



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES PESQUEROS
Y DOMÉSTICOS EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHÍA EL FERROL-
CHIMBOTE**

Línea de investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el grado académico de Doctora en Ingeniería Ambiental

Autora:

Vega Ventosilla, Violeta

Asesora:

Esenarro Vargas, Doris

ORCID: 0000-0002-7186-9614

Jurado:

Tafur Anzualdo, Vicenta Irene

Quispe Prado, Wilber

Valderrama Orbegoso, Kenti Cusi Coillor

Lima - Perú

2024



EVALUACION DEL IMPACTO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES PESQUEROS Y DOMESTICOS EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHIA EL FERROL-CHIMBOTE

INFORME DE ORIGINALIDAD

27%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

10%

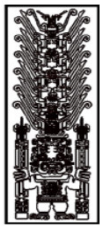
PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	docplayer.es Fuente de Internet	2%
4	pdfcookie.com Fuente de Internet	1%
5	documentop.com Fuente de Internet	1%
6	visorsig.oefa.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	documents.mx Fuente de Internet	1%
8	lamula.pe Fuente de Internet	1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**EVALUACION DEL IMPACTO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES
PESQUEROS Y DOMESTICOS EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHIA EL
FERROL-CHIMBOTE**

Línea de investigación:

Construcción Sostenible y Sostenibilidad Ambiental del Territorio

Tesis para optar el grado académico de Doctora en Ingeniería Ambiental

Autora:

Vega Ventosilla, Violeta

Asesora:

Esenarro Vargas, Doris

ORCID: 0000-0002-7186-9614

Jurado:

Tafur Anzualdo, Vicenta Irene

Quispe Prado, Wilber

Valderrama Orbegoso, Kenti Cusi Coillor

Lima- Perú

2024

Dedicatoria

A mi familia por apoyarme y dedicar parte de mi tiempo a culminar con éxito este trabajo académico.

Agradecimiento

A mi universidad y al Programa de Doctorado en Ingeniería Ambiental de la Escuela Universitaria de Posgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal, así como a los docentes por sus invaluables enseñanzas y experiencia.

Mi reconocimiento y estima a la Dra. Doris Esenarro Vargas, por sus enseñanzas y dirección de esta investigación.

A la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo que me permiten impartir a los alumnos de ingeniería ambiental los avances y resultados de esta investigación.

A mis amigos del doctorado y colegas de la UNFV que han hecho posible la culminación de este trabajo, con especial deferencia a los docentes del Programa Académico de Ingeniería Ambiental.

Contenido

Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Descripción del problema	4
1.3 Formulación del problema	9
1.3.1 Problema general	9
1.3.2 Problemas específicos	9
1.4 Antecedentes	9
1.4.1 Antecedentes internacionales.....	9
1.4.2 Antecedentes nacionales	15
1.5 Importancia y justificación de la investigación	20
1.5.1 Importancia de la investigación	20
1.5.2 Justificación	20
1.6 Limitaciones de la investigación.....	21
1.6.1 Espacial.....	21
1.6.2 Temporal.....	22
1.6.3 Socioambiental.....	22
1.7 Objetivos	22

1.7.1 Objetivo general.....	22
1.7.2 Objetivos específicos	23
1.8 Hipótesis	23
1.8.1 Hipótesis general.....	23
1.8.2 Hipótesis específicas	23
II. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Marco Filosófico	24
2.2 Teorías y enfoques	25
2.2.1 Teoría del Desarrollo Sostenible.....	25
2.2.2 Enfoque que fundamenta los Estudios de Impacto Ambiental	26
2.2.3 Enfoque ecosistémico en la zona costera.....	27
2.3 Marco Conceptual.....	29
III. MÉTODO	33
3.1 Tipo de Investigación.....	33
3.2 Población y muestra	33
3.2.1. Población.....	33
3.2.2. Muestra	33
3.2.2.1 Ámbito de muestreo	33
3.2.2.2 Datos.	34
3.3 Operacionalización de variables	35
3.4 Procedimientos.....	36

3.4.1 Categorías de clasificación marino costero.....	36
3.4.2 Red de monitoreo de Autoridad Nacional del Agua [ANA].....	38
3.5 Análisis de los datos.....	47
IV. RESULTADOS	48
4.1 Caracterización de muestras realizadas por Autoridad Nacional del Agua [ANA] 2015-2020.....	48
4.2 Concentración de Parámetros fisicoquímicos según clasificación de las características del agua de mar.	50
4.2.1 Parámetros de campo: pH y Oxígeno Disuelto.....	52
4.2.2 Aceites y Grasas.....	53
4.2.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO5.....	54
4.2.4 Nitratos.....	55
4.2.5 Sulfuros.	57
4.2.6 Sólidos Suspendedos Totales – SST.....	58
4.4 Variación de los Parámetros Microbiológicos: Coliformes Termo tolerantes y Escherichia coli.....	59
4.4.1 Coliformes Termotolerantes	59
4.4.2 Escherichia coli.....	60
4.5 Variación de la concentración de los parámetros de Metales	61
4.5.1 Arsénico	63
4.5.2 Boro.....	64
4.5.3 Cadmio	65

4.5.4 Cobre.....	67
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	70
VI. CONCLUSIONES	78
VII. RECOMENDACIONES	79
VIII. REFERENCIAS	101
VIII. ANEXOS	101

Contenido de Figuras

Figura 1 Ubicación de la Bahía El Ferrol, Chimbote	22
Figura 2 Ubicación geográfica de la Bahía El Ferrol	34
Figura 3 Esquema metodológico para la obtención de la matriz de valores de los monitoreos en el periodo 2015-2020	36
Figura 4 Puntos de muestreo del cuerpo de agua marino costero en la Bahía El Ferrol	37
Figura 5 Red de monitoreo de ANA 2015	38
Figura 6 ANA. Red de monitoreo 2017.....	40
Figura 7 ANA. Red de monitoreo en la Bahía El Ferrol 2018	42
Figura 8 ANA. Red de muestreo en la Bahía El Ferrol 2019	44
Figura 9 ANA. Red de muestreo en la Bahía El Ferrol 2020	46
Figura 10 Conductividad eléctrica del agua de mar – pH en la Bahía El Ferrol	51
Figura 11 Oxígeno Disuelto en la Bahía El Ferrol - Chimbote	52
Figura 12 Aceites y Grasas en la Bahía El Ferrol - Chimbote.....	54
Figura 13 Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Bahía El Ferrol - Chimbote.....	55
Figura 14 Nitratos en la Bahía El Ferrol – Chimbote.....	56
Figura 15 Sulfuros en la Bahía El Ferrol - Chimbote	57
Figura 16 Solidos Suspendidos Totales en la Bahía El Ferrol - Chimbote.....	58
Figura 17 Coliformes Termotolerantes en la Bahía El Ferrol - Chimbote	60
Figura 18 Escherichia coli en la Bahía El Ferrol - Chimbote.....	61
Figura 19 Niveles de Arsénico en la Bahía El Ferrol 2015-2020.....	64
Figura 20 Niveles de Boro en la Bahía El Ferrol 2015-2020	65
Figura 21 Niveles de Cadmio en la Bahía El Ferrol 2015-2020.....	67
Figura 22 Niveles de Cobre en la Bahía El Ferrol 2015-2020.....	68

Contenido de Tablas

Tabla 1 Parámetros e Indicadores según los estándares de calidad ambiental (ECA)	35
Tabla 2 Clasificación marino costero en la Bahía El Ferrol	37
Tabla 3 ANA. Red de monitoreos 2015 - Bahía El Ferrol.....	39
Tabla 4 ANA. Red de monitoreo 2016 a nivel de fondo marino - Bahía El Ferrol	40
Tabla 5 ANA. Red de monitoreo 2017 - Bahía El Ferrol	41
Tabla 6 ANA. Red de monitoreo 2018 en la Bahía El Ferrol.....	43
Tabla 7 ANA. Red de monitoreo 2019 - Bahía El Ferrol	45
Tabla 8 ANA. Red de monitoreo 2020 en la Bahía El Ferrol.....	46
Tabla 9 Categorías aplicadas a la clasificación.....	48
Tabla 10 Muestras realizadas por ANA durante 2015-2020.....	48
Tabla 11 Toma de muestras según niveles y categorías 2015-2020.....	49
Tabla 12 Promedio de los parámetros analizados por ANA en los puntos de monitoreo 2015-2020.....	50
Tabla 13 Presencia de metales según clasificación durante 2015-2020	62
Tabla 14 Promedio de los parámetros de metales analizados por ANA en los puntos de monitoreo	62

Resumen

Objetivo: Evaluar el impacto de los efluentes industriales, pesqueros y domésticos en la calidad del agua de la Bahía El Ferrol, Chimbote, 2015-2020. **Método:** el estudio es un diseño no experimental, con un alcance temporal longitudinal, de naturaleza cuantitativa y finalidad aplicada. Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de calidad acuática se obtuvieron de los monitoreos realizados por la Autoridad Nacional del Agua en la Bahía El Ferrol. **Resultados:** Se encontró que los parámetros de Oxígeno Disuelto son superiores a su valor mínimo de ≥ 5.0 mg/L, la Demanda Bioquímica de Oxígeno con valores menores al valor ECA-agua, presencia de Aceites y Grasas con una tendencia a reducirse cerca de la orilla del mar, los Sólidos Suspendidos Totales y los Nitratos con valores menor al valor ECA-agua, y ausencia de sulfuros. Los Coliformes Termotolerantes sus valores son superiores al límite en la clasificación Cat. 1-B1 y presencia de Escherichia Coli por los efluentes sin tratamiento de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado [SEDA] CHIMBOTE S.A. En cuanto al Arsénico, Cadmio y Cobre sus valores son menores a los límites establecidos. Se encontró contaminación por Boro, influenciada por la descarga de las aguas domésticas no tratadas de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado [SEDA] CHIMBOTE y la descarga del río Lacramarca. **Conclusión:** Las aguas de la Bahía El Ferrol presentan una significativa mejoría en su calidad ambiental en el periodo 2015-2020, después de la implementación de los emisores submarinos para los efluentes de las industrias pesqueras y siderúrgica y otras medidas político-administrativas.

Palabras clave: Efluentes, contaminación, calidad del agua, parámetros microbiológicos.

Abstract

Objective: To evaluate the impact of industrial, fishing and domestic effluents on water quality in El Ferrol Bay, Chimbote, 2015-2020. **Method:** the study is a non-experimental design, with a longitudinal temporal scope, quantitative in nature and applied purpose. The physical, chemical and microbiological parameters of aquatic quality were obtained from monitoring carried out by the National Water Authority in El Ferrol Bay. **Results:** Dissolved Oxygen parameters were found to be higher than their minimum value of ≥ 5.0 mg/L, Biochemical Oxygen Demand with values lower than the ECA-water value, presence of Oils and Fats with a tendency to reduce near the seashore, Total Suspended Solids and Nitrates with values lower than the ECA-water value, and absence of sulfides. Thermotolerant coliforms values are higher than the limit in the Cat. 1-B1 classification and the presence of *Escherichia coli* in the untreated effluents of Servicio de Agua Potable y Alcantarillado [SEDA] CHIMBOTE S.A. Arsenic, Cadmium and Copper values are lower than the established limits. Boron contamination was found, influenced by the discharge of untreated domestic water from SEDA CHIMBOTE and the discharge of the Lacramarca River. **Conclusion:** The waters of El Ferrol Bay show a significant improvement in their environmental quality in the period 2015-2020, after the implementation of submarine outfalls for the effluents of the fishing and steel industries and other political-administrative measures.

Keywords: effluents, pollution, water quality, microbiological parameters.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La pesca en Perú aporta a la economía nacional con el 1,5% del Producto Bruto Interno [PBI], y agregado el efecto indirecto, se eleva al 2,5% del PBI. El sector pesquero aporta 3.300 millones de dólares en divisas, que representa el 7% de las exportaciones totales en promedio y contribuye con US\$1 000 millones en divisas, en promedio, lo que permite al Estado continuar recaudando recursos para atender la emergencia causada por el Covid-19 (Aljovin, 2021). Si bien esta industria ayuda a la economía del Perú, durante la época de producción genera impactos ambientales que podrían afectar principalmente la calidad de aire y del cuerpo marino receptor (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016; Coronado, 2018); que aunado al cambio climático aumentan los problemas ambientales futuros de lograr un océano saludable (Mineva, 2021).

De igual manera, a nivel mundial, el gran auge de las industrias y la elevada densidad poblacional vienen originando impactos significativos en la calidad de las aguas marino-costeras, generando atención primordial por parte de los países desarrollados de Europa y los Estados Unidos de América, entre otros (Escobar, 2002; Mateo-Sagasta, et al., 2017). Si bien el desarrollo industrial es importante para el desarrollo económico de un país, a menudo conduce al envilecimiento del medio ambiente por la contaminación y debilitamiento de los recursos, la contaminación general de los cuerpos de agua en un área por los efluentes industriales en forma significativa, y considerados como más peligrosos que las aguas residuales. (Bansal, 2018; Mineva, 2021)

Valavanidis (2018) señala que, las áreas costeras europeas, principalmente las mediterráneas, tienen una serie de difíciles problemas ambientales marinos, debido a que, en los últimos años, la contaminación marina por descargas de combustible de barcos, desechos industriales y municipales continúa dañando los frágiles entornos marinos; teniendo como

principal fuente de contaminación a las aguas residuales municipales, industriales y agrícolas; determinando que, varias bahías cerradas sufren la eutrofización marina y costera por las elevadas aportaciones de nitrógeno y fósforo.

En la región del Pacífico Sur, se encuentran antecedentes de deterioro ambiental de bahías costeras generados por descargas de los efluentes de la industria pesquera, debido, entre otros, al excesivo incremento de la capacidad y eficiencia pesquera, que condujo a niveles de captura superiores a la capacidad regenerativa de las especies como la anchoveta (*Engraulis ringens*), produciendo su colapso e impactando negativamente los ecosistemas marinos y la población que dependen de ellos (López y De la Puente, 2019; Zambrano, 2020). Pero, en estas costas del Pacífico Sur se encuentra una de las áreas de productividad biológica importante y gran variedad de recursos hidrobiológicos, como en Perú, debido a las condiciones físicas muy especiales existentes en el Sistema de la Corriente del Perú y particularmente por la existencia de celdas de afloramiento costero y a la dinámica oceánica. (Flores et al., 2013; Espinoza et al., 2017; Galarza y Kamiche, 2020)

Estos impactos negativos ya se presentaban en la Bahía de San Vicente de Chile (Ahumada, 1992; Aguerren et al., 2009) por la existencia de carga contaminante vertidas por plantas procesadoras de pescado y otras industrias, que arrojan al mar sus desechos sin tratamiento, generando serias alteraciones ambientales, que se revelan en el ámbito ecológico, químico y estético. (Pedreros y Figueroa, 2021)

De igual manera, los residuos sólidos que ingresan a ambientes marino-costeros se asocia a lo que se conoce como basura marina, definido como todo material sólido persistente, manufacturado o elaborado, que se desecha en el medio marino y costero, constituyéndose en una problemática a nivel local, regional y nacional (Comisión Permanente del Pacífico Sur [CPPS], 2007). Esta basura marina origina una serie de impactos negativos sobre los diferentes ambientes marino-costeros y sobre los asentamientos humanos ubicados en el litoral,

convirtiéndose en un peligro para la salud pública, deterioro del paisaje, disminución de actividades de recreación y turismo. (Avila et al., 2018; Molina et al., 2021)

Por otro lado, en cuanto al litoral peruano, el crecimiento de la población y los centros industriales vienen afectando seriamente importantes zonas del litoral peruano, particularmente las zonas cerradas como resultado de las actividades antropogénicas (Rivera, 1991; Verde et al., 2013; McKlinley et al., 2019; Bocanegra et al., 2020). De igual manera, el Banco Mundial (2017) señala que, las zonas costeras bajas son particularmente vulnerables, intensificados por procesos antropogénicos que provocan la disminución de sus ecosistemas y la contaminación ambiental.

Las industrias extractivas son las principales contribuyentes al deterioro del medio ambiente y del ecosistema marino en particular, por el cumplimiento limitado de la legislación ambiental. (Cuba, 2020)

La polución ambiental marina puede originarse en tierra (mayor población e industrias en la costa) o por embarcaciones, llegando aportar el primero hasta el 80% del total; pero que en la actualidad hay un mayor control del desecho producido por embarcaciones respecto al generado por las ciudades. (Purca y Henostroza, 2017; Galvez y Ramos, 2020)

Perú, no escapa a la situación antes planteada, observándose que a partir de la década de los 70 se presenta una continua contaminación de las aguas costeras, siendo los principales impactos de la contaminación, el desarrollo urbano costero y las actividades de petróleo y gas al servicio de la actividad pesquera de anchoveta y las instalaciones de harina de pescado y enlatados; impactos ambientales y salud conocidos históricamente, en algunas ciudades, principalmente en Callao, Chimbote y Trujillo (Dolsn et al., 2014; Bocanegra et al., 2020). A mitad del siglo XX se aplicaron importantes reformas y regulaciones para los establecimientos de procesamiento de harina y pescado, relacionados principalmente sobre efluentes y emisiones, algunas de ellas logrando certificación bajo el Estándar Global de Suministro

Responsable de la Organización de Ingredientes Marinos (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OECD], 2019), pero debido a la falta de transparencia y poca disposición de información científica se hace difícil evaluar los impactos ambientales de estos cambios.

1.2 Descripción del problema

La Bahía El Ferrol conocida también como Bahía de Chimbote es una ensenada semicerrada, cuya configuración admite que las masas de agua permanezcan un mayor tiempo, lo cual imposibilita que las aguas del medio marino tengan una rápida depuración (Grandez, 2017; Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2019). Alberga el principal puerto pesquero del Perú, y la zona más productiva de harina y aceite de pescado del litoral. A través de los años, esta bahía muestra signos de deterioro ambiental. (Cabral, 2020)

La Bahía El Ferrol significó para sus habitantes fuente de abundantes alimentos marinos, excelente área recreacional, y por encima de todo esto, raíz de inspiración creativa y fuerte identidad ciudadana. En los años 50, los vecinos más notables, estaban convencidos que con la construcción del “Hotel Chimú”, la bahía estaba destinada a promover el desarrollo de la ciudad en base a la actividad turística; sin embargo, a mediados de dicha década se inició el desarrollo de la industria pesquera y siderúrgica, convirtiéndose en las más grandes del país, llegando a ser calificado como primer puerto pesquero del mundo y capital del acero (Ministerio del Ambiente [MINAM], Resolución Suprema N° 004-2012-MINAM, 2012). Pero este crecimiento industrial generó un grave proceso de contaminación, ya que las fábricas de producción de harina, aceite y conservas de pescado (48) que funcionaban frente al litoral de la bahía disponen sus efluentes directamente al mar, confiscando el futuro de las generaciones de ahora. (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012; Falcón y Yalico, 2015)

Ya desde fines del siglo XIX, la bahía El Ferrol se le considera como una de las áreas más contaminadas de la costa peruana, como consecuencia de los residuos de la actividad industrial pesquera y siderúrgica (Guillen et al., 1998); así como, los despojos domésticos, los derrames de petróleo infligidos durante las operaciones de carga y descarga y las actividades del puerto, induciendo un deterioro de las playas de recreación, a los recursos pesqueros y salud humana; principalmente el área que se ubica cerca de las descargas de efluentes líquidos de Petro Perú y Pesca Perú, con valores mayores a 250 mg/l para DBO₅, 0,00 ml/l de oxígeno disuelto, temperatura de 18 °C y bajísimos valores de clorofila "a", en el invierno de 1998. (Guillen, et al., 1998; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012)

Por otro lado, Guevara (2009) señala que, en los bordes de la Bahía El Ferrol, se encuentran localizadas varias industrias pesqueras, una empresa siderúrgica y población de la ciudad de Chimbote, quienes emplean a la bahía como lugar de disposición de sus descargas y residuos sólidos, ocasionando que la bahía cambie drásticamente sus factores físicos, químicos, y bioquímicos del recurso hídrico y del sustrato, impactando de manera severa a la biodiversidad marina, al paisaje, su geomorfología y potencialidad como playa recreativa. Así mismo, Cerna y Bocanegra (2012) y Ministerio del Ambiente [MINAM] (2012) señalan que, un factor importante en la contaminación de la bahía El Ferrol son las aguas residuales domésticas de la ciudad de Chimbote, siendo esencial su tratamiento y la aplicación de un Sistema de Gestión Ambiental para la empresa de saneamiento básico.

La polución de la bahía El Ferrol, empeora por descargas del Río Lacramarca, determinando una mayor aglutinación de coliformes totales (CT) y termotolerantes (CTT), altas concentraciones de aceites y grasa y demanda bioquímica de oxígeno. Esta bahía es considerada como un centro potencial de contaminación, al igual que las bahías del Callao, Supe, Pisco, Ilo y puerto de Talara (García et al., 2019). De igual manera, Dolsn et al., (2014) señalaban que, la contaminación, la sobrepesca y su procesamiento se consideran como los

principales contaminadores de los ecosistemas costeros, teniendo como epicentro de los impactos negativos en la ciudad de Chimbote la industria de harina de pescado y la siderúrgica.

Las actividades más importantes identificadas son los establecimientos industriales pesqueros (EIP), quienes se dedican a la producción de harina y aceite de pescado; complementados con actividades de procesamiento de productos de consumo humano directo como enlatado, congelado y curado (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2017). Las investigaciones relacionadas con la contaminación del mar en esta zona señalan que se debe realizar un estudio para conocer cuál es la capacidad productora de residuos sólidos no municipales en la producción de harina y aceite de pescado y la influencia negativa de las actividades industriales de transformación de la anchoveta en la riqueza específica e índices de equidad. (Silva, 2019; Huerto, 2019)

Las presiones relacionadas por el rápido crecimiento de la población y la expansión urbana en la costa exacerbaban los impactos negativos de las actividades antropogénicas como la contaminación y la recreación en las playas urbanas, que conlleva a la pérdida de hábitat, erosión, interrupción del transporte de arena, pérdida y cambio de especies, alteración de la estructura y función de los ecosistemas, degradación de la playa y eutrofización. (Canteiro et al., 2018; Dodds y Holmes, 2019 y Soto et al., 2021)

Desde el boom de la pesca y el acero de los años 70, la ciudad de Chimbote viene siendo afectada en su paisaje natural costero por la alta contaminación en cantidad y calidad, de las empresas pesqueras, siderúrgica, como Servicio Industrial de la Marina [SIMA] CHIMBOTE, Servicio de Agua Potable y Alcantarillado [SEDA] CHIMBOTE, etc. (Guillen et al., 1998), quienes echan directamente al mar, sus desagües domésticos e industriales sin ningún tratamiento, matando la biodiversidad marina, con graves repercusiones para la salud y afectando la vida de toda la población (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012; Loayza, 2022). Las empresas no asumen los pasivos ambientales y en la era del conocimiento y de la

tecnología, continúan arrojando los desagües a la bahía, violando las leyes existentes. (Cadenillas, 2016; Loayza-Aguilar, 2021)

Según Cadenillas (2016) y Loayza-Aguilar (2021), el desarrollo industrial perjudica a la bahía principalmente en los siguientes aspectos:

- Contaminación por elementos orgánicas e inorgánicas de aguas residuales industriales y domésticas (río Lacramarca).
- Proceso erosivo a causa de los lodos acumulados en el fondo de la bahía
- Degradación de las orillas debido a la construcción de espigones, muelles, infraestructura en la línea litoral (terrazas de concreto), enrocado
- Arrojo de desmontes y basura.
- Incidencia en la salud de la población riverense.
- Autoestima individual y colectiva de la población en su identidad cultural.

Los principales elementos depositados en el fondo marino de la bahía por la siderurgia son: cadmio, cobre, hierro, plomo y zinc, además de los procedente de los hidrocarburos y relaves mineros que trae el río Lacramarca de las minas ubicadas en la serranía de la Región Ancash. Así mismo, las instalaciones de harina de pescado descargan a la bahía proteínas, grasas y aceites, y residuos de las diferentes etapas del proceso de la fabricación de harina de pescado (Cabral, 2020). A esta contaminación de la bahía también contribuye los efluentes domésticos de las zonas urbanas asentadas a lo largo de la costa marina, intensificadas por los procesos antropogénicos que provocan degradación de los ecosistemas y la contaminación de la costa marina. (Banco Mundial [BM], 2017)

Se han constituido muchas comisiones para estudiar y proponer alternativas de solución a este grave problema que afecta profundamente la vida de sus habitantes, como la Comisión Multisectorial de Gestión del Medio Marino, el Plan de Acción de Conservación de la Biodiversidad Marina, Plan de Recuperación Ambiental de la Bahía El Ferrol, entre otros, con

resultados poco alentadores (Banco Mundial [BM]-Perú, 2007) y R. S. N° 004-2012-MINAM (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012).

Por tal motivo se hace necesaria la ejecución de acciones de vigilancia y fiscalización de la calidad de las aguas marino-costero que permita evaluar su calidad para planificar e implementar acciones de prevención, mitigación y control de los impactos negativos (Hoong & Chen, 2020). En el marco de diagnosticar la calidad de agua de los cuerpos marinos receptores (mar) existen indicadores que nos ayudan a definir el grado de contaminación; como los denominados ECA (Estándares de Calidad Ambiental) que fijan los valores críticos para Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Nitratos, Fosfatos y Sulfuros (Varas, 2016), los cuales tienen valores o intervalos definidos por la Clasificación del cuerpo de agua marino costero, creado bajo criterios técnicos con sustento normativo relacionado con las condiciones ambientales oceanográficas y la realidad nacional del ambiente marino, en el cual consideraron la geomorfología del litoral, el relieve submarino y la influencia de los recursos hídricos de agua dulce que generan un hábitat variado de ecosistemas acuáticos (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016; Cisneros, 2020). En Perú, la Autoridad Nacional del Agua periódicamente realiza vigilancia y monitoreo del estado de la calidad de los recursos hídricos, en cada unidad hidrográfica o cuenca.

Por tanto, la realización de este trabajo de investigación aporta información significativa sobre el estado de la calidad del agua de la bahía para servir de guía en la toma de decisiones de diversa naturaleza que impliquen afectaciones al ambiente en la Bahía El Ferrol, para tal fin se buscó las respuestas a las siguientes interrogantes.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿En qué medida los efluentes industriales, pesqueros y domésticos impactan en la calidad del agua de la Bahía El Ferrol, Chimbote en el periodo 2015-2020?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿En qué medida las descargas de los efluentes impactan en la variación de la concentración de los parámetros Fisicoquímicos en la Bahía El Ferrol?
- ¿En qué medida las descargas de los efluentes impactan en la variación de la concentración de los Indicadores Orgánicos y Microbiológicos en la Bahía El Ferrol?
- ¿En qué medida las descargas de los efluentes impactan en la variación de la concentración de los Metales Pesados por las descargas de efluentes en la Bahía El Ferrol?

1.4 Antecedentes

1.4.1 Antecedentes internacionales

El principal problema que afecta a los ecosistemas costeros, con efectos importantes sobre la calidad del agua y la vida marina son los efluentes de las aguas residuales que se han vertido históricamente a través de vertederos en aguas costeras, tal como lo señalan McIntyre (1995); Koop y Hutchings (1996); Mbai (1999); Young-Jin y Rousseaux (2001); Achieng (2003) y Lusher, Hollman y Mendoza-Hill, (2017).

La comunidad internacional adopta el primer paso en una respuesta global para preservar el medio marino frente a las actividades realizadas en tierra, que contaminan el mar como las aguas residuales no tratadas, la escorrentía agrícola, los aceites, los metales pesados y los sedimentos arrastrados por los movimientos de tierra y la deforestación (Aguirre et al.,

2009; Dolsn et al., 2014; Muñoz y Le Bail, 2017). Sin embargo, 26 años después, la contaminación marina sigue sin disminuir. (Paul, 2021)

De igual manera, Achieng (2003) y Kienitz (2013) señalan que, las aguas costeras de Islandia se enfrentan a una serie de presiones que afectan tanto al ecosistema como a la salud humana por los vertidos de aguas residuales y a las prácticas de eliminación que introducen elevadas cargas de nutrientes, productos químicos peligrosos y agentes patógenos causantes de enfermedades. En la última década se identificaron que el 95.4% de los residuos eran de plástico y la industria pesquera es la principal contribuyente, afectando negativamente a los ecosistemas y su economía (International Council for the Exploration of the SEA [ICES], 2018). Se presenta un vínculo potencial entre la alta abundancia de microplásticos y la actividad pesquera en zonas conocidas de alimentación y desove de bacalao, así como una correlación positiva entre la alta materia orgánica y abundancia de microplásticos. (Loughlin et al., 2021)

En la bahía de Manila, Velásquez et al. (2006) señalan que los principales problemas ambientales identificados fueron: deterioro de la calidad del agua, erosión costera, sedimentación, degradación del hábitat y pérdida de la biodiversidad; agravado significativamente por la desembocadura de sus ríos contaminados por las actividades humanas terrestres. De igual manera Breitnurg et al. (2018) señalan que, el contenido de oxígeno del océano abierto y las aguas costeras ha ido disminuyendo durante al menos el último medio siglo, en gran parte debido a las actividades humanas que han aumentado las temperaturas globales y los nutrientes descargados a las aguas costeras.

Expertos multidisciplinares en "grandes ciudades costeras" de los países ribereños del Mediterráneo se reunieron para fomentar el intercambio de experiencias y herramientas para gestionar mejor el medio ambiente marino, acrecentar la condición de las aguas marinas, sedimentos y comunidades de biota marina en las proximidades de las grandes ciudades, y potenciar un control más eficaz de las presiones antropogénicas (Lardic et al., 2009). Así

mismo, Fabres et al. (2012) señalan que, muchos de los problemas marinos relacionados con las grandes ciudades se derivan de la falta de conocimientos adecuados sobre los flujos naturales y la intervención humana en las aguas y los sedimentos, los principales aportes de material y energía, así como el funcionamiento de los ecosistemas marinos, agravados aún más por la actitud de los ciudadanos que viven en estos entornos superpoblados y perturbados, en su mayoría inconscientes de su huella negativa en el medio ambiente y siendo al mismo tiempo, víctimas de su propio comportamiento.

En el caso del mar Báltico, contribuyen a ensuciar sus mares, los vertidos industriales o de fabricación, obras de construcción y demolición, vertido de basuras por pérdidas accidentales durante el transporte, la manipulación de los desechos ocasionados por los buques y los residuos de la carga, entre otros. (Moora y Pirsalu, 2016)

De igual manera, Bukola et al. (2015) señalan que, la explosión demográfica, el crecimiento de la industria y la urbanización, la contaminación del agua por fuentes agrícolas, municipales e industriales se han convertido en una gran preocupación para el bienestar de la humanidad; y que diversas investigaciones científicas han detectado un efecto nocivo de la contaminación sobre las poblaciones de diferentes organismos que habitan en la masa de agua en la costa del sur de Nigeria.

En el caso de Grecia, país mediterráneo rodeado de mar y con un litoral de aproximadamente 18.000 km, la contaminación ambiental marina y costera, es un grave problema en las últimas décadas, relacionada con los vertidos de combustible de los barcos, los vertidos no tratados de residuos líquidos y sólidos municipales e industriales, los efluentes agrícolas y ganaderos, el agotamiento de las especies marinas por la sobrepesca, y la pérdida de hábitat marinos en su costa. (Valavanidis, 2018)

Problemas ambientales también se presentan en las ciudades costeras de la India. Así, para el caso de la ciudad de Surat, Bansal (2018) señala que, los problemas de contaminación

se manifiestan como problemas de calidad del aire, disposición de desechos sólidos y descarga de efluentes industriales, siendo estos últimos, la fuente de algunos de los contaminantes más tóxicos y de los entornos más contaminados, considerados como más peligrosas que las aguas residuales.

En cuanto a Kenia, la contaminación marina costera procede principalmente de fuentes terrestres y de otras actividades en el medio marino. Sin embargo, teniendo un relativamente bajo grado de industrialización, se han registrado vertidos de residuos líquidos en el mar. Los residuos sólidos, tanto domésticos como industriales, incluidos los productos químicos tóxicos se vierten en el vertedero incontrolado de Makupa Creek. Así mismo, la contaminación de los sedimentos por metales pesados ha mostrado factores de enriquecimiento que oscilan entre 1,2 y 7,8. (Niguta, 2021)

De igual manera, en Kuwait, han encontrado evidencia de contaminación en sus aguas causada por aguas residuales, desechos de transporte, construcción y explosiones submarinas para búsquedas de petróleo. Su bahía está sufriendo diferentes tipos de contaminación, ya sea de fuentes locales o regionales, siendo las fuentes de contaminación los procesos a base de aceite, las aguas residuales, la desalinización y la oxidación-reducción natural que, a través de las especies de peces como kuwaitíes, Sheam, lobster, Speatty y Nagroor, pueden generar riesgos de cáncer y otros peligros para los consumidores y en la biodiversidad de los desarrollos costeros. (Alqattan y Gray, 2021)

Vikas y Dwarakish (2015) señalan que, la contaminación de las costas del mundo está aumentando a un ritmo alarmante y hacerle frente es un cometido difícil, por lo que se necesitan urgentemente diversos enfoques. Muchos de los contaminantes que se vierten al mar son resultado directo o indirecto de las actividades humanas, algunas de las cuales son biodegradables, mientras que otras no lo son, y muchos países han adoptado varias leyes y

políticas para prevenir la contaminación marina a nivel nacional e internacional sin alcanzar los éxitos planteados.

La Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica y Grupo Asesor Científico y Técnico [FMAM] (2012) señalan que los hábitats marinos de todo el mundo están contaminados con desechos y residuos sólidos de origen humano; soportando cada vez más un amplio abanico de amenazas, como la creciente acidificación, la decoloración de los corales, las toxinas y la contaminación química, la sobrecarga de nutrientes y el agotamiento de las pesquerías, entre otras muchas, que están socavando la capacidad del océano para mantener sus funciones ecológicas.

Diez et al. (2019) señalan que, en la Región del Gran Caribe [RGC], en los últimos 50 años, está aumentando la temperatura de los océanos, sobreexplotación de las pesquerías, daños causados a los hábitats por un desarrollo costero descontrolado y una contaminación sin precedentes provocando un dramático declive de su entorno natural, repercutiendo en el medio ambiente marino a través de la escorrentía y la inadecuada gestión de los residuos sólidos, afectando los ecosistemas críticos.

De igual manera, la Academia de Ciencias del G20 (Sciencia-20 [G20], 2019) señalan que los ecosistemas costeros y marinos, se enfrentan a graves y crecientes amenazas por parte de la actividad humana, y el cambio climático provocado por el aumento de la concentración atmosférica de dióxido de carbono está calentando, acidificando y desoxigenando el océano. En la actualidad, los residuos plásticos son un contaminante generalizado y el océano es un punto de acumulación de otros contaminantes, reduciendo la variedad de contribuciones al bienestar humano.

Por otro lado, los grandes ecosistemas marinos ubicados en los márgenes de los continentes proporcionan un sinnúmero de bienes y servicios que sustentan y satisfacen la vida y las actividades humanas mediante: mariscos, hábitats, fuentes de energía, ciclo de nutrientes

y producción primaria, regulación meteorológica y climática, protección costera, desintoxicación del agua, atrapamiento de sedimentos, y servicios culturales y económicos, entre otros. (Muñoz y Le Bail, 2017)

Así mismo, según Muñoz y Le Bail (2017) señalan que, de 66 grandes ecosistemas marinos, diez están ubicados en las costas de América Latina: corriente de California, golfo de California, golfo de México, Costa Pacífica Centroamericana, Mar Caribe, Corriente de Humboldt, Plataforma Patagónica, Plataforma Sur de Brasil, Plataforma Este de Brasil y Plataforma Norte de Brasil; cada uno con diferentes características que lo hacen único e imprescindible para sus poblaciones locales. Lamentablemente están amenazados por varios factores como: crecimiento de la población costera, contaminación, sobreexplotación, cambio climático, sumado a una mala práctica de gobernanza, mediante el cual se soslaya la prevención del daño al medio marino.

Así mismo, el Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt [HCLME por sus siglas en inglés] presenta problemas transfronterizos comunes que afectan el estado de los bienes y servicios que suministra como: (i) el uso no óptimo de los recursos pesqueros con consecuencias socioeconómicas; (ii) la alteración antropogénica de los hábitats marinos por aumento de los niveles de contaminación; y (iii) una alta captura incidental y la destrucción y los descartes de fauna. (Gutiérrez et al., 2017)

Una serie de factores antropogénicos no climáticos también se combinan para reducir la productividad y el rendimiento de la biomasa del HCLME, siendo los principales: la sobrepesca y la contaminación, además del problema compartido entre Chile y Perú de los altos niveles de capturas accidentales y descartes (Gutiérrez et al., 2016). Además, la entrada de CO₂ antropogénico en el océano y la estratificación a gran escala están provocando la acidificación y la desoxigenación, con altas probabilidades de que desencadenen una cascada de cambios biogeoquímicos y ecológicos en los ecosistemas marinos.

1.4.2 Antecedentes nacionales

En el Perú existen un total de ciento ochenta y tres (183) áreas protegidas, que comprenden 22 530 983,16 hectáreas. En la zona costera se encuentran 3 áreas que incluyen ambientes marinos tales como:

- Reserva Nacional de Paracas (335 000,00 ha).
- Reserva Nacional de San Fernando (154 716,37 ha).
- Reserva Nacional del Sistema de Islas, Islotes y Puntas de Guano [RNSIIPG] (140 833,47 ha). (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP], 2016).

Frente a la costa peruana se encuentra la zona pesquera más productiva, con una tasa de producción primaria (PPR) media anual de $1,2 \text{ kg C m}^{-2}\text{y}^{-1}$, seguido por la zona de la costa central chilena con una media anual de $1 \text{ kg C m}^{-2}\text{y}^{-1}$. El 12% de los desembarcos de pescado marino del mundo que incluye la mayor pesquería de una sola especie como la anchoa peruana, se da en el HCLME, pero con una tendencia negativa notable que ha llevado a que se adopten sistemas de cuotas individuales para la pesca industrial de la anchoveta en Perú a partir del 2009. (Gutiérrez et al., 2016)

En cuanto a los metales pesados en la costa peruana, existen varios estudios científicos que sugieren que los más peligrosos para el ecosistema marino y la salud humana son el mercurio, cadmio y plomo por sus características de toxicidad, persistencia y bioacumulación. En la bahía de Samanco se encontraron en los sedimentos superficiales Cd y Cu que superaban los valores establecidos por la Tabla de Protección y Restauración de Costas [USA]. (Barriga-Sanchez y Aranda, 2018)

Por otro lado, Horna (2013) indica que, el patrón de ocupación territorial horizontal del suelo, la ocupación de áreas naturales – humedales- y la nivelación de los suelos han generado mayor emisión de gases y material particulado; siendo la actividad antrópica la de mayor

incidencia en enfermedades respiratorias y gastrointestinales en la población ribereña. Es decir, la ordenación del suelo no ha considerado el futuro para que satisfaga las necesidades públicas, sino que se da por una progresión casuística e incontrolada desde el punto de vista de las inversiones privadas e individuales, generándose beneficios y consecuencias culturales y medioambientales no deseadas de las actividades antrópicas. (Castanho et al., 2021)

La causa principal del efecto negativo de los desechos en los ecosistemas y las especies marinas son la deficiente gestión de los residuos sólidos y la pesca industrial, los cuales se han convertido en un desafío mundial, principalmente en los países en desarrollo (Molina et al., 2021). Otra de las causas es la deficiente gestión de los residuos en las ciudades costeras donde vive la mayoría de la población del Perú por ser una amenaza para la biodiversidad (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018). Sin embargo, durante los últimos años, se viene trabajando para modernizar la gestión de los residuos sólidos en general y los de la pesca artesanal, que normalmente se desechan en el océano, a fin de reducir las amenazas a los ecosistemas marinos y al bienestar humano. (Luna et al., 2019)

En cuanto a la contaminación de las aguas costeras, las riberas de Chancay, Huaral, es uno de los más contaminados por desechos sanitarios e industriales, convirtiéndose en uno de los principales problemas que afectan a su población (Gálvez y Ramos, 2020). Desde inicios del siglo XX se conoce que las aguas de la bahía de Chancay presentan valores que sobrepasan las normas vigentes (Ley General de Aguas – D.L. 17752), llegando en casos extremos a 0.00 ml/l de Oxígeno disuelto, 120 mg/l de DBO₅, 0.00 bits/ind. en diversidad, entre otros, confirmando su alta contaminación (Cabrera, 2002). De igual manera Falcon y Yalico (2015) encontraron que las aguas del mar de la Bahía de Chancay presentaron valores superiores al de las normas vigentes (D.L. 17752), registrando casos extremos de 5,44 a 6,23mg/l de oxígeno disuelto en la superficie, de 55,4 a 120 mg/l de DBO₅ en superficie; de 16,25 a 32,80 mg/l de sólidos suspendidos totales (SST) en superficie y de 105,47 a 110,7 mg/l de SST en fondo. Así mismo,

Gálvez y Ramos (2020) señalan que, durante las épocas de procesamiento industrial pesquero, la bahía de Chancay presenta en su caracterización 120 mg/l en demanda bioquímica de oxígeno, 90 mg/l de grasas y aceites, descomposición orgánica en los sedimentos y otros compuestos provocando daño a la biodiversidad, la cual llega a 0.0 bits/ind. en el macro bento del sedimento marino.

Para otras bahías como la de Talara, Vallejo (2010) encontró que, al sur de dicha bahía, los aceites y grasas, la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, los sólidos totales disueltos y el oxígeno disuelto, se encontraban dentro del Estándar de Calidad Ambiental [ECA] de la ley general de agua, clase VI (D.L. 17752). Así mismo, en cuanto a los metales pesados: plomo, cromo y bario no presentaron indicios de contaminación, mostrando bajos niveles de concentración; en cambio los niveles de mercurio superaron el Estándar de Calidad Ambiental [ECA], y los valores de cadmio se ubicaron en el umbral del valor estándar de calidad.

En la región La Libertad, su patrimonio costero y la conservación de su paisaje es de gran valor, pero en las últimas décadas, su equilibrio se ha visto alterado por un marcado aumento de la contaminación por fuentes terrestres, destacando los metales pesados, la industrialización y las actividades antropogénicas, que generan una gran diversidad y cantidad de residuos líquidos vertidos a la playa sin ningún tratamiento. Así mismo, la temperatura superficial del agua de mar del puerto Salaverry fluctuó entre 18.8 °C a 22.8 °C, temperaturas más altas que las normales, como consecuencia de las descargas de origen pesquero, vertidos de origen doméstico, entre otros. (Gómez, 2016; Bocanegra et al., 2020)

Para la bahía de Malabrigo-Trujillo-Perú en particular, Jave y otros (2020) señalan que, utilizando el diseño factorial de diferencias individuales propuesto por Jonckheere-Terpstra, los efluentes sólidos ($p = 0.04$), los aceites y grasas y DBO_5 muestran valores superiores a los promedios de la zona de influencia. Es decir, que las fábricas de harina de pescado generan

contaminación en sus playas y desencadenan impactos ambientales en dicha bahía, y que los valores DBO₅ encontrados indican que la bahía Malabrigo está contaminada, especialmente en las zonas Crítica y de Playa.

En la caleta Santa Rosa, Lambayeque, al evaluar sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la unión del Dren 4000 (Punto A), Jimenez (2017) obtuvo los siguientes resultados promedios: en Temperatura de 25.83 °C (Estándar de Calidad Ambiental [ECA] = 25 °C), para Turbidez de 104.16 (Estándar de Calidad Ambiental [ECA] = 100), nivel de pH de 7,07 (Estándar de Calidad Ambiental [ECA] = 6.8 – 8.5), en DBO fue de 54.16 (Estándar de Calidad Ambiental [ECA] ≤ 15), para DQO de 68,35 (Estándar de Calidad Ambiental [ECA] ≤ 10). Para los parámetros microbiológicos los promedios obtenidos para el Punto A fueron: en Coliformes Totales obtuvo un promedio de 12,786 NMP/100 ml (Estándar de Calidad Ambiental [ECA] = 1000), Coliformes Termotolerantes su promedio fue de 14,750 NMP/100 ml (Estándar de Calidad Ambiental [ECA] = 2000), concluyendo que estos parámetros superan los Límites Máximos Permisibles [LMP] establecidos en la Ley General de Aguas.

Al sur de Perú, en la bahía de Cata-Cata, Ilo, Moquegua, los parámetros biológicos obtenidos por Carrera (2018) referidos a las concentraciones de aceites y grasas, en los tres puntos de muestreo, son superiores a los Límites Máximos Permisibles [LMP] (D.S. N° 010-2008-PRODUCE) y los Estándar de Calidad Ambiental [ECA] (D.S. N° 002-2008-MINAM). Así mismo, en cuanto a las concentraciones de DBO₅ y los STS, sus valores en los tres puntos de muestreo se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisibles [LMP] y los Estándar de Calidad Ambiental [ECA].

En cuanto al ambiente marino y costero de la Región Ancash, García et al. (2019) realizaron una evaluación de la calidad ambiental en las bahías de Coishco, El Ferrol, Samanco, Los Chimús, Tortugas, Casma, Huarney y caleta Culebras, así como en los ríos Santa, Samanco, Nepeña, Casma, Culebras y Huarney entre noviembre-diciembre 2018. Sus

resultados indican que, el oxígeno disuelto superficial en Samanco fue superior a 8 mg/L y menores a 3.50 mg/L en caleta Culebras y Huarmey; en nutrientes sus valores fueron superiores a lo indicado por la norma vigente; los SST en promedio no superaron los Estándar de Calidad Ambiental [ECA] para el agua (60 mg/L) y la presencia de dinoflagelados potencialmente tóxicos como *Dinophysis acuminata*, *D. caudata* y *D. tripos* están en todas las bahías y caletas y, los *Prorocentrum cordatum* se localizaron en El Ferrol, Samanco, Tortuga y Casma. En cuanto a la temperatura superficial encontraron que, los valores más altos se presentaron en las bahías El Ferrol (18.6 °C) y Samanco (20.1 °C) que por su forma semicerrada no permiten el rápido cambio de sus masas de agua; de igual manera, la salinidad promedio registra valores altos de 34,832 ups en El Ferrol y de 35,120 ups en Samanco, influenciada por descargas continentales, así como, por vertidos antrópicos. Para el pH reportaron concentraciones de 8,78 unidades en El Ferrol hasta 8,99 unidades en Samanco (el más alto), y de igual manera, se registran valores más altos de Oxígeno disuelto de 7,61mg/L y 8,52 mg/L respectivamente.

García et al. (2019) también reportan indicadores para SST (mg/L), aceites y grasas (mg/L), DBO₅ (mg/L) y de contaminación microbiológica por mar. Para las concentraciones de SST en El Ferrol (14,40 mg/L) son menores a los de Caleta Culebras (20,55mg/L) y Coishco (18,19 mg/L), al igual que los aceites y grasas (El Ferrol, 0,64 mg/L, Samanco, 0,86 mg/L y Culebras, 0,73 mg/L). De igual manera, Samanco y El Ferrol registran una alta DBO₅ (6,90 y 6,75 mg/L respectivamente). En cuanto a la calidad ambiental marino costero por agentes microbiológicos, El Ferrol registra bajos valores para Coliformes Totales (máximo 130,00 NMP/100mL) y para Coliformes Termotolerantes (máximo 33,00 NMP/100mL) con relación a las otras bahías, excepto Samanco para Coliformes Termotolerantes (máximo <1,80 NMP/100mL).

1.5 Importancia y justificación de la investigación

1.5.1 Importancia de la investigación

Las zonas costeras del Perú tienen inmensurables valores ecológicos, económicos, recreativos y estéticos, pero el crecimiento de la población y las actividades productivas, aumentan las presiones tanto naturales como las inducidas por actividades antropogénicas. De ahí que en los últimos veinte años el interés por la biodiversidad marina y la contaminación ambiental en general han recibido mayor atención.

El interés se ha centrado en los efluentes industriales y domésticos descargados en el litoral del mar peruano que son problemas para la ecología marina y las ciudades que se localizan en sus cercanías, porque reducen la biodiversidad marina, el uso recreativo de sus playas y ponen en riesgo la salud del hombre.

Esta investigación muestra una secuencia de las evaluaciones de la calidad del agua de la Bahía El Ferrol en el periodo 2015-2020, desde el punto de vista ecológico (la calidad del agua) y su relación con los dispositivos legales vigentes emitidos para su manejo y conservación.

Así mismo, determina si los parámetros fisicoquímicos de las aguas de la bahía se encuentran dentro del intervalo que marca las normas vigentes, si se cumplen los objetivos señalados en el Plan de Recuperación Ambiental de la Bahía El Ferrol y proponer alternativas para recuperar la biodiversidad de la bahía, recobrando su importancia como punto de recreación y atractivo turístico de los distritos Chimbote y Nuevo Chimbote.

1.5.2 Justificación

Conocido el real estado en que se encuentra la Bahía El Ferrol, el resultado del presente estudio ayudará a las entidades públicas y privadas tomen decisiones enmarcadas dentro de un contexto de continua recuperación del recurso marino. Si los resultados finales demuestren que aún falta alcanzar los objetivos planteados por las industrias pesqueras, de acuerdo con su plan

de recuperación, se replantearan nuevas acciones con la finalidad de encontrar las deficiencias registradas en torno a sus sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales y domesticas que disponen en la Bahía El Ferrol.

Así mismo, esta investigación contribuye a fortalecer la línea de investigación en ingeniería ambiental desarrollados por la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal [UNFV]: 40. Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio.

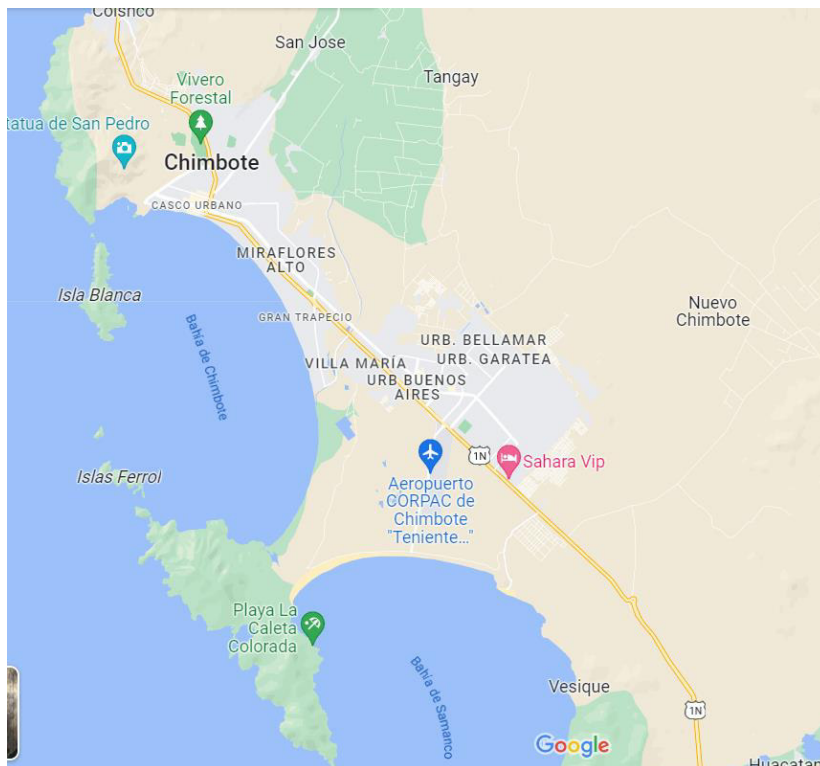
1.6 Limitaciones de la investigación

1.6.1 Espacial

La investigación se circunscribe a la bahía El Ferrol, ubicada en la zona marino-costera de la parte central del Perú, distritos Chimbote y Nuevo Chimbote, provincia del Santa, Región Ancash y a 450 km al norte de la ciudad de Lima. Su extensión es de 11,19 km de largo y 6,57 km de ancho, con un área de 73,518 km², entre las coordenadas 9°04' – 09°10'S y 78°33' - 78°37'W (Tresierra et al., 2007).

Figura 1

Ubicación de la Bahía El Ferrol, Chimbote



Nota. Elaboración propia

1.6.2 Temporal

El análisis de los datos se circunscribe al periodo 2015-2020.

1.6.3 Socioambiental

El perjuicio de la contaminación en la bahía el Ferrol lo referiremos solo a los habitantes ribereños de las ciudades de Chimbote y Nuevo Chimbote.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

- Evaluar el impacto de los efluentes industriales, pesqueros y domésticos en la calidad del agua de la Bahía El Ferrol, Chimbote en el periodo 2015-2020.

1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar en que medida las descargas de los efluentes impactan en la variación de la concentración de los parámetros Físicoquímicos en la Bahía El Ferrol.
- Identificar en que medida las descargas de los efluentes impactan en la variación de la concentración de los Indicadores Orgánicos y Microbiológicos en la Bahía El Ferrol.
- Determinar en qué medida las descargas de los efluentes impactan en la variación de la concentración de los Metales Pesados por las descargas de efluentes en la Bahía El Ferrol.

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis general

- Las descargas de los efluentes impactan significativamente en la variación de la concentración de los Metales Pesados por las descargas de efluentes en la Bahía El Ferrol

1.8.2 Hipótesis específicas

- Las descargas de los efluentes en la variación de la concentración impactan significativamente en los parámetros Físicoquímicos en la Bahía El Ferrol.
- Las descargas de los efluentes impactan significativamente en la variación de la concentración de los Indicadores Orgánicos y Microbiológicos en la Bahía El Ferrol.
- Las descargas de los efluentes impactan significativamente en la variación de la concentración de los Metales Pesados por las descargas de efluentes en la Bahía El Ferrol.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Filosófico

Se entiende la biodiversidad como la multiplicidad de expresiones de la vida en su proceso de adaptación al ambiente y a las transformaciones que la vida misma introduce en aquel; incluye las numerosas especies de plantas, animales y microorganismos, así como, los ecosistemas y poblaciones, los genes y compuestos orgánicos que los constituyen y cuya existencia está ligada a la vida. (Márquez, 1996)

La importancia de la biodiversidad deriva tanto de las funciones que cumplen las especies y de su eventual utilidad directa para la humanidad, como por sus funciones de soporte de las condiciones de vida sobre el planeta, así como del potencial genético y bioquímico que es y puede ser aprovechado en bien de la vida y del bienestar humano sobre el planeta. (Márquez, 1996; Duffi, 2008)

Por su lado, Wilson (2002) indica que, el valor intrínseco que tiene cada especie o ecosistema hace que el actual periodo masivo de su extinción es suficiente para reclamar la adopción de medidas extraordinarias. Pero la biodiversidad también es fuente de bienestar por el impacto emocional positivo que genera en la mayoría de las personas que se adentran en los paisajes donde domina lo natural sobre lo artificial. (Sufen et al., 2020)

De igual manera, Duch (2010) señala que, la importancia de la diversidad para asegurar nuestra adaptación a los futuros cambios climáticos está claramente demostrada y que su variabilidad es un elemento clave en la lucha contra el cambio climático. Los Estados adoptaron el 2010, como Año Internacional de la Diversidad Biológica.

La biodiversidad marina es también muy importante para la vida en el planeta lo que permite afirmar que será objeto de creciente atención, Whisnant y Reyes (2015) señalan que las actividades que influyen sobre los recursos costeros y marinos deben estar basados en un desarrollo ambiental y social sostenible; es decir, que en el largo plazo, estas actividades deben

ser balanceadas con la capacidad de los ecosistemas oceánicos para soportar estas actividades, permanecer resistentes a los cambios y soportar la contaminación, reduciendo de manera significativa los riesgos medio ambientales.

Lo señalado por Whisnant y Reyes (2015) coincide con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 14 de la Agenda 2030, explícitamente en sus metas 14.2 y 14.5 para las áreas costeras, donde se señala la utilización sostenible y tutela de los ecosistemas costeros con su diversidad biológica, combatir su contaminación, la baja en el pH, el desequilibrio bioquímico e incrementar los espacios protegidos marinos, promoviendo la protección, conservación y gestión de los ecosistemas y recursos costeros, corroborado también por Larik (2017) y Neumenn et al. (2017).

De igual manera, la Unión Europea destaca la correspondencia entre el desarrollo y la conservación de la biodiversidad con los océanos. Es decir, que existe una fuerte interdependencia entre ecosistemas costeros y marinos, siendo clave su abordaje y protección, ya que son fundamentales para las economías locales y regionales. (Martínez et al., 2017)

2.2 Teorías y enfoques

2.2.1 Teoría del Desarrollo Sostenible

Esta teoría sostiene que, para la conservación de la vida en el planeta, el Desarrollo Sostenible es un crecimiento balanceado entre la economía, lo social humano y lo ambiental. Este concepto aparece por primera vez en 1987 con la publicación del Informe Brundtland, que alertaba de las consecuencias medioambientales negativas del desarrollo económico y la globalización y trataba de buscar posibles soluciones a los problemas derivados de la industrialización y el crecimiento de la población. (Ferrandis, 2016)

Dentro de este enfoque se encuentran las acciones para la conservación de las zonas marino-costeras y marinas que suministran bienes y servicios naturales como alimentos, agua,

materias primas; regulan los procesos ecológicos como el clima, retención de sedimentos y purificación del agua, contribuyendo a tener un ambiente saludable.

Y rescata la importancia socio ambiental y económica de estos recursos, que son reconocidas para la supervivencia del hombre como para las actividades turísticas.

En función de esta teoría se han construido los Objetivos del Desarrollo Sostenibles [ODS] al 2030, específicamente el ODS 14 señala que, los océanos del mundo, su temperatura, composición química, corrientes y vida son el motor de los sistemas globales que hacen que la Tierra sea un lugar habitable para los seres humanos y planteó como meta al 2025, “prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los detritos marinos y la polución por nutrientes” (Naciones Unidas [NU] - CEPAL, 2018).

2.2.2 Enfoque que fundamenta los Estudios de Impacto Ambiental

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente de Estocolmo en 1972 y las convenciones posteriores formalizaron la Evaluación de Impacto Ambiental [EIA] y actualmente, todos los países disponen de leyes medioambientales. La necesidad de las Evaluación de Impacto Ambiental [EIA] se ha vuelto cada vez más importante siendo un requisito legal en muchos países en desarrollo. Hoy en día, el impacto medioambiental y social se han convertido en un fuerte de la viabilidad de los proyectos (económico, medioambiental y social). (Achien, 2007)

Así mismo, existen propuestas para la aplicación de un nuevo marco que tiene como objetivo realizar una evaluación completa del ciclo de vida de los impactos aplicable a cualquier proceso de Evaluación de Impacto Ambiental [EIA] basado en la modelización para predecir cambios y se apoya en el análisis de datos con un enfoque estadísticamente riguroso para evaluar los impactos. La adopción de este enfoque proporcionaría una mejor evaluación de los costes y beneficios económicos de las partes interesadas. (Wilson et al., 2017)

2.2.3 Enfoque ecosistémico en la zona costera

La zona costera es un área especial, con características especiales y sus límites suelen estar determinados por los problemas específicos que se abordan (Banco Mundial [BM], 1993; Connolly, 2001). Desde el enfoque ecosistémico, en la zona costera se presentan interacciones físicas, químicas y biológicas entre sus diversos componentes naturales y antropogénicos, siendo valiosas tanto medioambiental como económico. (Banica et al., 2003; Ramkumar et al., 2019)

El Enfoque Ecosistémico coloca a la gente y el uso de los recursos naturales como el punto de partida de la toma de decisiones. Es por esto por lo que el Enfoque Ecosistémico puede ser utilizado para buscar un balance apropiado entre la conservación y el uso de la diversidad biológica en áreas en donde hay múltiples usuarios de los recursos y valores naturales importantes. Es de relevancia para profesionales y practicantes definir e identificar los activos en pesca, las áreas protegidas (bahías), la planificación urbana y muchos otros campos relacionados. (Shepherd, 2006)

Esta teoría plantea 12 principios para la conservación del medio:

1. La elección de los objetivos de la gestión de los recursos de tierras, hídricos y vivos debe quedar en manos de la sociedad.
2. La gestión de los recursos naturales debe estar descentralizada al nivel apropiado más bajo.
3. Los administradores de ecosistemas deben tener en cuenta los efectos (reales o posibles) de sus actividades en los ecosistemas adyacentes y en otros ecosistemas.

4. Dados los posibles beneficios derivados de su gestión, es necesario comprender y gestionar el ecosistema en un contexto económico. Este tipo de programa de gestión de ecosistemas debería:
 - i. Disminuir las distorsiones del mercado que repercuten negativamente en la diversidad biológica;
 - ii. Orientar los incentivos para promover la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica; y
 - iii. Procurar, en la medida de lo posible, incorporar los costos y los beneficios en el ecosistema de que se trate.
5. A los fines de mantener los servicios de los ecosistemas, la conservación de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas debería ser un objetivo prioritario del enfoque ecosistémico.
6. Los ecosistemas se deben gestionar dentro de los límites de su funcionamiento.
7. El enfoque ecosistémico debe aplicarse a las escalas espaciales y temporales apropiadas.
8. Habida cuenta de las diversas escalas temporales y los efectos retardados que caracterizan a los procesos de los ecosistemas, se deberían establecer objetivos a largo plazo en la gestión de los ecosistemas.
9. En la gestión debe reconocerse que el cambio es inevitable.
10. En el enfoque ecosistémico se debe procurar el equilibrio apropiado entre la conservación y la utilización de la diversidad biológica, y su integración.
11. En el enfoque ecosistémico deberían tenerse en cuenta todas las formas de información pertinente, incluidos los conocimientos, las innovaciones y las prácticas de las comunidades científicas, indígenas y locales.

12. En el enfoque ecosistémico deben intervenir todos los sectores de la sociedad y las disciplinas científicas pertinentes.

2.3 Marco Conceptual

Impacto ambiental

Se le define como un cambio o alteración en el medio ambiente, siendo una causa o un efecto debido a la actividad y a la intervención humana. Este impacto puede ser positivo o negativo, este último representa una ruptura en el equilibrio ecológico, degradando los entornos, empobreciendo los sistemas vivos, así como perjudicar la salud de las personas (Ruberto, 2003; Chu y Karr, 2017). Así mismo, el impacto ambiental es resultado o consecuencia de nuestras acciones, siendo crucial educar a la sociedad para que pueda tener actitudes responsables que causan menos impactos negativos en el medio ambiente. (Perevochtchikova, 2013)

Impacto ambiental marino

El Impacto Ambiental Marino se origina cuando, la estructura biológica, fisicoquímico y sedimentaria del ecosistema marino es alterado irreversiblemente por actividades de desarrollo incontrolados, el número de personas que viven cerca de la costa, el procesamiento industrial y vertidos de los efluentes procedentes de la transformación del pescado en harina y aceites (Cabrera, 2002). Adicionalmente, la contaminación de las aguas costeras y marinas aumenta por los vertidos de los ríos, el drenaje de la zona portuaria, vertido de petróleo y otros contaminantes procedentes del transporte marítimo. (Krishnakumar & Asokan, 2017)

De igual manera, numerosos estudios han presentado los niveles de concentración y los riesgos asociados de los contaminantes elementales en los medios acuáticos de todo el mundo, señalando a la población y las actividades antropogénicas, como la acuicultura, actividades

industriales, minería, operaciones portuarias y vertidos de aguas residuales, han causado efectos adversos en la biodiversidad y las redes alimentarias. (Philomina et al., 2020)

Evaluación del impacto ambiental

La evaluación de impacto ambiental es un proceso participativo, técnico-administrativo, destinado a prevenir, minimizar, corregir y/o mitigar e informar acerca de los potenciales impactos ambientales negativos que pudieran derivarse de las políticas, planes, programas y proyectos de inversión, y, asimismo, intensificar sus impactos positivos.

Este proceso además comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental [ECA], los Límites Máximos Permisibles [LMP] y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo con la legislación ambiental vigente. (Ministerio del Ambiente [MINAM], Reglamento de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, 2009)

Bioindicadores

Bioindicadores son organismos vivos que se utilizan la salud del ecosistema natural, la salud del medio ambiente y sus cambios biogeográficos (Parmar et al., 2016). Estos organismos son altamente sensibles a las condiciones ambientales por lo que su ausencia o presencia, al igual que su morfología y desarrollo, indican claramente la existencia de contaminantes. (Jaramillo y Botero, 2010; Gonzales et al., 2014)

Aguas residuales

Son aguas cuyas propiedades físicas, químicas o biológicas están alteradas como consecuencia de la introducción de determinadas sustancias que las hacen inseguras para algunos fines como el consumo humano (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2000; Amoatey y Bani, 2011) y que antes de ser usadas requieren un tratamiento previo. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014)

Efluentes industriales

Son descargas residuales derivadas de los vertidos originados por distintos usos del agua industrial, alterados principalmente en su constitución fisicoquímica y biológica, que afecta a la flora, fauna y los usos humanos domésticos e industriales (Emeka, 2020). Existen características particulares de los efluentes de cada industria que obligan a contar con tecnología y know-how para su tratamiento. Las exigencias de la industria aumentan gradualmente no solo en cuanto a parámetros de calidad de agua tratada, sino también en cuanto a consumos de energía, necesidad de agua potable, menor espacio disponible y mano de obra para operación. (Nemerow, 2016)

Cuerpo receptor

Es cualquier clase de terreno o lugares similares, con o sin agua, capaces de contener, conducir o absorber los residuos sólidos, líquidos y/o gaseosos que lleguen a ellos. (Nemerow, 2016)

Descarga:

Es el acto de depositar cualquier elemento o sustancia gaseosa, líquida, sólida o mezcla de ellas a un cuerpo receptor. (Nemerow, 2016)

pH (potencia de hidrogeniones):

Mide el grado de acidez o alcalinidad de una solución. Varía entre los límites 0 y 14; cuanto más bajo sea, mayor será la acidez y cuanto más alto, mayor la alcalinidad. La intensidad de un ácido depende de su capacidad de disociación, así como de su concentración. (Gonzales, 2011; Mansilla, 2014)

Demanda Bioquímica de Oxígeno [DBO₅]

La Demanda Bioquímica de Oxígeno, expresado en mg/litro, es el oxígeno que consume un líquido contaminado, en la descomposición de materia orgánica, por acción microbiana aerobia. Como el proceso de descomposición tarda varios meses en completarse y

su velocidad varía con la temperatura, en la práctica se mide la DBO. correspondiente a un lapso de 5 días y a una temperatura de 20 °C. (Navarro, 2011)

Ecosistema

Es una unidad estructural y funcional autosuficiente de la biosfera, que puede ser natural o artificial, terrestre o acuático, con interacciones mutuas para producir un sistema estable donde el intercambio de sustancias entre las plantas vivas e inertes es de tipo circular. Una unidad es calificada como ecosistema si es un sistema estable, donde el recambio de materiales sigue un camino circular. (Gonzales et al., 2016)

III. MÉTODO

3.1 Tipo de Investigación

El diseño de la investigación es no experimental.

El tipo de investigación se ajusta a las recomendaciones metodológicas de Sierra (2004).

Por su **alcance temporal es longitudinal** del 2015 al 2020. Es de tendencia porque analiza como evolucionaron los parámetros físicos químicos y biológicos de las aguas de la bahía en el período de estudio.

Por su **profundidad es explicativa** porque analiza el efecto de la contaminación por las descargas de los efluentes sobre la calidad de agua en la Bahía El Ferrol.

Por su **finalidad es aplicada** porque busca resolver un problema de la contaminación por efecto de los efluentes industriales y domésticos.

Por su **naturaleza es cuantitativa**, porque se reunieron datos de los monitoreos participativos de la calidad del agua, dirigidos por la Autoridad Nacional del Agua [ANA] en varios puntos y momentos de la zona de estudio que sirvieron para determinar los niveles de contaminación.

3.2 Población y muestra

3.2.1. Población

La población de estudio estuvo conformada por todos los registros de los monitoreos realizados por Autoridad Nacional del Agua [ANA] en la costa central de la región Ancash durante el periodo 2015-2020, disponibles en su base de datos y publicados periódicamente a través de sus informes.

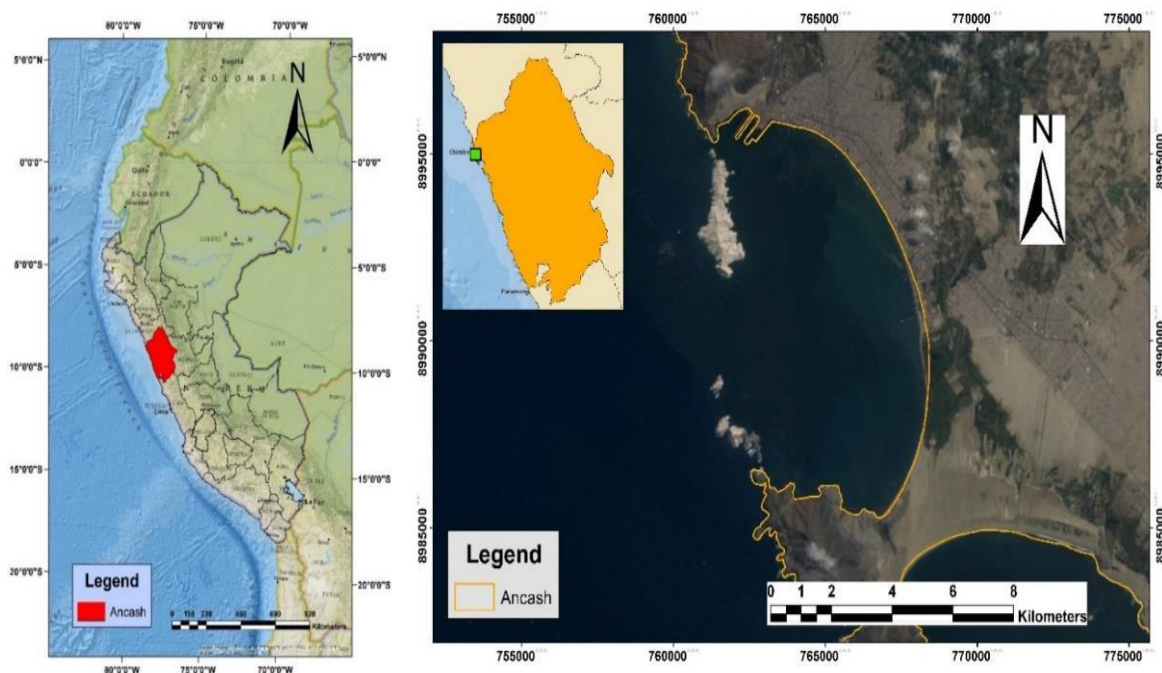
3.2.2. Muestra

3.2.2.1 *Ámbito de muestreo.* El área de estudio se ubica en los distritos de Chimbote y Nuevo Chimbote, Provincia Santa, Región Ancash, ubicado en los 09°07'8" a Latitud Sur y en

los $78^{\circ}35'27''$ a Longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Está ubicado entre el cerro de la Juventud o cerro Chimbote y la península del Ferrol, cerrada en el norte por la Isla Blanca y al sur por la Isla Ferrol (Figura 2).

Figura 2

Ubicación geográfica de la Bahía El Ferrol



3.2.2.2 Datos. Lo constituyen los resultados de los monitoreos realizados por el Autoridad Nacional del Agua [ANA] en el cuerpo marino receptor de la bahía El Ferrol.

En la bahía en estudio Autoridad Nacional del Agua [ANA] evaluó de 15 a 53 muestras durante el periodo 2015-2020, como se muestran en las tablas del 3 al 8.

Para la determinación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de calidad acuática, Autoridad Nacional del Agua [ANA] contó con los servicios de los laboratorios “Servicios Analíticos Generales S.A.C.” en el 2015 y el Laboratorio ALS LS PERU SAC para los años siguientes.

3.3 Operacionalización de variables

Variable independiente:

Efluentes:

Dimensiones: Industriales, Pesqueros y Domésticos

Se miden en función de los Estándares de Calidad Ambiental [ECA] de los vertimientos que se depositan en la bahía.

La Estándares de Calidad Ambiental [ECA]-agua cuenta con cuatro (4) categorías y 16 subcategorías, (15) relacionados a las aguas continentales y marino-costero (D.S. N° 015-2015-MINAM), de los cuales Autoridad Nacional del Agua [ANA] ha considerado categorías y subcategorías como se presentan en la tabla 1.

Variable dependiente:

Calidad del Agua del ecosistema en la bahía El Ferrol

Indicadores (Tabla 1):

Fisicoquímicos: pH, Aceites y grasas, Sólidos Suspendedos Totales, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO₅, Nitratos, Sulfuros.

Microbiológicos: Coliforme Termotolerantes, Echerichia Coli.

Metales: Arsénico, Boro, Cadmio y Cobre

Tabla 1

Parámetros e Indicadores según los estándares de calidad ambiental (ECA)

<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Campo</i>	<i>Físico – Químico</i>	<i>Microbiológico</i>	<i>Metales</i>
<i>pH</i>	<i>U. de Ph</i>	<i>X</i>			
<i>Oxígeno Disuelto</i>	<i>mg/L</i>	<i>X</i>			
<i>DBO₅</i>	<i>mg/L</i>		<i>X</i>		
<i>Nitrato</i>	<i>mg/L</i>		<i>X</i>		
<i>Sulfuros</i>	<i>mg/L</i>		<i>X</i>		
<i>Coliformes Totales</i>	<i>NMP/100mL</i>			<i>X</i>	
<i>Coliformes Termotolerantes</i>	<i>NMP/100mL</i>			<i>X</i>	
<i>Arsénico</i>	<i>mg/L</i>				<i>X</i>
<i>Boro</i>	<i>mg/L</i>				<i>X</i>
<i>Cadmio</i>	<i>mg/L</i>				<i>X</i>
<i>Cobre</i>	<i>mg/L</i>				<i>X</i>

Nota. Los parámetros aprobados según Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

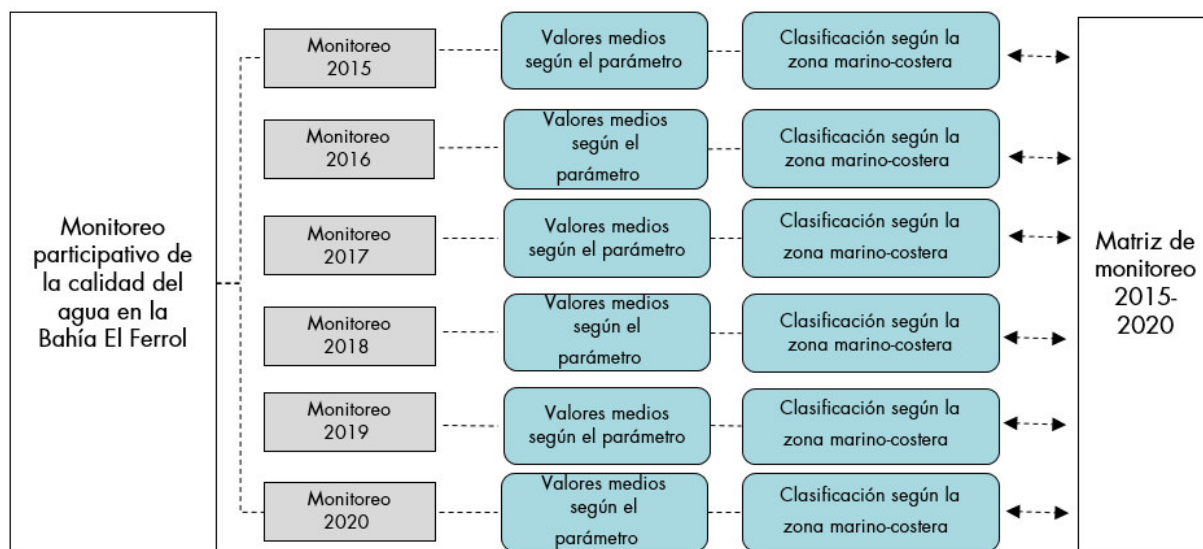
3.4 Procedimientos

Los instrumentos y equipos que se utilizaron en los laboratorios de tratamientos fueron certificados por Instituto Nacional de Calidad [INACAL].

El esquema metodológico para la sistematización de los datos que se presenta en la Cumplieron el proceso presentado en la Figura 3 mediante la Tabla 12 que se muestra posteriormente.

Figura 3

Esquema metodológico para la obtención de la matriz de valores de los monitoreos en el periodo 2015-2020



3.4.1 Categorías de clasificación marino costero

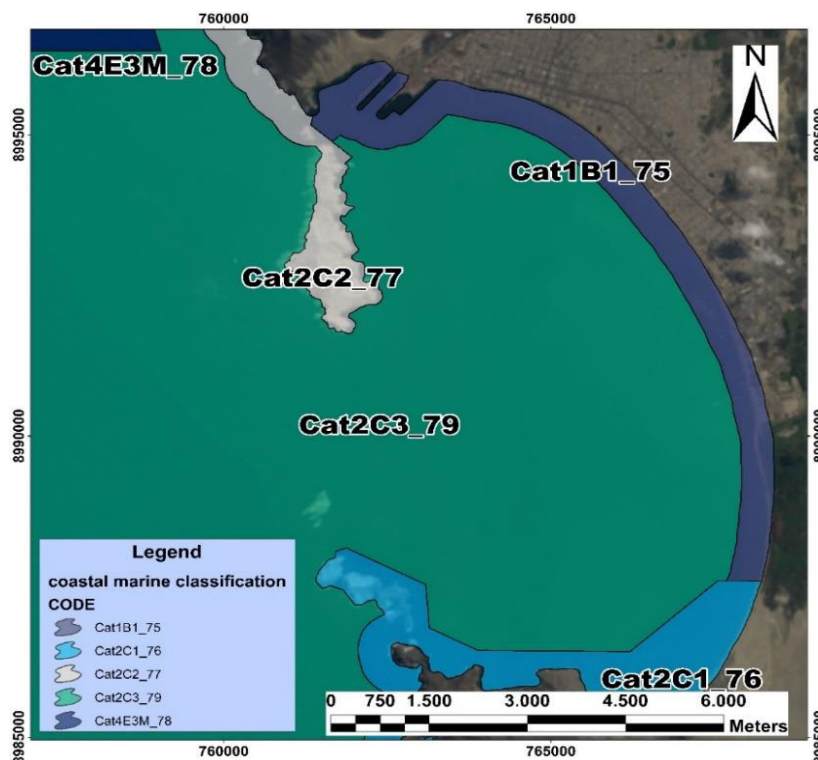
Los puntos de muestreo se presentan en la Figura 4 que muestra gráficamente las categorías de la clasificación marino costero en la Bahía El Ferrol según la Estándares de Calidad Ambiental [ECA]. Siendo la categoría Cat2-C3 la más extenso. La tabla 2 describe las categorías y subcategorías de clasificación marino-costero de la bahía.

Tabla 2
Clasificación marino costero en la Bahía El Ferrol

Código	Categoría	Subcategoría
Cat1B1_75	1: Recreacional	B1: Contacto Primario
Cat2C1_76	2: Actividades de Extracción y cultivo Marino Costeras y Continentales	C1: Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos
Cat2C2_77	2: Actividades de Extracción y cultivo Marino Costeras y Continentales	C2: Extracción y Cultivo de Otras Especies Hidrobiológicas
Cat2C3_79	2: Actividades de Extracción y cultivo Marino Costeras y Continentales	C3: Otras Actividades

Nota. La tabla muestra las categorías aprobadas por la ECA

Figura 4
Puntos de muestreo del cuerpo de agua marino costero en la Bahía El Ferrol



3.4.2 Red de monitoreo de Autoridad Nacional del Agua [ANA]

En el 2015 Autoridad Nacional del Agua [ANA] realizó el Primer Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua Superficial en la Bahía El Ferrol – Chimbote. Existían en la bahía ocho (8) autorizaciones de vertimientos de aguas residuales industriales tratadas del sector pesquero mediante el emisor submarino común de Asociación de Productores de Harina, Aceite y Conservas de pescado [APROFERROL S.A.] (administradora de APROCHIMBOTE) autorizado por la Autoridad Nacional del Agua [ANA]. A esa fecha, también Asociación de Productores de Harina, Aceite y Conservas de pescado de Chimbote [APROCHIMBOTE] contaba con autorización de vertimiento de aguas residuales industriales tratadas mediante un emisor submarino de 9 710 m de longitud.

Asimismo, Autoridad Nacional del Agua [ANA] actualizó las Fuentes Potenciales de Contaminación en la Bahía El Ferrol, identificando 27 fuentes contaminantes, correspondiendo 15 vertimientos de origen industrial pesquero, 06 de aguas residuales doméstico, dos botaderos de residuos sólidos y cuatro vertimientos de agua de retorno de riego.

Se tomaron 15 muestras superficiales en 15 puntos (Figura 5), de los cuales 14 pertenecen al Cat.2 – C3 y uno al Cat.1 – B1 (Tabla 3).

Figura 5

Red de monitoreo de Autoridad Nacional del Agua [ANA] 2015

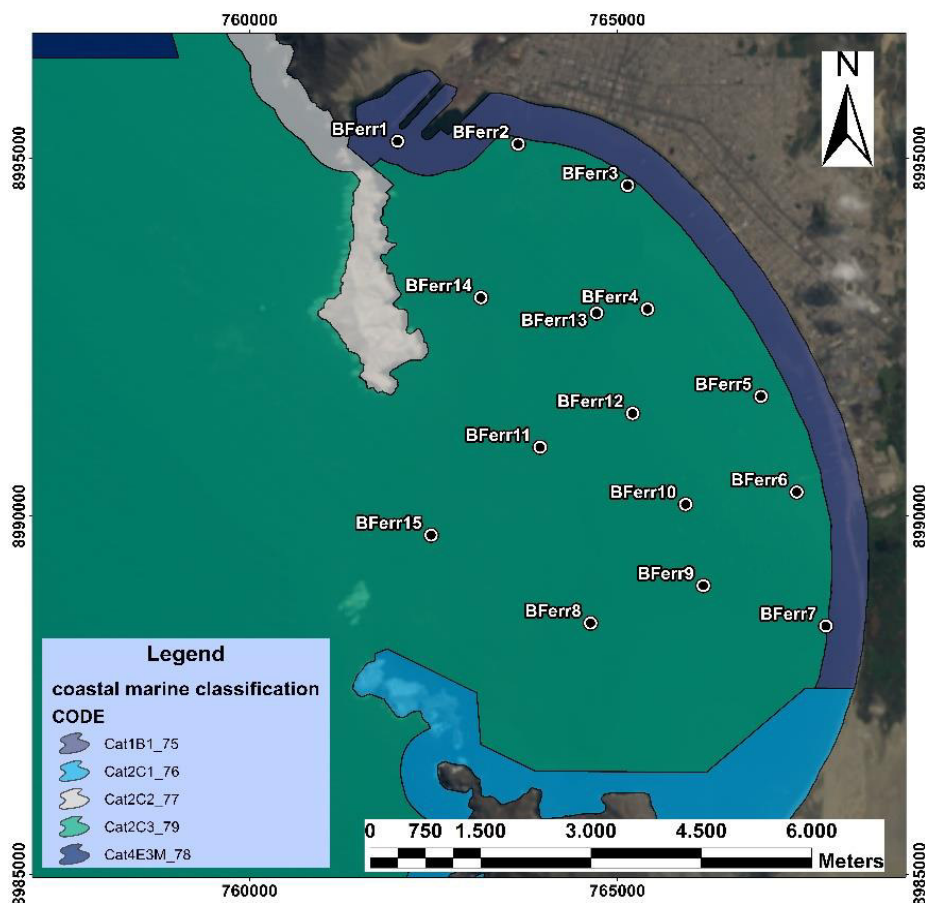


Tabla 3

ANA. Red de monitoreos 2015 - Bahía El Ferrol

Código del punto	Ubicación de la muestra	N° de muestras	de Clasificación marino-costera
BFerr1	Superficial	1	Cat. 1 - B1
BFerr2; BFerr3; BFerr4; BFerr5; BFerr6; BFerr7; BFerr8; BFerr9; BFerr10; BFerr11; BFerr12; BFerr13; BFerr14; BFerr15	Superficial	14	Cat. 2 - C3

En el 2016 de los 15 puntos muestrales, en 5 puntos se hicieron también a nivel del fondo marino como se indica en la tabla 3. En este año Autoridad Nacional del Agua [ANA] realizó su muestreo en la misma red de puntos del 2015 (Figura 5), en dos niveles, en superficie y fondo, desde 6m hasta 22m. Para las muestras en superficie utilizaron un balde y para las

muestras a diferentes profundidades usaron la Botella Hidrográfica Niskin. (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016)

Tabla 4

ANA. Red de monitoreo 2016 a nivel de fondo marino - Bahía El Ferrol

Código del punto	Ubicación de la muestra	Nº de muestras	Clasificación marino-costera
BFerr1; BFerr3; BFerr4; BFerr5; BFerr6; BFerr7; BFerr8; BFerr9; BFerr11; BFerr12	Superficial	10	Cat. 1 - B1 Cat. 2 - C3
BFerr2BFerr10; BFerr13; BFerr14; BFerr15	Superficial y fondo marino	5	Cat. 2 - C3

En el 2017 Autoridad Nacional del Agua [ANA] realizó el Tercer Muestreo Participativo en la Bahía El Ferrol. A esa fecha se contaban con 32 establecimientos industriales pesqueros de los cuales 30 se conectaban al emisor submarino industrial común de Asociación de Productores de Harina, Aceite y Conservas de pescado de Chimbote [APROCHIMBOTE] y dos emisores disponían sus aguas tratadas fuera de la bahía. Sin embargo, aun existían cuatro (4) emisores submarinos no autorizados que vierten sus aguas dentro de la bahía El Ferrol (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018). En este año, Autoridad Nacional del Agua [ANA] realizó muestreos en 25 puntos, de los cuales 10 son nuevos puntos considerando los emisores submarinos autorizados y no autorizados por la Autoridad Nacional del Agua [ANA], como se indican en la figura 6.

En este monitoreo obtuvieron 45 muestras totales de agua, de los cuales 25 fueron de superficie y 20 en medio y fondo marino (Tabla 4).

Figura 6

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. Red de monitoreo 2017

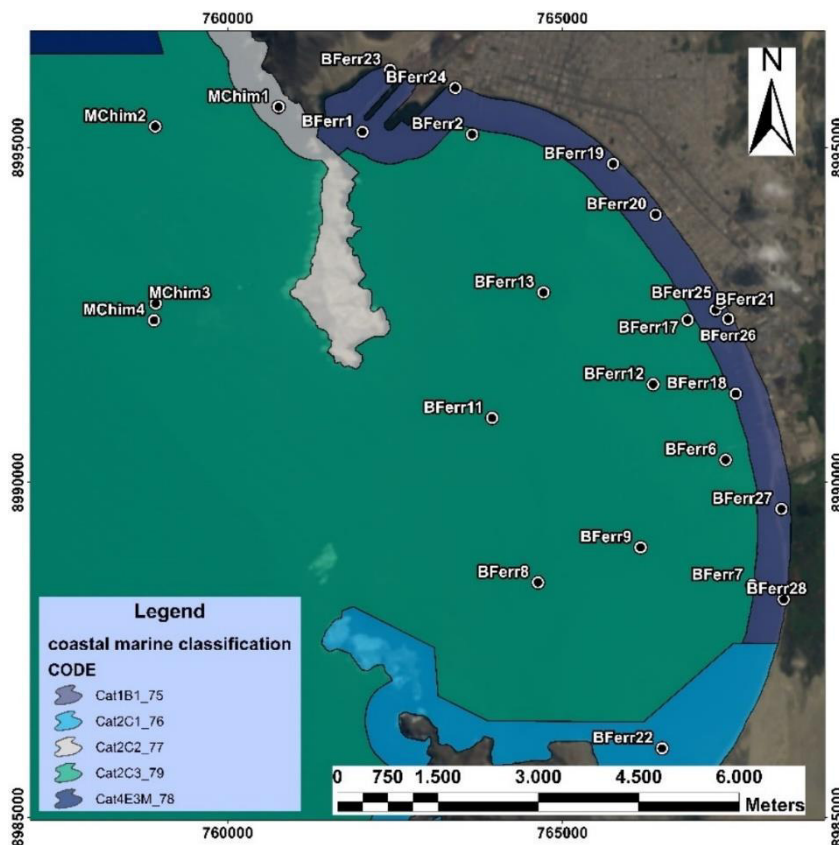


Tabla 5

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. Red de monitoreo 2017 - Bahía El Ferrol

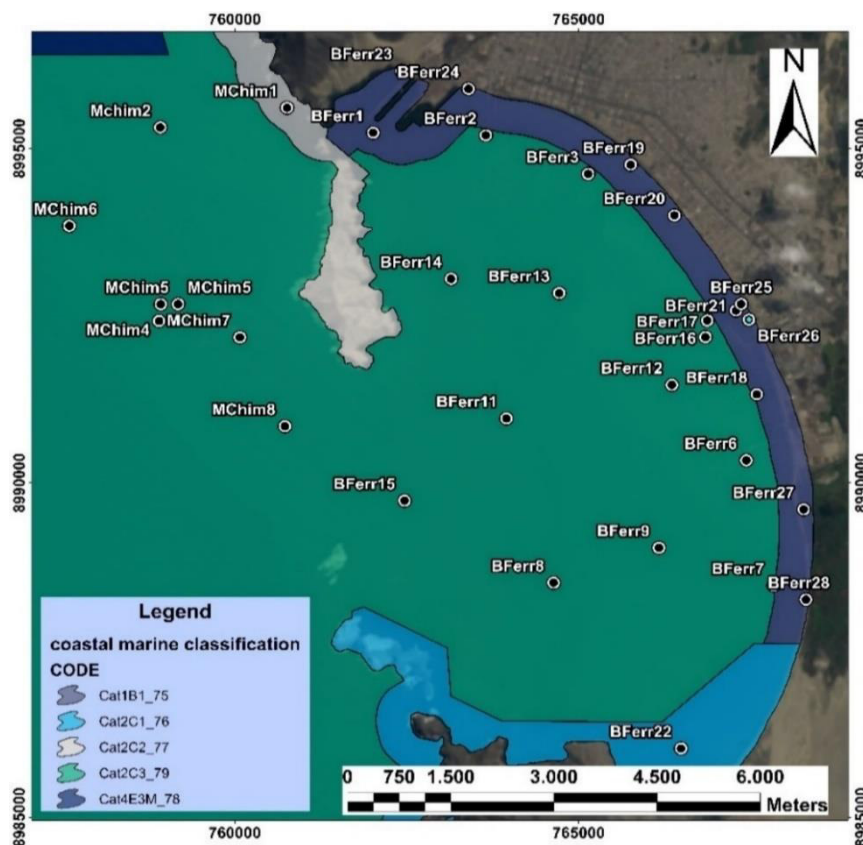
Código del punto	Ubicación de la muestra	Nº de muestras	Clasificación marino-costera
BFerr1; BFerr18; BFerr19; BFerr20; BFerr21; BFerr12; BFerr23; BFerr24; BFerr25; BFerr26; BFerr27; BFerr28	Superficial	12	Cat. 1 - B1
BFerr2; BFerr6; BFerr7; BFerr9; BFerr12; BFerr17	Superficial y fondo marino	6	Cat. 2 - C3
BFerr8; BFerr11; BFerr13	Superficial, medio y fondo marino	3	Cat. 2 - C3
MChim2; MChim3; MChim4; MChim5	Superficial, medio y fondo marino	4	Cat. 2 - C3

En el 2018, Autoridad Nacional del Agua [ANA] realizó el Cuarto Monitoreo en la Bahía El Ferrol. En este año, Autoridad Nacional del Agua [ANA] diseñó su red de puntos de monitoreo teniendo en cuenta la ubicación de los emisores submarinos autorizados y no autorizados, zonas de presión por embarcaciones fondeadas, ubicación de chatas, infraestructura portuaria y fuentes potenciales de contaminación de la bahía. A esta fecha existían 4 emisores submarinos de vertimientos autorizados; pero también 12 puntos de descarga de aguas residuales domésticas del sistema de alcantarillado de Asociación de Productores de Harina, Aceite y Conservas de pescado de Chimbote [APROCHIMBOTE]. (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2019)

Para este año, Autoridad Nacional del Agua [ANA] determinó una red de monitoreo conformado por 33 puntos para la Bahía El Ferrol (Figura 7). En estos 33 puntos, Autoridad Nacional del Agua [ANA] obtuvo 51 muestras de agua de mar, 26 muestras son superficiales complementado con 10 muestras a nivel medio y 15 muestras a nivel del fondo marino. De estas 51 muestras 9 se pertenecen a la clasificación Cat 1 – B1 y los demás a las categorías Cat 2 – C3, Cat 2 – C2 y Cat 2 – C1 (Tabla 6).

Figura 7

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. Red de monitoreo en la Bahía El Ferrol 2018

**Tabla 6**

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. Red de monitoreo 2018 en la Bahía El Ferrol

Código del punto	Ubicación de la muestra	N° de muestras	Clasificación marino-costera
BFerr1; BFerr19; BFerr20; BFerr22; BFerr23; BFerr24; BFerr25; BFerr26; BFerr27; BFerr28; MChim6	Superficial	10	Cat 1 - B1
BFerr2; BFerr3; BFerr6; BFerr7; BFerr9	Superficial y fondo marino	14	Cat 2 - C3
BFerr8; BFerr11; BFerr13; BFerr14; BFerr15; MChim1; MChim2; MChim4; MChim7; MChim8	Superficial, medio y fondo marino Superficial	27	Cat 2 - C3 Cat 2 - C1

En el 2019, Autoridad Nacional del Agua [ANA] realizó el Quinto Monitoreo en la Bahía El Ferrol, identificando 12 puntos de descarga en la bahía. En este año se han retirado de la red primigenia siete (7) puntos de muestreo: BFerr12, BFerr16, BFerr17, BFerr18,

BFerr21, MChim3 y MChim5. En este año, la red de monitoreo fue de 26 puntos como se muestra en la figura 8 y tabla 6. Las muestras fueron recogidas a nivel de superficie, medio y fondo marino de acuerdo con la columna de agua, obteniendo 53 muestras.

Figura 8

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. Red de muestreo en la Bahía El Ferrol 2019

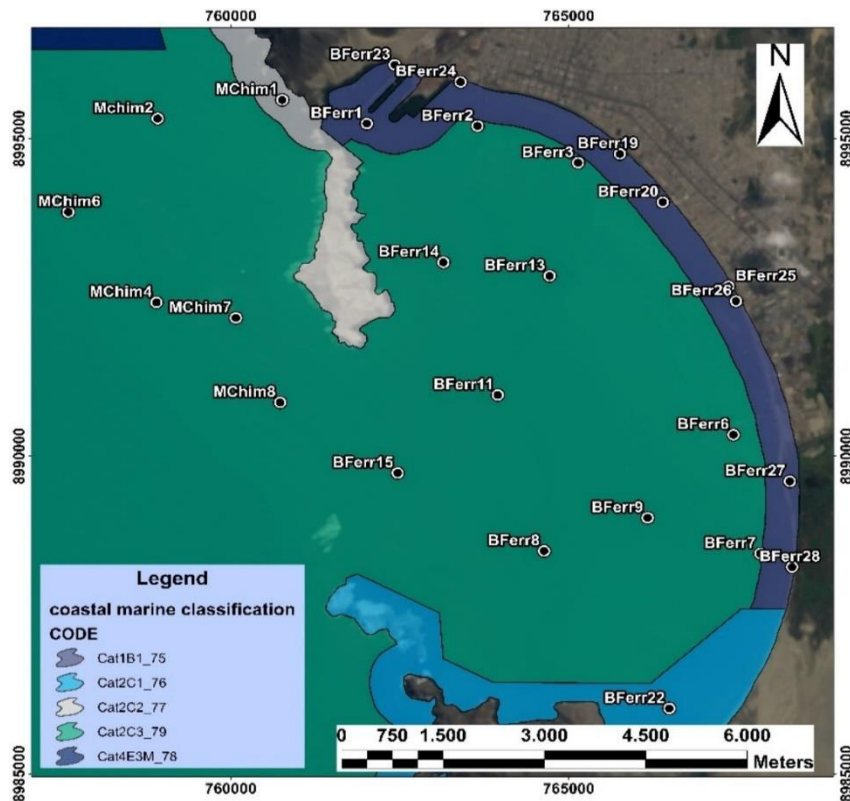


Tabla 7*Autoridad Nacional del Agua [ANA]. Red de monitoreo 2019 - Bahía El Ferrol*

Código del punto	Ubicación de la muestra	N° de muestras	Clasificación marino-costera
BFerr1; BFerr19; BFerr20; BFerr22; BFerr23; BFerr24; BFerr25; BFerr26; BFerr27; BFerr28	Superficial	10	Cat. 1 - B1 Cat. 2 – C1
BFerr2; BFerr3; BFerr6; BFerr7; BFerr9	Superficial y fondo marino	10	Cat. 2 - C3
BFerr8; BFerr11; BFerr13; BFerr14; BFerr15; MChim1; MChim2; MChim4; MChim6 MChim7; MChim8	Superficial, medio y fondo marino	33	Cat. 2 - C3

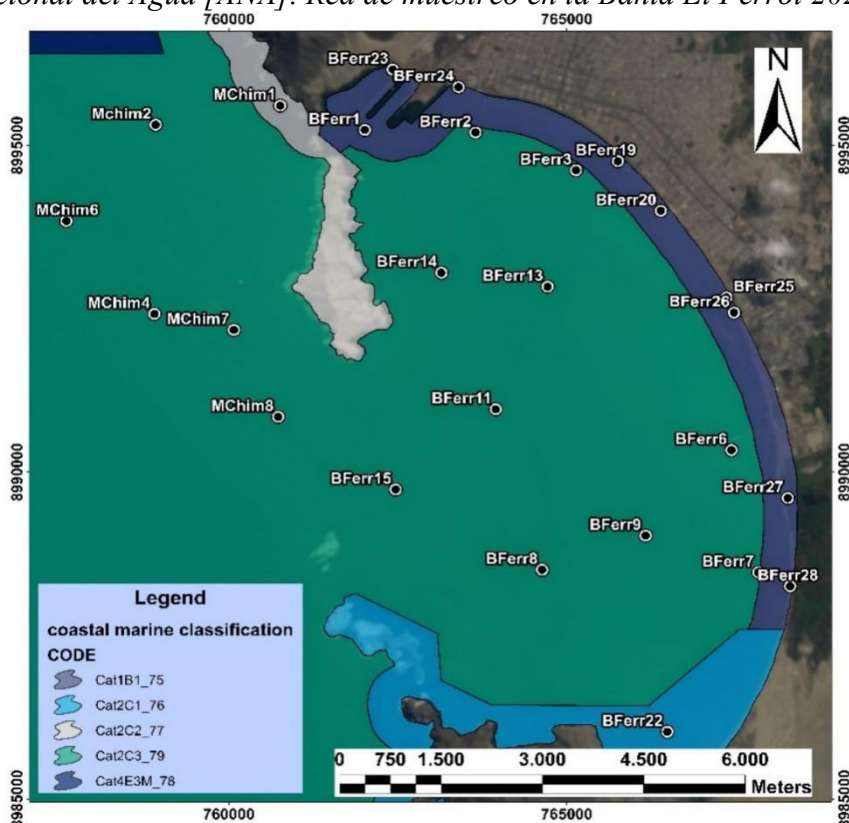
En el 2020 Autoridad Nacional del Agua [ANA] identificó 12 puntos con influencia directa en la Bahía El Ferrol por descargas de aguas residuales municipales sin tratamiento. Todas las industrias pesqueras disponen sus aguas residuales tratadas fuera de la bahía. 31 industrias pesqueras lo hacen a través del emisor submarino industrial común Asociación de Productores de Harina, Aceite y Conservas de pescado de Chimbote [APROCHIMBOTE] y dos (2) disponen de emisores individuales (Cantarana S.A.C. y Pesquera Jada S.A.).

Durante este año para el monitoreo se han retirado los puntos BFerr12, BFerr16, BFerr17, BFerr18, BFerr21, MChim3 y MChim5, por lo que, la red de monitoreo está conformado por 26 puntos como se registra en la figura 9. (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2020)

En el 2020 Autoridad Nacional del Agua [ANA] realizó 53 muestras en la Bahía El Ferrol, de los cuales 10 se tomaron a nivel de superficie, 33 se hicieron en los tres niveles (superficial, medio y fondo de la bahía) y 10 muestras en la superficie y fondo marino como se indica en la Tabla 7.

Figura 9

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. Red de muestreo en la Bahía El Ferrol 2020

**Tabla 8**

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. Red de monitoreo 2020 en la Bahía El Ferrol

Código del punto	Ubicación de la muestra	N° de muestras	Clasificación marino-costera
BFerr1; BFerr19; BFerr20; BFerr23; BFerr24; BFerr25; BFerr26; BFerr27; BFerr28	Superficial	9	Cat. 1 - B1
BFerr2; BFerr3; BFerr6; BFerr7; BFerr9	Superficial y fondo marino	10	Cat. 2 - C3
BFerr8; BFerr11; BFerr13; BFerr14; BFerr15;	Superficial, medio y fondo marino	27	Cat. 2 - C3
MChim1; MChim2; MChim4; MChim6 MChim7; MChim8	Superficial, medio y fondo marino	6	Cat. 2 - C3
BFerr22	Superficial	1	Cat. 2 - C1

3.5 Análisis de los datos

La revisión y análisis de datos se sustentó en las Estándar de Calidad Ambiental [ECA] agua aprobados con Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, que permitió los resultados de los monitoreos con los parámetros de calidad que se muestran en la Tabla 12.

IV. RESULTADOS

4.1 Caracterización de muestras realizadas por Autoridad Nacional del Agua

[ANA] 2015-2020

En la tabla N° 9 se muestran las categorías de clasificación aplicadas por Autoridad Nacional del Agua [ANA] para todas sus muestras del periodo 2015-2020.

Tabla 9

Categorías aplicadas a la clasificación

Categoría 1: Poblacional y Recreacional		Categoría 2: Actividades de extracción y cultivo Marino-Costeras y Continentales			Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático	
B: Aguas superficiales destinadas para recreación		Subcategoría C1	Subcategoría C2	Subcategoría C3	E3: Ecosistemas Marino-Costeros	
B1: Contacto Primario	B2: Contacto Secundario	Extracción y cultivo de moluscos Bivalvos	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas	Otras actividades	Estuarios	Marinos

Nota. La tabla 9 muestra la clasificación aprobada por la ECA.

Durante este periodo Autoridad Nacional del Agua [ANA] ejecuto 235 muestras de los cuales 132 se realizaron a nivel de superficie (56.17%), 39 a nivel medio (16.6%) y 64 a nivel de profundidad (27.23%).

En el periodo 2018-2020 se realizaron la mayor cantidad de muestras (154) que equivalen al 65.53% del total de muestras realizadas en el periodo de estudio (Tabla N° 10).

Tabla 10

Muestras realizadas por Autoridad Nacional del Agua [ANA] durante 2015-2020

Nivel	2015-2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Superficie	132	15	15	25	26	26	25
Medio	39	0	0	7	10	12	10
Fondo	64	0	6	13	15	15	15
Total	235	15	21	45	51	53	50

Durante el periodo del 2015-2020 se efectuaron 235 muestras en los tres niveles, a nivel de superficie en la Categoría 1 (Poblacional y Recreacional), subcategoría B1: Aguas superficiales destinadas para recreación de contacto primario se realizaron el 30.3% de las muestras y la diferencia en las otras categorías. En estas aguas destinadas para recreación Autoridad Nacional del Agua [ANA] no realizó muestras a nivel medio ni del fondo marino. El 76.2% de las muestras del periodo en estudio Autoridad Nacional del Agua [ANA] los realizó en la Categoría 2, subcategoría C3 clasificada como otras actividades, en los tres niveles, como se explicita en la Tabla N° 11.

Tabla 11

Toma de muestras según niveles y categorías 2015-2020

Nivel	Cat.1 - B1	Cat.2 - C1	Cat.2 - C2	Cat.2 - C3	Total	Porcentaje
Superficie	40	3	5	84	132	56.17
Medio	0	1	3	35	39	16.60
Fondo	0	1	3	60	64	27.23
Total	40	5	11	179	235	100.00

Nota. La tabla 11 muestra los resultados de la cantidad de muestras por niveles.

Los promedios de los parámetros analizados por Autoridad Nacional del Agua [ANA] en los puntos de monitoreo 2015-2020 se muestran en la Tabla 12, en los cuales se puede apreciar los siguientes parámetros.

El pH de medición permanente durante el periodo muestra una tendencia creciente por encima del promedio del Estándar de Calidad Ambiental [ECA].

Oxígeno Disuelto; La medición corresponde a los años 2016 y 2017, muestra un riesgo para la vida marina por la tendencia a la baja del indicador.

Parámetros fisicoquímicos (Aceites y Grasas, Sólidos Suspendedos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrato y Sulfuro) de medición permanente.

Parámetros microbiológicos (Coliformes Termotolerantes y Escherichia Coli) de medición permanente.

Tabla 12

Promedio de los parámetros analizados por Autoridad Nacional del Agua [ANA] en los puntos de monitoreo 2015-2020

Años	Parámetros de Campo				Fisicoquímicos				Microbiológicos	
	Nivel	pH	Oxígeno Disuelto	Aceites y grasas (mg/l)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/l)	DBO	Nitrato	Sulfuro	Coliformes Termotolerante	EschiaColi
2015	Total	6.15	-	0.5	5.85	7.57	0.41	-	16.01	11.53
	S	6.15	-	0.5	5.85	7.57	0.41	-	16.01	11.53
	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	Total	7.45	7.41	0.05	1.00	2.71	0.41	0.001	1.67	11.53
	S	6.99	5.07	0.05	1.00	2.71	0.41	0.001	0.90	11.53
	M	-	-	-	-	1.50	-	-	-	-
	F	7.34	3.62	-	-	-	-	0.001	4.12	-
2017	Total	7.87	6.09	0.05	6.11	3.54	0.0045	0.005	66.67	23.45
	S	7.61	7.16	1.00	7.16	3.55	0.0045	0.005	72.53	23.45
	M	7.84	5.18	-	3.3	1.00	0.0045	0.005	9.40	-
	F	7.80	4.49	-	5.54	1.00	0.0045	0.005	90.06	-
2018	Total	8.07	-	1.72	9.81	1.97	0.15	0.005	49.98	22.44
	S	8.16	-	1.72	18.05	2.71	0.13	0.005	97.74	23.11
	M	7.99	-	-	4.10	1.00	0.17	0.005	1.59	4.11
	F	7.38	-	-	4.80	1.00	0.16	0.005	2.65	34.99
2019	Total	7.33	-	0.05	6.68	1.00	2.25	0.005	49.98	6.59
	S	7.35	-	0.05	11.33	1.00	2.25	0.005	98.02	12.24
	M	7.35	-	-	3.00	1.00	2.25	0.005	1.67	1.02
	F	7.30	-	-	3.50	1.00	2.25	0.005	2.65	0.09
2020	Total	7.33	-	0.05	11.75	1.00	2.25	0.005	49.98	6.59
	S	7.35	-	0.05	11.75	1.00	2.25	0.005	90.7	11.88
	M	7.35	-	-	-	1.00	2.25	0.005	1.97	0.90
	F	7.30	-	-	-	1.00	2.25	0.005	2.19	-

Nota. Elaboración propia Parámetros fisicoquímicos según clasificación de las características del agua de mar.

4.2 Concentración de Parámetros fisicoquímicos según clasificación de las características del agua de mar.

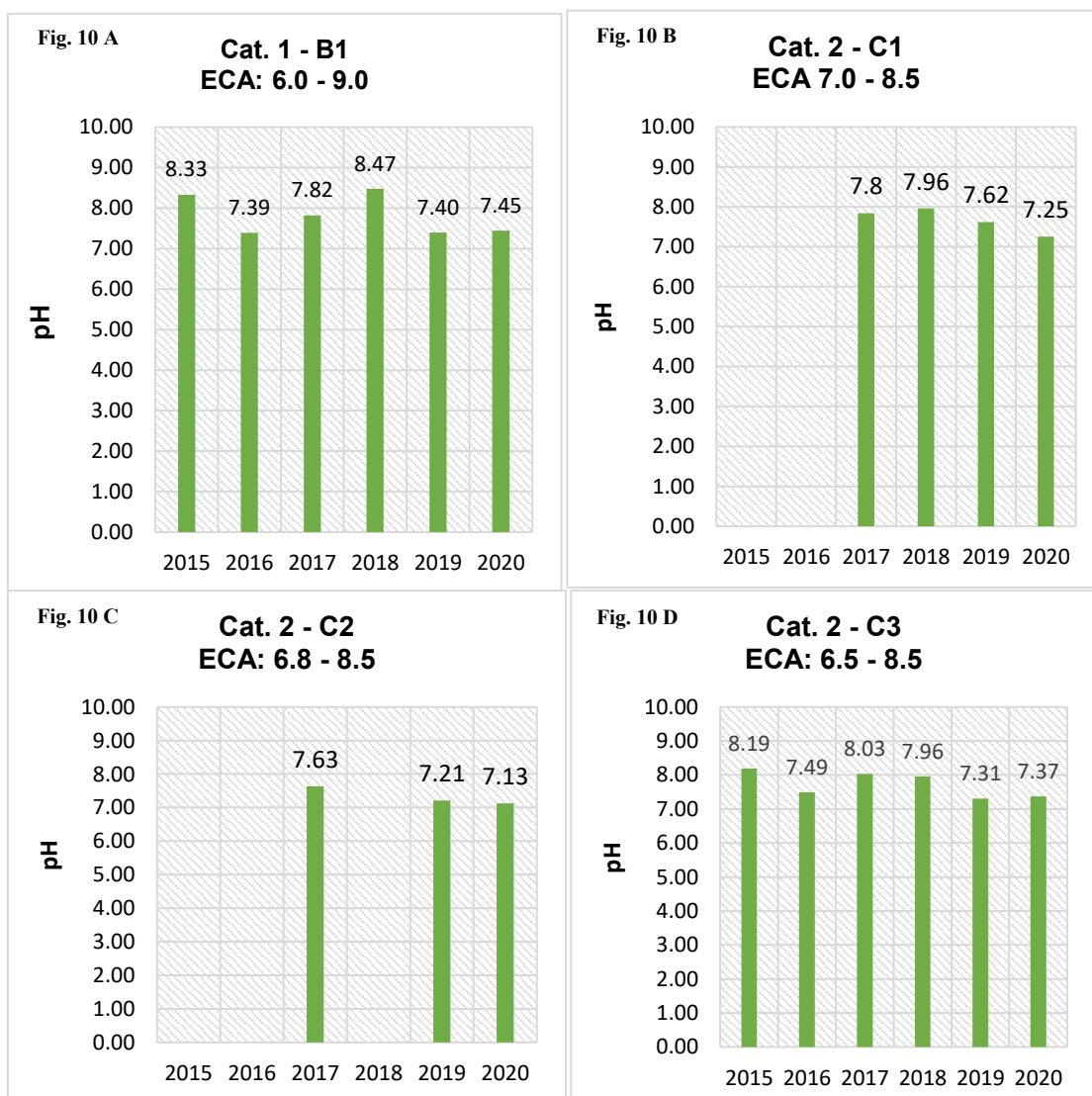
Las aguas del mar en la Bahía El Ferrol se encuentran comprendidas dentro de varias categorías establecidas por la Clasificación de Cuerpos de Aguas Superficiales y Marino Costeros (Ver Tabla 9).

Los resultados de los parámetros fisicoquímico y microbiológicos obtenidos por Autoridad Nacional del Agua [ANA] para el periodo 2015-2020 se evalúan comparándolos con

los estándares de agua (Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua) de acuerdo con la categoría asignada.

Figura 10

Conductividad eléctrica del agua de mar – pH en la Bahía El Ferrol



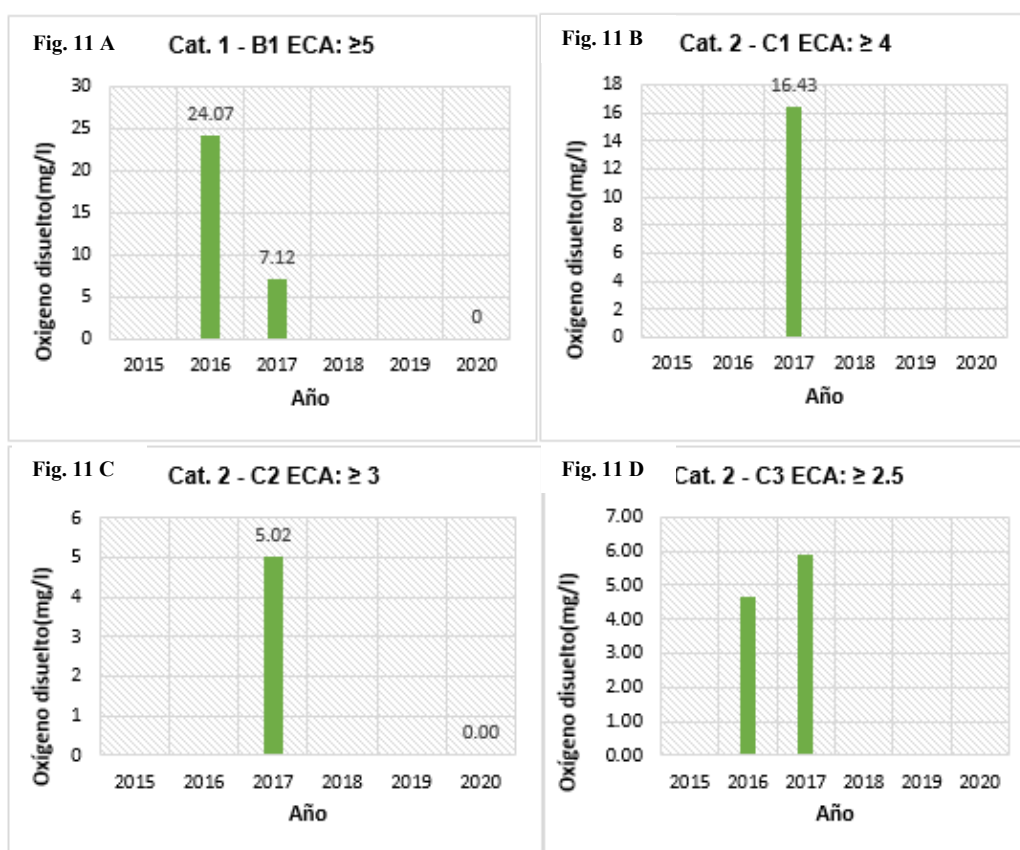
Nota. En la Figura 10 A se muestra el valor promedio del pH en la Cat. 1 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 6.0 a 9.0. En la Figura 10 B se muestra el valor promedio del pH en la Cat. 2 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 7.0 a 8.5. En la Figura 10 C se muestra el valor promedio del pH en la Cat. 2 – C2 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 6.8 a 8.5. En la Figura 10 D se muestra el valor promedio del pH en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 6.5 a 8.5.

4.2.1 Parámetros de campo: pH y Oxígeno Disuelto

El primer parámetro de campo sobre conductividad eléctrica (pH) se comparó con los estándares de Estándar de Calidad Ambiental [ECA] – agua, encontrándose que para todo el periodo de estudio y la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino costero se encuentran dentro del valor ECA – agua, en las categorías Cat 1-B1, Cat 2-C1, Cat 2-C2 y Cat 2- C3 y a diferentes distancias de la playa (Figura 10). Según la Tabla 12, durante el periodo 2018-2020 el valor de pH superficial fue mayor al del fondo marino.

Figura 11

Oxígeno Disuelto en la Bahía El Ferrol - Chimbote



Nota. En la Figura 11 A se muestra el valor promedio del oxígeno disuelto en la Cat. 1 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango mayor o igual a 5. En la Figura 11 B se muestra el valor promedio del oxígeno disuelto en la Cat. 2 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango mayor o igual a 4. En la Figura 11 C se muestra el valor promedio del oxígeno disuelto en la Cat. 2 – C2 que cumple con los estándares de la ECA en el rango mayor o igual a 3. En la Figura 11 D se muestra el valor promedio del oxígeno disuelto en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA en el rango mayor o igual a 2.5

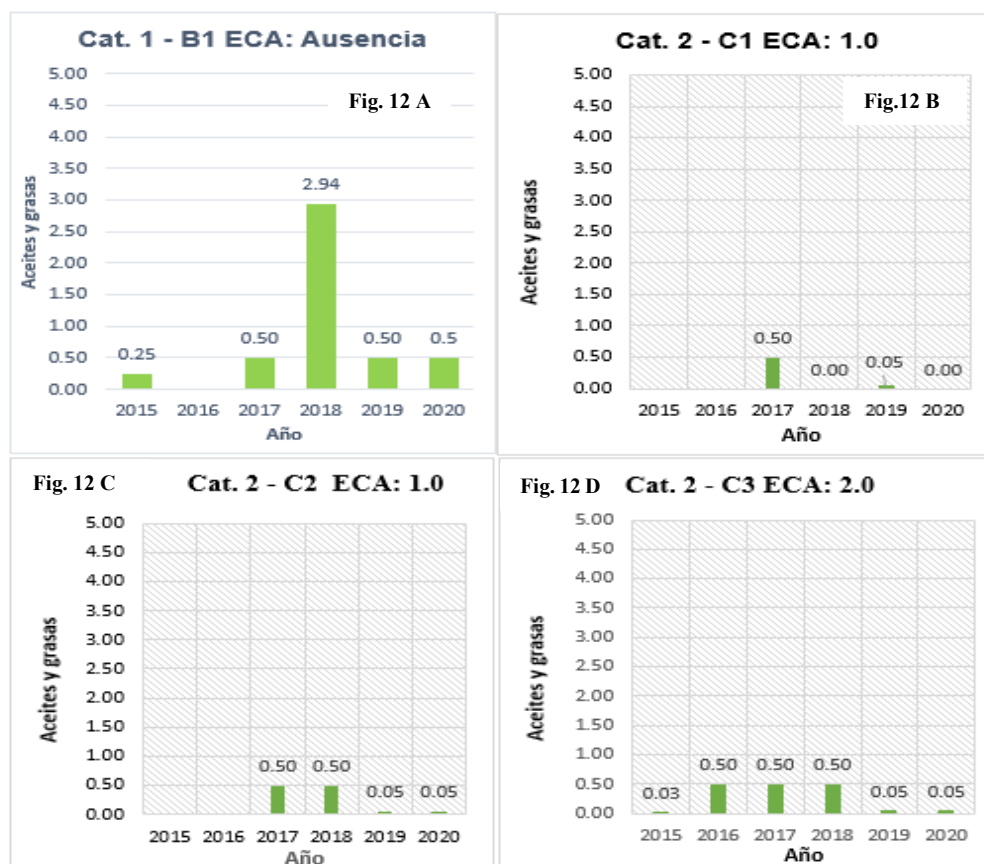
En cuanto al Oxígeno Disuelto para los años evaluados del 2016 y 2017 y para todas las clasificaciones de cuerpos de agua superficiales y marino costero, su valor promedio fue superior a la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA] – agua (Figura 11). A nivel de superficie las concentraciones son más altas que a nivel del fondo marino, con valores promedios de 5.07 mg/L en el 2016 y de 7.16 mg/L en el 2017 (Tabla 12).

4.2.2 Aceites y Grasas.

Los valores Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua indican que no debe existir presencia para la Cat 1-B, cerca de la orilla del mar donde su uso es recreacional; sin embargo, los resultados de las muestras indican lo contrario, aunque con una tendencia a reducirse como se observa en la figura 12. Para las otras clasificaciones de cuerpos de agua superficiales y marino costero los resultados se encuentran por debajo del valor Estándar de Calidad Ambiental [ECA] – agua. A nivel de superficie durante el periodo 2016-2018 sus valores promedios aumentaron pasando de 0.05 mg/L a 1.72 mg/L para en los dos últimos años nuevamente bajar a 0.05 mg/L (Tabla 12).

Figura 12

Aceites y Grasas en la Bahía El Ferrol - Chimbote



Nota. En la Figura 12 A se muestra el valor promedio de aceites y grasas en la Cat. 1 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de ausencia. En la Figura 12 B se muestra el valor promedio de aceites y grasas en la Cat. 2 – C1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 1.0. En la Figura 12 C se muestra el valor promedio de aceites y grasas en la Cat. 2 – C2 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 1.0. En la Figura 12 D se muestra el valor promedio de aceites y grasas en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 2.0.

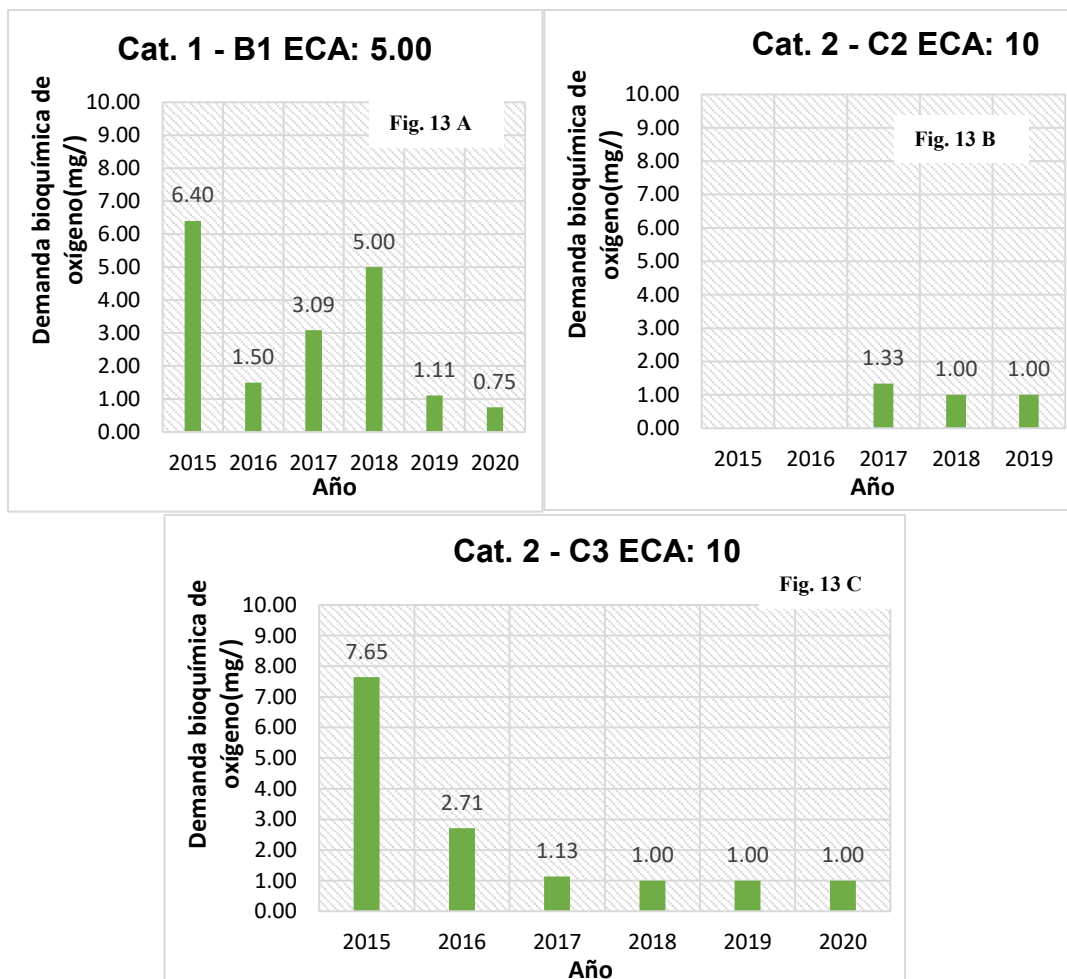
4.2.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO5.

El valor Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua para la Cat 1-B1 es 5mg/L, observándose que, en promedio, este parámetro se encontró por debajo del estándar. En las otras tres clasificaciones donde Autoridad Nacional del Agua [ANA] realizó muestreos, la materia orgánica presente consume poco oxígeno para su depuración con relación a lo indicado por la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua, como se presenta en la figura 13. A nivel de superficie, en promedio la DBO tuvo una tendencia descendente, variando de 7.57 mg/L en el 2015 a 1.0 mg/L en el 2020 superando el valor estándar solo el primer año de estudio

(Tabla 12). En general, la carga orgánica vertida por los efluentes de aguas residuales o industriales es bajo, considerándose como aceptable la calidad del agua.

Figura 13

Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Bahía El Ferrol - Chimbote



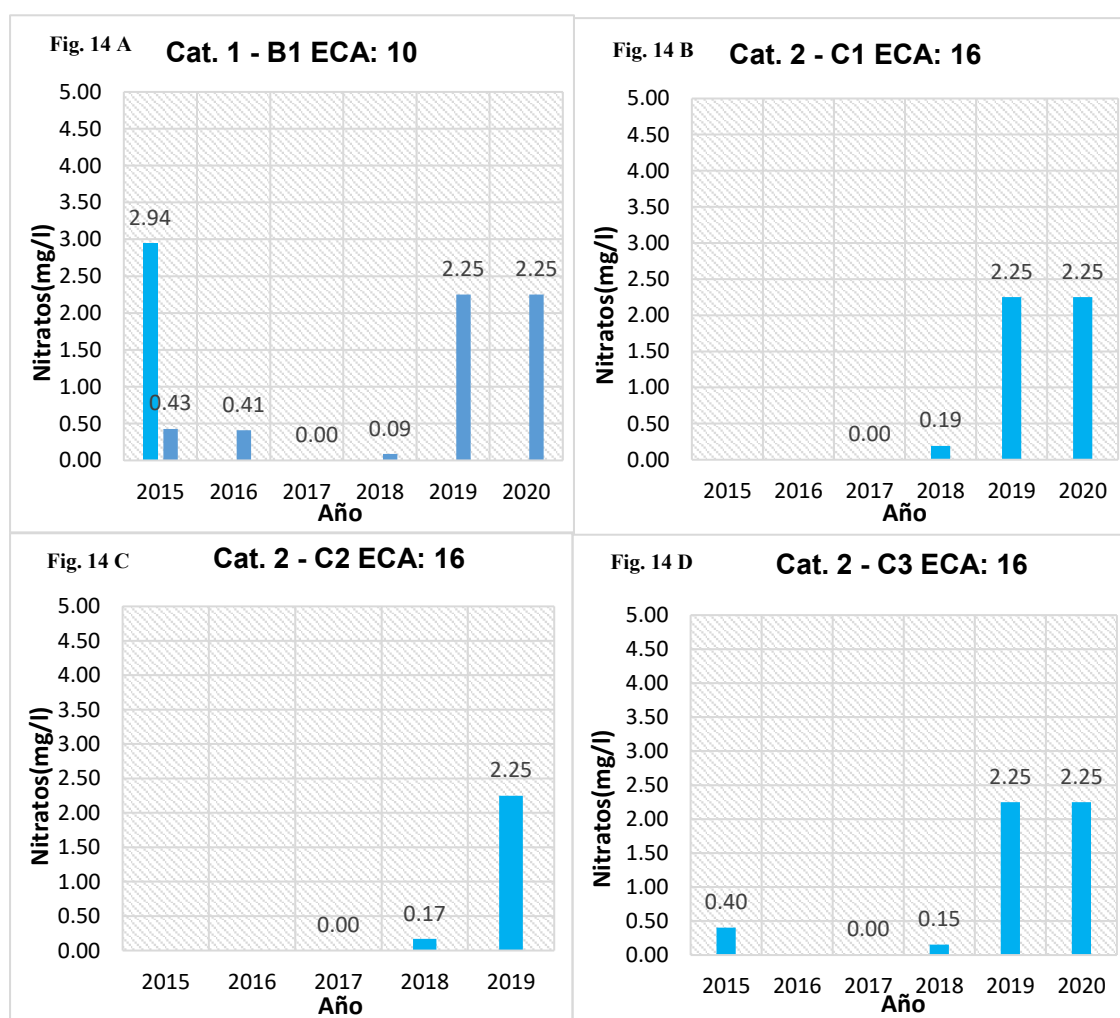
Nota. En la Figura 13 A se muestra el valor promedio de Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Cat. 1 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 5. En la Figura 13 B se muestra el valor promedio de Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Cat. 2 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 10. En la Figura 13 C se muestra el valor promedio de Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 10.

4.2.4 Nitratos.

Los nitratos son arrojados por los ríos al mar y su presencia en niveles por encima de las normas Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua puede provocar el fenómeno conocido como eutrofización, manifestado por el alto crecimiento de algas y otros organismos en el agua, con efectos negativos en el ecosistema marino. En cuanto a los resultados de los parámetros

del Nitrato en todas las muestras realizadas por Autoridad Nacional del Agua [ANA], en todos los puntos en la Bahía El Ferrol y para todas las Categorías de clasificación, se encuentran por debajo del parámetro Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua, aunque con una tendencia a aumentar en los dos últimos años (Figura 14). Así, a nivel de superficie el valor promedio de concentración pasa de 0.13 mg/L a 2.25 mg/L en el 2020, similares a los valores del fondo marino.

Figura 14
Nitratos en la Bahía El Ferrol – Chimbote



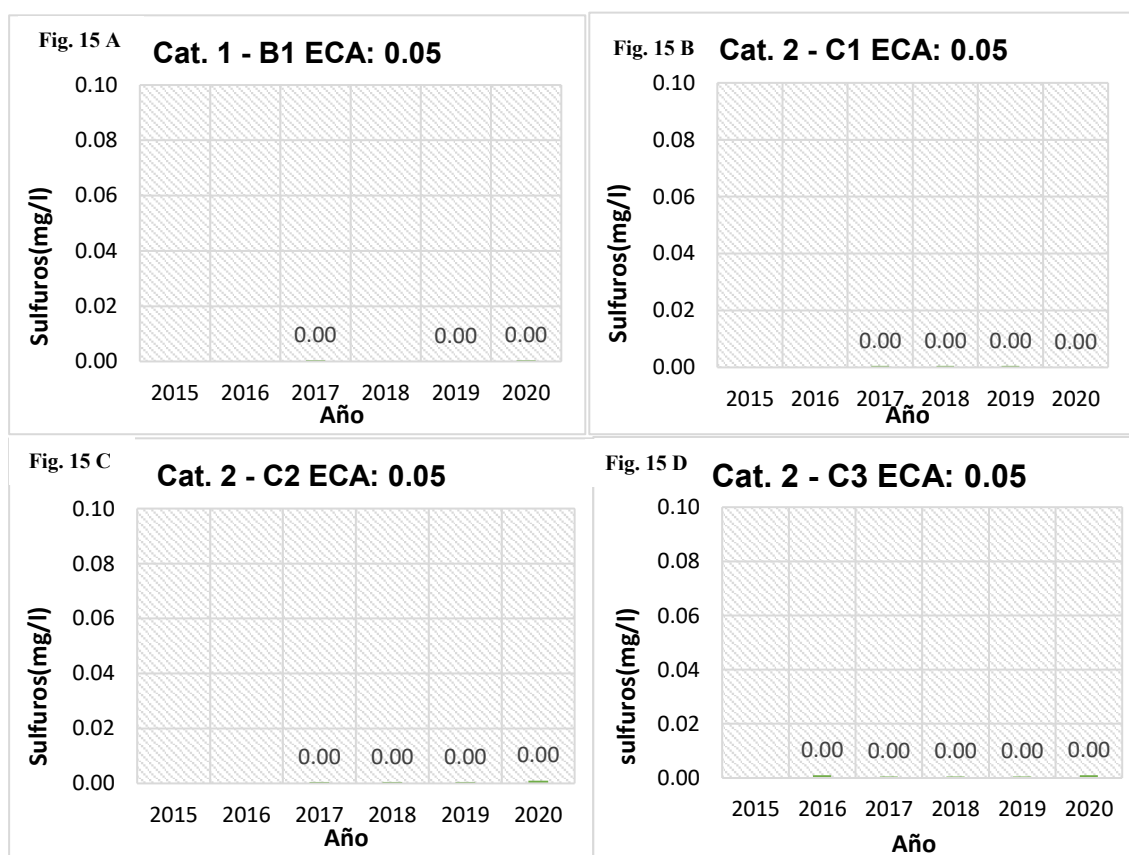
Nota. En la Figura 14 A se muestra el valor promedio de nitratos en la Cat. 1 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 10. En la Figura 14 B se muestra el valor promedio de nitratos en la Cat. 2 – C1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 16. En la Figura 14 C se muestra el valor promedio de nitratos en la Cat. 2 – C2 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 16. En la Figura 14 D se muestra el valor promedio de nitratos en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 16.

4.2.5 Sulfuros.

Los sulfuros presentes en aguas marinas provienen de la minería y la explotación petrolera. Su acumulación en altas concentraciones en aguas marinas aumenta la acidez del agua y la composición de compuestos tóxicos como el ácido sulfhídrico, así como la disminución de la biodiversidad. Los monitoreos realizados por Autoridad Nacional del Agua [ANA] para el periodo 2015-2020 demostraron que este compuesto químico no se encuentra presente en la Bahía El Ferrol para todas las clasificaciones, como se observa en la figura 15.

Figura 15

Sulfuros en la Bahía El Ferrol - Chimbote



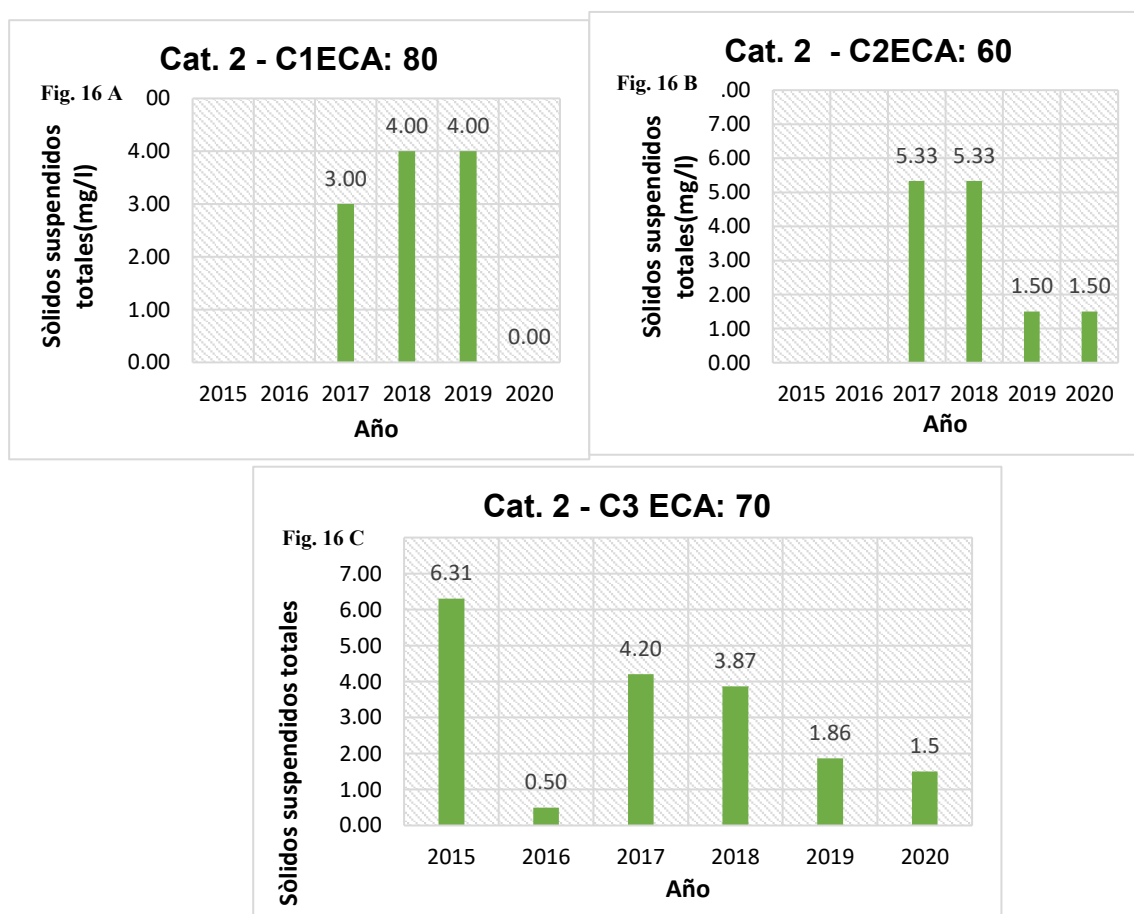
Nota. En la Figura 15 A se muestra el valor promedio de sulfuros en la Cat. 1 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 0.05. En la Figura 15 B se muestra el valor promedio de sulfuros en la Cat. 2 – C1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 0.05. En la Figura 15 C se muestra el valor promedio de sulfuros en la Cat. 2 – C2 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 0.05. En la Figura 15 D se muestra el valor promedio de sulfuros en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 0.05.

4.2.6 Sólidos Suspendidos Totales – SST.

Estas partículas sólidas presentes en el mar pueden tener efectos negativos en el ecosistema marino, obstruyendo los pulmones branquiales de los organismos marinos. Según los resultados de los muestreos realizados por Autoridad Nacional del Agua [ANA] en la Bahía El Ferrol durante 2015-2020, la presencia de estas partículas sólidas se encuentra por debajo de la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua (70 mg/L) y en todas las clasificaciones, como se observa en la figura 16. Sus valores promedios de concentración a nivel de superficie crecieron significativamente en el 2017 (7.16 mg/L) y 2018 (18.05 mg/L) y luego reducirse estas concentraciones en el 2019 (11.33 mg/L) y 2020 (11.75 mg/L) (Tabla 12).

Figura 16

Sólidos Suspendidos Totales en la Bahía El Ferrol - Chimbote



Nota. En la Figura 16 A se muestra el valor promedio de sólidos suspendidos totales en la Cat. 1 – C1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 80. En la Figura 16 B se muestra el valor promedio de sólidos suspendidos

totales en la Cat. 2 – C2 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 60. En la Figura 16 C se muestra el valor promedio de sólidos suspendidos totales en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 70.

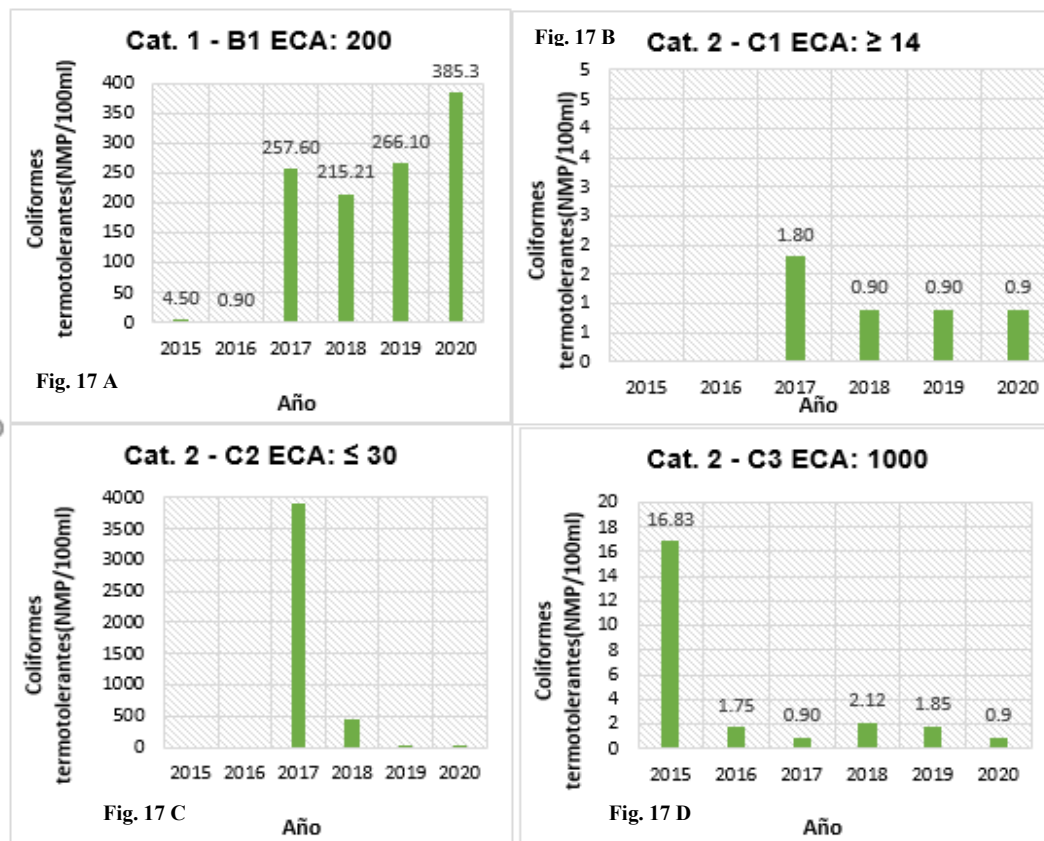
4.4 Variación de los Parámetros Microbiológicos: Coliformes Termo tolerantes y *Escherichia coli*.

4.4.1 Coliformes Termotolerantes

Este indicador se utiliza para conocer la posible contaminación del agua por concentración fecal, cuya presencia puede afectar negativamente el ecosistema marino por la muerte de organismos marinos y la degradación del medio ambiente acuático. La Autoridad Nacional del Agua [ANA] al realizar monitoreos en la Bahía El Ferrol durante 2015-2020 encontró que este indicador se encuentra presente principalmente entre los años 2017-2020 en la clasificación Cat 1-B1, es decir, en las aguas cercanas a la orilla del mar y de contacto primario como se registra en la figura 17. A nivel de superficie el promedio de los coliformes termotolerantes vario de 72.53 NMP/100ml en el 2017 a 90.7 NMP/100ml en el 2020, alcanzando su valor más alto en el 2019 (98.02 NMP/100ml), por debajo de lo que indica la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua (200NMP/100ml) (Tabla 12).

Figura 17

Coliformes Termotolerantes en la Bahía El Ferrol - Chimbote



Nota. En la Figura 17 A se muestra el valor promedio de coliformes termotolerantes en la Cat. 1 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 200. En la Figura 17 B se muestra el valor promedio de coliformes termotolerantes en la Cat. 2 – C1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango mayor o igual a 14. En la Figura 17 C se muestra el valor promedio de coliformes termotolerantes en la Cat. 2 – C2 que cumple con los estándares de la ECA en el rango menor o igual a 30. En la Figura 17 C se muestra el valor promedio de coliformes termotolerantes en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a 1000.

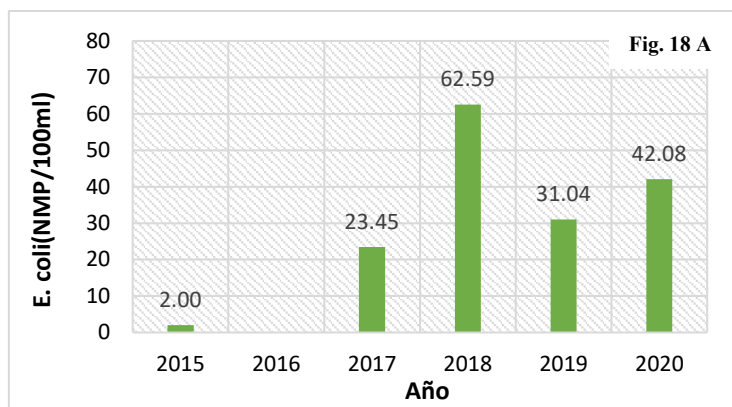
4.4-2 *Escherichia coli*

La presencia de este indicador en el mar puede indicar la contaminación fecal humana o animal afectando a las personas si entran en contacto con el agua contaminada, así como al ecosistema marino, causando la muerte de los organismos marinos y la degradación del medio ambiente acuático. Los muestreos realizados por Autoridad Nacional del Agua [ANA] en los cuerpos de agua Superficiales y marino costeros Cat 1-B1, es decir, en las aguas cercanas a la orilla del mar y de contacto primario, encontró que esta bacteria está presente en altos niveles, siendo la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua su ausencia (Figura 18). Los

valores más altos se encuentran a nivel de superficie de 23.45 NMP/100ml en el 2017 y de 11.88 NMP/100ml en el 2020 (Tabla 12).

Figura 18

Escherichia coli en la Bahía El Ferrol - Chimbote



Nota. En la Figura 18 A se muestra el valor promedio de Escherichia coli que cumple con los estándares de la ECA en el rango igual a

4.5 Variación de la concentración de los parámetros de Metales

Este indicador se utiliza para conocer la posible contaminación del agua por concentración de metales, que según sus niveles de concentración puede afectar negativamente el ecosistema marino por su toxicidad, bioacumulación, alteración de su equilibrio y contaminación de los peces y mariscos. La Autoridad Nacional del Agua [ANA] al realizar monitoreos en la Bahía El Ferrol durante el 2015-2020 encontró que este indicador para los cuatro metales en estudio se encuentra presente en todas las clasificaciones del agua (Ver Tabla 13), y en la superficie y fondo marino de la bahía (Ver Tabla 14).

Tabla 13
Presencia de metales según clasificación durante 2015-2020

	Clasificación	Arsénico	Boro	Cadmio	Cobre
2015	C1-B1	0.05	--	0.005	0.05
2016	C1-B1	0.01	0.05	0.01	2.00
	C2-C3	0.05	--	--	0.05
2017	C1-B1	0.01	0.05	0.01	2
	C2-C3	0.05	--	--	0.05
2018	C1-B1	0.01	0.5	0.01	2
	C2-C3	0.05	--	--	0.05
2019	C1-B1	0.01	0.5	0.01	2
	C2-C3	0.05	5	0.01	0.05
2020	C1-B1	0.01	0.5	0.01	2
	C2-C3	0.05	--	--	0.05

Nota: Los datos muestran la presencia de metales clasificados según las categorías establecidas durante los años 2015-2020. Las clasificaciones **C1-B1** y **C2-C3** representan diferentes niveles de calidad o límites de concentración establecidos para cada metal. Los valores están expresados en miligramos por litro (mg/L). Las entradas con "--" indican que el metal no fue detectado. Las concentraciones están sujetas a las normas específicas para cada tipo de muestra.

Tabla 14
Promedio de los parámetros de metales analizados por Autoridad Nacional del Agua [ANA] en los puntos de monitoreo

Años	Nivel	Arsénico	Boro	Cadmio	Cobre
2015	Total	0.007	5.139	0.002	0.003
	S	0.007	5.139	0.002	0.003
	M	--	--	--	--
	F	--	--	--	--
2016	Total	0.004	2.646	0.0002	0.002
	S	0.004	2.617	0.0002	0.002
	M		--	--	--
	F	0.004	2.734	0.0002	0.002
2017	Total	0.003	4.286	0.0002	0.002
	S	0.003	4.235	0.0002	0.002
	M	0.002	4.160	0.0002	0.002
	F	0.002	4.420	0.0002	0.002
2018	Total	0.002	5.066	0.0002	0.002
	S	0.002	5.240	0.0002	0.002
	M	0.002	5.296	0.0002	0.002
	F	0.002	4.917	0.0002	0.002
2019	Total	0.002	4.351	0.0002	0.002
	S	0.002	4.285	0.0002	0.002
	M	0.002	4.393	0.0002	0.002
	F	0.002	4.433	0.0002	0.002
2020	Total	0.002	3.842	0.0002	0.002
	S	0.002	3.873	0.0002	0.002
	M	0.002	3.984	0.0002	0.002
	F	0.002	3.697	0.0002	0.002

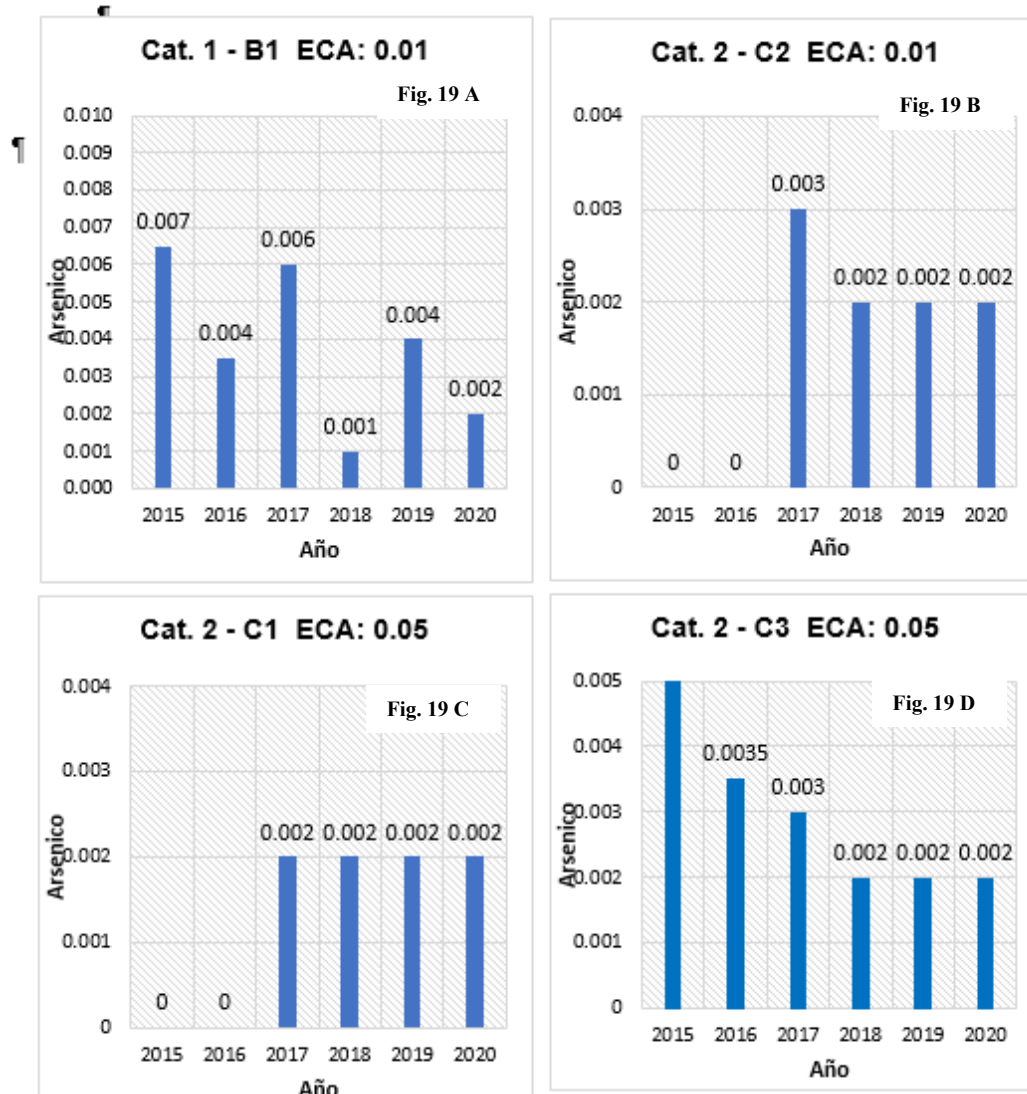
Nota: Los valores presentados en la tabla corresponden al promedio de los parámetros de metales analizados por la ANA en distintos puntos de monitoreo durante los años 2015-2020. Los parámetros incluyen Arsénico, Boro, Cadmio y Cobre. El nivel **Total** representa el promedio general de todos los puntos de monitoreo para cada año, que incluye los niveles de Superficie, Medio y Fondo.

4.5.1 Arsénico

Este elemento químico tóxico está presente en las aguas de la Bahía El Ferrol. Su concentración con valores superiores al Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua puede causar problemas en la salud humana, a través de su consumo de pescado y mariscos, y en el medio ambiente causando la muerte de organismos marinos.

Figura 19

Niveles de Arsénico en la Bahía El Ferrol 2015-2020



Nota. En la Figura 19 A se muestra el valor promedio del arsénico en la Cat. 1 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 0.01. En la Figura 19 B se muestra el valor promedio del arsénico en la Cat. 2 – C2 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 0.01. En la Figura 19 C se muestra el valor promedio del arsénico en la Cat. 2 – C1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 0.05. En la Figura 19 D se muestra el valor promedio del arsénico en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 0.05.

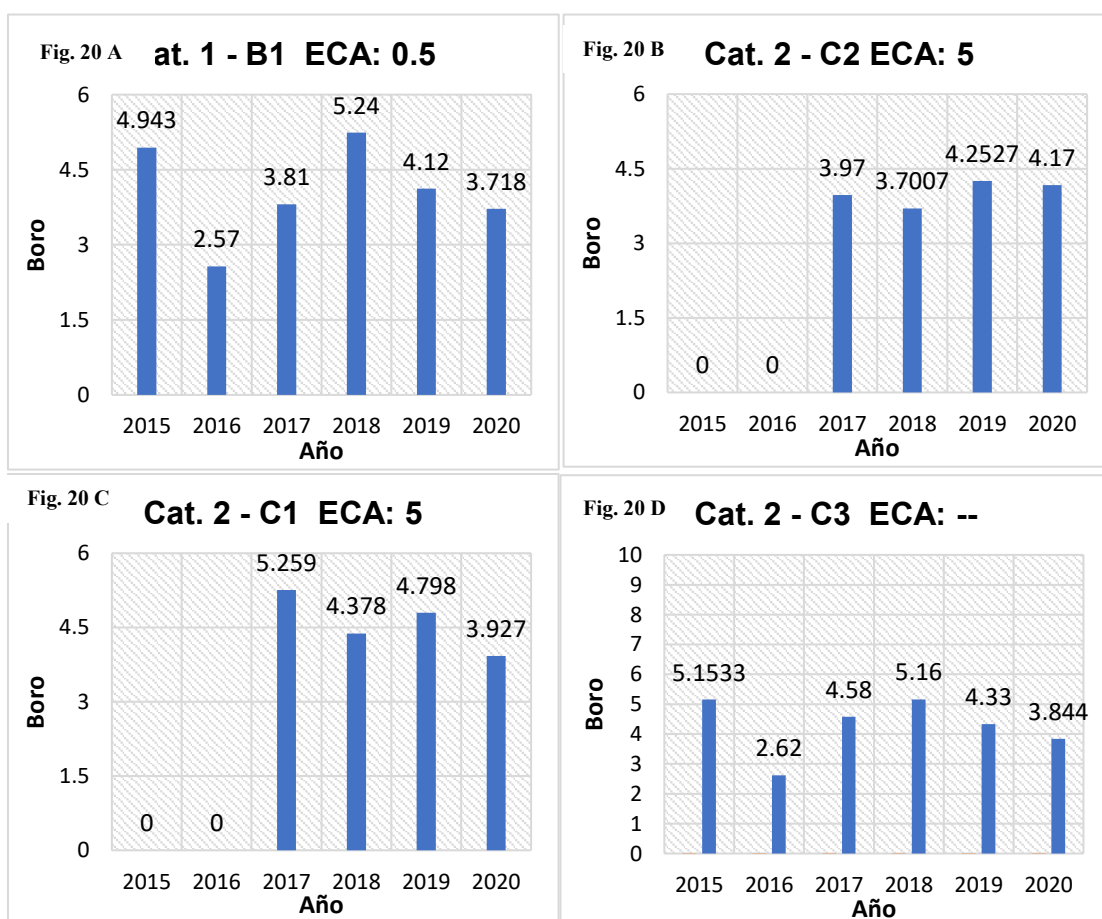
4.5.2 Boro

Este elemento traza presente en el mar regula el pH y es un nutriente esencial para algunos organismos marinos. Su alta concentración indicaría la presencia de otros metales pesados. Caso inverso, bajas concentraciones menores a los Estándar de Calidad Ambiental

[ECA]- agua es un indicador de la buena calidad del agua de mar en la bahía. El boro está presente en todos los años en las aguas costeras de uso para recreación (Ver Tabla N° 13) y a nivel de superficie (Tabla N° 14). En la clasificación Cat 1 – B1 la concentración del boro supera los límites señalados por el Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua entre cinco y diez veces más como se observa en el grafico 20. En las otras clasificaciones sus valores son menores a los niveles de Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua.

Figura 20

Niveles de Boro en la Bahía El Ferrol 2015-2020



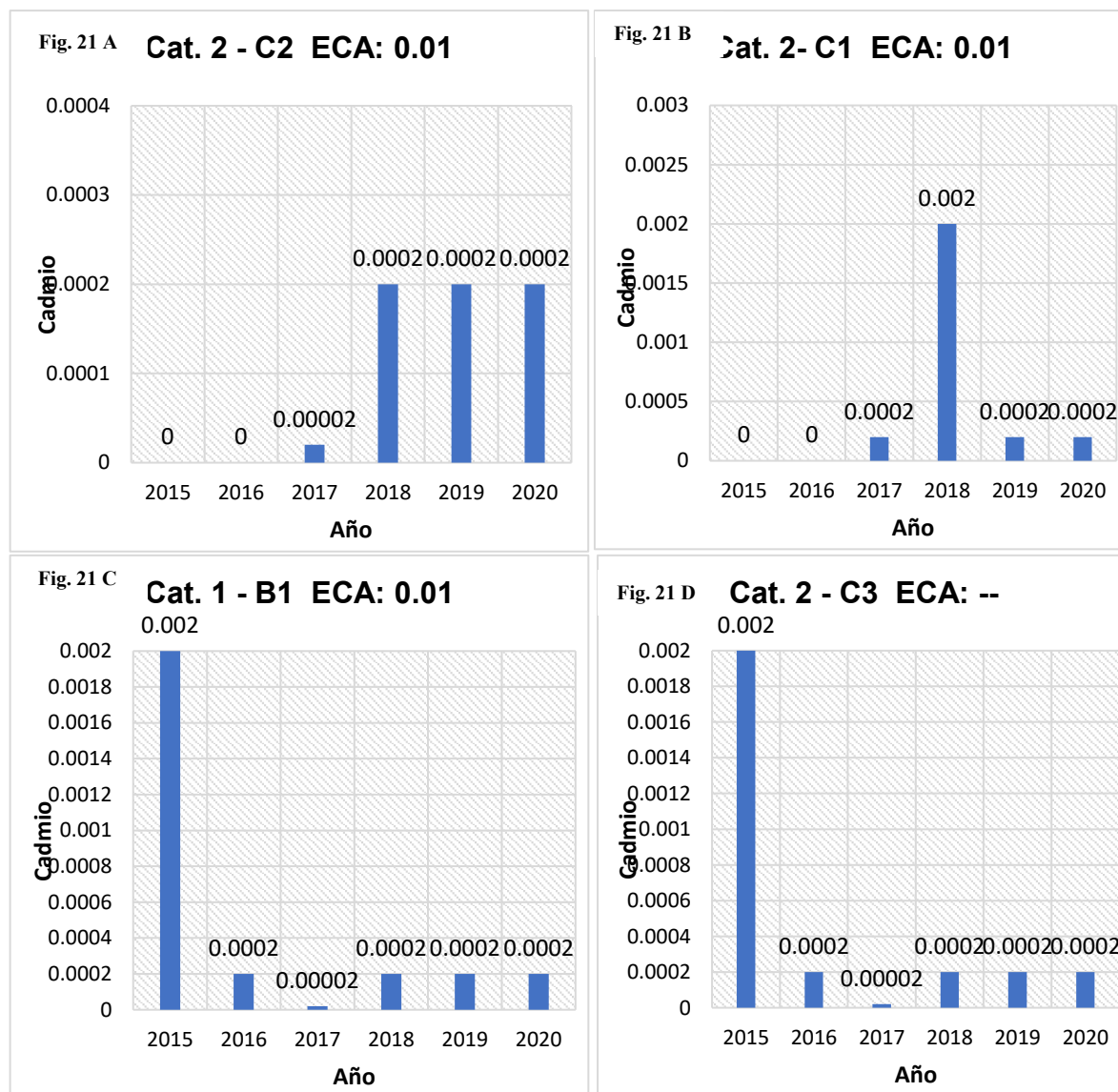
Nota. En la Figura 20 A se muestra el valor promedio del boro en la Cat. 1 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 0.05. En la Figura 20 B se muestra el valor promedio del boro en la Cat. 2 – C2 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 5. En la Figura 20 C se muestra el valor promedio del boro en la Cat. 2 – C1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 5. En la Figura 20 D se muestra el valor promedio del boro en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA.

4.5.3 Cadmio

Presente en el medio ambiente debido a los efluentes industriales, descargas de aguas residuales y lixiviación de vertederos. Puede unirse a partículas pequeñas y sedimentarse en el fondo marino. Según los monitoreos de Autoridad Nacional del Agua [ANA] en la Bahía El Ferrol durante 2015-2020, los indicadores de este metal pesado están por debajo de los indica la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua para todas las categorías con una reducción significativa en los dos últimos años (Figura 21).

Figura 21

Niveles de Cadmio en la Bahía El Ferrol 2015-2020



Nota. En la Figura 21 A se muestra el valor promedio del cadmio en la Cat. 2 – C2 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 0.01. En la Figura 21 B se muestra el valor promedio del cadmio en la Cat. 2 – C1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 0.01. En la Figura 21 C se muestra el valor promedio del cadmio en la Cat. 1 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 0.01. En la Figura 21 D se muestra el valor promedio del cadmio en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA.

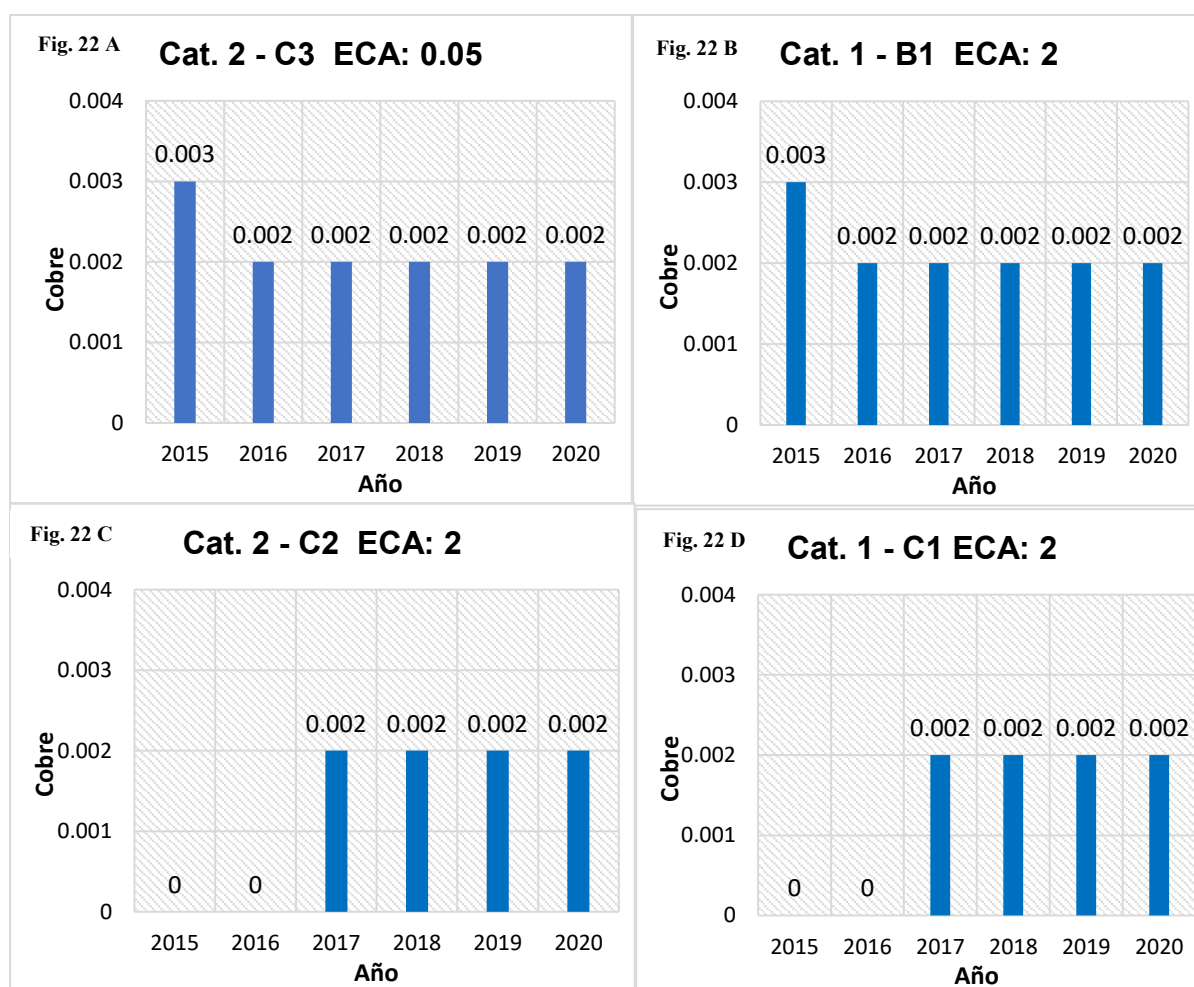
4.5.4 Cobre

Las elevadas concentraciones de este metal en las aguas marino-costeras son perjudiciales para la salud y supervivencia de las especies marinas. Ingresa a través de las

descargas de desechos industriales y las escorrentías agrícolas, generando efectos negativos a la biodiversidad y calidad del agua. Según los resultados de los monitoreos de la Autoridad Nacional del Agua [ANA] durante 2015-2020, la acumulación de cobre en la Bahía El Ferrol se encuentra muy por debajo del límite señalado por los Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua y para todas las categorías de estudio como se presenta en la figura 22.

Figura 22

Niveles de Cobre en la Bahía El Ferrol 2015-2020



Nota. En la Figura 22 A se muestra el valor promedio del cobre en la Cat. 2 – C3 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 0.05. En la Figura 22 B se muestra el valor promedio del cobre en la Cat. 1 – B1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 2. En la Figura 22 C se muestra el valor promedio del cobre en la Cat. 2 – C2 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 2. En la Figura 22 D se muestra el valor promedio del cobre en la Cat. 1 – C1 que cumple con los estándares de la ECA en el rango de 2.

Del análisis realizado para el periodo 2015-2020 encontramos que las aguas a nivel de superficie en la categoría Cat 1-B1 referidas a las aguas de contacto primario destinadas a la recreación de la población de Chimbote aun presentan ciertos niveles de contaminación como el Escherichia Coli con altos niveles a la orilla del mar cuando la norma exige su ausencia; la presencia de aceites y grasas cerca a la orilla del mar; carga orgánica vertida por lo efluentes de aguas residuales o efluentes industriales aunque por debajo de la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua; presencia de nitratos con una tendencia a aumentar en los últimos años; concentración de Solidos Suspendidos Totales a nivel de superficie del mar con tendencia a crecer; presencia de Coliformes Termotolerantes con valores superiores a Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua; así como la presencia de metales pesados por encima de la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua para Arsénico, Boro, Cadmio y Cobre. La concentración de estos últimos también contribuye a afectar negativamente el ecosistema marino por su toxicidad, bioacumulación, alteración de su equilibrio y contaminación de los peces y mariscos, y afectando en última instancia a la salud humana.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En los últimos 60 años (1962-2022) Chimbote, enclavada en la Bahía El Ferrol, es uno de los centros urbanos de mayor crecimiento económico, principalmente por las actividades de la industria pesquera y siderúrgica, considerándose como el primer puerto pesquero del país. Esta concentración de empresas productoras de harina de pescado y siderúrgica que funcionan frente al litoral de la bahía generan residuos durante todo el proceso, como los sólidos suspendidos, las grasas y los aceites que se filtran en las aguas circundantes, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto, que afecta la vida acuática y provocan la muerte de especies marinas sensibles a los cambios en el ambiente, llegando a ser considerada como una de las áreas más contaminadas de la costa peruana.

Se observa que, esta bahía al ser semicerrada permite que las masas de agua permanezcan un mayor tiempo, dificultando su rápida depuración de la contaminación provocada por la producción de harina y aceite de pescado, las aguas residuales domésticas, las descargas del río Lacramarca y los residuos sólidos no municipales que son vertidos en esta bahía sin control, tal como lo demuestra Grandez (2017) y Cabral (2020).

En el periodo 2015-2020 encontramos que las aguas a nivel de superficie en la Bahía El Ferrol, en la categoría Cat 1-B1 referidas a las aguas de contacto primario destinadas a la recreación presentan ciertos niveles de contaminación en *Escherichia Coli* con altos niveles a la orilla del mar cuando la norma exige su ausencia y la presencia de aceites y grasas; carga orgánica vertida por los efluentes de aguas residuales o efluentes industriales aunque por debajo de la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua; presencia de nitratos con una tendencia a aumentar en los últimos años; concentración de Sólidos Suspendidos Totales a nivel de superficie del mar con tendencia a crecer; presencia de Coliformes Termotolerantes con valores superiores a Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua; así como la presencia

de metales pesados por encima de la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA] -agua para Arsénico, Boro, Cadmio y Cobre.

Ante estas condiciones críticas en la calidad del agua de la Bahía El Ferrol de Chimbote, que afectan negativamente a su ecosistema y salud de las personas que dependen de ella, llevaron a que se tomen diferentes medidas, conformándose varias comisiones para estudiar y proponer alternativas de solución, como: Comisión Técnica Multisectorial de Alto Nivel, Plan Ambiental Complementario Pesquero en la Bahía El Ferrol [PACPE], Plan de recuperación Ambiental de la Bahía El Ferrol y Lineamientos para el Manejo Integrado de las Zonas Marino Costeras.

Los resultados del monitoreo participativo realizados por Autoridad Nacional del Agua [ANA] durante 2015-2020 muestran que las medidas político-administrativas implementadas por el Estado con el consenso del sector empresarial han alcanzado las metas propuestas.

Así, en cuanto a uno de los parámetros de campo, parámetro físico de la alcalinidad del agua marina-costera en la bahía- pH- sus valores se encuentran cerca del rango de 7.5 a 8.5 en la mayoría de los años, (promedio de 7.33 en el 2020), con ligeras variaciones durante el periodo de estudio (Tabla N° 11) y menores a los encontrados por García Nolazco, Orosco Moreyra, y Perea de la Matta (2019) para las bahías de Casma, Huarmey y Samanco en el 2018 y los registrados frente a la playa de Pimentel (Bances, 2020). Los valores ligeramente menores al rango establecido nos indicarían un ligero aumento de la acidificación del agua debido a la absorción de dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera, lo cual puede tener efectos negativos en el ecosistema como la disminución de su biodiversidad y disminución de su productividad.

El segundo parámetro de campo, Oxígeno Disuelto, muestreado por Autoridad Nacional del Agua [ANA] solo para los años 2016 y 2017, varían de 5.07mg/L en el primer año a 7.16mg/L en el segundo año a nivel de superficie, con un aumento del 41.2%, resultados similares obtenido por Varas para el agua de mar del puerto Malabrigo (Varas, 2016) y para la

bahía de Coishco (Arias, 2020), mayores a los registrados por Bances para la playa de Pimentel (Bances, 2020) y superiores al valor mínimo de ≥ 5.0 mg/L (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2017). Este es un componente vital para la vida oceánica y del ecosistema acuático. El aumento en el último año de la muestra indicaría una reducción de la cantidad de materia orgánica presente en el agua de la bahía, y una buena calidad del agua.

Así mismo, para el parámetro físico-químico Aceites y Grasas, la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua exige la ausencia de película visible para la clasificación subcategoría B1 (aguas superficiales destinadas a la recreación), pero, según los resultados de los monitoreos de Autoridad Nacional del Agua [ANA], muestran una ligera presencia para todo el periodo de estudio (0.50mg/L); valores menores a los registrados en la bahía de Coishco (Arias, 2020) e iguales a los registrados en las playas de Lambayeque en el 2017 (Bances, 2020). Autoridad Nacional del Agua [ANA] recomienda su eliminación por sus efectos negativos en las poblaciones de peces, otros animales marinos, así como en la salud humana.

En cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno para aguas subclasificadas como B1, la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA] señala un valor de 5mg/L. Este parámetro mide la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de la materia orgánica presente en el agua y la calidad del agua. Los valores encontrados en los años 2016-2020 para todas las subcategorías de análisis fluctúan entre 0.75mg/L hasta 2.71mg/L menores a los señalados por la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua y muy por debajo a los valores registrados en las bahías de Coishco y Samanco en el 2018 (García et al., 2019) y las playas de Lambayeque (Bances, 2020). Es decir, según la Demanda Bioquímica de Oxígeno, las aguas de la Bahía El Ferrol, son de buena calidad, tiene poca contaminación, ya que el emisor submarino de APROFERROL autorizado para el vertimiento de aguas residuales industriales tratadas de 30 establecimientos industriales pesqueros ubicados en la zona costera de la Bahía El Ferrol, vierte sus aguas fuera de la bahía. (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016)

De igual manera, para los parámetros de los Sólidos Suspendidos Totales, según Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua son de 80 NMP/100 m/L en la subcategoría C1, de 60 NMP/100 m/L para la subcategoría C2 y de 70 NMP/100 m/L para la subcategoría C3. Los valores reportados por las muestras realizadas por Autoridad Nacional del Agua [ANA] para estas tres clasificaciones están muy por debajo de lo indicado por la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua (1.50mg/L en los dos últimos años), con valores relativamente altos a nivel de superficie (Tabla 11) y con tendencia a seguir reduciéndose (Ver figura 16), como también lo muestra Cabral (2020) y muy por debajo de lo registrado en la bahía de Coishco para 2015 y 2016 (Arias, 2020), para las playa de Lambayeque en el 2017 (Bances, 2020) y para las bahías de Tortuga y Samanco en el 2018 (García et al., 2019). Es decir, este parámetro indica que las aguas de la Bahía El Ferrol son claras, permiten la penetración de la luz y un nivel más alto de oxígeno disuelto en el agua.

Monitorear los niveles de Nitratos es importante porque su presencia en exceso puede producir la floración de algas y consecuentemente su eutrofización. La norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua establece un límite de 10mg/L para la Cat 1 – subcategoría B1. Durante el periodo 2015-2020 y para las cuatro subcategorías los valores resultantes son de 2.25mg/L, muy por debajo de los señalado por la norma: 10 mg/L (Ver figura 14) y los registrados por las bahías de Samanco y Casma en 2018. (García et al., 2019)

Así mismo, la presencia de sulfuros en las aguas marino-costeras favorecen el crecimiento de algunas bacterias y microorganismos anaerobios, alterando la composición de comunidades de organismos en el ecosistema acuático y la acidificación del agua. La norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua fija un valor de 0.05mg/L, observándose que, según los muestreos de Autoridad Nacional del Agua [ANA], este compuesto químico en las cuatro subcategorías no se encuentra presente (0.00mg/L) (Ver figura 15).

De igual manera, en cuanto al parámetro microbiológico Coliformes Termotolerantes - CTT- la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua fija un valor de 200 NMP/100 ml para la Cat 1 – B1; de ≥ 14 NMP/100 ml para la Cat 2 -C1; de ≤ 30 NMP/100 ml para la Cat 2 – C2 y de 1000 NMP/100ml para la Cat 2 – C3. Los resultados de los muestreos del periodo 2015-2020 muestran que, sólo en la primera clasificación los valores son muy superiores a lo señalado por la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua para esa categoría (Ver figura 17), indicando la presencia de contaminación fecal en las aguas para recreación en la Bahía El Ferrol, convirtiéndola en playa no aptas para las personas por el alto riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales. Las elevadas concentraciones de este parámetro microbiológico se asocian con las aguas residuales municipales provenientes de la ciudad de Chimbote vertidos sin tratamiento por medio del sistema de alcantarillado de SEDACHIMBOTE S.A. (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2020), característica también presente en las aguas marino-costeras de Lambayeque (Bances, 2020), las playas de la bahía de Coishco y caleta Culebras en el 2018. (García et al., 2019)

En cuanto al parámetro microbiológico de los *Escherichia coli* muestran una alta concentración en los años 2017-2020, con valores promedios que van de 23.45 NMP/100 ml hasta 62.59 NMP/100ml en la Cat 1 – B1, ponen en evidencia la contaminación fecal elevada donde la norma no admite presencia de estos microorganismos (Figura 18). Al igual que los CTT, la presencia de estos microorganismos deteriora la calidad del agua de la Bahía El Ferrol, cuyo aporte proviene de las aguas residuales municipales sin tratamiento, provenientes del sistema de alcantarillado de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado [SEDA] CHIMBOTE (12 puntos de descarga en el 2020). Con la finalidad de eximirse de cualquier sanción por parte de Autoridad Nacional del Agua [ANA], esta empresa ha inscrito los vertimientos en el Registro Único para el Proceso de Adecuación Progresiva a cargo de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Autoridad

Nacional del Agua [ANA], 2020). Los altos valores de este microorganismo implican un riesgo para la salud humana, lo cual señala la necesidad de desarrollar estudios de tipo epidemiológico, así como monitorear sus niveles para minimizar sus efectos y mantener su ecosistema acuático saludable y sostenible.

Los metales pesados presentes en las aguas marino-costeras tienen efectos negativos en la salud humana a través del consumo de pescado contaminado, así como alterar el equilibrio ecológico del ecosistema acuático coincidiendo con Giglioli et al. (2020).

Los resultados del monitoreo para los metales pesados Arsénico, Cadmio y Cobre realizados por Autoridad Nacional del Agua [ANA] en el periodo 2015-2020, muestran valores menores a los límites establecidos por los Autoridad Nacional del Agua [ANA]-agua en dicho periodo, así como para las cuatro subclasificaciones del agua marino-costero en la Bahía El Ferrol. La presencia de estos tres metales en pequeñas cantidades no afecta el ecosistema marino de la bahía, como tampoco se esperan riesgos para la salud de los que consumen pescado de la zona tal como lo demostró Ibarcena (2019) Resultados similares encontró Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental [OEFA] (2017) calidad ecológica buena y otras zonas señaladas como mala asociado a las actividades antropogénicas realizadas en la bahía. Es indispensable continuar con el monitoreo para asegurar su continua reducción y alcanzar un ecosistema marino saludable y sostenible.

En cuanto al boro, al presentar indicadores superiores al Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua en dos de las cuatro subclasificaciones (Cat. 1 - B1, ECA: 0.5 y Cat. 2 - C3, ECA: 0) nos señala que estas áreas de la Bahía muestran contaminación y presencia de otros metales pesados, principalmente en las aguas destinadas para recreación de la población (subcategoría B1), similares a los obtenidos por Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental [OEFA] (2017) para esta subcategoría de esta bahía.

La presencia del boro en las aguas marino-costera de la bahía está asociada a la descarga de aguas domesticas no tratadas de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado [SEDA] CHIMBOTE, la descarga del rio Lacramarca con contenidos de detergentes, pesticidas y productos farmacéuticos, así como por la actividad minera.

Es decir, durante el periodo 2015-2020 encontramos que las aguas a nivel de superficie en la categoría Cat 1-B1 referidas a las aguas de contacto primario destinadas a la recreación de la población de Chimbote aun presentan ciertos niveles de contaminación como el *Escherichia Coli* (la norma exige su no presencia); de aceites y grasas; carga orgánica vertida por lo efluentes de aguas residuales domésticos e industriales; presencia de nitratos con una tendencia a aumentar en los últimos años; concentración de Solidos Suspendidos Totales con tendencia a crecer; presencia de Coliformes Termotolerantes; así como la presencia de Arsénico, Boro, Cadmio y Cobre. Todos contribuyen a afectar negativamente el ecosistema marino por su toxicidad, bioacumulación, alteración de su equilibrio y contaminación de los peces y mariscos, y afectando en última instancia a la salud humana.

Este problema debe ser solucionado, existiendo en la actualidad diferentes métodos para reducir los contaminantes anteriormente descritos. Los métodos y modelos de tratamiento de aguas residuales son diversos, al igual que sus montos de inversión y costos de mantenimiento. Últimamente, una de las alternativas que más se está estudiando para mitigar los impactos negativos sobre el recurso hídrico, son los humedales artificiales o contruidos, debido a sus bajos costos de construcción y mantenimiento, adaptación al paisaje natural, entre otros, en comparación con plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales (Peña y Lara, 2012; Zapata, 2014; Castañeda, 2017; Asprilla, Ramírez y Rodríguez, 2020). Alternativa que consideramos viable para la Bahía El Ferrol.

El Humedal Artificial se le considera como una tecnología de tratamiento verde mediante el cual se simula un humedal natural para la Fito depuración de aguas residuales. Son

áreas que disponen principalmente de vegetación, sustratos, suelos, microorganismos y llenas de agua, pero poco profundas (de menos de 1 m) (Bayas, 2018; Asprilla et al., 2020). Contienen plantas emergentes como espadañas, carrizos, juncos y eneas que aprovechan las interacciones con los microorganismos y la atmósfera para remover la materia orgánica (Castañeda, 2017). La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas y permite la transferencia de oxígeno. Los humedales artificiales depuran las aguas por interacción entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación y la fauna (Bayas, 2018; Ccahuanaet al., 2021). Los humedales artificiales son idóneos de aplicar en zonas donde no existe unión a estaciones de tratamiento, con suficientes extensiones de terreno disponible, así como las ventajas señaladas líneas arriba. Una mayor descripción se presenta en el Anexo A.

VI. CONCLUSIONES

- La Bahía El Ferrol, Chimbote, presentó una significativa mejoría en su calidad ambiental en el periodo 2015-2020 con relación a periodos anteriores. Los parámetros fisicoquímicos pH, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendedos Totales, Nitratos y Sulfatos cumplen con lo indicado por Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua respectivamente, para todas las clasificaciones de cuerpos de agua, indicando que las aguas son de buena calidad, con excepción de los resultados de Aceites y Grasas que están presentes en la bahía cuando la norma exige su total ausencia.
- Según los parámetros microbiológicos de Coliformes Termotolerantes y Escherichia Coli, se encuentran presentes a nivel de superficie en las aguas destinadas para uso de las personas (Cat 1-B1), siendo más resaltantes los Escherichia Coli debido a que la norma no admite su presencia. Los contaminantes microbiológicos aun presentes en la bahía provienen de los continuos vertimientos de aguas residuales domésticas y de escorrentía agrícola, impactando negativamente sobre el ecosistema marino, las actividades económicas (ecoturismo) y la salud humana, por lo que es fundamental seguir controlando las características fisicoquímicas de las aguas marino-costeras en la Bahía El Ferrol.
- De los cuatro metales pesados estudiados encontramos que solo el boro no cumple con la norma Estándar de Calidad Ambiental [ECA]-agua, principalmente en las aguas destinadas a la recreación de la población.

VII. RECOMENDACIONES

- Se propone la implementación de los humedales artificiales como se describe en el **Anexo A**, con la finalidad de reducir la contaminación de la bahía. La propuesta que se adjunta es una inversión de costos bajos en la fase de implementación operación y mantenimiento, con tecnología de fácil acceso y con impactos sustantivos al medio ambiente, en comparación con las Plantas de Tratamientos de aguas residuales [PTAR].
- Se debe fomentar la coordinación y participación de los sectores involucrados como la industria pesquera, la sociedad civil, el gobierno y la academia a fin de desarrollar programas de sostenibilidad ambiental en la bahía.
- Fomentar la participación de la academia en materia de investigación científica, levantamiento de información y el diseño de propuestas de tecnología limpia para el desarrollo sustentable de la región.
- Realizar estudios para determinar la magnitud de la contaminación de la bahía por plásticos (bolsas, sacos, botellas, calzado, trajes de plástico, poliestireno, Tecnopor), así como por restos de redes, hilos, cabos y otros.

VIII. REFERENCIAS

- Achieng, M. (2003). Assesment of Impact of Sewage Effluents on Coastal Water Quality in Hafnarfjordur, Iceland. *UNU-Fisheries Training Programme*, 39. Obtenido de <https://www.grocentre.is/static/gro/publication/147/document/monicapr03.pdf>
- Achieng, P. (2007). Environmental Impact Assessment General Procedures. *United Nations University. Geothermal Training Programme*, 2-17.
- Aguirre-Martinez, G., Rudolph, A., Ahumada, R., Loyola, R., & Medina, V. (2009). Toxicidad no específica en sedimentos portuarios, una aproximación al contenido de contaminantes críticos. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(3), 725-735. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es>
- Ahumada, R. (1992). Patrones de distribución espacial de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb en sedimentos superficiales de Bahía San Vicente, Chile. *Revista de Biología Marina*, 27(2), 265-282.
- Aljovin, C. (Abril de 2021). Pesca Responsable. *Compromiso Pesquero, Año XXII(Abril 2021)*, 115, 30. Lima. Recuperado el junio de 2021, de www.snp.org.pe/revista-pesca-responsable/
- Alqattan, M., & Gray, T. (2021). Marine Pollution in Kuwait and Its Impacts on Fish-Stock Decline in Kuwaiti Waters: Reviewing the Kuwaiti Government's Policies and Practices. *Frontiers in Sustainability*, 2(667822), 17. doi:<https://doi.org/10.3389/frsus.2021.667822>
- Arce, P. (2018). *Humedales Artificiales: Una Alternativa para Tratamiento de Aguas de Producción*. Bogotá: Facultad de Educación Permanente y Avanzada Especialización en Gestión Ambiental.

- Arias, J. (2020). *Influencia del vertimiento de los efluentes de la industria pesquera en el agua de mar de la Bahía de Coishco, en los años 2015 y 2016*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Asprilla, W., Ramirez, J., & Rodriguez, D. (2020). Subsurface—flow Artificial Wetlands: Comparison of Design Methodologies for the Calculation of the Surface Area based on the Removal of Organic Matter. *Ingenierias USBMed*, 11(2), 65-73. Obtenido de <https://revistas.usb.edu.co/index.php/ingUSBmed>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016a). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hidricos Superficiales*. Lima: Autoridad Nacional del Agua - ANA. Obtenido de www.ana.gob.pe
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016b). *Clasificacion del cuerpo de agua marino-costero*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego - Autoridad Nacional del Agua. Obtenido de www.ana.gob.pe
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016c). *Resultados del 2do Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua de la Bahía El Ferrol*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2017). *Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias*. Lima: El Peruano.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2018). *Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua del Mar de Chimbote - Bahía El Ferrol*. Nuevo Chimbote: Autoridad Nacional del Agua. Obtenido de www.ana.gob.pe
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2019). *Cuarto monitoreo participativo de la calidad del agua del mar de Chimbote - bahía El Ferrol 2018*. Autoridad Nacional del Agua. Nuevo Chimbote: ANA. Obtenido de www.ana.gob.pe

- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2020). *Monitoreo de la Calidad del Agua del Mar de Chimbote - Bahía El Ferrol*. Nuevo Chimbote: Autoridad Nacional del Agua.
Obtenido de www.ana.gob.pe
- Avila, P., Pablos, J., & Pelayo, C. (2018). *Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos*. Mexico D.F: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el abril de 2021, de https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/Informes/Especiales/ESTUDIO_RIOS_LAGOS_ACUIFEROS.pdf
- Bances, S. (2020, Julio-Diciembre). Evaluación Ambiental de la Zona Marino Costera de Lambayeque (junio 2017). *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 35(2), 335-351.
- Banco Interamericano de Reconstrucción y Fomento [BIRF]-Banco Mundial [BM]. (2017). *Informe N° 112299-PE*. Banco Mundial. Recuperado el 20 de octubre de 2020, de <http://documents1.worldbank.org/curated/pt/522711493949637279/pdf/Peru-CPF-112299-PE-04102017.pdf>
- Banco Mundial [BM]-Perú. (2007). *Análisis Ambiental del Perú: Retos para un desarrollo sostenible*. Lima: Banco Mundial - Perú. Obtenido de www.bancomundial.org
- Banica, A., Bastard, J., & Kosiek, M. (2003). Integrated Coastal Zone Management (ICZM): a framework to tackle environmental issues? Danish Approach. *Researchgate*.
Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/237441219>
- Bansal, N. (2018). Industrial Development and Challenges of Water Pollution in Coastal Areas: The Case of Surat, India. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*(120), 012001. doi:doi :10.1088/1755-1315/120/1/012001
- Barriga-Sánchez, M., & Aranda, D. (2018). Bioacumulación de plomo, cadmio y mercurio en *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) and *Aulacomya ater* (Molina, 1782)

- comercial species from Peru, and risk assessment. *Ecología Aplicada*, 17(1), 53-60.
doi:<http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i1.1173>
- Bayas, L. (2018). *Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales en Poblaciones Rurales de la Sierra Norte del Ecuador; Aplicacion a la Parroquia Lita*. Universitat Politecnica de Valencia. Valencia, España: Universitat Politecnica de Valencia. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/359267536>
- Bernal, C. (2016). *Metodologia de la investigacion cientifica* (4ta Edicion ed.). Colombia: Pearson. Recuperado el 31 de 3 de 2023, de www.pearsonenespañol.com
- Bocanegra, C., Veneros, B., & Culquichicón, Z. (2020). Impactos ambientales en la tira litoral de la costa por acción antrópica en la ciudad de Trujillo, Peru. *Enfoque UTE*, 12(1). doi:<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.655>
- Bohorquez, J. (2015). *Tratamiento de aguas grises para su reutilizacion*. Madrid, España: Universidad de Vigo.
- Breitnurg, D., Levin, L., Oschlies, A., Gregoire, M., Chavez, F., Conley, D., . . . Gutierrez, D. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359(46), 6371. doi:DOI: 10.1126/science.aam7240
- Cabral, J. (2020). *Analisis del grado de cumplimiento de la clidad de los efluentes en los EIP en la bahia de Chimbote (2012-2016)*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Pesqueria. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstrea>
- Cabrera, C. F. (2002). *Estudio de la Contaminacion de las Aguas Costeras en la Bahía de Chancay: Propuesta de Recuperacion*. Escuela de Post Grado. Lima: UNMSM.
- Cadenillas, Y. (23 de marzo de 2016). *Pachamama.lamula.pe*. Obtenido de <https://pachamama.lamula.pe>

- Canteiro, M., Cordova, F., & Alejandro, B. (2018). Tourim impact assessment: A tool to evaluate the environmental impacts of touritic activities in Natural Protected Areas. *Tourism Mangement Perspectives*, 28, 220-227. doi:10.1016/j.tmp.2018.09.007
- Carrera, W. (2018). *Evaluacion del vertimento de liquido residual y concentracion biologica por la empresa de Trabajos Maritimos S.A. en el ecosistema acuatico en la Bahia del mar de Cata-Cata, Ilo-Moquegua 2015*. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica: Escuela de Posgrado.
- Castanho, R., Naranjo, J., Couto, G., Pimentel, P., Sousa, A., & da Graca, M. (2021). Analyzing the Patterns, Trends and Dynamics of the Land-Use Changes in Azores Region: From 1990 to 2018. *Sustainability*(13), 5433. doi:<https://doi.org/10.3390/su13105433>
- Castañeda, L. (2017). Una Revision sobre el Uso de Humedales Artificiales para el Trtamiento de Aguas Residuales Domesticas en America Latina: Diseño, Operacion y Resultados. *Tecnologia Bioresource*, 2-17. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/321197781>
- Ccahuana, R., Flores, E., Franco del Carpio, X., Huayhua, G., Mamani, D., Miranda, S., . . . Valencia, L. (2021). Humedal Artificial Alternativa para el Tratamiento de Aguas Residuales en Zonas Urbanas. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/357355896>
- Cerna, F., & Bocanegra, C. (2012). *Contaminacion de la Bahia "El Ferrol" con aguas redisuales domesticas y Propuesta de Gestion Ambiental*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de [www.http://dspace.unitru.edu.pe/](http://dspace.unitru.edu.pe/)
- Chu, E., & Karr, J. (2017). Environmental Impact: Concept, Consequences, Measurement. En *Reference Module in Life Sciences*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.02380-3>

Cifuentes, J., Paiz, J., Barrera, A., Rivera, P., Cortez, J., Cabrera, W., & Montoya, C. (2021).

Constructed Wetlands for wastewater treatment systems. *ResearchGate*, 1-14.

Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/353909818>

Cisneros, P. (2020). Determinacion y caracterizacion de areas potenciales para la maricultura

entre Nueva Esperanza y Huacura, Region Tumbes. *Informe Instituto Mar Peru*,

47(1). Obtenido de

<https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/3419/1/Informe%2047%281%29%20art%202.pdf>

Comision Nacional del Ambiente [CONAM]. (1998). *Bahia "El Ferrol". Diagnostico*

ambiental. Lima: Consejo Nacional del Ambiente. Obtenido de

<http://biblioteavirtual.minam.gob.pe/bitstream/123456789/410/1/BIV00457.pdf>

Comision Permanente del Pacifico Sur [CPPS]. (2007). *Basura Marina en el Pacifico*

Sudeste: una revision del problema. Comision Permanente del Pacifico Sur.

Guayaquil, Ecuador: CPPS/PNUMA. Obtenido de www.cpps-int.org

Consejo Nacional de Areas Protegidas [CONAP]-Miniterio del Ambiente y Areas Naturales

[MARN]. (2009). *Biodiversidad Marina en Guatemala: Analisis de vacios y*

estrategias para su conservacion. Guatemala: Consejo Nacional de Areas Protegidas.

Obtenido de <http://www.conap.gob.gt>

Coronado, N. (2018). *Analisis temporal de los parametros fisico-quimicos de calidad de*

efluentes en establecimientos industriales pesqueros - Bahia del Callao (Periodo

2012-2016). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima: Facultad de Ciencias.

Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3115>

Cuba, A. (2020). Industrias extractivas en zonas costera y marinas. En M. Ruiz, R. Oyanadel,

B. Monteferri, M. Ruiz, R. Oyanadel, & B. Monteferri (Edits.), *Marine and fisheries*

- policies en Latin America: a comparison of selected countries* (págs. 55-65). New York: SPDA. doi:<http://doi.org/10.4324/9780429426520>
- de la Puente, S., & Lopez, R. (2019). Pesquería industrial en América Latina: retos y lecciones aprendidas de Chile, México y Perú. *ResearchGate*, 336192021, 33-54. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/336192021>
- Diez, S., Patil, P., Morton, J., Rodríguez, D., Vanzella, A., Robin, D., . . . Corbin, C. (2019). *Marine Pollution in the Caribbean: Not a Minute to Waste*. Washington, D.C: World Bank Group.
- Dimitrova Mineva, T. (2021). *Efectos Negativos del sector pesquero en el medio marino*. Facultad de Administración y Dirección de Empresas. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/158361/Dimitrova%20-%20Efectos%20negativos%20del%20sector%20pesquero%20en%20el%20medio%20marino..pdf?sequence=2>
- Dodds, R., & Holmes, M. (2019). Beach tourist; what factors satisfy them and drive them to return. *Ocean & Coastal Management*, 168, 159-166. doi:10.1016/j.ocecoaman.2018.10.034
- Dolsn, J., Gelcich, S., Sfeir, A., & Heck, C. (2014). *A Marine Conservation Assessment in Peru*. California: Advanced Conservation Strategies. Recuperado el 26 de mayo de 2020, de <http://www.advancedconservation.org>
- Dotaniya, M., Meena, V., Saha, J., Rajendiran, S., Patra, A., Dotaniya, C., . . . Meena, B. (2018). Environmental Impact Measurements: Tool and Techniques. *ResearchGate*, 1-31. doi:10.1007/978-3-319-48281-1_60-2
- Emeka, E. (2020). Analysis of Industrial Effluents as They Affect the Quality of Surface Water in Enugu Nigeria. *Iconic Research and Engineering Journals*, 4(6), 37-45.

- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los rios y sus efectos en las areas costeras y el mar* (Vol. Recursos naturales e infraestructura). Santiago de Chile, Chile: Naciones Unidas. Obtenido de <https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/LCL1799S.PDF>
- Espinoza-Morriberon, D., Echevin, V., Colas, F., Tam, J., Ledesma, J., Vasquez, L., & Graco, M. (2017). Impacts of El Nino events on the Peruvian upwelling system productivity. *Journal Geophysical Research: Oceans*, 122.
doi:doi:10.1002/2016JC012439
- Fabres, J., Kurvits, T., Rivedal, R., Pravettoni, R., & Agardy, T. (2012). *State of the Mediterranean Marine and Coastal Environment*. (J. Fabres, Ed.) Barcelona: United Nations Environment Programme/Mediterranean Action Plan (UNEP/MAP).
doi:DOI: 10.13140 / RG.2.1.3013.2648
- Fajardo, S. (2013). *Towards Ecosystem-Based Management of the Humboldt Current Large Marine Ecosystem*. Lima: UNDP. Obtenido de <http://humboldt.iwlearn.org/es/informacion-y-publicacion/PERUTR3EcosystemHealthExtendedAbstractEnglish.pdf>
- Falcon, P., & Yalico, C. (2015). Impacto ambiental de los efluentes de la industria pesquera en las aguas de mar Bahía de Chancay. Huacho, Huaral, Lima. Obtenido de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/654>
- Ferrandis, A. (2016). A Proposito del Desarrollo Sostenible: Origen, Evolucion y Teorias Alternativas. *Terra*(2), 74-96. doi:10.7203/terra.2.8216
- Flores, R., Espino, M., Luque, G., & Quispe, J. (2013). Environmental variability patterns in the Peruvian waters. *Revista Peruana de Biología*, 20(1), 21-28.
- Galarza, E., & Kamiche, J. (2020). *Pesca Artesanal: oportunidades para el desarrollo regional*. Lima: Universidad del Pacifico. Obtenido de <https://www.up.edu.pe/fondoeditorial/SiteAssets/pesca%20artesanal.pdf>

- Galvez, S., & Ramos, R. (2020). *Remediación de las playas y puerto de Chancay por medio del uso de biogás a base de desechos sólidos*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima: Programa Academico de Ingenieria Industrial. Obtenido de <http://hadi.handle.net/10757/651579>
- Garcia Nolazco, V., Orosco Moreyra, R., & Perea de la Matta, M. (2019). Calidad del ambiente marino y costero en la region Ancash, 2018. *Boletin Instituto del Mar del Peru*, 34(2), 406-431. Obtenido de <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/123456789/3395>
- Garcia, V., Rubio, J., Sanchez, G., Sanchez, S., Orozco, R., Huerto, M., & Cervantes, C. (2015). Calidad del Ambiente Marino y Costero en la Region Ancash, 2012. *Instituto del Mar del Peru*, 42(4), 436-459.
- Giglioli, S., Colombo, L., Contestabile, P., Musco, L., Armiento, G., Somma, R., . . . Azzellino, A. (2020). Source Apportionment Assessment of Marine Sedi ment Contamination in a Post-Industrial Area (Bagnoli, Naples). *Water*, 12(2181), 1-20. doi: doi:10.3390/w12082181
- Gomez, D. (2016). *Calidad Ambiental de la Zona Litoral de Puerto Salaverry-La Libertad 2015*. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo: Facultad de Ciencias Biologicas.
- Gomez, M. (2016). *Diseño de Investigaciones*. Mexico, D.F: Universidad Autonoma del Estado de Mexico. Obtenido de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/69957/secme-2549_2.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Gonzales, C. (2011). *Monitoreo de la calidad del agua. 5. El pH*. Puerto Rico: Colegio de Ciencias Agricolas.

- Gonzales, C., Vallarino, A., Perez, J., & Low, A. (Edits.). (2014). *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental* (Primera edicion ed.). Mexico, D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- Gonzales, T., Vergara, L., Luque, F., Rodriguez, N., & Bonilla, M. (2016). Revision del concepto de ecosistema como "unidad de la naturaleza" 80 años despues de su formulacion. *ECOSISTEMAS*, 25(1), 83-89.
- Grandez, P. (2017). *El Ferrol, la Bahia que se resiste a morir*. Lima: Instituto Peruano de Proteccion Ambiental. Obtenido de <http://ipama.org.pe/2017/10/30/ferrol-la-bahia-se-resiste-morir/>
- Guevara, S. (2009). *Identificacion de Fuentes de Contaminacion en la Bahia El Ferrol*. Lima, Peru: Ministerio del Ambiente.
- Guillen, O., Carcamo, E., Arevalo, W., & Iglesias, S. (1998). Monitoreo e Impacto Ambiental de la Contaminacion de la Bahia Ferrol. *RIIGEO-FIGMMG-UNMSM*, 1(2), 1-13.
- Gutierrez, D., Akester, M., & Naranjo, L. (2016). Productivity and Sustainable Management of the Humboldt Current Large Marine Ecosystem under climate change. *Environmental Development*(17), 126-144. doi:DOI: 10.1016 / j.envdev.2015.11.004
- Gutierrez, M., Castillo, J., Naranjo, L., & Akester, M. (2017). Current state of goods, services and governance of the Humboldt Current Large Marine Ecosystem in the context of climate change. *Environmental Development*, 22(6), 175-190.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.envdev.2017.02.006>
- Hernandez Crespo, C., & Martin Moneris, M. (2023). *Guia didactica sobre diseño de humedales artificiales*. Valencia: edUPV. doi:10.4995/REA.2023.665301
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2014). *Metodologia de la investigacion*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.

- Hoong, W., & Chen, Y. (2020). Fisheries regulation: A review of the literature on input controls, the ecosystem, and enforcement in the Straits of Malacca of Malaysia. *Fisheries Research*, 230, 105682. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105682>
- Horna Bances, E. (2013). *Deterioro Ambiental de la Ciudad de Chimbote por Actividad Antropica*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <http://alicia.concytec.gob.pe>
- Huerto, M. (2019). *Volúmenes de desembarque de la flota industrial anchovetera y su influencia sobre la diversidad de especies que sustenta la pesca artesanal en la Bahía el Ferrol (Chimbote), Perú, entre el 2005 al 2015*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa. Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3464>
- Ibarcena, W. (2019). Estudio de la contaminación por metales pesados en las costas de Tacna - Peru. *Ciencia y Desarrollo*, 112-118.
- Inack-Mbai, G. (1999). *The effects of industrial waste water discharges on the coastal zone of Cameroon*. Malmö, Sweden: World Maritime University. Obtenido de https://commons.wmu.se/all_dissertations/1092
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2018). *Peru Anuario de Estadísticas Ambientales 2018*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- International Council for the Exploration of the SEA [ICES]. (2018). Icelandic Waters ecoregion – Ecosystem overview. *ICES Ecosystem Overviews Icelandic Waters Ecoregion*, 19. doi:<https://doi.org/10.17895/ices.pub.4669>
- Jaramillo, M., & Botero, L. (2010). Comunidades liquenicas como bioindicadores de calidad del aire. *Gestion y Ambiente*, 13(1), 97-110.
- Jave, J., Esenarro, D., Rodriguez, C., Espinel, V., Cabrera, C., & Lopez, J. (2020). Pollution of Coastal Waters by Effluents from the Fish Meal Industry in the Bay of Malabrigo-Trujillo, Peru. *Jornal of Critical Reviews*, 7(15), 6205-6211.

- Jimenez, J. (2017). *Determinación de los parámetros Físico - Químicos y Microbiológicos de aguas marinas en la zona costera de la Caleta Santa Rosa. Enero – Junio 2017.* Universidad de Lambayeque. Chiclayo: Facultad de Ciencias de Ingeniería.
- Kang, X., Meng, X., Pitula, J., & Chigbu, P. (5 de 4 de 2017). Dynamics of water and salt exchange at Maryland Coastal Bays. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 189, 1-16. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.03.002>
- Kienitz, A.-T. (2013). *Marine Debris in the Coastal Environment of Iceland's Nature Reserve, Hornstrandir - Sources, Consequences and Prevention Measures.* 135: University of Akureyri, Faculty of Business and Science. Obtenido de <https://skemman.is/bitstream/1946/15898/4/Anna-Theresa%20Kienitz%20%283%29.pdf>
- Krishnakumar, P., & Asokan, P. (2017). Environmental impacts of marine pollution- effects, challenges and approaches. *Mathrubhumi Year Book Plus 2017*, 730-738. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/312383577>
- Lardic, J.-C., Emery, E., SXC, S., Henry, M., & Océanologie, A. (2009). *Impact of large coastal Mediterranean cities on marine ecosystems.* (M. Angelidis, J.-F. Cadiou, S. Kholeif, & A. Rodriguez, Edits.) Alexandria. Obtenido de www.symposcience.org
- Loayza, R. (2022). Avances en la recuperación ambiental de la bahía El Ferrol (Chimbote, Perú): evaluación rápida. *Arnaldoa*, 29(2), 319-332. doi:<http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.292.29108>
- Loayza, R. (2022). Avances en la recuperación ambiental de la bahía El Ferrol (Chimbote, Perú): evaluación rápida. *Arnaldoa*, 29(2), 319-332. doi:<http://doi.org/10.22497/arnaldoa.292.29108>

Loayza-Aguilar¹, R. (2021). Evidencia de procesos erosivos en la bahía El Ferrol en Perú, para el periodo 1974-2020. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(1), 86-117.

doi:<http://dx.doi.org/10.15359/rca.55-1.5>

Lopez, R., & de la Puente, S. (2019). *Conservacion Marina y Pesquerias: Los retos por venir*. Lima: SPDA-KAS. Obtenido de www.kas.de/energie-klima-lateinamerika

Loughlin, C., Marques, A., Morrison, L., & Morley, A. (2021). The role of oceanographic processes and sedimentological settings on the deposition of microplastics in marine sediment: Icelandic waters. *Marine Pollution Bulletin*, 164, 111976.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111976>

Luna-Jorquera, G., Thiel, M., Portflitt, M., & Dewitte, B. (2019). Marine protected areas invaded by floating anthropogenic litter: An example from the South Pacific. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystem*, 29(S2), 245-259. doi:DOI:

10.1002/aqc.3095

Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy: FAO Fisheries and Aquaculture. Obtenido de (www.fao.org/publications)

Luybaert, T., Hagan, J., McCarthy, M., & Meenaksh, P. (2020). Status of Marine Biodiversity in the Anthropocene. doi:10,10007/978-3-030-20389-4_4

Mansilla, G. (2014). Potencial de Hidrogeniones-pH. *Revista de Actualización Clínica Investiga*, 40(40), 2076-2082.

Manterola, C., Quiroz, G., Salazar, P., & Garcia, N. (2019). Metodología de los tipos y diseños de estudio más frecuentemente utilizados en investigación clínica. *Revista Medica Clinica Las Condes*, 30(1), 36-49.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2018.11.005>

- Martinez, C., Rockel, S., & Vieux, C. (2017). *European Union Overseas Coastal and Marine Protected Areas*. IUCN. doi:10.2305/IUCN.CH.2017.13.en
- Mateo-Sagasta, J., Marjani, S., & Turrall, H. (2017). *Water pollution from agriculture: a global review*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido de www.fao.org/contact-us/licence-request
- McKlinley, E., Aller-Rojas, O., Hattam, C., Germond-Duret, C., Vicuña, I., Hopkins, C., . . . Potts, T. (2019). Charting the course for a blue economy in Peru: a research agenda. *Environ Dev Sustain*, 21, 2253-2275. doi:<https://doi.org/10.1007/s10668-018-0133-z>
- Mena, J., Rodriguez, L., Nuñez, J., & Villaseñor, J. (2008). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos*. Alquimia Soluciones Ambientales. Madrid, España: 9° Congreso Nacional del Medio Ambiente. Obtenido de http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2643_JMena.pdf
- Ministerio de la Producción [PRODUCE]. (1992). Ley General de Pesca. *Decreto Ley 25977*. Lima, Peru: El Peruano-Normas Legales.
- Ministerio de la Producción [PRODUCE]. (2001). Reglamento de la Ley General de Pesca. *Decreto Supremo 012-2001-PE*. Lima: El Peruano.
- Ministerio de la Producción [PRODUCE]. (2007). Plan Ambiental Complementario Pesquero (PACPE) en la Bahía El Ferrol. *Normas Legales*. Lima.
- Ministerio de la Producción [PRODUCE]. (2017). Contenidos Mínimos para Elaborar el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental - PAMA para los Desembarcaderos Pesqueros Artesanales. *Resolución Directoral N° 0038-2017-PRODUCE/DGAAMPA*, 22. (E. P.-N. Legales, Ed.) Lima.
- Ministerio de Salud [MINSA]-DIRESA-ANCASH. (2008). *Informe de Monitoreo Bahía de Ferrol*. Chimbote: DIGESA. Programa Nacional de Recursos Hídricos.

- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2001). *Ley del Sistema Nacional de Evaluacion de Impacto Ambiental*. Ley N° 27446, Ministerio del Medio Ambiente, Lima. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/Ley-y-reglamento-del-DEIA1.pdf>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2009). Reglamento de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluacion de Impacto Ambiental. *Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM*. Lima, Peru: Normas Legales, El Peruano.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2012). *Plan de Recuperacion Ambiental de la Bahía El Ferrol (Chimbote, Peru)*. Lima: MINAM.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). Lineamientos para el Manejo Integrado de las Zonas Marino Costeras. *Normas Legales*, 14. Lima: El Peruano.
- Molina-Castro, R., Gómez-Ronquillo, W., & Cruz-Lozado, J. (2021). Contaminación marina por desechos plásticos en países del perfil costero del Pacífico Sur 2016-2021. *Polo del Conocimiento*, 6(5), 458-478. doi:10.23857/pc.v6i5.2671
- Molina-Castro, R., Gomez-Ronquillo, W., & De la Cruz-Lozado, J. (2021). Contaminación marina por desechos plásticos en países del perfil costero del Pacífico Sur, 2016-2021. *Polo dek Conocimiento*, 6(5), 458-478. doi:DOI: 10.23857/pc.v6i5.2671
- Moora, H., & Pirsalu, E. (2016). *Sources and Pathways of marine litter. Background report*. Project: BLASTIC - Plastic waste pathways into the Baltic Sea , Stockholm Environment Institute Tallinn Centre (SEI Tallinn). Obtenido de https://www.blastic.eu/wp-content/uploads/2018/11/sources-and-pathways-of-marine-litter_background-report-2.pdf
- Municipalidad Provincial del Santa [MPS]. (2012). *Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia del Santa 2012-2021*. Santa: Municipalidad Provincial del Santa.

- Muñoz, N., & Le Bail, M. (2017). Latin American and Caribbean regional perspective on Ecosystem Based Management (EBM) of Large Marine Ecosystems goods and services. *Environmental Development*, 22(6), 9-17.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.envdev.2017.01.006>
- Naciones Unidas [NU] - CEPAL. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago: Naciones Unidas. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>.
- Navarro, M. (2011). *Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días, Incubación y Electrometría*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Santa Fe de Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Nemerow, N. (2016). *Aguas residuales industriales: Teorías, aplicaciones y tratamiento*. Madrid: H. Blume Ediciones.
- Niguta, C. (2021). Marine Pollution and Research in the Coastal Lagoons of Kenya. *AquaDocs*, 8. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1834/7152>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2014). *Fiscalización Ambiental en aguas residuales* (Primera edición ed.). Lima, Perú: OEFA. Obtenido de www.oefa.gob.pe
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2017). *Evaluación ambiental de la balsa El Ferrol*. Informe N° 004-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAPIO, Lima.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OECD]. (2019). *Responsible Business Conduct Country Fact Sheet - Peru*. Paris: European Union - OECD. Obtenido de <https://mneguidelines.oecd.org/RBC-LAC-country-fact-sheet-Peru.pdf>

- Pacheco, R., & Ramos, F. (2014). *Propuesta de Implementacion de un Sistema de Gestion Ambiental, Basado en la Norma ISO 14001:2004, en la Empresa Pesquera Apolo SAC. Chimbote*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Parmar, T., Rawtani, D., & Agrawal, Y. (2016). Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. *Frontiers in Life Science*, 9(2), 110-118.
doi:10.1080/21553769.2016.1162753
- Paul, D. (2021). Protecting the Marine Environment From Land-based Activities. *International Institute for Sustainable Development*(BRIEF 9), 9. Obtenido de <https://www.iisd.org/system/files/2021-01/still-one-earth-GPA.pdf>
- Pedrerros-Guarda, ., M., & Figueroa, D. (2021). Flujo en un canal interbahías para la renovación de las aguas en Bahía San Vicente (Chile). *Obras y Proyectos*(30), 6-15.
doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132021000200006
- Peña, C., & Lara, J. (2012). Tratamientos de Agua de Escorrentía Mediante Humedales Artificiales: Estado del Arte. *Ciencia e Ingenieria Neogranadina*, 22(2), 39-61.
Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91126903003>
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluacion del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestion y Politica Publica*, XXII(2), 283-312.
- Philomina, P., Rashid, A., Hou, L., Nkinahamira, F., Kiki, C., Sun, Q., . . . Hu, A. (2020). Elemental Contaminants in Surface Sediments from Jiulong River Estuary, China: Pollution Level and Ecotoxicological Risk Assessment. *Water*, 12(1640), 12061640.
doi:doi:10.3390/w12061640
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2000). *Perspectivas del Medio Ambiente*. Mexico DF: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

- Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista peruana de biología*, 24(1), 101-106.
doi:<http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>
- Quevedo, A. (2021). Artificial Wetland Design and Construction for Wastewater Recovery in the Town of Alcala. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 19(24), 133-148.
- Ramkumar, M., Menier, D., & Kumaraswamy, K. (2019). *Coastal Zone Management During Changing Climate and Rising Sea Level: Transcendence of Institutional, Geographic, and Subject Field Barriers Is the Key*. Elsevier Inc. Obtenido de <https://elsevier.com/books-and-journals>
- Romero, B. (2015). *Estudio y Dimensionado Experimental de Humedales Artificiales para la Mejora de la Calidad de las Aguas de Cursos Fluviales Eutrofizados*. Universidad Miguel Hernandez de Elche. Obtenido de <http://dspace.umh.es/handle/11000/2712>
- Ruberto, M. I. (2003). Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. *Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Sciencia-20 [G20]. (2019). Threats to Coastal and Marine Ecosystems, and Conservation of the Ocean Environment – with Special Attention to Climate Change and Marine Plastic Waste. *G20 2019 JAPAN*, 1-5.
- Segura, I. (2017). *Cinética de decaimiento de coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Mexico: Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12013/1606>
- Seoanez, M. (1997). *Ingeniería medioambiental aplicada - casos prácticos*. Madrid: Ediciones Mundi prensa.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas [SERNANP]. (2016). *Áreas Naturales Protegidas del Perú (2011 - 2015). Conservación para el desarrollo sostenible*

- (Primera ed.). Ministerio del Ambiente - Servicio Nacional de Areas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP). Obtenido de www.minam.gob.pe
- Servicio Nacional de Certificación Ambiental [SENACE]. (2015). Ley de creación del SENACE. *Ley 29968*. Lima: El Peruano.
- Shepherd, G. (2006). *El Enfoque Ecosistémico. Cinco Pasos para su Implementación*. IUCN Commission on Ecosystem Management. Obtenido de <https://www.iucn.org/es/content/el-enfoque-ecosistemico-cinco-pasos-para-su-implementation>
- Shepherd, G. (2006). *El Enfoque Ecosistémico: Cinco Pasos para su Implementación*. Cambridge, Reino Unido: UICN. Obtenido de <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/CEM-003-Es.pdf>
- Silva, B. (2019). *Propuesta de mejora en la gestión ambiental de residuos sólidos no municipales para incrementar la producción de harina y aceite de pescado en la bahía el Ferrol – Chimbote 2018*. Trujillo, Peru: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21587/Silva%20Pacheco%20Batriz>
- Sociedad Peruana de Derecho Ambiental [SPDA]. (2021). *Informe técnico-legal sobre la problemática ambiental de la bahía de Pucusana, Lima*. Lima: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. Obtenido de www.spda.org.pe
- Soto, E., Botero, C., Milanes, C., Rodríguez-Santiago, A., Palacios-Moreno, M., Díaz-Ferguson, E., . . . Souza, J. (2021). How does the beach ecosystem change without tourist during COVID-19 lockdown? *Biological Conservation*, 108972. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.108972>

- Sufen, Y., Zhang, L., & Feng, H. (2020). Ecosystem intrinsic value and its evaluation. *Ecological Modelling*, 430, 109131. doi:10.1016/j.ecolmodel.2020.109131
- Tresierra, A., Garcia, V., Huerto, M., Berru, P., Reyes, D., & Cervantes, C. (2007). Bahía El Ferrol, Chimbote, Perú: Una visión integral de sus recursos vivos y su ambiente. 2001-2005. *Instituto del Mar del Perú. Informe*, 34(1).
- United State Agency for International Development [USAID]. (2020). Case Study: Marine Plastic Debris and Solid Waste Management in Peru. Obtenido de https://urban-links.org/wp-content/uploads/Peru.Marine.Plastics.CS_.10.24-1.pdf
- Valavanidis, A. (2018). Environmental Pollution of Marine and Coastal Areas in Greece. Review on marine pollution, monitoring and quality of seawater. *ResearchGate*, 1-30. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/322896269>
- Varas, L. (2016). *Impacto de la emisión de efluentes líquidos de la industria pesquera en el mar de puerto malabrigo, distrito de Rázuri, Ascope - 2015*. Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/1808>
- Verde, H., Reyes, C., Ponte, S., & Zavaleta, D. (2013). Impacto de los efluentes de la industria pesquera en la calidad de las aguas costeras de Supe Puerto Barranca- Perú 2010. *Revista Aporte Santiaguino*, 6(2), 120-128.
- Vikas, M., & Dwarakish, G. (2015). Coastal Pollution: A Review. *Aquatic Procedia*(4), 381-388. doi:doi: 10.1016/j.aqpro.2015.02.051
- Wilson, J., Shawn, H., Coston-Guarini, J., Maze, C., Guarini, J.-M., & Chauvaud, L. (2017). System-Based Assessments—Improving the Confidence in the EIA Process. *Environments*, 4(95), 1-19. doi:doi:10.3390/environments4040095
- Zambrano, J. (2020). *Impacto ambiental de la pesca artesanal en la playa de Puerto López, provincia de Manabí*. Universidad Estatal del Sur de Manabí . Manabí - Ecuador: Facultad de Ciencias Naturales y de Agricultura. Obtenido de

<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2390/1/TESIS%20JOSE%20ANDR%C3%89S%20ZAMBRANO.pdf>

Zapata, A. (2014). *Humedales Artificiales: Una Propuesta para la Mitigacion de la Contaminacion Hidrica de la Quebrada La Nutria, de los Cerros Orientales de Bogota D.C.* Manizales, Colombia: Universidad de Manizales.

VIII. ANEXOS

ANEXO A

HUMEDALES ARTIFICIALES

El Humedal Artificial se le considera como una tecnología de tratamiento verde, que contienen plantas emergentes como espadañas, carrizos, juncos y enneas que aprovechan las interacciones con los microorganismos y la atmósfera para remover la materia orgánica (Castañeda, 2017).

Se clasifican en dos tipos de humedales artificiales según se diferencien por la forma de circulación de las aguas (otra clasificación es según las características del material vegetal predominante en los lechos) (Cifuentes, y otros, 2021):

- a) Humedales artificiales de flujo superficial, Free Water Surface-FWS. Son superficies libres de agua, con flujo de circulación del agua en lámina libre sobre un lecho en el que enraízan los vegetales del humedal, para lo cual emplean plantas flotantes (jacinto de agua, por ejemplo) o halófitas en flotación (Hernández Crespo & Martin Monerris, 2023). Son de bajo coste de instalación y de hidráulica sencilla (Bayas, 2018; Arce, 2018).
- b) Humedales superficiales de flujo subsuperficial Bed-VSB. En estos humedales artificiales el lecho vegetal se encuentra sumergido, así como su flujo por un medio granular, tienen un tratamiento más eficaz, de hidráulica más complicada y requieren menos espacios (Bayas, 2018; Arce, 2018). Su éxito como sistema de tratamiento depende de los procesos que intervienen en la dinámica para remover los contaminantes (Asprilla, Ramirez, & Rodriguez, 2020). En este tipo de humedales artificiales existe menor riesgo de proliferación de mosquitos, olores y soportan mayores cargas orgánicas (Hernández Crespo & Martin Monerris, 2023).

Existen tres tipologías de estos humedales artificiales: horizontal, vertical y el denominado sistema francés que emplea humedales verticales (Hernández Crespo & Martin Monerri, 2023).

En los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, el agua discurre en dirección horizontal y se encuentran permanentemente saturadas de agua, lo cual permite que se alcancen condiciones anóxicas en el agua (Hernández Crespo & Martin Monerri, 2023).

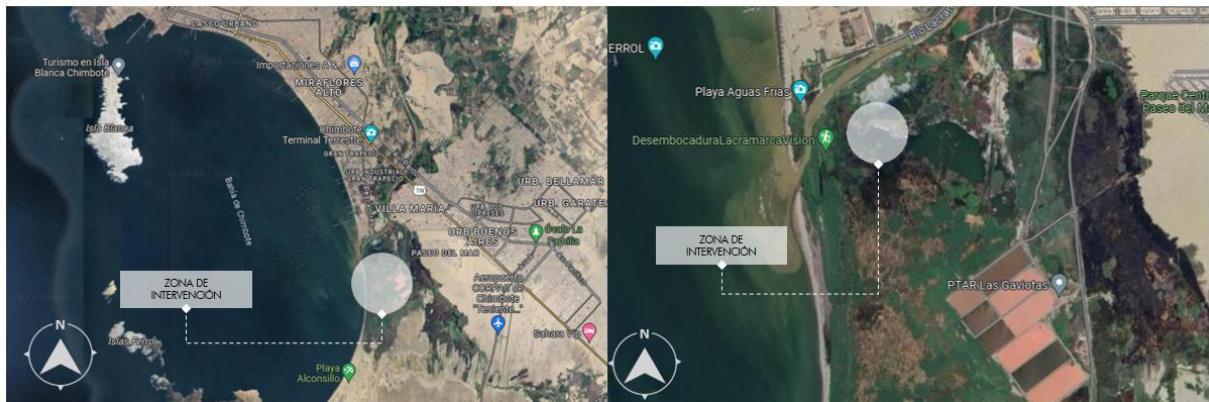
Para el caso de los humedales artificiales vertical, estos funcionan con unas condiciones aerobias, ya que no se encuentran saturados de agua de manera permanente, tratan el agua de forma intermitente mediante pulsos o lotes, el cual discurre en dirección vertical atravesando todo el lecho y saliendo por el fondo del humedal (Hernández Crespo & Martin Monerri, 2023).

Los humedales artificiales de flujo vertical con sistema francés comprenden dos etapas. La primera etapa consta de tres celdas que funcionan de forma alternada o secuencial. Cada celda funciona de manera intermitente mediante pulsos o lotes. La segunda etapa consta de dos celdas que también funcionan de forma alternada (Hernández Crespo & Martin Monerri, 2023).

Aplicación de un tipo de Humedal Artificial en la Bahía El Ferrol

a. Ubicación

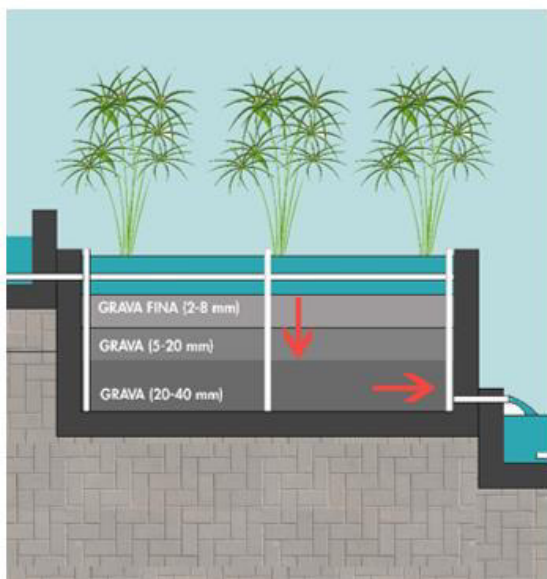
El área de estudio se ubica en los distritos de Chimbote y Nuevo Chimbote, entre los 09°07'8" a latitud sur y los 78°35'27" a longitud oeste del meridiano de Greenwich. Está entre el cerro de la Juventud o cerro Chimbote y la península del Ferrol, cerrada en el norte por la Isla Blanca y al sur por la Isla Ferrol (Figura A-1 y A-2).

Figura A-1*Área de Intervención***Figura A-2***Perfil urbano del área de Intervención**b. Diseño del sustrato.*

El sustrato del humedal son los medios filtrantes colocados en su lecho para servir de soporte a las plantas y el desarrollo del ecosistema (Quevedo, 2021). Está compuesto de 3 capas de grava desde 2 mm hasta 40 mm. La distribución se realizó acorde con la estructura mostrada en la siguiente figura A-3.

Figura A-3

Pasos para el diseño del humedal artificial (HA)



Nota. Segura (2017)

Tabla A-1

Sustrato de humedal artificial

Capa	Medio	Diámetro	Tamaño
1	Grava fina	2 mm	30 cm
2	Grava media	16 mm	10 cm
3	Grava media	32 mm	10 m

Nota. Romero, (2015).

c. Distribución de plantas

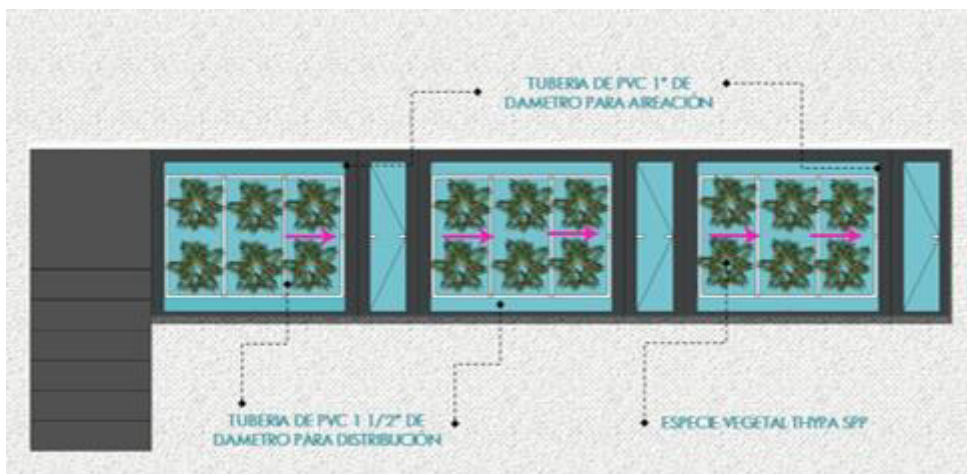
Las especies que se colocaran se distribuyen de forma simétrica para lograr una mejor interacción con el proceso del humedal. Asimismo, no se dispuso ninguna muestra adyacente a los extremos, asegurando siempre un espacio de 0.075 m en ambos lados, y de 0.15 m en las partes superior e inferior (Ver figura A-4). Este enfoque se ha adoptado para mantener la simetría en la disposición.

d. Diseño de la estructura

Se presenta una representación en planta del humedal artificial, indicando dimensiones en metros con una longitud de 1.5 m y un ancho de 0.75 m. Se sugiere dirigirse a los cortes transversales que se detallan a continuación.

Figura A-4

*Distribución de las especies vegetales *Thypha SPP* humedal artificial*



Nota. Romero (2015)

e. Sistema de tratamiento de aguas residuales

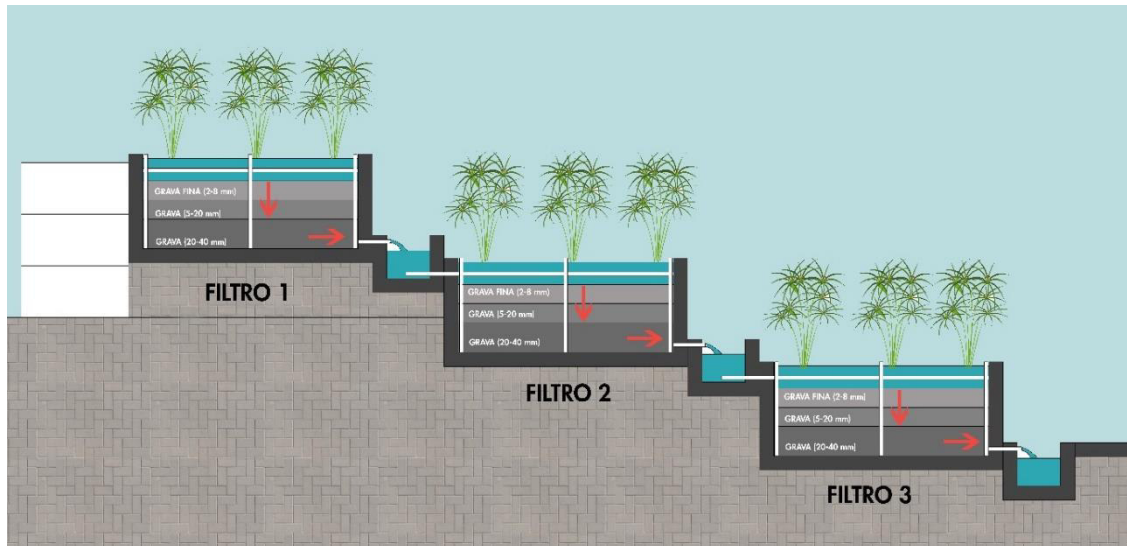
Se propone inicialmente un canal subterráneo que se origina en el río Lacramarca y se dirige hacia la ubicación del proyecto. El agua del canal atraviesa lagunas de oxidación, responsables de eliminar residuos, aceites, arenas y varios sólidos sedimentables, así como compuestos como nitratos, amoníaco y fosfatos, entre otros, como se indica en la figura A-5.

En el Filtro 1, se filtra el 35% del agua, seguido por el Filtro 2, donde el canal atraviesa humedales artificiales compuestos por un lecho de grava y arena sobre una superficie impermeable (arcilla) con plantas acuáticas macro fíticas, logrando filtrar el 80% del agua. En el Filtro 3, se somete a un proceso de filtración más extenso, con la disposición final para su uso en el riego de las especies preservadas, contribuyendo a la reducción del

impacto contaminante en el río Lacramarca. La ejecución de este sistema de tratamiento de aguas residuales disminuirá significativa la contaminación.

Figura A-5

Corte De los filtros de humedales artificiales

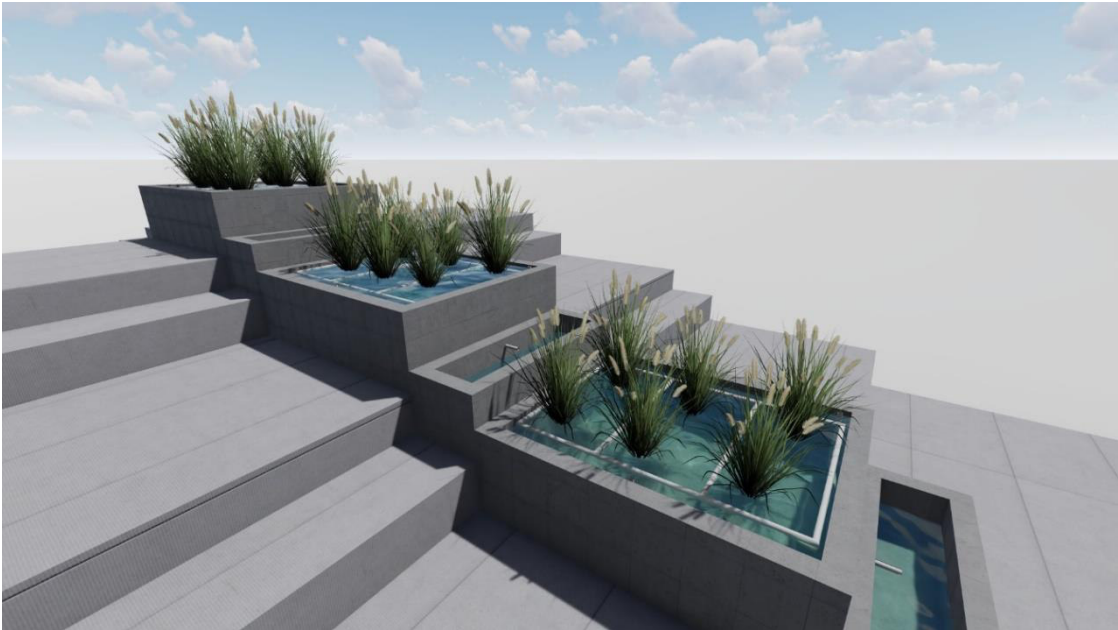


Nota. La Figura A-5 presenta los filtros según nivel de filtración.

Dentro del ámbito de los espacios públicos, los humedales juegan un papel crucial, especialmente considerando que los humedales artificiales ofrecen muchos beneficios tanto al entorno ambiental como a la comunidad. Estos sistemas ecológicos diseñados de manera consciente, que abarcan desde la purificación del agua y el control de inundaciones hasta la creación de hábitats y ecosistemas, proporcionan una variedad de servicios ecosistémicos y, al mismo tiempo, ofrecen oportunidades recreativas y educativas. La incorporación de humedales artificiales en contextos urbanos y rurales puede contribuir de manera significativa al desarrollo sostenible y al bienestar general de los seres humanos y de la naturaleza (Figuras A-6, A-7, A-8, A-9).

Figura A-6

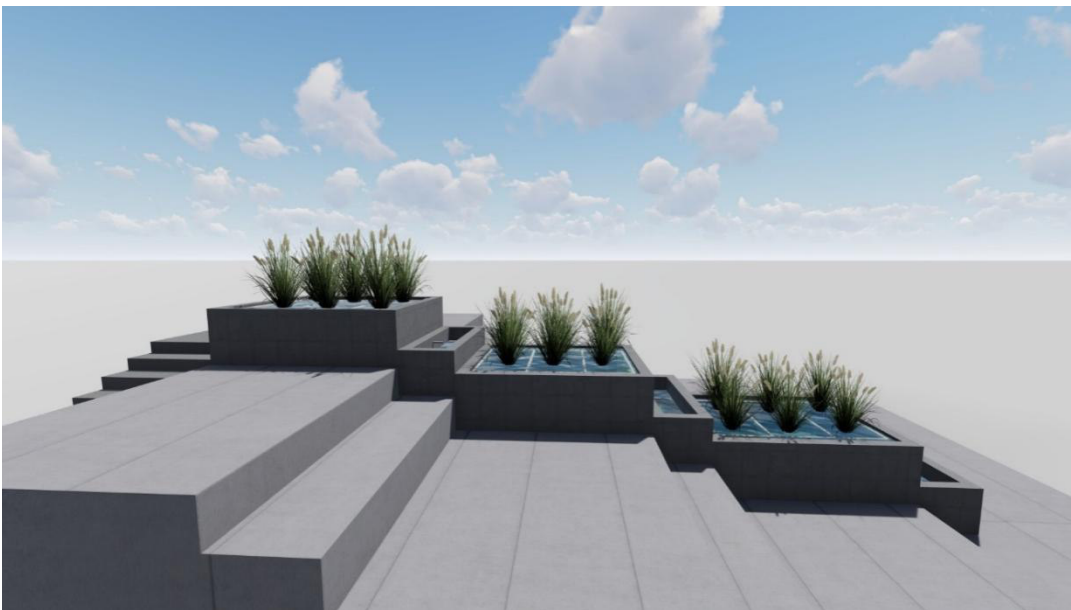
Vistas isométricas del humedal artificial



Nota. La Figura A-6 muestra las vistas isométricas del humedal artificial con vista de perfil derecho

Figura A-7

Vistas isométricas del humedal artificial



Nota. La Figura A-7 presenta las vistas isométricas del humedal artificial con vista de perfil izquierdo

Figura A-8

Vistas isométricas del humedal artificial



Nota. La Figura A-8 presenta las vistas isométricas del humedal artificial con vista de perfil izquierdo.

Figura A-9

Vistas isométricas del humedal artificial



Nota. La Figura A-9 presenta las vistas isométricas del humedal artificial con vista de perfil izquierdo.