Barbusiński, K., & Thomas, M. (2021). Review of methods for assessing the impact of wwtps on the natural environment. *Clean Technologies*, 3(1), 98-122. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol3010007>
- Baldarrago, D., Aragón, B., Vizcarra, Y., & Tejada, A. (2019). Estructura bentónica en el submareal somero de Punta Coles (Ilo, Moquegua), 2017. *Instituto del Mar del Perú*, 46(4), 578–600.
- Baldarrago, D., Tejada, A., Aragón, B., Romucho, Y., & Liza, C. (2019). Variabilidad intranual de la macroinfauna bentónica en las playas arenosas de la Región Tacna. *Instituto del Mar del Perú*, 46(1), 17-33.
- Bilyard, G. R. (1987). The natural history of marine sediments and the effects of pollution on marine life. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 25, 439-497.
- Buras, L. N. (1985). Reactions of fish to microorganisms in wastewater. *Applied and Environmental Microbiology*, 50(4), 989-992.
- Bustamante, P., Miralles, J., y Caurant, F. (2020). Impacto ecológico y toxicológico de metales traza en la biota marina de zonas costeras contaminadas por vertidos de aguas residuales. *Contaminación Ambiental*, 167, 205-214.

- Calvo, J., Morriconi, E., & Orler, P. (1998). Estrategias reproductivas en organismos marinos: Moluscos bivalvos y equinodermos. En E. E. Boschi (Ed.), *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros* (Tomo II, pp. 195–230). INIDEP.
- Castilla, J. C., & Neill, P. E. (2009). La biología y ecología del Chorito (*Perumytilus purpuratus*): una especie clave en el intermareal rocoso chileno. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(1), 5-21.
- Connell, J. H. (1978). Diversidad en selvas tropicales y arrecifes de coral. *Science*, 199(4335), 1302-1310.
- Contreras, J. M., Rivas, R. D., y Abarca, L. G. (2021). Modelación de la dispersión de efluentes de aguas residuales en zonas costeras: Revisión de metodologías. *Revista Tecnológica de la Escuela Politécnica Nacional*, 38(2), 1-10.
- Dayton, P. K. (1971). Competencia, perturbación y organización comunitaria: la provisión y posterior utilización del espacio en una comunidad intermareal rocosa. *Ecological Monographs*, 41(4), 351-389.
- Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. En *Sistemática y Biología* (pp. 55–93). Fundación Miguel Lillo.
- Fajemila, O., Sariaslan, N., & Langer, M. (2020). Spatial distribution of benthic foraminifera in the Lagos Lagoon (Nigeria): tracing the impact of environmental perturbations. *Plos One*, 15(12), e0243481. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243481>
- Falcón, J., & Yalico, C. (2015). Diversidad y abundancia de especies hidrobiológicas en Perú y su relación con la industria. *Revista de Investigación de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNMSM*, 22(3), 335–342.
- Gamboa, M., Pérez, J., & Torres, L. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48(2), 109–120.

- Gavio, B. (2013). Principales amenazas a la biodiversidad marina. *Actualidades Biológicas*, 35(98), 111-133.
- Gómez-Gutiérrez, E., Loya-Salinas, S. y Rosales-Juárez, F. (2023). Evaluación de los efectos de los vertidos de aguas residuales en las comunidades macrobentónicas costeras de ambientes tropicales del Pacífico. *Marine Pollution Bulletin*, 188, 114620.
- González-Hunt, F. (2023). Árboles, religión y cambios socioambientales en los Andes centrales: el caso del "Schinus molle" l. en la cordillera negra, Perú. *Revista Kawsaypacha Sociedad Y Medio Ambiente*, (12). <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202302.a005>
- Guzmán, N., Saá, S., & Ortlieb, L. (1998). Catálogo descriptivo de los moluscos litorales (Gastropoda y Pelecypoda) de la zona de Antofagasta, 23°S (Chile). *Estudios Oceanológicos*, 17, 17–86.
- Holcomb, D. and Stewart, J. (2020). Microbial indicators of fecal pollution: recent progress and challenges in assessing water quality. *Current Environmental Health Reports*, 7(3), 311-324. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00278-1>
- Jordan, R. (1985). Los Efectos de El Niño 1982 1983 y los Mecanismos Internacionales para la Investigación. *Boletín Informativo IMARPE*, 12(4), 32-45. (ISSN Q 378-7699)
- Larios Meoño, F., González Taranco, C., & Morales Olivares, Y. (2016). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber Y Hacer*, 2(2), 8–25. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Li, X., & Wang, Z. (2021). Microbial community shifts associated with sewage effluent in coastal ecosystems: A global review. *Water*, 13(7), 965. <https://doi.org/10.3390/w13070965>

- Miranda, M. (2023). Incidencia de las aguas servidas afectando a los habitantes y productores, parroquia Izamba-Ambato Tungurahua. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 10663-10686. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8686
- Mora-Aparicio, C., Alfaro-Chinchilla, C., Pérez-Molina, J. P., & Vega-Guzmán, I. (2022). Aporte ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos. *UNICIENCIA*, 36(1), 1–17. <https://doi.org/10.15359/ru.36-1.33>
- Mu, R., Jia, Y., Ma, G., Liu, L., Hao, K., Qi, F., ... & Shao, Y. (2021). Advances in the use of microalgal–bacterial consortia for wastewater treatment: community structures, interactions, economic resource reclamation, and study techniques. *Water Environment Research*, 93(8), 1217-1230. <https://doi.org/10.1002/wer.1496>
- Neyra, W., García, S., & Pérez, J. (2015). Concentraciones de bacterias coliformes totales y termotolerantes en la descarga de la PTAR de Ilo. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 5(3), 45-58.
- Oehler, P. T., Solís, M., y Finkel, J. (2017). Impactos de la descarga de aguas residuales en las comunidades marinas intermareales: una revisión. *Environmental Reviews*, 25(3), 295-308.
- Ortiz, D., & Ortega, R. (2014). Las comunidades bentónicas marinas como indicadores de los impactos ambientales. *Revista de Ecología Marina*, 21(2), 112-125.
- Pearson, T. H., & Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 16, 229-311.
- Rimachi, G. and Huamán, D. (2023). Contaminación ambiental y sus efectos en la sociedad. *Horizonte Empresarial*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.26495/rce.v10i1.2461>

- Sáenz-Arias, S., Garcés-Ordóñez, O., Córdoba-Meza, T., Blandón, L., Espinosa, L., Vivas-Aguas, L., ... & Canals, M. (2023). Contaminación por vertidos de aguas residuales: una revisión de las interacciones microorganismos–microplásticos y sus posibles riesgos ambientales en aguas costeras colombianas. *Ecosistemas*, 32(1), 2489. <https://doi.org/10.7818/ecos.2489>
- Soto, R., Stotz, W. y Valdovinos, C. (2005). Variabilidad en la distribución espacial de *Perumytilus purpuratus* (Bivalvia: Mytilidae) en la costa del Pacífico Sudoriental. *Revista Chilena de Historia Natural*, 78(3), 437-451.
- Sun, X., Li, Z., Ding, X., Ji, G., Wang, L., Gao, X., ... & Zhu, L. (2022). Effects of algal blooms on phytoplankton composition and hypoxia in coastal waters of the northern yellow sea, china. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.897418>
- Tejada, A. (2020). Caracterización de las playas arenosas del litoral de las regiones de Moquegua y Tacna. *Instituto del Mar del Perú (IMARPE)*.
- URBANO, J. (1992). Estado actual de la Bahía de Cartagena v/s Contaminación” Bahía de Cartagena, Cartagena (Bolívar), Colombia.
- VARGAS, H. (2012). Vertimientos de aguas residuales urbanas y sus efectos en la condición ambiental de la Ensenada La Salada, Sonora, México.
- Warwick, R. M. (1993). Estudios de impacto ambiental en comunidades marinas: El uso de la heterogeneidad sedimentaria como vínculo vital entre la carga contaminante y el efecto en la comunidad. *Journal of Applied Ecology*, 30(4), 579-583.
- Wieczorek, K., Turek, A., & Wolf, W. (2023). Combined effect of climate and anthropopressure on river water quality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3032. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043032>

Wieczorek, K., Turek, A., & Wolf, W. (2023). Combined effect of climate and anthropopressure on river water quality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3032. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043032>

ANEXOS

ANEXO 1: DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

ANEXO 2: DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

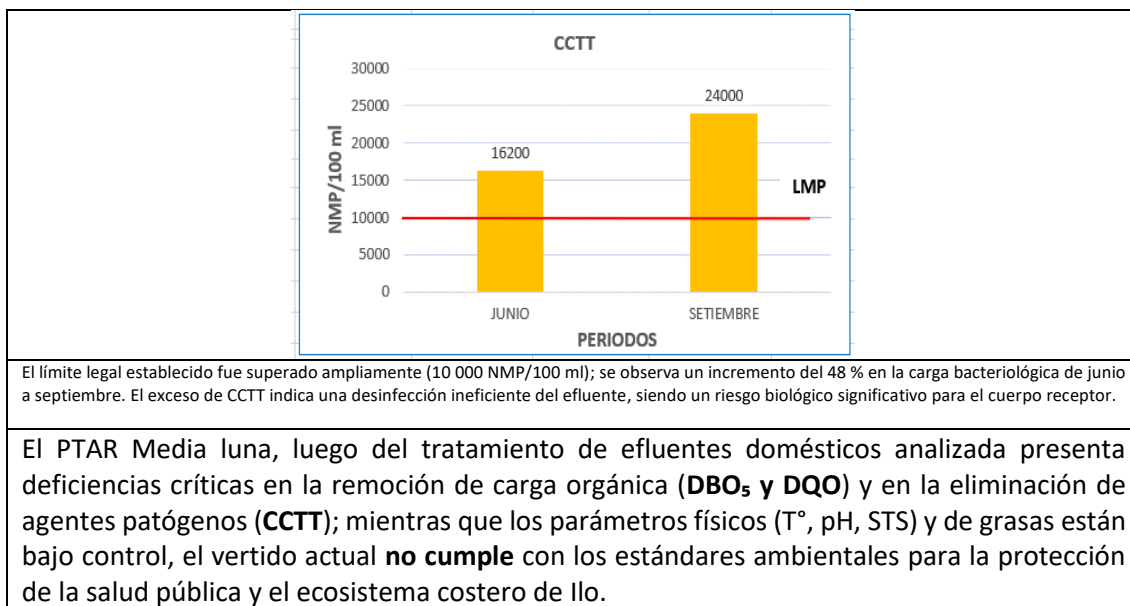
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Rios		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₂)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2

INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

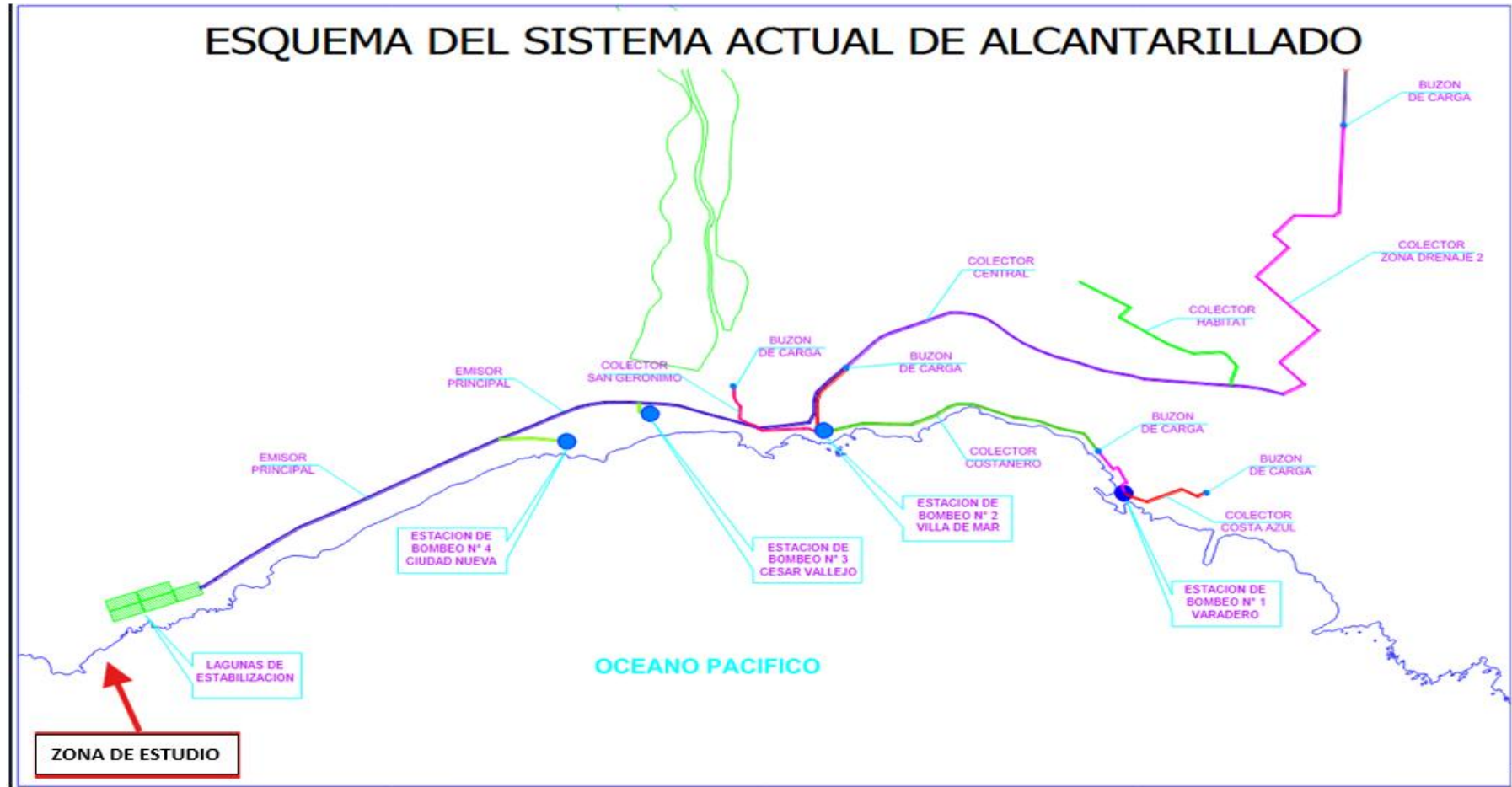
ANEXO 3: EVALUACIÓN COMPARATIVA: PARÁMETROS VS LMP - DS-003-2010-MINAM (EFLUENTES A CUERPOS DE AGUA - PTAR MEDIA LUNA)





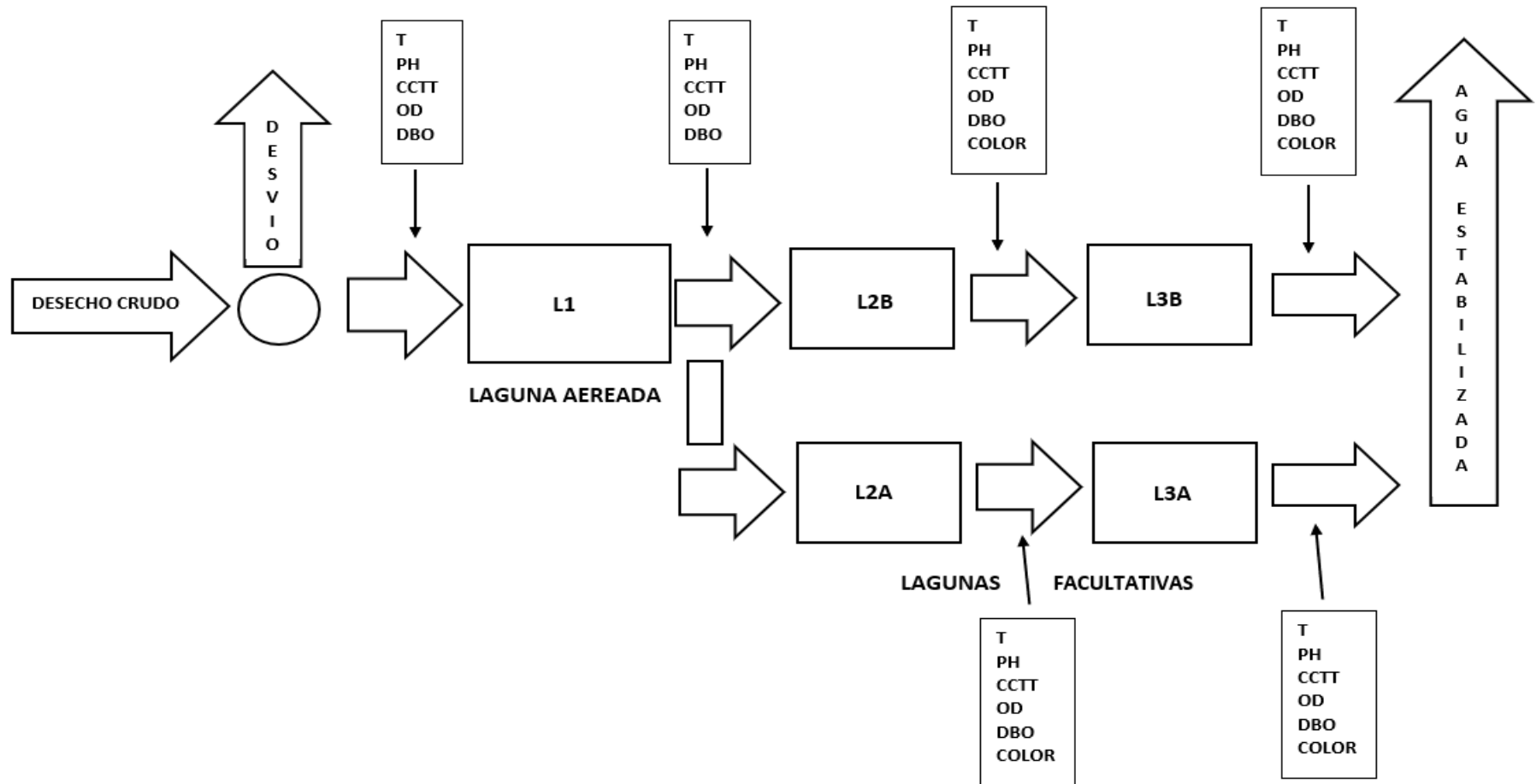
Nota. Elaboración Propia

ANEXO 4: RUTA DE COLECCIÓN Y CONDUCCIÓN DE EFLUENTES DOMÉSTICOS



Nota. Esquema General de Alcantarillado - Ilo

ANEXO 5: ESQUEMA DE CONTROL OPERACIONAL DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN DE AGUAS SERVIDAS



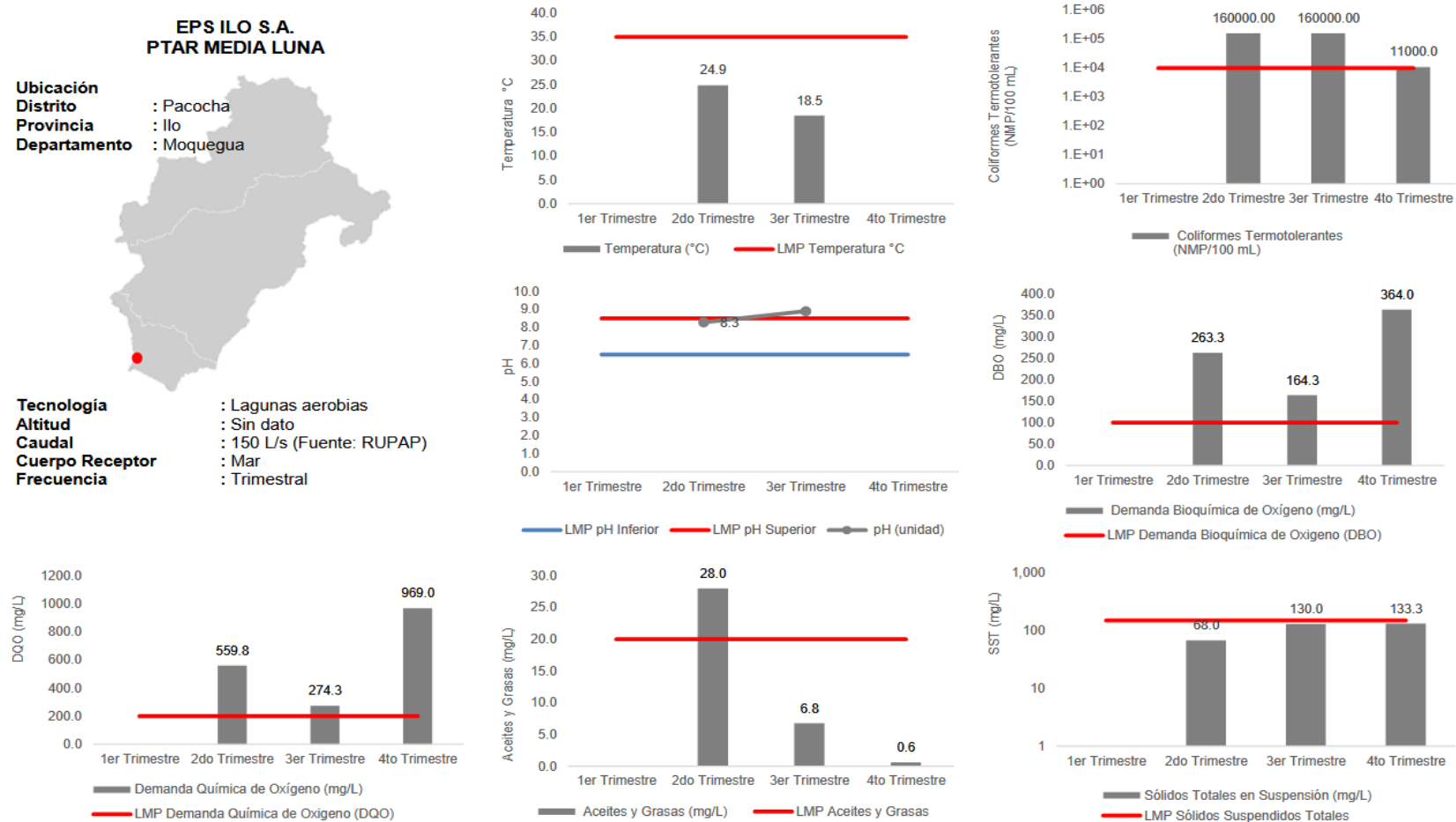
Nota. EPS ILO

ANEXO 6: EVALUACIÓN DE LOS MONITOREOS DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES PTAR-2022

**EPS ILO S.A.
PTAR MEDIA LUNA**

Ubicación
Distrito : Pacocha
Provincia : Ilo
Departamento : Moquegua

Tecnología : Lagunas aerobias
Altitud : Sin dato
Caudal : 150 L/s (Fuente: RUPAP)
Cuerpo Receptor : Mar
Frecuencia : Trimestral



Nota. Informe estadístico anual 2022 – Dirección General de Asuntos Ambientales – MVCS.

ANEXO 7: NIVEL DE IMPACTO AMBIENTAL POR VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR EN EL LITORAL MARINO COSTERO DE ILO, MOQUEGUA.

Matriz de consistencia				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema General ¿Cuál es el nivel de impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales en el litoral marino de Ilo?	Objetivo General: Determinar el nivel de impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales en el litoral marino de Ilo.	Hipótesis General: El vertimiento de aguas residuales tiene un nivel de impacto ambiental negativo significativo (Severo a Crítico) en la calidad de las aguas y la biota del litoral marino de Ilo.	Variable Independiente (VI): Vertimiento de Aguas Residuales.	Enfoque: Cuantitativo, Descriptivo - Correlacional.
Problemas Específicos:	Objetivos Específicos:	Hipótesis Específicas:	Variable Dependiente (VD): Impacto Ambiental.	Diseño: No experimental, transversal.
1. ¿Cómo afecta el vertimiento de aguas residuales a la calidad físico-química de las aguas del litoral marino de Ilo?	1. Evaluar la afectación del vertimiento de aguas residuales a la calidad físico-química de las aguas del litoral marino de Ilo.	1. El vertimiento de aguas residuales deteriora la calidad físico-química de las aguas en la zona de influencia, superando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).	Dimensiones VI: Caudal de vertimiento, composición de las aguas residuales.	Población/Muestra: Puntos de muestreo en la zona de vertimiento y zonas de control en el litoral.
¿Cómo influye el vertimiento de aguas residuales en los indicadores microbiológicos de las aguas del área de estudio del litoral marino de Ilo?	2. Evaluar la influencia del vertimiento de aguas residuales en los indicadores microbiológicos de las aguas del área de estudio del litoral marino de Ilo.	2. El vertimiento incrementa significativamente los indicadores microbiológicos (Coliformes totales) en las aguas de la zona de estudio, superando los límites permitidos para aguas marinas costeras.	Dimensiones VD: Calidad físico-química del agua, Calidad microbiológica del agua, Afectación a la biota marina.	Técnicas/Instrumentos: Muestreo y análisis de laboratorio (parámetros físico-químicos y microbiológicos), observación directa.
¿De qué manera afecta el vertimiento de aguas residuales a la diversidad y abundancia de especies de la biota marina (flora y fauna) del litoral marino de Ilo?	3. Describir la afectación del vertimiento de aguas residuales en la diversidad y abundancia de la biota marina	3. El vertimiento de aguas residuales altera la diversidad y abundancia de especies de flora y fauna marina, reduciendo el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H) en la zona de		

Matriz de consistencia				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
	(flora y fauna) del litoral marino de Ilo.	impacto en comparación con la zona de control.		
¿Cuál es la correlación con la matriz de Conesa del vertimiento de aguas residuales y el impacto ambiental en el litoral marino de Ilo?	4. Evaluar la correlación con la matriz de Conesa el vertimiento de aguas residuales y el impacto ambiental en la zona de estudio del litoral marino de Ilo.	4. Existe una correlación con la matriz de Conesa del vertimiento de aguas residuales y el impacto ambiental en la zona de estudio.		Aplicación de la Matriz de Conesa

ANEXO 8: MATRIZ DE VALORACIÓN CUALITATIVA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

ATRIBUTO	VALORACIÓN		ATRIBUTO	VALORACIÓN	
Naturaleza (N)	Impacto beneficioso	1	Efecto (EF) Relación causa - efecto	Indirecto o secundario	1
	Impacto perjudicial	-1		Directo o primario	4
Sinergia (SI) (Potenciación de la manifestación)	Sin sinergismo o simple	1	Intensidad (In)	Baja o mínima	1
	Sinergismo moderado	2		Media	2
	Muy sinérgico	4		Alta	4
Extensión (Ex) (Área de influencia)	Puntual	1		Muy alta	8
	Parcial	2		Total	12
	Amplio o extenso	4		Momento (Mo) (Plazo de manifestación)	Largo plazo
	Total	8	Medio plazo		2
	Crítico	(+4)	Corto plazo		3
Persistencia (PE) (Permanencia del efecto)	Fugaz o efímero	1	Inmediato		4
	Momentáneo	1	Crítico	(+4)	
	Temporal o transitorio	2	Reversibilidad (Rv) (Reconstrucción por medios naturales)	Corto plazo	1
	Pertinaz o persistente	3		Medio plazo	2
	Permanente y constante	4		Largo plazo	3
Recuperabilidad (MC) (Reconstrucción por medios humanos)	Recuperable de manera inmediata	1		Irreversible	4
	Recuperable a corto plazo	2	Acumulación (AC) (Incremento progresivo)	Simple	1
	Recuperable a medio plazo	3		Acumulativo	4
	Recuperable a largo plazo	4	Periodicidad (PR) (Regularidad de la manifestación)	Irregular (aperiódico y esporádico)	1
	Mitigable, compensable y Sustituible	4		Periódico o de regularidad intermitente	2
	Irrecuperable	8		Continuo	4

Nota. Matriz de Conesa

ANEXO 9: PANEL FOTOGRÁFICO

Embarque Puerto rumbo a Zona de Estudio



Apoyo de Buzo para el muestreo



Efluente del PTAR



Cuerpo receptor de Efluente



Muestreo y medición de parámetros in situ



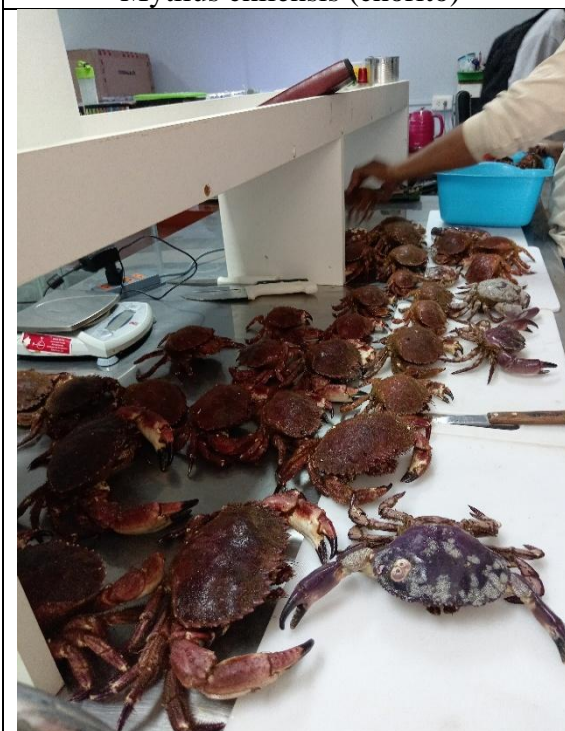
Laboratorio de análisis Cerper



Mytilus chilensis (chorito)



Equinodermos



Invertebrados marinos



Crustáceos, bivalvos, equinoideos