



Dinámica estacional y concentración intraanual de la carga hidráulica en el emisario submarino industrial pesquero APROFERROL S.A., bahía El Ferrol, Perú (2015–2024)

Seasonal Dynamics and Intra-Annual Concentration of Hydraulic Load in the APROFERROL S.A. Industrial Fishing Submarine Outfall, El Ferrol Bay, Peru (2015–2024)

Elmer Saul Almendras-Paredes ^{1*}, José Mostacero- León ²

¹ Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú

² Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú

Elmer Saul Almendras-Paredes



<https://orcid.org/0009-0000-8399-7368>

José Mostacero- León



<https://orcid.org/0000-0003-2556-3013>

Artículo Original

Recibido: 20 de julio de 2025

Aceptado: 25 de noviembre de 2025

Resumen

La bahía El Ferrol (Chimbote, Perú) ha soportado presiones históricas por la actividad pesquera-industrial y el crecimiento urbano. Para reducir la descarga directa, desde 2015 opera el emisario submarino industrial pesquero de APROFERROL S.A. Este estudio analizó la estacionalidad de la carga hidráulica en 2015–2024 usando registros mensuales y anuales de recepción y evacuación (m³). Se estimaron indicadores de concentración intraanual (mes pico y tres meses de mayor aporte), variabilidad interanual y consistencia del cierre volumétrico. La recepción anual alcanzó su máximo en 2024 (4,972,976.35 m³) y evidenció intensificación desde 2018. En ocho de diez años, los tres meses de mayor recepción superaron 50% del total anual, con recurrencia de mayo, noviembre y diciembre; 2024 concentró 62.04%. Aun con picos marcados, la evacuación acompañó la recepción con cierres cercanos a 100%, evidenciando operación estable ante demanda fluctuante. Estos patrones aportan criterios operativos para priorizar monitoreo y control en meses críticos.

Palabras clave: estacionalidad; concentración intraanual; carga hidráulica; emisario submarino; bahía El Ferrol.

Abstract

El Ferrol Bay (Chimbote, Peru) has experienced longstanding pressures from fishing-industrial activities and urban expansion. To reduce direct discharges into the semi-enclosed bay, the APROFERROL S.A. industrial fishing submarine outfall has been operating since 2015. This study analyzed the seasonality of hydraulic load during 2015–2024 using consolidated monthly and annual reception and discharge records (m³). Indicators of intra-annual concentration (peak month and top three contributing months), interannual variability, and volumetric closure consistency were estimated. Annual reception reached its maximum in 2024 (4,972,976.35 m³) and showed intensification since 2018. In eight of ten years, the three highest-reception months accounted for more than 50% of the annual total, with recurrent peaks in May, November, and December; in 2024, concentration reached 62.04%. Despite marked seasonal peaks, discharge closely tracked reception, maintaining near-100% volumetric closure and demonstrating stable operation under fluctuating demand. These patterns provide operational criteria for prioritizing monitoring and control during critical months.

Keywords: seasonality; intra-annual concentration; hydraulic load; submarine outfall; El Ferrol Bay.

*Autor para correspondencia: E. mail: elmeralmendras@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2025.45.02.03>

Citar como:

Almendras-Paredes, E., & Mostacero-León, J. (2025). Dinámica estacional y concentración intraanual de la carga hidráulica en el emisario submarino industrial pesquero APROFERROL S.A., bahía El Ferrol, Perú (2015–2024). *REBIOL*, 45(2), 15-19.



1. Introducción

El litoral peruano concentra actividades industriales, pesqueras, portuarias y urbanas que sostienen el desarrollo económico, pero también acumula presiones ambientales que afectan la calidad del agua y la provisión de servicios ecosistémicos, en un contexto donde la contaminación y los riesgos ambientales se conectan con bienestar humano y salud pública (Gonzales et al., 2014; MINAM, 2021; Dunin- Borkowski, 2024).

En bahías semicerradas, estas presiones tienden a intensificarse por limitaciones de renovación y por herencias de alteración física del borde costero. En El Ferrol, la evidencia histórica describe degradación fisicoquímica, acumulación orgánica, hipoxia/anoxia localizada y erosión influida por obras e intervenciones litorales, con impactos socioambientales persistentes (Loayza, 1998, 2002a, 2021; Ganoza et al., 2020; Guerrero-Padilla et al., 2013; Loayza Aguilar, 2022).

Frente a este escenario, el Estado formalizó la recuperación de la bahía mediante un instrumento específico y lo articuló con la política ambiental vigente, reconociendo que la recuperación es gradual y depende del control de presiones activas y pasivos históricos (MINAM, 2011, 2012, 2021; Loayza Aguilar, 2022; Álvarez et al., 2021).

Dentro de las medidas, el emisario submarino industrial pesquero de APROFERROL S.A. (operativo desde 2015) reorienta el vertimiento de efluentes industriales tratados hacia un punto externo al cuerpo semicerrado. Sin embargo, la contribución técnica de esta infraestructura requiere evidencia operativa verificable, particularmente bajo demanda fluctuante, típica del sector pesquero-industrial (García Nolasco & Cárdenas Toribio, 2025; Sánchez et al., 2008; Tresierra et al., 2007). Bajo estos fundamentos, el objetivo de este artículo fue caracterizar la estacionalidad y la concentración intraanual de los volúmenes recepcionados y evacuados por el emisario submarino de APROFERROL S.A. en 2015–2024, e interpretar su implicancia operativa para el seguimiento de medidas de control en la bahía El Ferrol.

2. Materiales y Métodos

Diseño del estudio

Se desarrolló una investigación con enfoque cuantitativo, de tipo no experimental y alcance descriptivo longitudinal retrospectivo. El diseño longitudinal permitió analizar la dinámica operativa del emisario submarino industrial pesquero de APROFERROL S.A. a lo largo de diez años consecutivos (2015–2024), capturando variaciones

interanuales y patrones estacionales en la gestión de la carga hidráulica.

El carácter no experimental responde a que las variables no fueron manipuladas deliberadamente, sino observadas tal como se registraron en los reportes operativos oficiales, lo que garantiza trazabilidad y fidelidad de los datos analizados.

Población, unidad de análisis y alcance

La población estuvo constituida por la totalidad de los registros operativos de recepción y evacuación (vertimiento) de aguas residuales industriales tratadas correspondientes al periodo 2015–2024.

La unidad de análisis fue el registro mensual consolidado de volumen (m^3), tanto para recepción como para evacuación. Dado que se trabajó con el universo completo de registros disponibles, el estudio tuvo carácter censal y no requirió procedimientos de muestreo probabilístico ni inferencial.

Fuente de datos y control de calidad

Los datos provinieron de reportes operativos oficiales proporcionados por APROFERROL S.A., que incluyeron volúmenes mensuales consolidados y totales anuales de recepción y evacuación.

La información fue organizada cronológicamente y sometida a verificación de coherencia interna, contrastando la suma de valores mensuales con los totales anuales reportados. Este procedimiento permitió identificar posibles inconsistencias y asegurar la integridad del consolidado interanual.

Para el año 2015, el análisis se restringió al periodo junio–diciembre debido a la ausencia de registros para enero–mayo. Esta limitación fue explicitada en la presentación e interpretación de resultados para evitar sesgos comparativos.

Variables e indicadores analíticos

El análisis se centró en la dinámica volumétrica y la concentración intraanual de la carga hidráulica, empleando los siguientes indicadores derivados directamente de los registros operativos:

Participación del mes pico (%): proporción del volumen anual concentrado en el mes de mayor recepción, utilizada como indicador de intensidad estacional máxima.

Concentración Top-3 (%): porcentaje acumulado del volumen anual correspondiente a los tres meses de mayor recepción, empleado para evaluar concentración intraanual de la carga hidráulica.

Relación evacuación/recepción (%): medida de correspondencia operativa que permite estimar el grado de cierre volumétrico anual.

Balance anual (m³ y %): diferencia entre recepción y evacuación, utilizada como indicador de consistencia hidráulica del sistema.

Estos indicadores permiten evaluar tanto la intensidad de los picos estacionales como la estabilidad funcional del sistema frente a escenarios de alta exigencia operativa.

Procedimiento de análisis

Se aplicó estadística descriptiva basada en totales, proporciones relativas y diferencias absolutas. Asimismo, se realizó una lectura estructurada de la serie temporal para identificar:

- Recurrencia mensual de picos operativos
- Cambios en la magnitud de la concentración intraanual
- Tendencias de intensificación interanual
- Escenarios de mayor exigencia hidráulica

El análisis se mantuvo estrictamente dentro del marco documental-operativo. No se incorporaron variables fisicoquímicas, biológicas ni métricas ambientales externas, dado que el objetivo fue evaluar exclusivamente la dinámica volumétrica y la estabilidad hidráulica del sistema desde una perspectiva operativa.

3. Resultados

Intensificación interanual y cierre volumétrico

La operación anual evidenció amplitud interanual: desde 419,908 m³ en 2015 (junio–diciembre) hasta 4,972,976.35 m³ en 2024. En la mayoría de años, la evacuación acompañó estrechamente a la recepción, con balances relativos bajos y relaciones evacuación/recepción cercanas a 100% (Tabla 1). El comportamiento atípico se registró en 2019, con una menor razón evacuación/recepción y el mayor balance positivo relativo.

Tabla 1

Resumen anual de recepción, evacuación y balance operativo del emisario submarino APROFERROL S.A. (2015–2024)

Año	Recepción anual (m³)	Evacuación anual (m³)	Balance (Recep. – Evac.) (m³)	Evacuación/Recepción (%)	Balance sobre recepción (%)
2015*	419,908	419,905	3	100	0

2016	1,979,394	1,980,457	–1,063	100.05	–0.05
2017	1,952,480	1,944,085	8,395	99.57	0.43
2018	3,380,666.70	3,378,911	1,755.70	99.95	0.05
2019	2,737,517.00	2,634,471	103,046.00	96.24	3.76
2020	3,470,780.62	3,475,121.00	–4,340.38	100.13	–0.13
2021	3,999,020	4,003,263	–4,243	100.11	–0.11
2022	4,109,896.50	4,107,949	1,947.50	99.95	0.05
2023	2,786,819.50	2,786,566.00	253.5	99.99	0.01
2024	4,972,976.35	4,971,503.00	1,473.35	99.97	0.03

Nota. *2015 corresponde a junio–diciembre.

Concentración intraanual (Top-3) y recurrencia de meses críticos

En ocho de los diez años evaluados, los tres meses de mayor recepción concentraron más de 50% del volumen anual (Tabla 2). La recurrencia de mayo, noviembre y diciembre fue frecuente, aunque con variaciones (p. ej., 2016 incorporó junio; 2017 incorporó enero/junio; 2023 incorporó agosto/octubre).

Tabla 2

Concentración del volumen anual en los tres meses de mayor recepción (Top-3)

Año	Meses predominantes	Concentración Top-3 (%)
2015*	Dic, Nov, Oct	95.48
2016	Dic, Nov, Jun	65
2017	May, Ene, Jun	63.3
2018	May, Dic, Nov	53.41
2019	Nov, May, Jul	53.76
2020	Dic, Jun, May	54.81
2021	May, Nov, Dic	52.43
2022	Dic, Jun, May	59.53
2023	Nov, Ago, Oct	51.6
2024	Nov, May, Dic	62.04

Nota. *2015 corresponde a junio–diciembre.

Mes pico y magnitud del pico anual

El mes de mayor recepción mostró alternancia entre mayo y noviembre/diciembre (Tabla 3). La magnitud del pico mensual osciló desde ~20% (2021) hasta ~48% en 2015 (periodo parcial), lo que evidencia escenarios de demanda altamente concentrada.

Tabla 3

Mes pico de recepción y participación del pico anual (2015–2024)

Año	Mes pico	Participación del mes pico (%)
2015*	Diciembre	47.9
2016	Diciembre	34
2017	Mayo	31.9
2018	Mayo	19.95
2019	Noviembre	26.08
2020	Diciembre	22.36
2021	Mayo	20
2022	Diciembre	25.42
2023	Noviembre	26.7
2024	Noviembre	21.38

4. Discusión

Los resultados confirman que la operación del emisario no se distribuye homogéneamente dentro del año, sino que se estructura en pulsos de alta demanda (Tablas 2–3). En una bahía semicerrada con antecedentes de acumulación orgánica, hipoxia y pasivos sedimentarios, la identificación de meses críticos es relevante porque permite focalizar el seguimiento operativo en periodos donde el riesgo de presión por carga hidráulica y orgánica puede ser mayor, incluso si el vertimiento industrial tratado se realiza fuera del cuerpo interno (Loayza, 1998, 2002a; Ganoza et al., 2020; Loayza Aguilar, 2022; García Nolasco & Cárdenas Toribio, 2025).

La concentración Top-3 superior al 50% en la mayoría de años (Tabla 2) es consistente con una demanda asociada a la dinámica productiva pesquera-industrial, descrita como una fuente históricamente significativa de presión sobre el litoral cuando no existe control adecuado de efluentes (Sánchez et al., 2008; Tresierra et al., 2007). En ese sentido, más que una “anomalía”, la concentración intraanual representa el patrón operativo esperable en un sistema vinculado a actividad estacional, y su cuantificación aporta un indicador de gestión para calendarizar control, fiscalización y aseguramiento de continuidad operativa (MINAM, 2011, 2012; Álvarez et al., 2021).

A pesar de la marcada estacionalidad, la evidencia de cierres volumétricos próximos a 100% en casi todos los años (Tabla 1) sugiere capacidad del sistema para acompañar el pulso de recepción con una evacuación equivalente, incluso en años de alta exigencia (2022 y 2024). Esta estabilidad operativa es pertinente para la implementación de instrumentos de recuperación, que

requieren trazabilidad de cargas y consistencia en la operación de infraestructura de control, especialmente cuando coexisten presiones adicionales como descargas domésticas y actividades portuarias (MINAM, 2011, 2012; Loayza Aguilar, 2022; Vega, 2024).

El caso de 2019 (Tabla 1) destaca por su mayor diferencia anual, lo que puede interpretarse como desfase operativo acumulado o almacenamiento transitorio, sin que ello se replique como patrón persistente en los años siguientes. Este tipo de comportamiento, más que invalidar la funcionalidad del sistema, refuerza la necesidad de mantener monitoreo operativo continuo en años y meses de máxima carga, alineado con la idea de que la recuperación ambiental es un proceso de largo plazo y de múltiples presiones, donde la infraestructura es condición necesaria pero no suficiente (Loayza, 2021; Loayza Aguilar, 2022; MINAM, 2021; Dunin-Borkowski, 2024).

En conjunto, el enfoque de estacionalidad complementa la lectura puramente anual del desempeño: permite traducir la serie operativa en criterios prácticos de gestión, priorizando “ventanas” intraanuales donde la demanda se concentra y donde la continuidad del sistema resulta crítica para sostener la estrategia de control de efluentes industriales tratados (MINAM, 2011, 2012; Sánchez et al., 2008; García Nolasco & Cárdenas Toribio, 2025).

5. Conclusiones

La carga hidráulica gestionada por el emisario mostró estacionalidad pronunciada, con concentración Top-3 >50% en ocho de diez años (2015–2024).

Los meses críticos fueron recurrentemente mayo, noviembre y diciembre, aunque con desplazamientos interanuales que confirman demanda no rígida.

Aun bajo picos intraanuales elevados, la operación mantuvo cierres volumétricos cercanos a 100% en la mayor parte del periodo, lo que respalda estabilidad operativa ante demanda fluctuante.

La cuantificación de concentración intraanual aporta un criterio operativo directo para priorizar monitoreo y control durante meses de máxima exigencia dentro del marco de recuperación de la bahía.

6. Contribución de los autores

APE: concepción y diseño del estudio, interpretación de resultados, redacción y revisión crítica del contenido, aprobación definitiva del manuscrito

APE: Adquisición, análisis e interpretación de datos, elaboración del borrador del artículo

JML: Adquisición, análisis e interpretación de datos, elaboración del borrador del artículo.

7. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

8. Referencias Bibliográficas

- Álvarez, J., Bustamante, P., Chang, J., De la Torre, D., Eliot, J., Iturregui, P., Galméz, V., Heros, C., Capella, J. L., Coechlin, F., Morales, E., Muñoz, F., Kroll, N., Lanegra, I., Nalvarte, J., Suárez, G., Pinasco, K., Sabogal, C., Ugaz, J., & Valdivia, R. (2021). *El futuro de los bosques: Del discurso a la acción*. Talento Creativo Diseño y Comunicaciones.
- Ganoza, F., Guzmán, M., García, V., Enríquez, E., & Velazco, F. (2020). Condiciones ambientales y sedimentológicas de la bahía El Ferrol, Chimbote (junio 2002). *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, 35(2), 304–334.
- García Nolasco, V., & Cárdenas Toribio, J. B. (2025). Bahía El Ferrol: Nueve años de funcionamiento del emisor submarino. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 9(4), 3896–3935.
- Gonzales, G. F., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Núñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Naeher, L., Levy, K., & Steenland, K. (2014). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: Una revisión del impacto en la salud de la población peruana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31(3), 547–556. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342014000300021
- Guerrero-Padilla, A., Hoyos-Cerna, M., Reyes-Vila, E., Sánchez-Tuesta, L., Santa Cruz-Vásquez, Y., & Santillán-Aredo, R. (2013). Impacto ambiental generado por erosión costera en la zona litoral de Buenos Aires Norte, distrito de Víctor Larco Herrera, La Libertad, Perú. *REBIOL*, 33(2), 11–22.
- Loayza Aguilar, R. (2022). Avances en la recuperación ambiental de la bahía El Ferrol (Chimbote, Perú): Evaluación rápida. *Arnaldoa*, 29(2), 319–332. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.292.29108>
- Loayza, R. (1998). Génesis de la perturbación de la bahía El Ferrol. Universidad Nacional del Santa / Instituto Ecológico Natura.
- Loayza, R. (2002a). Contaminación y erosión en la bahía El Ferrol (Chimbote, Perú). *Boletín de Lima*, 24(130), 113–133.
- Loayza, 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. <https://doi.org/10.15359/rca.55-1.5>
- Ministerio del Ambiente. (2011). Plan de recuperación ambiental de la bahía El Ferrol (Chimbote, Perú). https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/07/rs_004-2012-minam_aprueban_plan_recuperacion_ambiental_bahia_el_ferrol2.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2012). Resolución Suprema N.º 004-2012-MINAM, aprueban el Plan de Recuperación Ambiental de la bahía El Ferrol. *Diario Oficial El Peruano*.
- Ministerio del Ambiente. (2021). Política Nacional Ambiental al 2030 (Decreto Supremo N.º 023-2021-MINAM).
- Dunin-Borkowski, A. (2024). Desafíos y perspectivas de la situación ambiental en el Perú: El caso de los bosques. *Espacio y Desarrollo*, (41), 140–158. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.2024.006>
- Sánchez, G., Enríquez, E., & García, V. (2008). Evaluación ambiental en zonas marino costeras del Perú: Bahías El Ferrol y Coishco, Chimbote. *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, 35(1), 1–20.
- Tresierra, A., García, V., Huerto, M., Berrú, 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*, 34(1), 35–42.
- Vega, V. (2024). *Evaluación del impacto de los efluentes industriales pesqueros y domésticos en la calidad del agua de la bahía El Ferrol – Chimbote* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal].