ISSN 3073-1089

INSTITUTO PÚBLICO DE INVESTIGACIÓN
DE ACUICULTURA Y PESCA
ECUADOR

BOLETÍN CIENTÍFICO TÉCNICO

2026

Vol. 5 - N°1

EL NUEVO ECUADOR

Instituto Público de Investigación
de Acuicultura y Pesca

INSTITUTO PÚBLICO DE INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA Y PESCA
Mgtr. María del Pilar Solís Coello
Directora Ejecutiva (e)

EDITOR
M.Sc. Manuel Peralta
Subdirector Científico - Técnico

REVISIÓN TÉCNICA
M.Sc. Manuel Peralta
Oc. Telmo de la Cuadra

DISEÑO
Ing. Wendy Herrera

ISSN
Código: 3073-1089

El Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP) es un organismo especializado dedicado a la investigación biológica, pesquera y tecnológica, tendientes a la ordenación y desarrollo de las pesquerías.

Es la entidad encargada de planificar, promover, coordinar, ejecutar e impulsar procesos de investigación científica relacionados con las actividades acuícolas, pesqueras y conexas; y, de la generación, innovación, validación, difusión y transferencia de tecnologías. (LODAP - RO#187 del 21 de abril de 2020).

El Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP) publica en línea la serie Boletín Científico y Técnico, dedicado a las ciencias marinas, pesqueras y acuícolas del país. Publicación dirigida a científicos, academias y público en general.

INSTITUTO PÚBLICO DE INVESTIGACIÓN
DE ACUICULTURA Y PESCA
ECUADOR

Primera Edición, 2026
© Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca
Letamendi #102 y la Ría
www.institutopesca.gob.ec

Todos los derechos reservados.
Se autoriza la reproducción y difusión parcial del material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales con previa autorización del IPIAP y autores.

GOBIERNO DEL
ECUADOR

INSTITUTO PÚBLICO DE INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA Y PESCA

RECURSOS OCEANOGRÁFICOS Y CAMBIO CLIMÁTICO



01 OCEANOGRAFÍA FÍSICA

Condiciones oceanográficas físicas (programa: variabilidad climática) - junio 2024 a noviembre 2025.

Physical oceanographic conditions (program: climate variability) – June 2024 to November 2025.

- Julio Prado

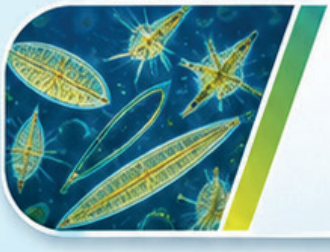


21 OCEANOGRAFÍA QUÍMICA

Condiciones hidroquímicas registradas frente a Puerto López y Salinas Junio 2024- Noviembre 2025.

Hydrochemical conditions recorded off Puerto López and Salinas, June 2024 – November 2025.

- Patricia Macías

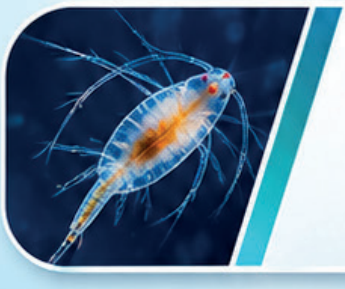


34 FITOPLANCTON

Variabilidad del fitoplancton en Puerto López y Salinas, durante 2025.

Phytoplankton variability in Puerto López and Salinas, during 2025.

- David García



53 ZOOPLANCTON

Variabilidad espacio-temporal y estructura comunitaria del plancton a 10 millas de las costas de las provincias de Manabí y Santa Elena durante 2025.

Spatio-temporal variability and community structure of plankton 10 miles off the coasts of Manabí and Santa Elena provinces during 2025.

- Jacqueline Cajas
- Robert Bucheli



80 ICTIOPLANCTON

Dinámica espacio – temporal y estructura del ensamble de ictioplancton en Puerto López y Salinas, durante 2025.

Spatio-temporal dynamics and structure of the ichthyoplankton assemblage in Puerto López and Salinas during 2025.

- Gregoria Calderón-Peralta
- Rodrigo Moreno-Vera
- Mónica Sánchez-Velásquez
- Gabriela Ayora-Macías

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS FÍSICAS (PROGRAMA: VARIABILIDAD CLIMÁTICA)

JUNIO 2024 A NOVIEMBRE 2025



CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS FÍSICAS (PROGRAMA: VARIABILIDAD CLIMÁTICA) - JUNIO 2024 A NOVIEMBRE 2025

Julio Prado López[1]
[1]Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, jprado@institutopesca.gob.ec

RESUMEN

El programa institucional "Variabilidad Climática" de la Unidad de Recursos Oceanográficos y Cambio Climático (ROCC) del Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP) evaluó las condiciones oceanográficas físicas de la columna de agua en Ecuador entre junio de 2024 y noviembre de 2025. Mediante monitoreos mensuales con CTD en las estaciones fijas de Puerto López y Salinas (a 10 millas de la costa), se procesaron perfiles a intervalos de 1 metro con el software Seasoft V2 bajo estándares GO-SHIP. A partir de temperatura, salinidad y profundidad, se determinaron analíticamente las anomalías termohalinas, la profundidad de la isoterma de 20°C (Z20), la capa de mezcla, la estabilidad vertical mediante la frecuencia de Brunt-Väisälä (N2) y la fracción de mezcla de las masas de agua (ATS, ASTS, AESS y ACC) a través del método del Triángulo de Mezcla.
Los resultados identificaron tres fases oceanográficas consecutivas en la región: un régimen neutral en el segundo semestre de 2024 con valores dentro de los promedios climatológicos, una fase cálida superficial en el primer semestre de 2025 con máximos térmicos en marzo (TSM de hasta 28.0°C y anomalías de +3.0°C) acoplada a una fuerte dilución por la advección de las masas ATS y ACC que deprimieron la termoclina, y una fase de enfriamiento en el segundo semestre de 2025 vinculada al desarrollo de La Niña, registrando anomalías de hasta -1.6°C. Esta última etapa estuvo gobernada por el levantamiento del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) inducido por la Corriente de Cromwell, mecanismo que elevó las isotermas de 15°C y 16°C al estrato de los 40-50 metros e incrementó la estratificación vertical.

Palabras claves: Variabilidad Climática, Masas de agua, Termoclina, Frecuencia de Brunt-Väisälä, Estratificación vertical, Isotermas.

ABSTRACT

The institutional program "Variabilidad Climática" from the Unidad de Recursos Oceanográficos y Cambio Climático (ROCC) at the Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP) evaluated the physical oceanographic conditions of the water column in Ecuador between June 2024 and November 2025. Through monthly CTD casting at the Puerto López and Salinas permanent stations (10 nautical miles offshore), data profiles were processed at 1-meter intervals using Seasoft V2 software under GO-SHIP protocols. Based on temperature, salinity, and depth, key parameters were analytically derived, including thermohaline anomalies, the 20°C isotherm depth (Z20), mixed layer depth, vertical stability via the Brunt-Väisälä frequency (N2), and water mass mixing fractions (ATS, ASTS, AESS, and ACC) using the Mixing Triangle analytical method.
The results identified three consecutive oceanographic phases in the region: a neutral regime during the second half of 2024 with values matching climatological averages ; a superficial warm phase in the first half of 2025 peaking in March (SST up to 28.0°C and anomalies up to +3.0°C) coupled with surface dilution driven by the advection of the ATS and ACC masses, which depressed the thermocline ; and a widespread cooling phase in the second half of 2025 linked to the development of La Niña, registering subsurface anomalies down to -1.6°C. This final stage was governed by the shoaling of Equatorial Subsurface Water (AESS) driven by the Cromwell Current, a mechanism that uplifted the 15°C and 16°C isotherms to the 40-50-meter layer and sharply increased vertical stratification.

Keys Words: Climate Variability, Water masses, Thermocline, Brunt-Väisälä frequency, Vertical stratification, Isotherms.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática interanual y decadal en el Pacífico Oriental Ecuatorial ejerce un control fundamental sobre las estructuras dinámicas y termohalinas de la columna de agua, alterando directamente los flujos energéticos superficiales y subsuperficiales, así como el transporte vertical (ICO, 1992; Stewart, 2005). Las interacciones océano-atmósfera en esta franja geográfica están moduladas por el sistema de vientos Alisios y el desplazamiento estacional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), mecanismos físicos que repercuten de manera directa sobre los procesos de surgencia costera, la génesis de frentes térmicos y la propagación de ondas ecuatoriales atrapadas a la costa (Encalada-Flores y Iza-Arias, 2024; Ruiz-Ochoa et al., 2023).

En este escenario, la observación continua y de alta resolución de las fluctuaciones térmicas y salinas permite identificar desviaciones climáticas significativas y los patrones de circulación general dentro del sistema acoplado regional (Quispe et al., 2021).

Frente a las costas de Ecuador, el océano exhibe una elevada complejidad hidrográfica debido a la confluencia dinámica de corrientes y masas de agua con firmas termohalinas de marcado contraste, reguladas principalmente por el Sistema de la Corriente de Humboldt, el flujo superficial de la Ensenada de Panamá y la extensión costera de la Corriente Subsuperficial Ecuatorial o Corriente de Cromwell (Cucalón Zenck, 1983; Terán et al., 2021).

Las fluctuaciones espacio-temporales de estos sistemas de corrientes determinan la profundidad de la termoclina, la intensidad de la cizalladura vertical y el grado de estratificación vertical, factores macrofísicos cruciales que rigen la topografía dinámica y los balances de vorticidad en la cuenca (Villegas y Málikov, 2006).

Por consiguiente, la caracterización cuantitativa de estas propiedades físicas resulta indispensable para prever anomalías cinemáticas vinculadas a perturbaciones macroclimáticas de gran escala, tales como los eventos de El Niño y La Niña, los cuales alteran drásticamente el almacenamiento de calor en el océano superior (Cucalón, 1986; Quispe et al., 2021).

Con el propósito de cuantificar y registrar de manera sistemática estas oscilaciones dinámicas, la Unidad de Recursos Oceanográficos y Cambio Climático (ROCC) del Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP) ejecuta el programa institucional "Variabilidad Climática" (IPIAP, 2024). Este programa tiene como objetivo primordial estudiar los procesos oceanográficos puramente físicos e hidrográficos en los espacios marinos del país, proveyendo un marco empírico robusto para la modelación hidrodinámica regional y la evaluación de anomalías termohalinas (IPIAP, 2024). El presente estudio técnico abarca exhaustivamente el periodo comprendido entre junio de 2024 y noviembre de 2025.

METODOLOGÍA

Recolección de Datos y zona de estudio

La recolección de los perfiles oceanográficos se efectuó con una periodicidad mensual durante el periodo comprendido entre junio de 2024 y noviembre de 2025. El muestreo de la columna de agua se realizó en dos estaciones fijas de monitoreo hidrográfico, situadas a una distancia de 10 millas náuticas de la línea de costa e integradas de forma permanente dentro de la red observacional del programa Variabilidad Climática (IPIAP, 2024):

• **Estación Puerto López (10 millas):** Situada en las coordenadas geográficas 1°34.848' S y 81°2.221' O.

• **Estación Salinas (10 millas):** Ubicada en las coordenadas geográficas 2°4.291' S y 81°5.017' O, posicionada estratégicamente al noroeste de la puntilla de Santa Elena.

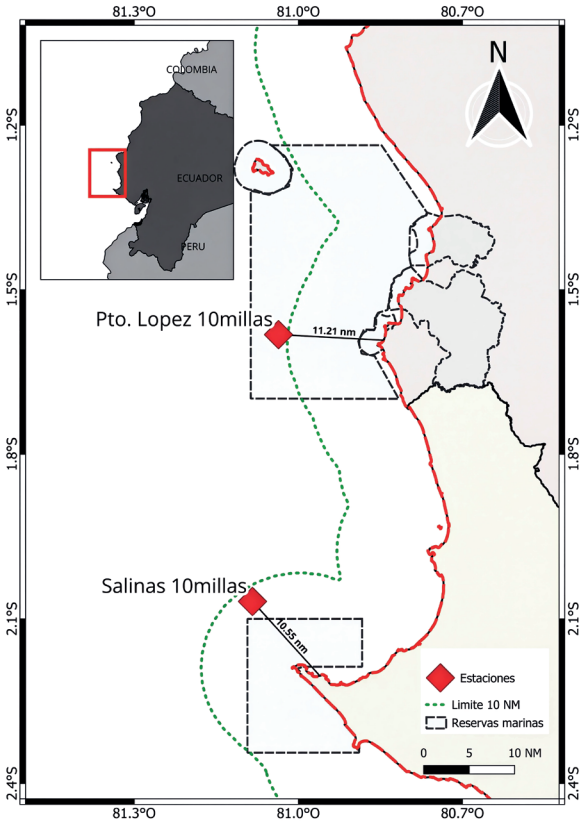


Figura 1. Estaciones de programa Variabilidad Climática

Las campañas realizadas se alinearon rigurosamente con los protocolos internacionales estandarizados para investigaciones oceanográficas, asegurando la reproducibilidad y la comparabilidad interanual de los datos (GO-SHIP, 2025).

Procesamiento de datos oceanográficos

Los archivos crudos generados por el CTD se procesaron a través del software Seasoft V2, aplicando los protocolos internacionales estandarizados a intervalos de 1 metro (GO-SHIP, 2025). Con base en estas tres variables (temperatura, salinidad y profundidad), se derivaron analíticamente las propiedades termodinámicas de la columna de agua bajo las ecuaciones vigentes del agua de mar (Sea-Bird Scientific, 2017; Stewart, 2005).

Determinación de parámetros oceanográficos

- Anomalías de Temperatura
- Profundidad de la Isoterma de 20°C (Z20):
- Profundidad de la Capa de Mezcla
- Densidad y Frecuencia de Boyantes (Estratificación)

Identificación de Masas de Agua

La determinación porcentual de las masas de agua presentes en la región de estudio se realizó mediante la construcción de diagramas de Temperatura-Salinidad (T-S). Para cuantificar la interacción y mezcla de las distintas masas de agua, se aplicó analíticamente el método del Triángulo de Mezcla, resolviendo un sistema de ecuaciones lineales para determinar la proporción de las diferentes masas de agua (Agua Tropical Superficial (ATS) y Agua Subtropical Superficial (ASTS) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) (Cucalón Zenck, 1983).

RESULTADOS

Puerto López

Temperatura:

Durante el periodo 2024–2025, la temperatura superficial del mar mostró variabilidad estacional e interanual, caracterizada por un calentamiento a inicios de 2025 seguido de un enfriamiento. En la serie de tiempo superficial (Figura 2), el 2024 inició con temperaturas en torno a los 26°C, registrando un mínimo estacional de 23.8°C entre septiembre y octubre. A partir de noviembre de 2024, se observó un incremento que culminó en marzo de 2025 con un máximo absoluto de 28.2°C, para luego registrar un descenso en abril de 2025 volviendo a los 23.8°C. En la capa subsuperficial (Figura 3), este comportamiento se refleja de forma directa en la oscilación de los rasgos térmicos.

La isoterma de 20°C actúa como indicador de la posición de la termoclina, manteniéndose entre los 30 y 40 metros de profundidad; su mayor hundimiento (≈40 m) ocurrió entre marzo a mayo de 2025. En niveles más profundos, la isoterma de 16°C se localizó inicialmente entre los 70 y 80 metros en el segundo semestre de 2024, descendió más allá de los 100 metros en la primera mitad de 2025 debido al hundimiento de la termoclina, y experimentó un levantamiento hacia los 50 metros entre julio y septiembre de 2025. Finalmente, la isoterma de 15°C hizo su aparición en la columna de agua (por debajo de los 70 metros) a partir de septiembre de 2025, mostrando el ingreso de una masa de agua fría subsuperficial hacia el cierre del año.

El análisis de las anomalías térmicas confirma que el calentamiento registrado a principios de 2025. La serie de tiempo superficial (Figura 4) muestra que las anomalías se mantuvieron en rangos positivos durante casi todo el periodo, iniciando con valores de +1.3°C a +1.8°C a mediados de 2024 y alcanzando un pico crítico de ≈+3°C en marzo de 2025, sobrepasando el umbral neutral superior (+0.5°C). Este pulso cálido fue interrumpido por una breve anomalía negativa de -1.4°C en abril de 2025. Al evaluar el perfil vertical (Figura 5), se evidencia que este núcleo con anomalías positivas (>0.5°C y hasta >1.5°C) estuvo principalmente entre 0 m a 25 m de profundidad desde julio de 2024 hasta abril de 2025, demostrando que el calentamiento tuvo una naturaleza esencialmente superficial. Por el contrario, la franja subsuperficial entre los 30 m y 60 m exhibió un núcleo de anomalías negativas (alrededor de -0.5°C) durante el segundo semestre de 2024 y mediados de 2025, lo cual coincide con las condiciones frías subsuperficiales, antes de un nuevo repunte positivo superficial (+1.1°C) detectado en septiembre de 2025.

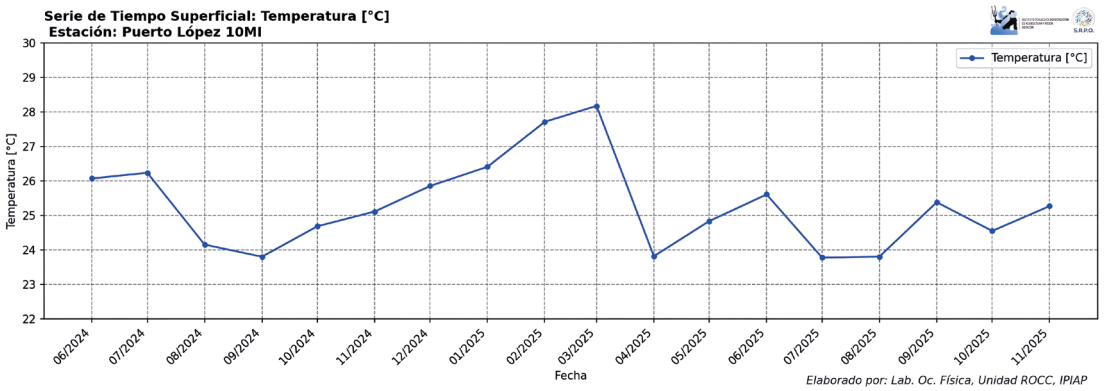


Figura 2. Serie de tiempo de temperatura superficial en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025

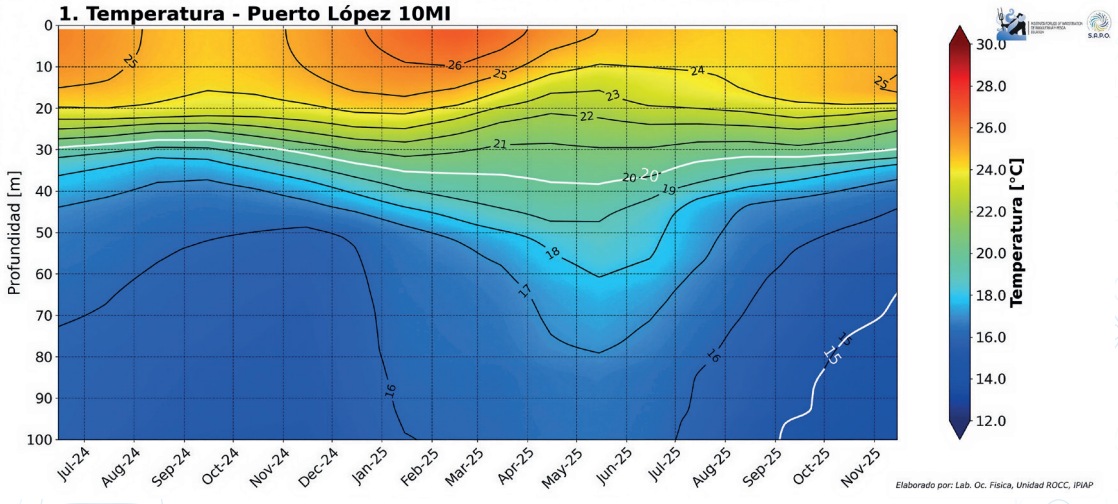


Figura 3. Perfil temporal de temperatura en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025

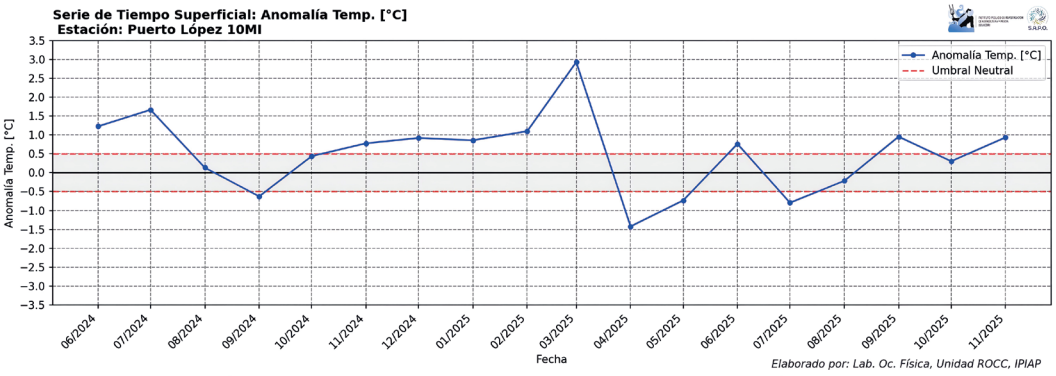


Figura 4. Serie de tiempo de anomalías de temperatura en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025

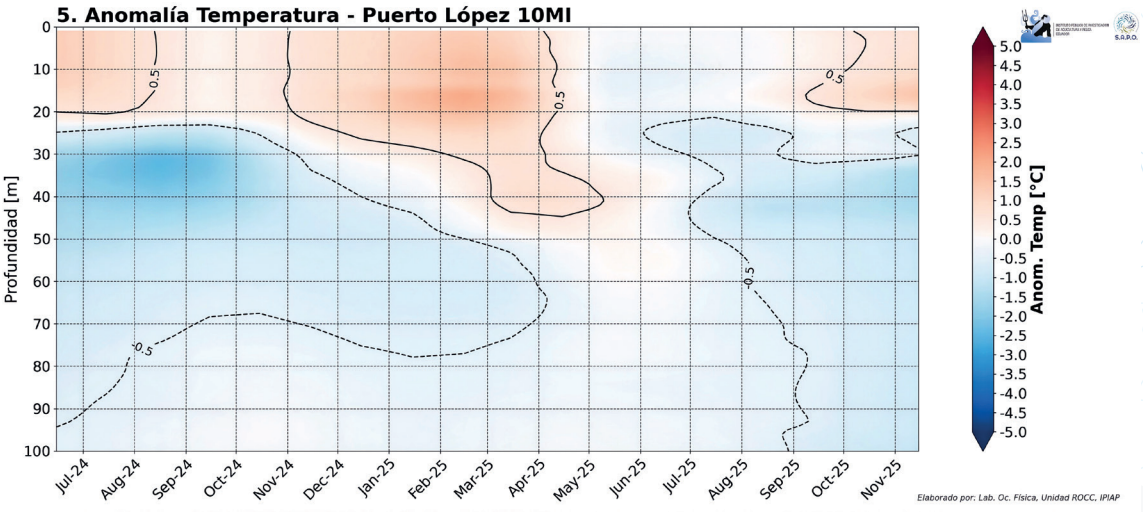


Figura 5. Estadios de madurez sexual de dica para ambos sexos en Embalse Chongón, durante 2025

Salinidad

La salinidad tuvo una tendencia de disminución, interrumpida únicamente por una breve intrusión de agua de alta salinidad. En la serie temporal superficial (Figura 6), el 2024 exhibió valores estables entre 33.4 y 33.9 PSU; sin embargo, tras un momento de descenso a inicios de 2025, se registró un pico repentino en abril de 2025 que llevó la salinidad superficial hasta los 34.7 PSU, para luego bajar de forma continua hacia rangos de 32.0 a 32.3 PSU en el resto del año. Esta compleja evolución superficial se vincula estrechamente con las estructuras subsuperficiales observadas en el perfil vertical (Figura 7). La isohalina de 33 PSU se mantuvo restringida en los primeros metros de la superficie durante 2024, pero debido a la posterior dilución, se profundizó superando los 20 m de profundidad en la segunda mitad de 2025. La isohalina de 34 PSU, se ubicó de manera semipermanente entre los 20 y 30 metros; no obstante, durante abril y mayo de 2025, esta línea experimentó un levantamiento hacia la superficie (≈5 m), explicando el súbito incremento salino superficial detectado en la serie de tiempo. Por último, la isohalina de 35 PSU estuvo presente en el fondo de la estación (entre 30 y 50 metros) durante la segunda mitad de 2024 y todo el 2025.

Las anomalías de salinidad permiten discriminar con claridad los periodos de influencia de aguas de baja salinidad. La serie superficial (Figura 8) revela que en el 2024 transcurrió mayormente dentro de las condiciones neutrales (±0.3 PSU), mostrando solo un ligero exceso de +0.4 PSU en agosto de 2024. En contraste, el 2025 estuvo marcado por anomalías negativas (-0.3 PSU) durante casi todo el año, alcanzando picos mínimos de -1.4 PSU en junio, agosto y octubre de 2025, lo que evidencia un aporte de agua dulce anómala. En el perfil vertical (Figura 9), este escenario se corrobora mediante la presencia de un núcleo de anomalías negativas (valores entre -0.5 y -1.0 PSU) que abarcó los primeros 20 metros de la columna de agua de forma continua desde febrero de 2025 hasta el término del registro en noviembre de 2025. El único rasgo diferente a este patrón fue una breve anomalía positiva en la superficie en abril de 2025 (+0.2 PSU) y una anomalía positiva (>0.3 PSU) a unos 30 metros de profundidad en el trimestre agosto-octubre de 2024.

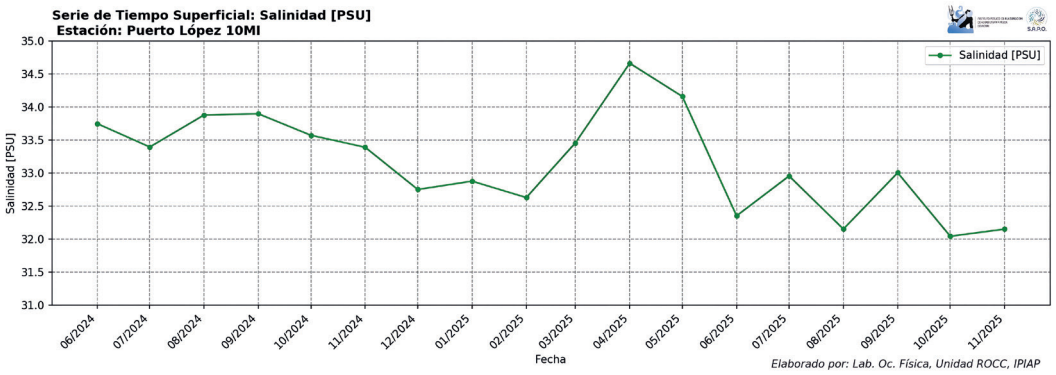


Figura 6. Serie de tiempo de salinidad superficial en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025

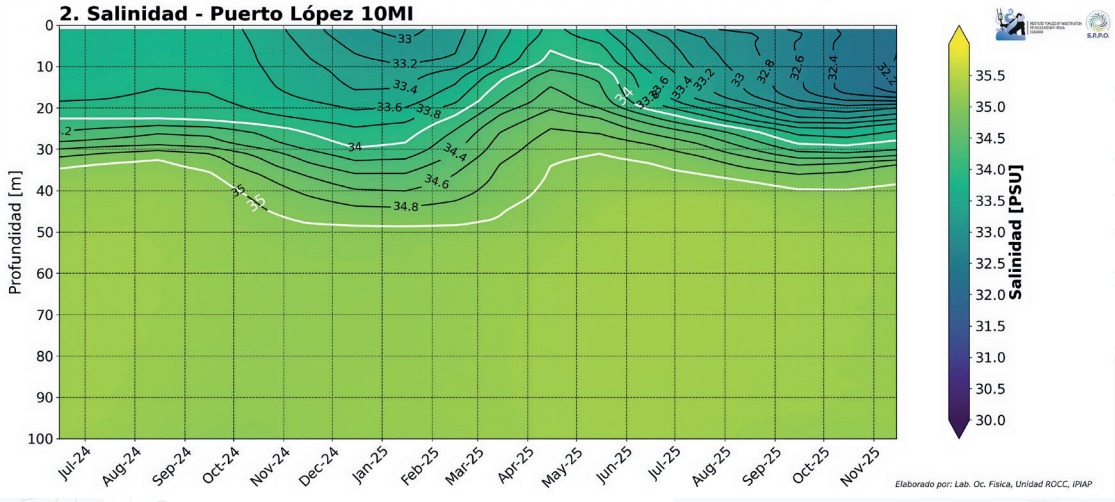


Figura 7. Perfil temporal de salinidad en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025.

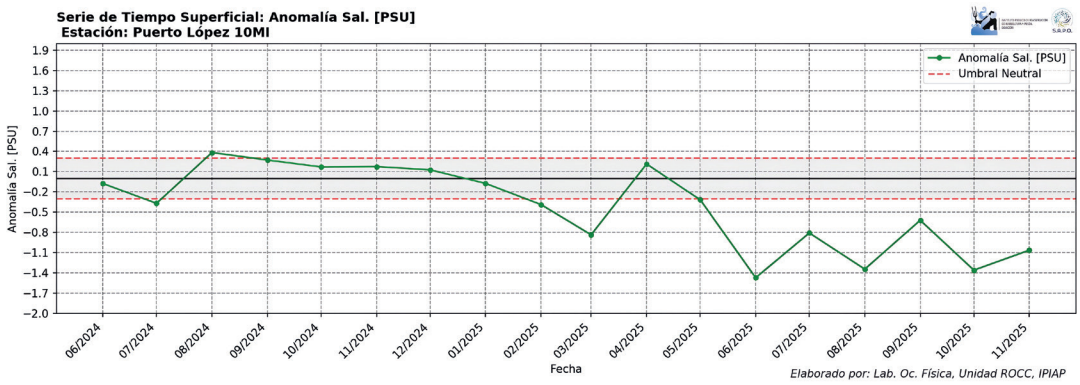


Figura 8. Serie de tiempo de anomalías de salinidad en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025

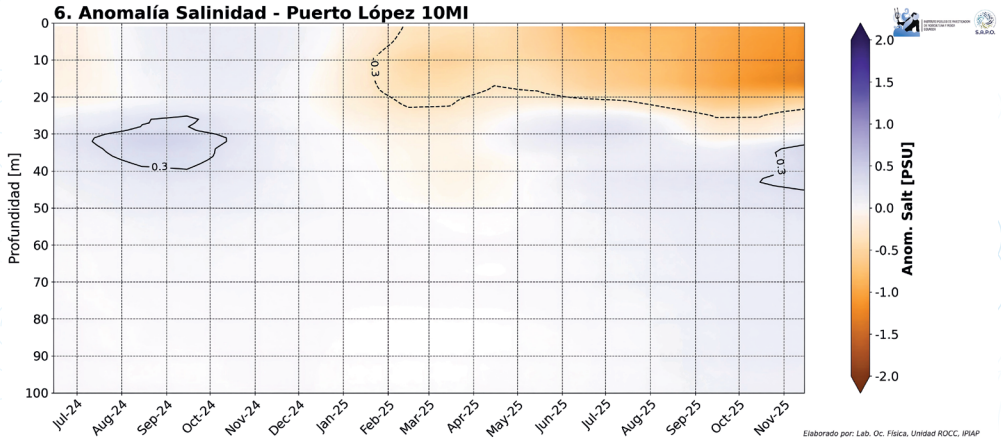


Figura 9. Perfil temporal de anomalías de salinidad en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025

DENSIDAD Y ESTRATIFICACIÓN

Durante el periodo 2024–2025, la densidad en la superficie registró una estrecha interdependencia con las variaciones de temperatura y salinidad previamente descritas. En la serie de tiempo superficial (Figura 10), el 2024 inició con valores fluctuantes que aumentaron de 21.6 kg/m³ en junio hasta un máximo interanual de 22.7 kg/m³ entre septiembre y octubre, respondiendo al enfriamiento estacional de ese periodo. Posteriormente, se observó un descenso continuo hasta alcanzar el mínimo absoluto de 20.6 kg/m³ en febrero de 2025, provocado por la condición de calentamiento superficial y la dilución por agua dulce.

Este desplome fue interrumpido en abril de 2025 por la densidad de 23.3 kg/m³, asociado a la intrusión salina, para luego estabilizarse entre los 21.0 y 21.6 kg/m³ durante el segundo semestre de 2025. En la estructura subsuperficial (Figura 11), la isopicna mostró su mayor profundización (≈20 ms) a inicios de 2025 y un ascenso en abril de 2025. Por su parte, la isopicna de 25.0 kg/m³, osciló firmemente entre los 30 y 35 metros en 2024, hundiéndose por debajo de los 40 metros durante la anomalía de inicios de 2025, y manteniéndose estable hacia el final del registro. En el fondo de la columna, la isopicna de 26.0 kg/m³ se localizó a unos 60 metros en 2024, descendió drásticamente hasta los 80 metros en mayo de 2025, y experimentó un marcado levantamiento hacia los 40 metros entre agosto y octubre de 2025.

El perfil vertical de la frecuencia de boyante (N) (Figura 12), permite identificar las zonas de máxima estabilidad y estratificación vertical en la columna de agua. Durante el segundo semestre de 2024, la estación presentó una Picnoclina entre los 20 y 35 metros de profundidad, caracterizada por valores de estabilidad entre 20 cph y 25 cph. Coincidiendo con las fuertes anomalías oceanográficas de la primera mitad de 2025, este núcleo de estabilidad disminuyó entre marzo y junio de 2025, evidenciando un debilitamiento de la estratificación. A partir de julio de 2025, las condiciones de fuerte estratificación se restablecieron entre los 20 y 35 m. Hacia el trimestre de septiembre a noviembre de 2025, este núcleo alcanzó su mayor valor (30 cph).

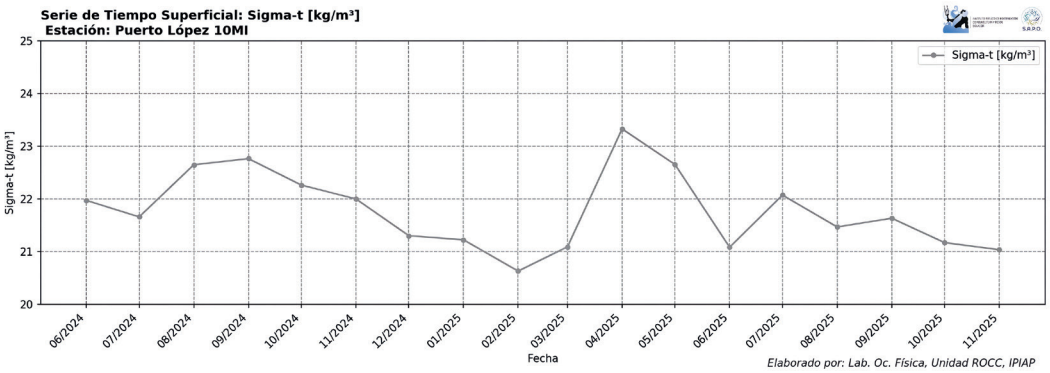


Figura 10. Serie de tiempo de densidad (Sigma-t) superficial en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025.

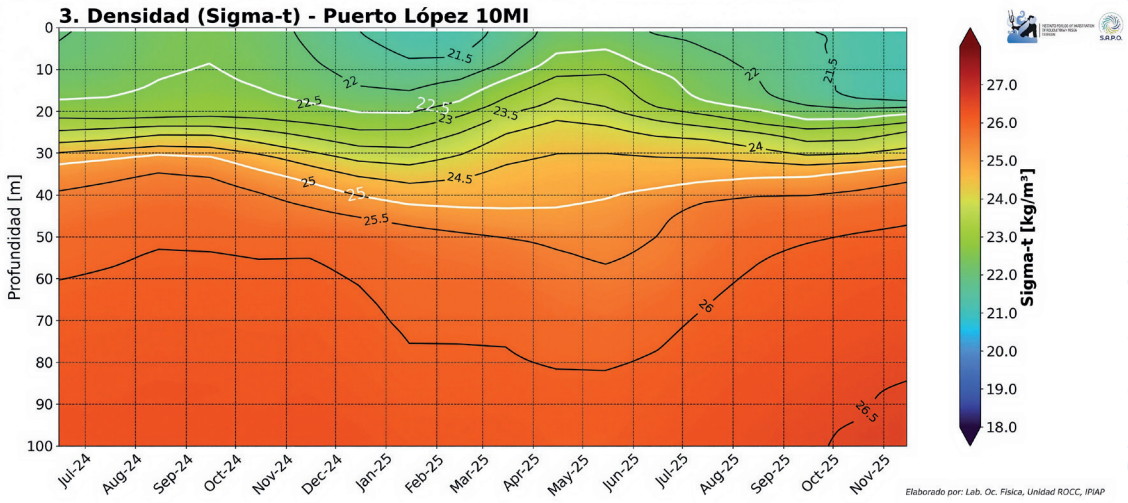


Figura 11. Perfil temporal de densidad (Sigma-t) en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025.

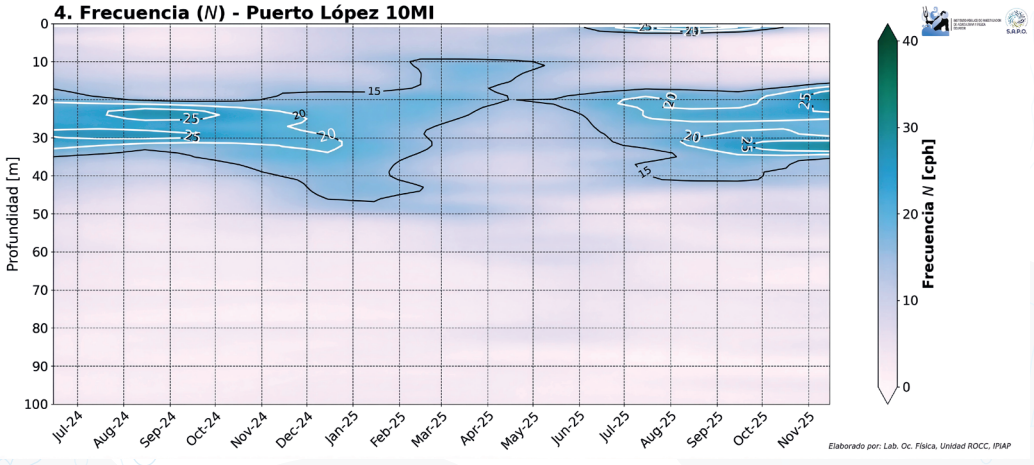


Figura 12. Perfil te mporal de frecuencia (N) en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025.

MASAS DE AGUA

El ATS estuvo entre 0 a 25 m durante todo el segundo semestre de 2024. Su periodo de dominancia (>60%) se extendió desde junio de 2024 hasta enero de 2025, registrando un núcleo con fracciones máximas >70% entre julio y octubre, lo que coincide con las anomalías térmicas positivas de ese período. A partir de febrero de 2025, el ATS sufrió una disminución en su dominio, con valores a fracciones de 40% a 50%. Hacia el último trimestre de 2025 (septiembre-noviembre), esta masa de agua fue desplazada casi por completo de los primeros 20 m de la columna con fracciones inferiores a 30% (Figura 13).

El ASTS, caracterizada por sus altos niveles de salinidad, mostró una presencia (<40%) en la estación durante todo el 2024 y los primeros meses de 2025. Sin embargo, entre mayo y agosto de 2025, periodo en el cual se detectó una fuerte intrusión subsuperficial de agua fría entre los 30 y 60 metros de profundidad. Dentro de este núcleo, el ASTS alcanzó rangos de dominancia del 60% durante la época seca de 2025, antes de disiparse progresivamente hacia octubre (Figura 15). El AESS constituyó la masa de agua permanente de la estación, dominando el perfil subsuperficial desde los 40 m hasta el fondo (100 m).

Durante la segunda mitad de 2024, su dominancia (>60%) experimentó un constante levantamiento, ascendiendo desde los 85 m en junio hasta cerca de los 40 m a finales de año. Esta condición de dominio profundo (>70% y >80%) fue interrumpida temporalmente entre mayo y julio de 2025, cuando la intrusión de la masa ASTS deprimió el límite superior de la AESS por debajo de los 100 metros. Hacia el término del periodo (agosto-noviembre de 2025), la AESS registro un proceso de levantamiento, alcanzando nuevamente los 40 metros de profundidad (Figura 14).

El Agua de la Cuenca Colombiana (ACC) (Figura 15), masa de agua de baja salinidad procedentes del norte, estuvo completamente ausente de la estación durante el 2024. Su primera aparición discreta ocurrió entre diciembre de 2024 y febrero de 2025, registrando fracciones superficiales máximas de hasta 50%. El escenario de mayor impacto se consolidó de forma binaria hacia el cierre de 2025: entre septiembre y noviembre, el ACC experimentó una masiva expansión entre 0 y15 m de profundidad, alcanzando una dominancia franca (>60%) y picos de fracción superiores a 70%.

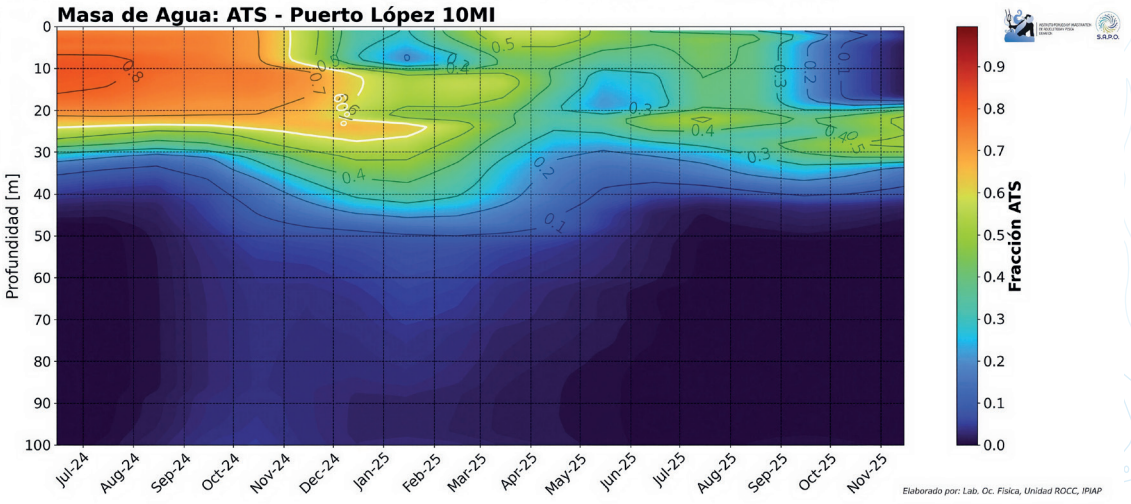


Figura 13. Perfil temporal ATS en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025.

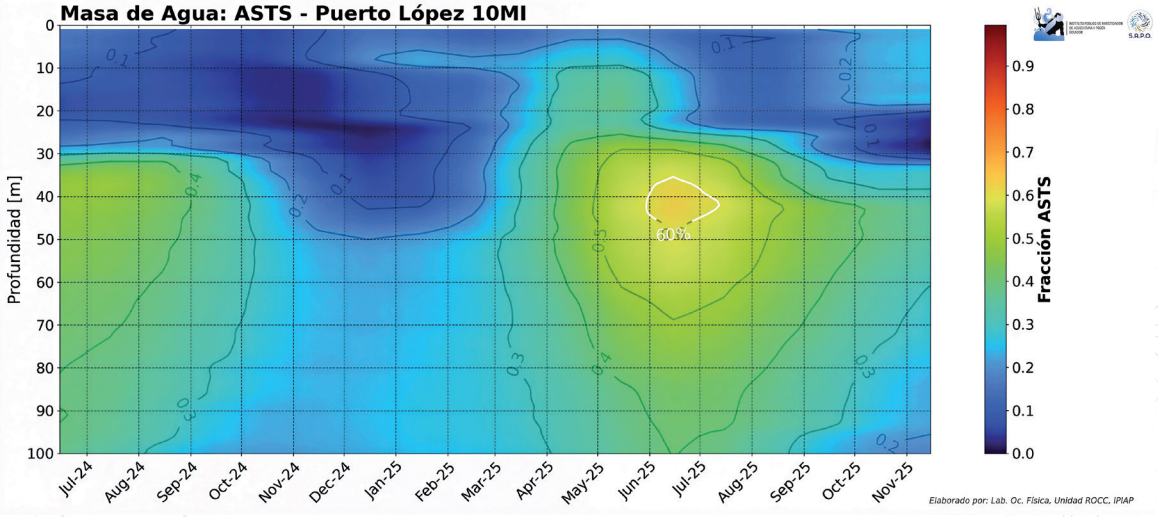


Figura 14. Perfil temporal ASTS en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025.

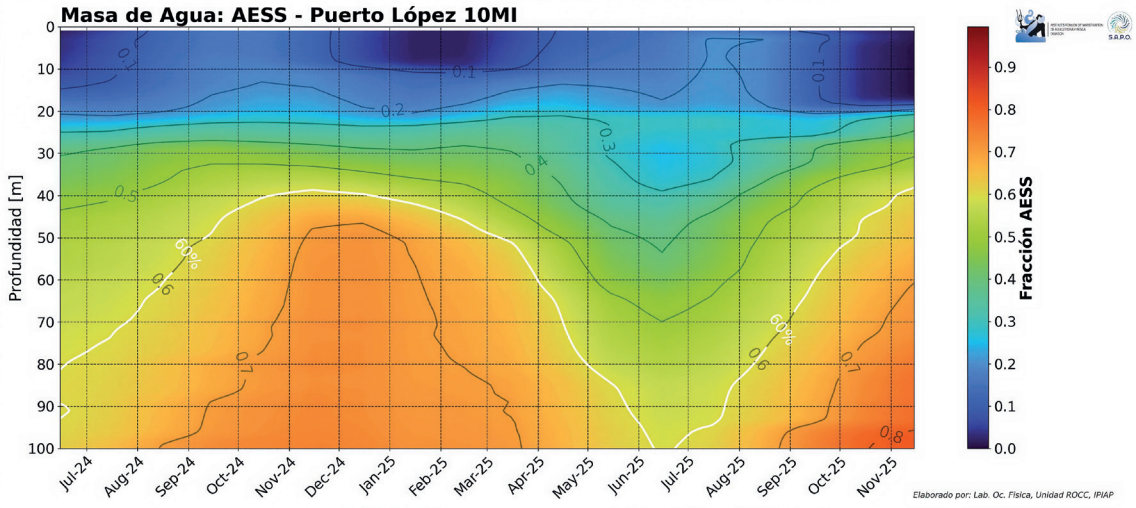


Figura 15. Perfil temporal AESS en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025.

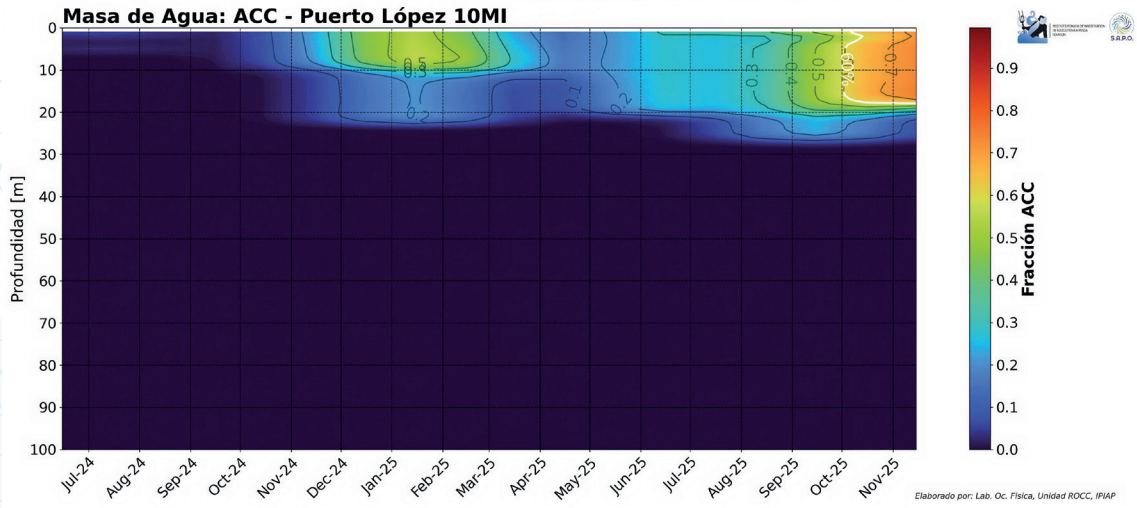


Figura 16. Perfil temporal ACC en la estación Pto. López, junio 2024 - noviembre 2025.

Salinas

Temperatura

Durante el periodo 2024–2025, la temperatura superficial en la estación frente a Salinas evidenció un calentamiento a inicios de 2025. En la serie de tiempo superficial (Figura 17), el 2024 comenzó con valores de ≈26.0°C, descendiendo hacia su mínimo estacional de 23.7°C entre septiembre y octubre. A partir de noviembre de 2024, se registró un aumento que culminó en marzo de 2025 con un máximo de 28.3°C, seguido por un descenso que llevó la temperatura a un mínimo de 23.9°C en mayo de 2025, para luego oscilar entre 23.5°C y 25.0°C hacia finales del 2025. En la capa subsuperficial (Figura 18), la isoterma de 20°C, se mantuvo estable entre los 30 y 35 metros de profundidad, con un ligero ascenso hacia los 28 metros en mayo de 2025. Por debajo de esta capa, la isoterma de 16°C mostro una dinámica al ubicarse cerca de los 80 metros a mediados de 2024, experimentó un primer levantamiento entre los 50 m y 60 m desde agosto hasta febrero de 2025, se profundizó desde marzo, y exhibió un segundo y levantamiento a partir de julio de 2025, alcanzando los 40 metros de profundidad en noviembre de 2025. La isoterma de 15°C fue visible únicamente en la base de la columna (>75 metros) entre septiembre de 2024 y enero de 2025, replegándose temporalmente para luego registrar un ascenso hasta los 65 metros de profundidad hacia octubre y noviembre de 2025.

El comportamiento de las anomalías corrobora el impacto de los procesos en la columna de agua. La serie de tiempo superficial (Figura 19) inició a mediados de 2024 con anomalías positivas de hasta +1.8°C, las cuales se disiparon temporalmente hacia condiciones neutrales en septiembre de 2024. Durante el primer trimestre de 2025, las anomalías ascendieron hasta alcanzar un pico de +2.5°C en marzo, superando el umbral neutral superior (+0.5°C). Este escenario cálido cambio en el bimestre abril-mayo de 2025, periodo en el cual la estación registró anomalías negativas de -0.5°C y -1.0°C. En el perfil vertical (Figura 20), se observa que el núcleo con anomalías positivas (>+1.5°C) estuvo en los primeros 25 m de la columna de agua desde junio de 2024 hasta marzo de 2025. En contraste, la franja subsuperficial (35 a 70 metros) mostró de forma intermitente anómalas frías durante el segundo semestre de 2024. A partir de abril de 2025, la irrupción de agua fría impacto la superficie, propagando un núcleo anómalo negativo (< -0.5°C) desde la superficie hasta los 30 metros de profundidad, antes de dar paso a un calentamiento superficial (+0.5°C a +1.2°C) en el último trimestre de 2025.

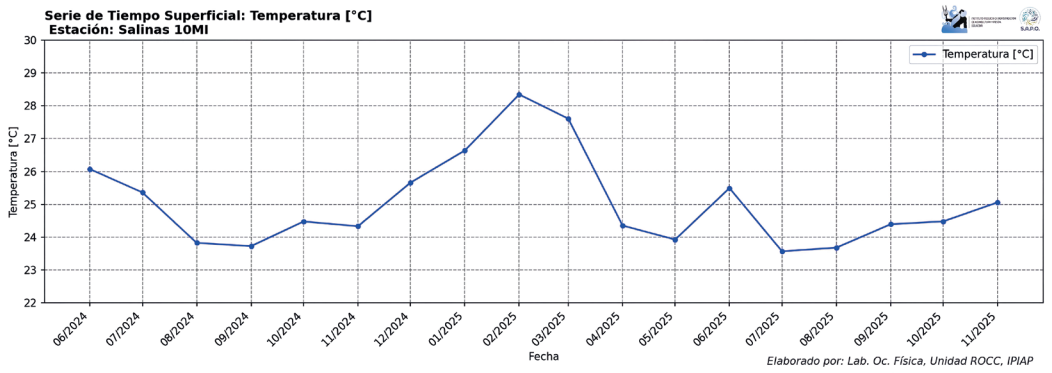


Figura 17. Serie de tiempo de temperatura superficial en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

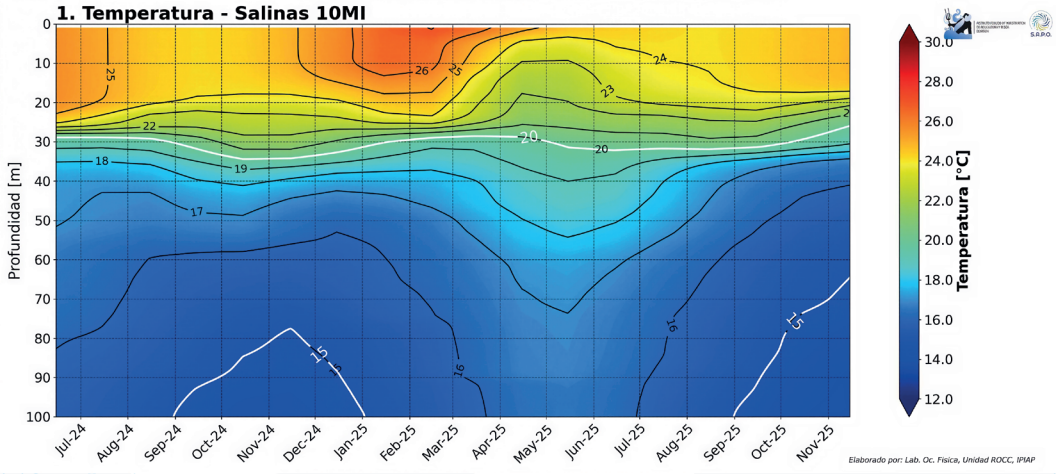


Figura 18. Perfil temporal de temperatura en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

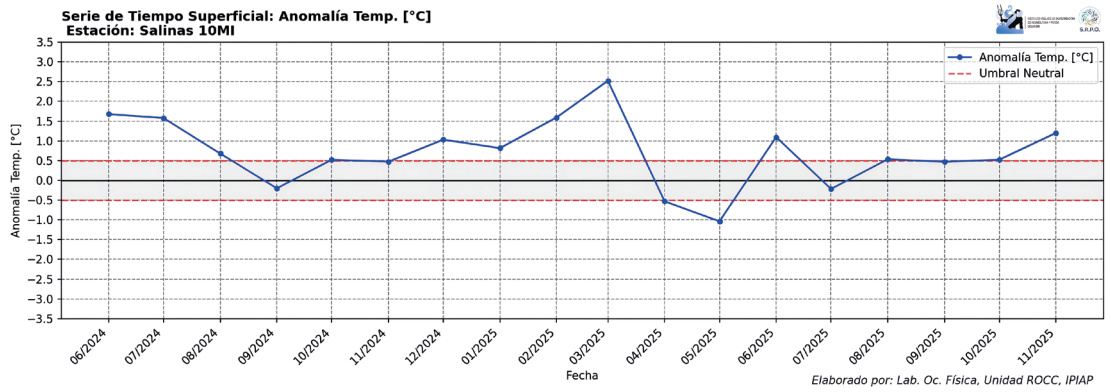


Figura 19. Serie de tiempo de anomalías de temperatura superficial en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

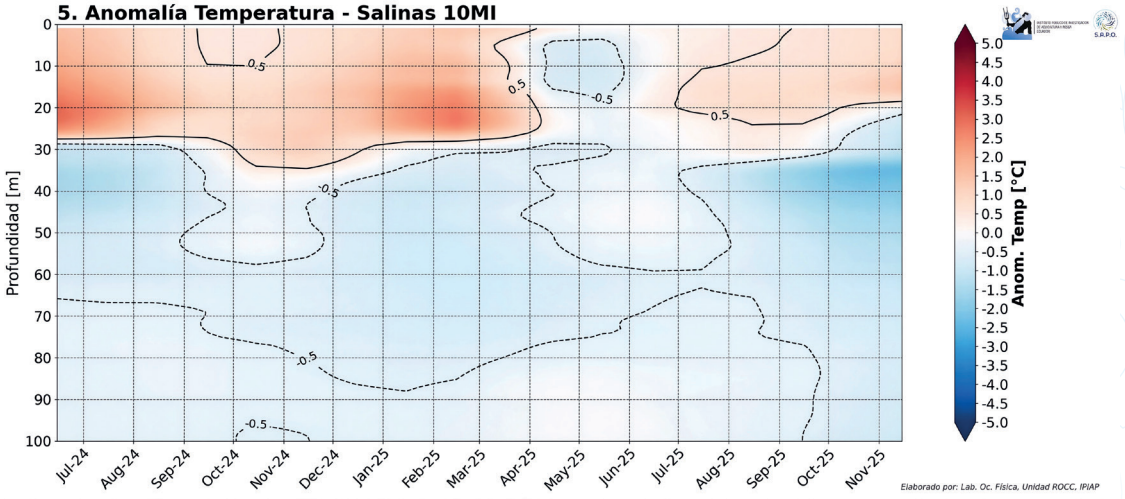


Figura 20. Serie de tiempo de anomalías de temperatura superficial en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

Salinidad

La salinidad superficial y subsuperficial en Salinas 10MI estuvo dominada por procesos de dilución a lo largo de 2025, interrumpidos transitoriamente por una advección salina de origen oceánico. La serie temporal de superficie (Figura 21) muestra que en 2024 la salinidad se incrementó gradualmente desde los 33.1 PSU hasta un máximo de 33.9 PSU en septiembre y octubre, descendiendo ligeramente hacia finales de año.

No obstante, a inicios de 2025 se observó un desplome que llevó la salinidad superficial a un mínimo de 31.65 PSU en febrero. Este evento fue sucedido en mayo de 2025, en donde alcanzó un máximo de 34.5 PSU, para luego caer de manera continua por debajo de los 33.0 PSU durante el segundo semestre, finalizando en noviembre de 2025 con 31.95 PSU. En el diagrama vertical (Figura 22), estos cambios se reflejan en la distribución halina. La isohalina de 33 PSU permaneció en los primeros 5 metros durante 2024, pero se profundizó más allá de los 20 metros en febrero de 2025 y durante el periodo de agosto-noviembre de 2025, evidenciando el espesor de una capa de agua de baja salinidad. La isohalina de 34 PSU se posicionó de forma semipermanente entre los 20 y 25 metros de profundidad; sin embargo, durante abril y mayo de 2025, experimentó un levantamiento llegando a la superficie.

Por último, la isohalina de 35 PSU se localizó de forma persistente entre los 40 y 50 metros durante la segunda mitad de 2024, ascendió ligeramente a los 30 metros desde mayo de 2025 hasta el último tramo del año.

Las anomalías salinas indican los periodos de escorrentía o aportes continentales. Durante el 2024, la serie de tiempo superficial (Figura 23) osciló cerca de las condiciones de neutralidad (dentro del umbral de ±0.3 PSU), mostrando un ligero exceso positivo de +0.4 PSU únicamente en septiembre. Por el contrario, el 2025 estuvo definido por anomalías negativas, alcanzando valores mínimos de -1.4 PSU en febrero y -1.5 PSU en marzo, seguidos por un nuevo descenso de -1.3 PSU en octubre de 2025. En el perfil vertical (Figura 24), con un núcleo de anomalías negativas (-0.3 PSU y hasta -1.0 PSU) localizado en los primeros 25 metros de la columna de agua, el cual persistió durante casi todo el 2025. Las condiciones subsuperficiales por debajo de los 35 metros permanecieron en rangos dominantes neutrales.

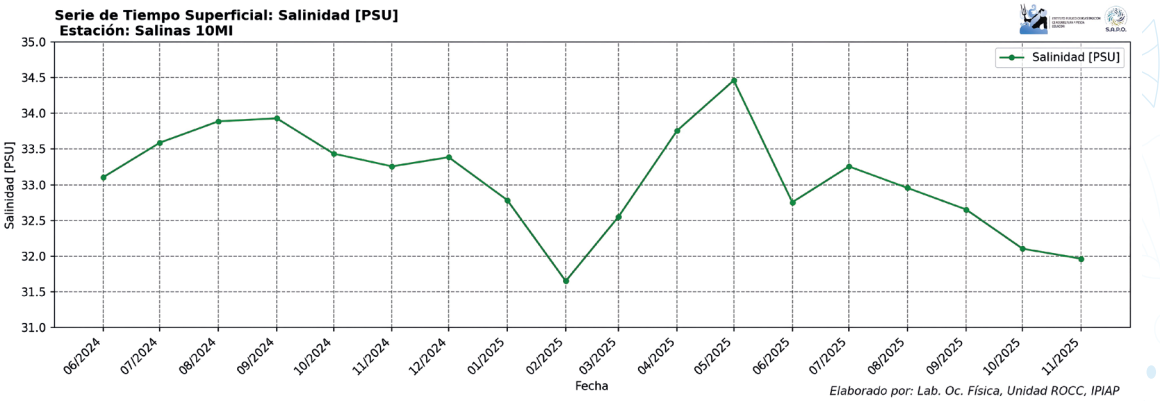


Figura 21. Serie de tiempo de salinidad superficial en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

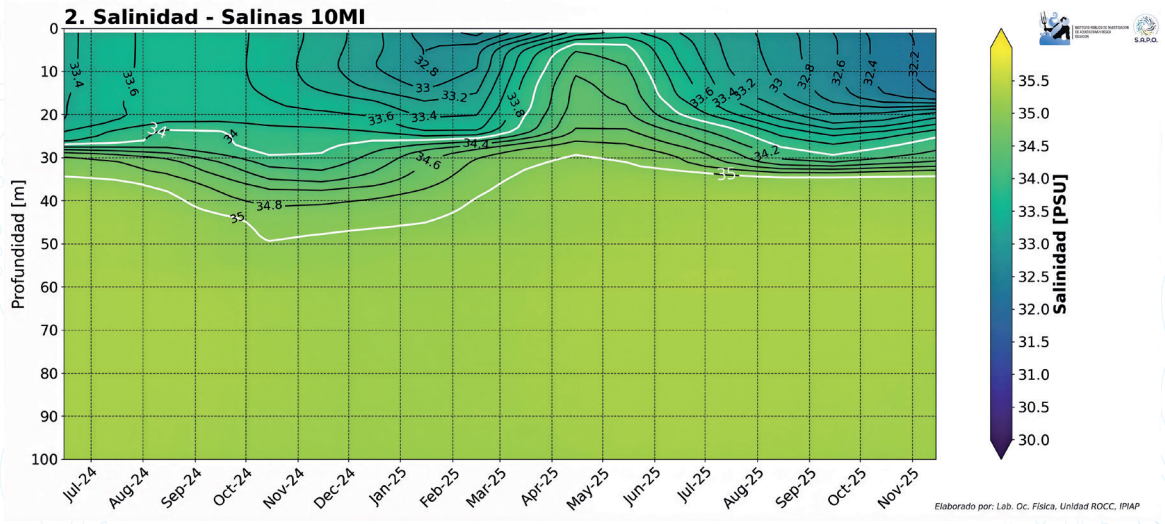


Figura 22. Perfil temporal de salinidad en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

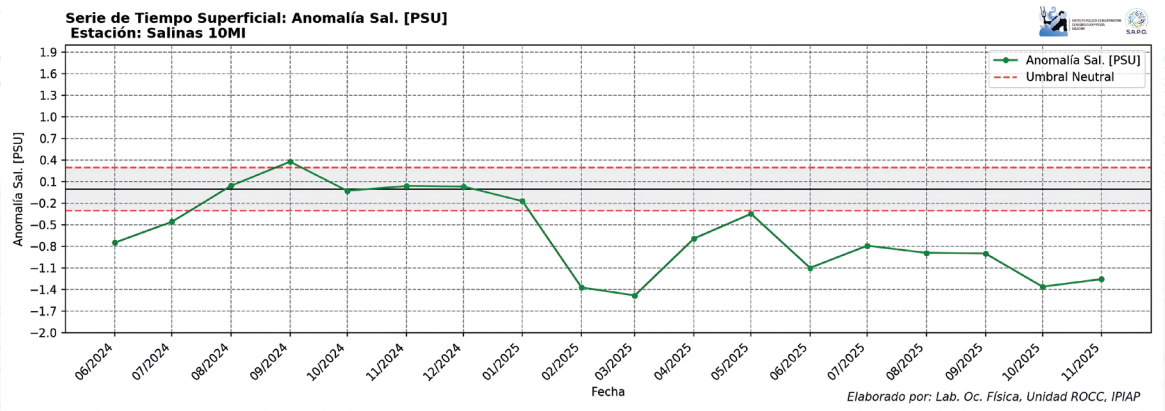


Figura 23. Serie de tiempo de anomalías de salinidad superficial en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025.

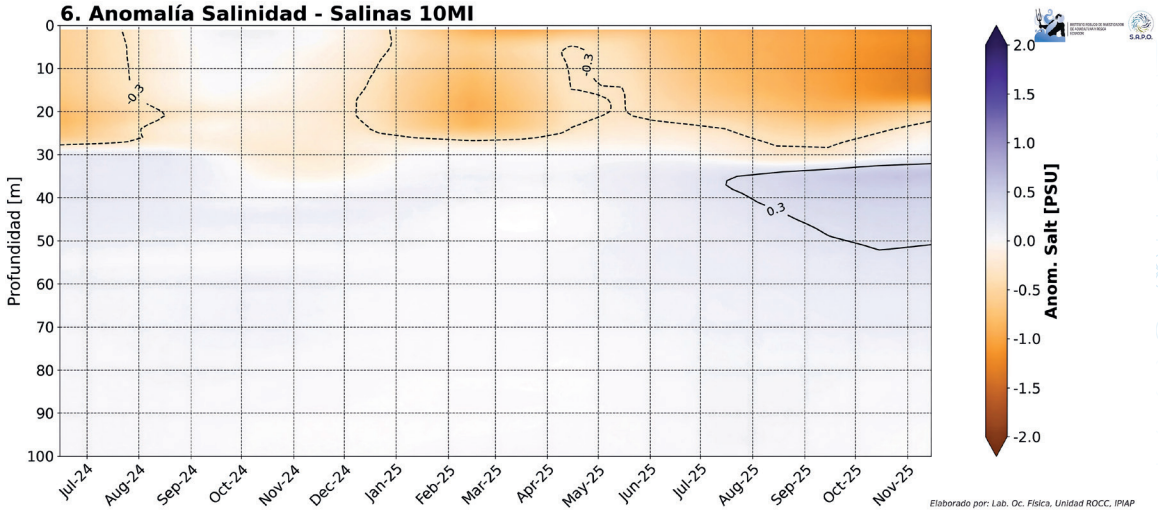


Figura 24. Perfil temporal de anomalías de salinidad en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

DENSIDAD Y ESTRATIFICACIÓN

La densidad en la superficie registró los cambios termo-halinos previamente descritos, mostrando oscilaciones interanuales. En la serie de tiempo superficial (Figura 25), el 2024 comenzó con valores de 21.5 kg/m³ en junio y ascendió hasta un máximo de 22.8 kg/m³ entre septiembre y octubre, reflejando el enfriamiento y la concentración salina de la época. A partir de noviembre de 2024, se inició un descenso que culminó en febrero de 2025 con valor por debajo de los 20.0 kg/m³. Esta disminución fue cambiando en mayo de 2025, alcanzando un pico máximo de 23.2 kg/m³, para luego disminuir de forma constante durante el segundo semestre de 2025, cerrando el año con valores de 21.0 kg/m³.

En la columna vertical (Figura 26), la isopicna de 22.5 kg/m³ tuvo un levantamiento significativo entre agosto y septiembre del 2024 para luego profundizarse hasta los 23 m desde octubre de 2024 e inicios de 2025 y permanecer en una profundidad estable hasta experimentar un levantamiento a la superficie en mayo de 2025. Por su parte, la isopicna de 25.0 kg/m³ osciló entre los 32 m y 40 m de profundidad durante todo el periodo. En los niveles más profundos, la isopicna de 26.0 kg/m³ se localizó a unos 60 m de profundidad en 2024 descendiendo hasta los 85 metros en mayo de 2025, luego experimentó un levantamiento a partir de julio de 2025, alcanzando los 45 metros de profundidad hacia noviembre de 2025.

El perfil vertical de la frecuencia de boyante (N) (Figura 27), expresado en ciclos por hora (cph), la estratificación vertical y la estabilidad de la columna de agua. Durante el segundo semestre de 2024, la estación tuvo una picnocilina fortalecida concentrada entre los 25 y 35 m de profundidad, caracterizada por un núcleo donde la estabilidad superó los 20 cph y 25 cph, alcanzando máximos puntuales superiores a los 35 cph en julio y agosto. Esta configuración generó una densa barrera. A inicios de 2025, coincidiendo con disminución de la densidad superficial, la estructura de estabilidad se modificó: entre febrero y marzo de 2025, el núcleo subsuperficial se mantuvo activo alrededor de los 25 m con valores de 25 cph, a continuación, apareció una alta estabilidad en la franja más superficial entre marzo y mayo de 2025, con valores que superaron los 20 cph.

A mediados de 2025 (junio), se observó una disminución en la estabilidad en toda la columna, donde los valores estuvieron por debajo de los 15 cph. Finalmente, a partir de agosto de 2025, las condiciones de estratificación se restablecieron a profundidades entre 25 m y 35 m, estando una fuerte estratificación en el trimestre de septiembre a noviembre de 2025 con un núcleo definido superior a los 30 cph.

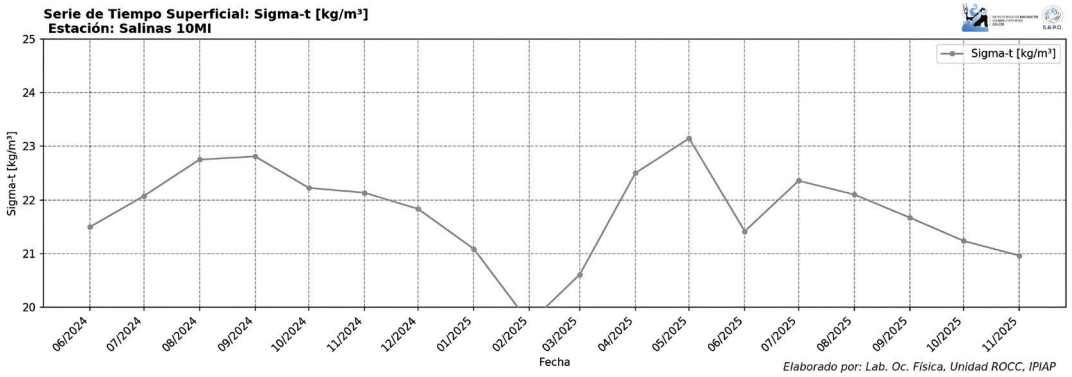


Figura 25. Serie de tiempo de densidad (Sigma-t) superficial en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

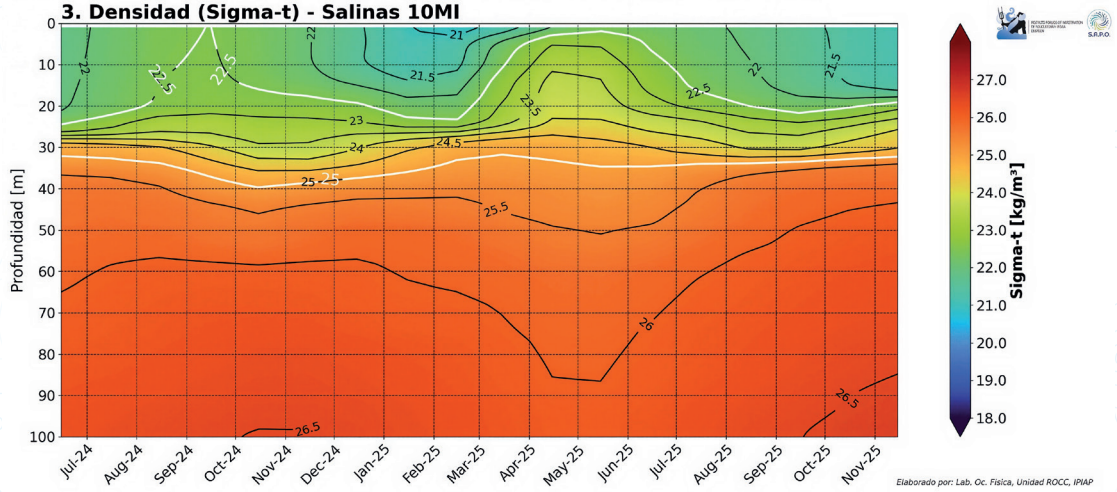


Figura 26. Perfil temporal de densidad (Sigma-t) en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

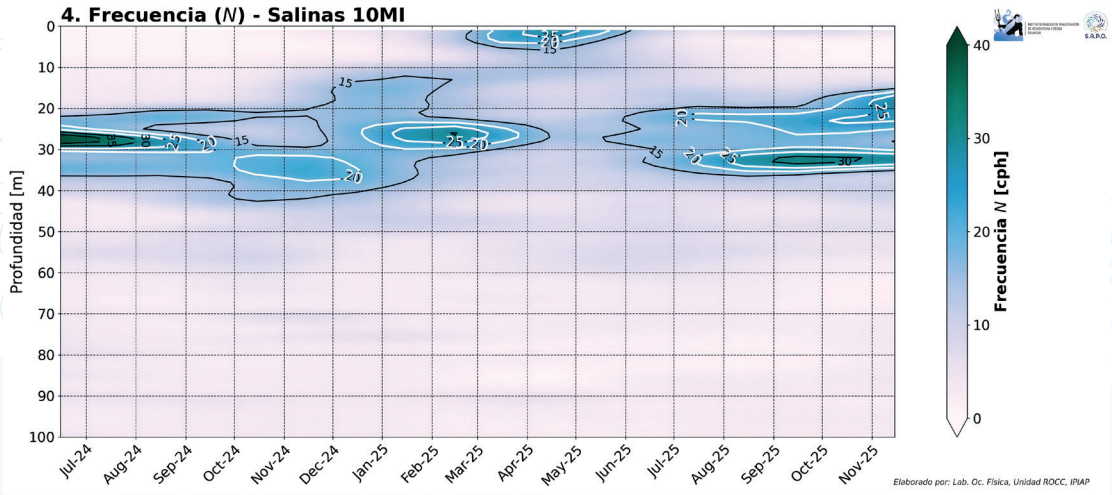


Figura 27. Perfil temporal de frecuencia (N) en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025.

MASAS DE AGUA

El ATS dominó en los primeros 25 m de profundidad. desde julio de 2024 hasta enero de 2025, alcanzando un núcleo con fracción máxima superiores a 80% entre agosto y noviembre de 2024. A partir de febrero de 2025, esta masa de agua experimentó una pérdida de representatividad en la superficie, replegándose y disminuyendo sus fracciones hasta 20% entre abril y mayo de 2025. Hacia el segundo semestre de 2025 (julio a noviembre), las proporciones de ATS se estabilizaron en rangos moderados de 40% a 50% dentro de los primeros 20 m (Figura 28).

El ASTS, caracterizada por su alta salinidad, mantuvo una presencia casi nula (<10%) en la capa superficial durante el segundo semestre del 2024 y comienzos de 2025. No obstante, la proporción más importante para esta masa de agua se registró a mediados de 2025 entre los 35 y 55 metros de profundidad. Durante el trimestre de junio a agosto de 2025, este núcleo alcanzó su máximo desarrollo, logrando establecer una dominancia (≥ 60%) y tuvo un debilitamiento en el último trimestre de 2025 (Figura 29).

El AESS constituyó la masa de agua más presente, estando desde los 40 m hasta a 100 m. Durante el segundo semestre de 2024, el límite superior de su zona de dominancia (≥ 60%) mostró un levantamiento, ascendiendo desde los 90 m de profundidad en julio de 2024 hasta cerca de los 40 m en diciembre del mismo año, exhibiendo proporciones superiores a 80%. Esta condición provocó una profundización entre mayo y junio de 2025, periodo en el cual la isolínea del 60% fue desplazada hacia la base de la columna (≈100 m) por el empuje de la intrusión de la masa ASTS. A partir de julio de 2025, la AESS tuvo un levantamiento, hasta los 35 metros de profundidad en noviembre de 2025.

El ACC, agua de baja salinidad procedentes del norte, estuvo completamente ausente durante el 2024. En el transcurso de 2025 se evidenciaron dos pulsos importantes de incursión de 0 m a 15 m de profundidad. El primero ocurrió entre enero y marzo de 2025, registrando porcentajes de hasta 40%. En octubre y noviembre de 2025, intervalo en el cual el ACC tuvo una condición de dominancia (≥ 60%).

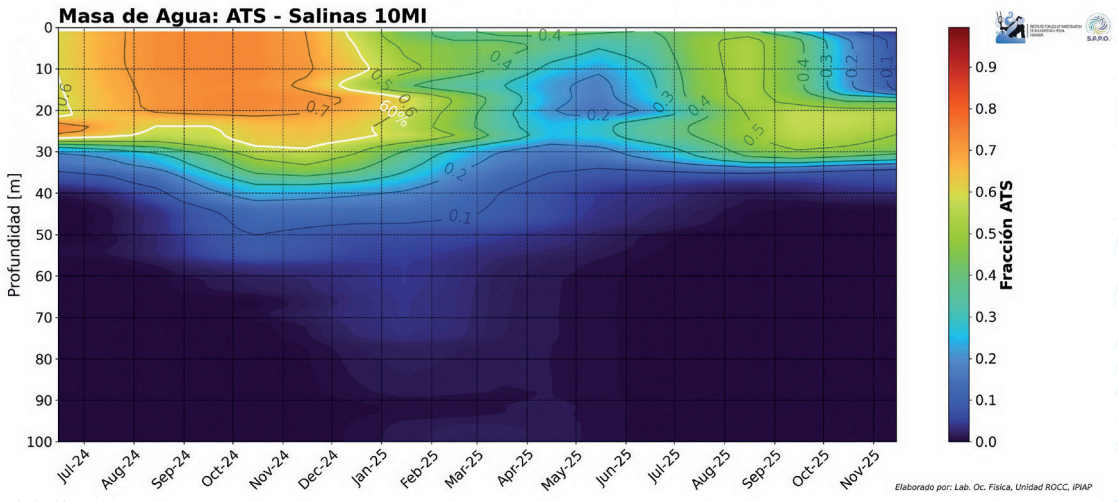


Figura 28. Perfil temporal ATS en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

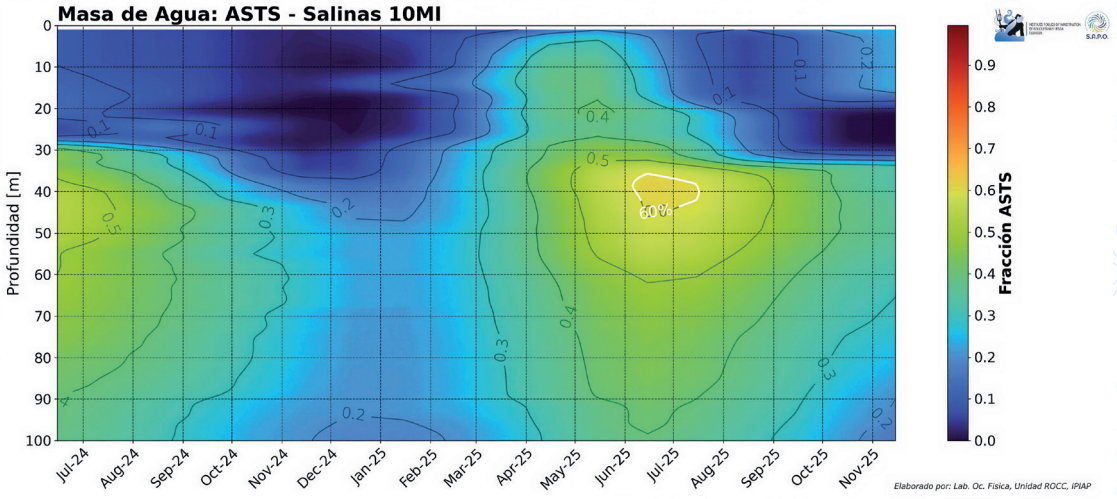


Figura 29. Perfil temporal ASTS en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

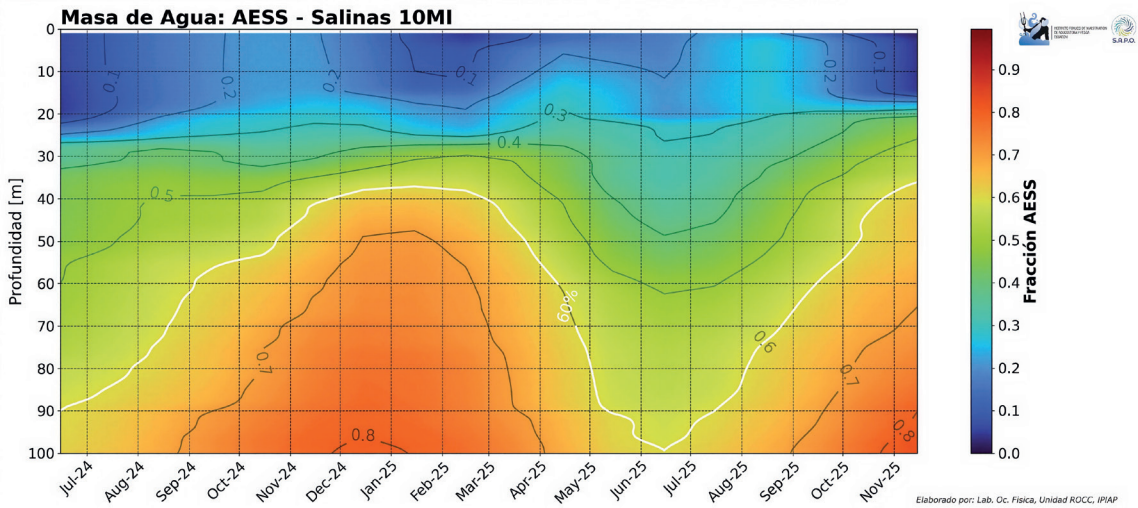


Figura 30. Perfil temporal AESS en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

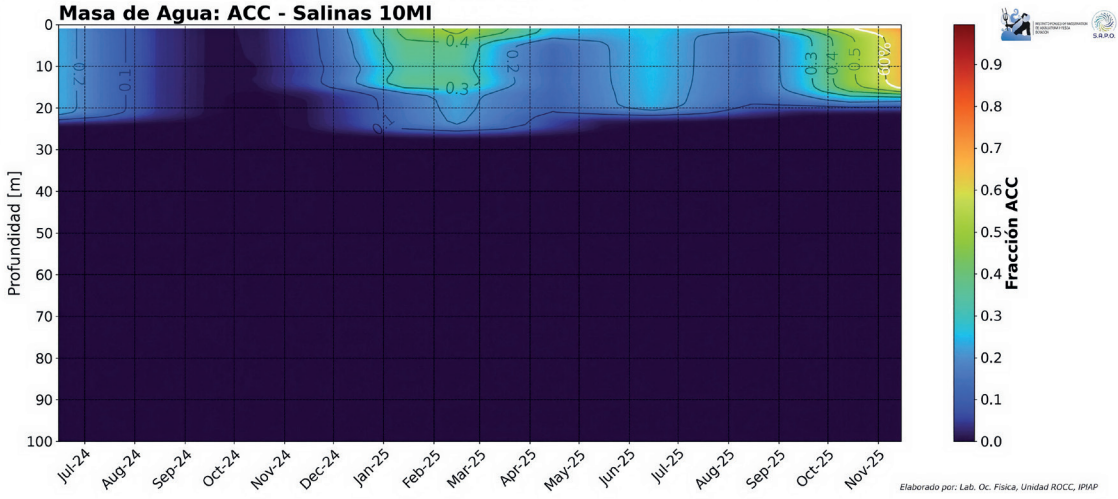


Figura 31. Perfil temporal ACC en la estación Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

DISCUSIÓN

El análisis de las condiciones físicas en las estaciones de Puerto López y Salinas desde junio de 2024 hasta noviembre de 2025 permite identificar la evolución de las estructuras térmicas y halinas desde su fase de neutralidad hasta el desarrollo de anomalías en fase cálida o fría. Durante el segundo semestre de 2024 (junio a diciembre), tanto las estaciones mencionadas, el Pacífico ecuatorial y el mar territorial ecuatoriano se mantuvieron bajo un régimen neutral, caracterizado por un Índice Oceánico de El Niño (ONI) de -0.2 °C y una alternancia regular entre el fortalecimiento y debilitamiento de los vientos Alisios (CN-ERFEN-092024, 09-2024; CN-ERFEN-112024, 11-2024). Esta configuración estacional pudo mantener el Frente Ecuatorial activo y los perfiles de temperatura y salinidad dentro de los rangos climatológicos promedio (Monterey y Levitus, 1997).

Este escenario varió hacia el primer semestre de 2025. Se registró un incremento térmico en la columna de agua que alcanzó su valor máximo de temperatura superficial del mar (TSM) entre los meses de marzo y abril de 2025, con registros de hasta 28.0 °C y anomalías de +3.0 °C en Puerto López y +2.5 °C en Salinas. A escala regional, este calentamiento concordó con las anomalías de +1.1 °C reportadas por el Comité Nacional ERFEN (2025) en la región Niño 1+2. La presencia de este calentamiento superficial pudo ser la causa de la alteración en la distribución vertical de la densidad, mostrando un comportamiento consistente con los procesos de profundización de la termoclina observados históricamente en la costa norte de Sudamérica durante periodos anómalos cálidos (Cucalón, 1986; Quispe et al., 2021).

La fase de calentamiento de inicios de 2025 estuvo vinculada a la advección meridional de masas de agua de baja salinidad desde el norte. Durante el primer trimestre de 2025, de manera anormal el Agua de la Cuenca Colombiana (ACC) dominó (>50%) en los primeros 30 metros de la columna interactuando con el Agua Tropical Superficial (<50%), disminuyendo la salinidad superficial debido al transporte de agua dulce influenciado por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (Cucalón, 1989; Villegas y Málikov, 2006). Esta superposición de agua cálida y de baja salinidad generó una caída de densidad en la superficie que causó el descenso de la termoclina hasta los 26 metros de profundidad desde enero hasta marzo (CN-ERFEN-032025, 03-2025). Como consecuencia la capa subsuperficial mostró un incremento en la frecuencia de Brunt-Väisälä (N); mientras que entre abril y junio el ingreso de Agua Subtropical Superficial (ASTS) con mayor salinidad causó la disminución de la estabilidad vertical, reflejando una reducción de la estabilidad vertical (Durran y Klemp, 1982; Obeso-Nieblas et al., 2014).

A partir del segundo semestre de 2025, las observaciones físicas evidenciaron cambio, dando paso a un enfriamiento que registró su mayor intensidad entre octubre y noviembre de 2025. En este periodo, la NOAA registró el Índice ONI en -0.5 °C y WMO el Índice de Oscilación del Sur (IOS) en 1.1, parámetros que se asocian al desarrollo de la fase fría de ENOS (La Niña) en el Pacífico central (CN-ERFEN-062025, 06-2025; Monterey y Levitus, 1997). A nivel local, el Comité Nacional ERFEN (03-2025) reportó anomalías térmicas negativas de hasta -1.6 °C en el Pacífico oriental.

En Puerto López y Salinas influyó la circulación subsuperficial. Esta dinámica estuvo gobernada por el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), vinculada al flujo de la Corriente de Cromwell, la cual provocó el levantamiento de las isotermas de 15 °C y 16 °C hacia la profundidad de los 40 m a 50 m (CN-ERFEN-032025, 03-2025; Villegas N. , 2003). El ascenso de esta masa de agua densa y salina (>35.0 PSU) Interactuó con la estructura previa impuesta por el ACC. Al mismo tiempo, la AESS generó un incremento subsuperficial en la frecuencia de Brunt-Väisälä (N), aumentando la estratificación entre los 30 y 40 m de profundidad lo que podría modificar la estructura termohalina separando por capas la columna de agua (Obeso-Nieblas et al., 2014; Villegas N. , 2003).

CONCLUSIONES

• El segundo semestre del 2024 se caracterizó por anomalías tanto en las estaciones Pto. López y Salinidad como en la región Niño 1+2 dentro del ± 0.5 °C, manteniendo las estructuras termohalinas con rangos normales según la climatología promedio mensual.

• Se identificó una transición hacia un régimen cálido que alcanzó su valor máximo entre marzo y abril de 2025, registrando TSM locales de hasta 28.0 °C y anomalías de +3.0 °C, propiciado por el ingreso de Agua Tropical Superficial y Agua de la Cuenca Colombiana.

• El segundo semestre del 2025 presentó anomalías negativas hasta -1.6 °C en la subsuperficie en octubre-noviembre, provocada por el levantamiento del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), el cual elevó las isotermas de 15 °C y 16 °C al estrato de 40-50 metros.

• La frecuencia de Brunt-Väisälä (N) reflejó los cambios en la estructurales de la columna: disminuyó desde abril hasta junio debido a la Intrusión de Agua Subtropical Superficial, y se incrementó durante el segundo semestre por la intrusión del AESS.

• Las variaciones locales medidas en Puerto López y Salinas mostraron concordancia con los diagnósticos de escala regional, alineándose con lo indicado por el Comité Nacional ERFEN y la evolución hacia el umbral frío del índice ONI -0.5 °C reportado por la NOAA.

BIBLIOGRAFÍA

CN-ERFEN-012025. (01-2025). BOLETÍN TÉCNICO - ERFEN Nro. 01-2025. INOCAR.
CN-ERFEN-032025. (03-2025). BOLETÍN TÉCNICO - ERFEN Nro. 03-2025. INOCAR.
CN-ERFEN-062025. (06-2025). BOLETÍN TÉCNICO - ERFEN Nro. 06-2025. INOCAR.
CN-ERFEN-092024. (09-2024). BOLETÍN TÉCNICO - ERFEN Nro. 12-2024. INOCAR.
CN-ERFEN-112024. (11-2024). BOLETÍN TÉCNICO - ERFEN Nro. 14-2024. INOCAR.

Comisión Permanente del Pacífico Sur. (2015). Protocolo del uso del CTD Sea-Bird y procesamiento de datos. Comisión Permanente del Pacífico Sur-CPPS. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1098

Cucalón, E. (1986). Sinopsis de la oceanografía de la región frente a las costas de Ecuador. Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero (OLDEPESCA), 1, 259-344. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/382524527_Sinopsis_de_la_Oceanografia_de_la_Region_frente_a_las_Costas_de_Ecuador

Cucalón Zenck, E. (1983). Temperature, Salinity and Water Mass Distribution off Ecuador during an El Niño Event in 1976. Revista de Ciencias del Mar y Limnologia, 2(1), 1-25. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/382489944_Temperature_Salinity_and_Water_Mass_Distribution_off_Ecuador_during_an_El_Nino_Event_in_1976/citations

Cucalón, E. (1989). Oceanographic characteristics off the coast of Ecuador. En S. O. (Eds.), Establishing a sustainable shrimp mariculture industry in Ecuador (pp. 185-194). The University of Rhode Island, Coastal Resources Center.

Durran, D., y Klemp, J. (1982). On the effects of moisture on the Brunt-Väisälä frequency. Journal of the Atmospheric Sciences, 39(10), 2152-2158.

Encalada-Flores, M., y Iza-Arias, G. (2024). Influencia de la variabilidad climática en temperatura, precipitación y velocidad del viento en Villonaco, Ecuador. CIENCIA UNEMI, Vol 17(45), p36. https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol17iss45.2024pp36-51p

GO-SHIP. (2025). The Global Ocean Ship-Based Hydrographic Investigations Program (GO-SHIP). The Global Ocean Ship-Based Hydrographic Investigations Program (GO-SHIP): https://digital.csic.es/bitstream/10261/307845/1/The_global_ocean_OA_2019.pdf

ICO, I. O. (1992). Oceanic Interdecadal Climate Variability. ICO Technical series, 40. https://doi.org/https://www.jodc.go.jp/info/ioc_doc/Technical/094206eb.pdf

IPIAP, I. (2024). Instituto Público de Investigación de Acuicultura/Programa Variabilidad Climática. Programa Variabilidad Climática: https://institutopesca.gob.ec/variabilidad-climatica/

Monterey, G., y Levitus, S. (1997). Seasonal variability of mixed layer depth for the World Ocean. NOAA. https://doi.org/https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/49153

Obeso-Nieblas, M., Rodríguez, J., Obeso-Huerta, H., y Muñoz-Casillas, S. (2014). Variabilidad espacial termohalina, masas de agua y circulación geostrófica en Bahía de La Paz, Golfo de California. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 49, 413-426. https://doi.org/DOI 10.4067/S0718-19572014000300002

Quispe, J., Vásquez, L., García, W., Correa, D., Pizarro, L., Tello, E., . . . Flores, R. (2021). EFECTOS DE EL NIÑO COSTERO 2017 EN LA ESTRUCTURA TERMOHALINA Y FLUJOS GEOSTRÓFICOS FRENTE A LA COSTA NORTE DEL PERÚ. Bol Inst Mar Perú, 36(2). https://doi.org/https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.344

Ruiz-Ochoa, M., Torres-Corredor, J., Vargas-Corredor, Y., y Orduz-Amaya, L. (2023). Variabilidad climática (precipitación, temperatura y humedad relativa) para la gestión hídrica del departamento del Casanare, Colombia. SciELO, 34(5), 47-60. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642023000500047

Sea-Bird Electronics, I. (2015). User's Manial SBE 19plus Vs SeaCAT Profiler. SBE Electronics.

Sea-Bird Scientific. (2017). Seasoft V2: SBE Data Processing CTD Data Processing & Plotting Software for Windows. SBE Electronics.

Stewart, R. (2005). Introduction to Physical Oceanography. Department of Oceanography Texas A & M University. https://doi.org/https://mcirano.ufba.br/ftp/books/stewart05/book.pdf

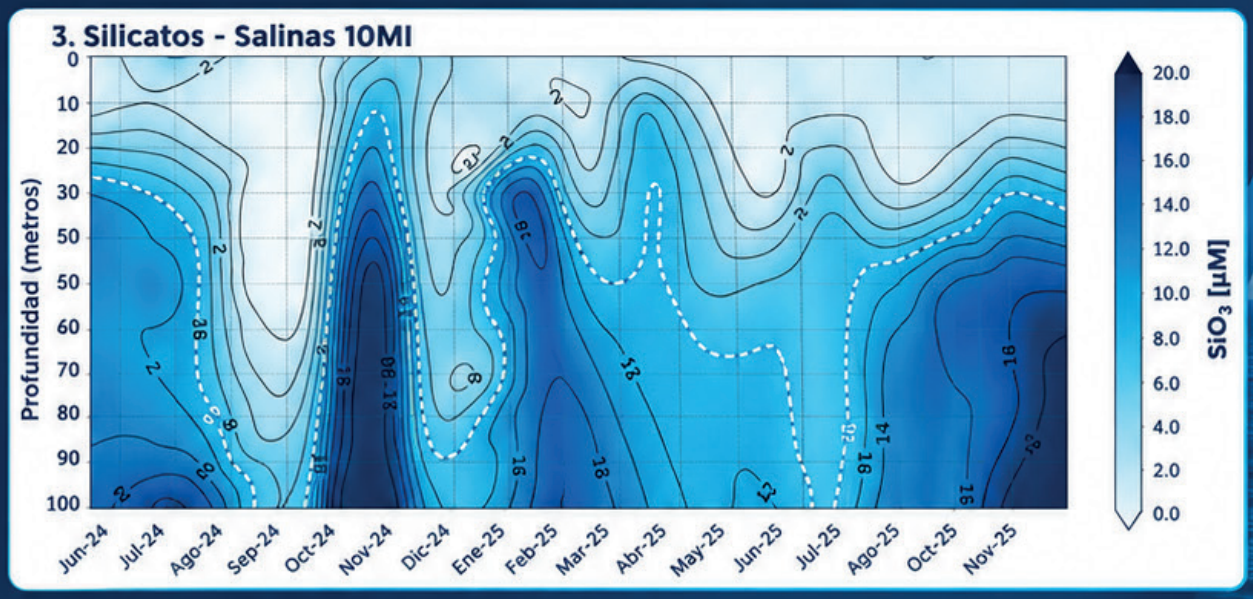
Terán, B., Recalde, S., y Andrade, C. (2021). Aporte sobre la variabilidad espacial de la corriente de Cromwell en el Pacífico ecuatorial, entre 170°o y 85°o en el promedio de 1993 -2017. Acta Oceanográfica del Pacífico, 3(1), 1-1. https://doi.org/ISSN-e 2806-5522

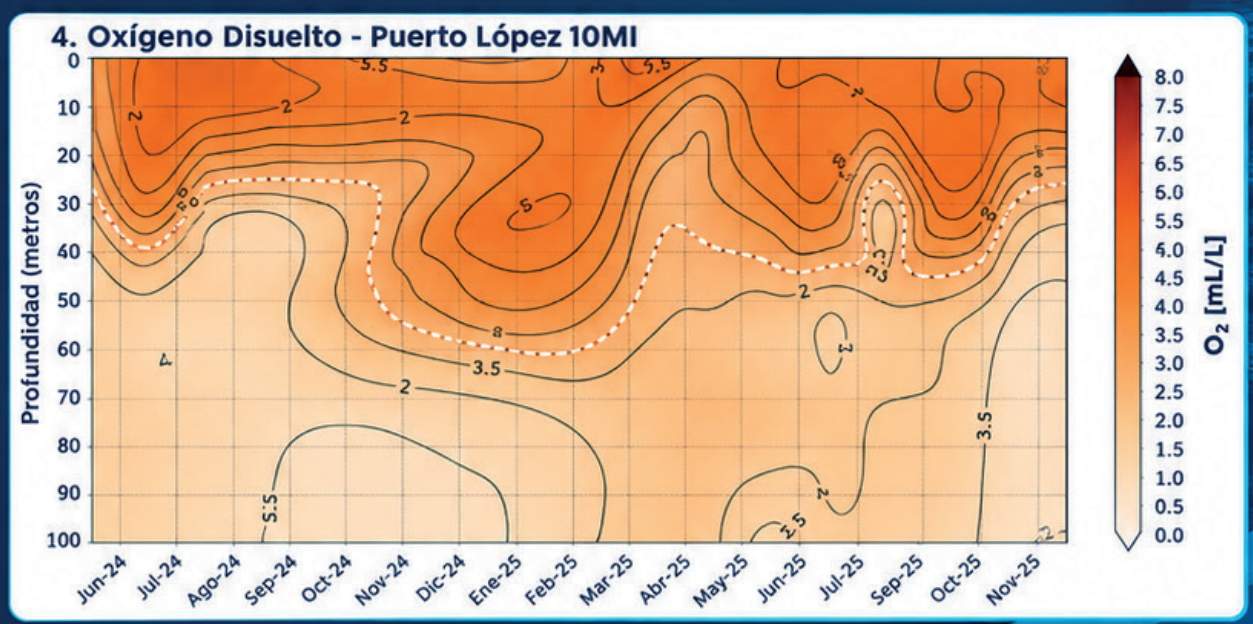
Villegas, N. (2003). Estabilidad De Las Aguas Del Pacífico Colombiano. Boletín Científico CCCP, 10, 5-14.

Villegas, N., y Málikov, I. (2006). Modelación de la estructura Dinámica de las aguas de la Cuenca del Pacífico Colombiano. Boletín Científico CCCP(13), 97-114. https://doi.org/10.26640/01213423.13.97_114

CONDICIONES HIDROQUÍMICAS REGISTRADAS FRENTE A PUERTO LÓPEZ Y SALINAS

JUNIO 2024 - NOVIEMBRE 2025





CONDICIONES HIDROQUÍMICAS REGISTRADAS FRENTE A PUERTO LÓPEZ Y SALINAS JUNIO 2024 - NOVIEMBRE 2025

Patricia Macías[1]
[1] Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, pmacias@institutopesca.gob.ec

RESUMEN

Este estudio sistematiza el análisis espacio-temporal de las variables hidroquímicas, monitoreadas mensualmente por el IPIAP entre junio de 2024 y noviembre de 2025 en las estaciones costeras de Puerto López y Salinas (Ecuador), a 10 millas náuticas de la costa. Se determinaron las concentraciones de oxígeno disuelto y nutrientes inorgánicos disueltos (NO3, PO4, SiO4) mediante metodologías convencionales, evaluando además la clorofila-a.
Durante el último cuatrimestre de ambos años (septiembre-diciembre), se evidenció una intensa estratificación de la columna de agua que localizó la oxíclina y la nutriclina entre los 30 y 40 metros de profundidad; esto restringió el flujo vertical de energía y provocó el agotamiento de nutrientes en la capa superficial. En contraste, entre febrero y junio de 2025 se registró un flujo ascendente de elementos nutritivos que fertilizó la capa epipelágica, desencadenando procesos fotosintéticos intensos en los primeros 20 metros y una elevada productividad primaria. En abril de 2025, esta fertilización hidroquímica alcanzó máximos de clorofila-a superiores a 2.0 $mg \cdot m^{-3}$ en Puerto López y rebasando los 3.0 $mg \cdot m^{-3}$ en Salinas. Por debajo de los 30 metros, el cociente molar NO3/PO4 convergió con la relación teórica de Redfield (16:1), registrando concentraciones estables de hasta 24.0 uM de nitrato (NO3).

Palabras claves: Nutrientes, Oxígeno, Clorofila, Indice Redfield

ABSTRACT

This study systematizes the spatial-temporal analysis of hydro chemical variables, monitored monthly by IPIAP between June 2024 and November 2025 at the coastal stations of Puerto López and Salinas (Ecuador), 10 nautical miles offshore. Dissolved oxygen and inorganic nutrient (NO3, PO4, SiO4) concentrations were determined using conventional methodologies, and chlorophyll-a was also evaluated.
During the last four months of both years (September-December), intense stratification of the water column was observed, locating the oxycline and nutricline between 30 and 40 meters deep; this restricted the vertical flow of energy and caused nutrient depletion in the surface layer. In contrast, between February and June 2025, an upward flow of nutrients fertilized the epipelagic layer, triggering intense photosynthetic processes in the first 20 meters and high primary productivity. In April 2025, this hydrochemical fertilization reached chlorophyll-a peaks exceeding 2.0 $mg \cdot m^{-3}$ in Puerto López and surpassing 3.0 $mg \cdot m^{-3}$ in Salinas. Below 30 meters, the NO_3/PO_4 molar ratio converged with the theoretical Redfield ratio (16:1), registering stable concentrations of up to 24.0 µM of NO_3.

Keywords: Nutrients, Oxygen, Chlorophyll, Redfield Ratio

INTRODUCCIÓN

Las concentraciones de los principales elementos nutritivos son consecuencia del proceso de producción (Cushing et al., 1975), presentando una marcada variabilidad, y estableciendo patrones diferentes de distribución que favorecerán la acumulación de nutrientes o la dispersión de los mismos, influenciados por los cambios estacionales del viento, y del sistema de intercambio y/o mezcla con la capa subsuperficial, en el aporte de estos compuestos a la zona eufórica (Libes, 2009).

El proceso de asimilación de nutrientes se realiza principalmente en la capa fótica de los ecosistemas marino-costeros, sustentando gran parte de la producción primaria (Montoya et al., 2004, Fernández et al., 2011) que es insignificante y relativa a la producción nueva y regenerada de los procesos biogeoquímicos más importantes, asociados al fitoplancton (Cabrita et al., 1999).

Conocer los elementos claves que intervienen en la dinámica de los ecosistemas es fundamental para interpretar su productividad. Estos generalmente se encuentran asociados a un evento en particular y en este contexto la profundidad de la nutriclina y oxiclina es considerado un factor determinante en el suministro de nutrientes a la zona eufótica (Montecino et al., 2006a), debido a que este cambia en relación a las condiciones oceanográficas (estacionales, intraestacionales, anuales).

METODOLOGÍA

El informe corresponde al período comprendido entre junio 2024 y noviembre 2025, los datos fueron obtenidos en dos estaciones (Pto López y Salinas) ubicadas 10 millas de la línea de costa, con una periodicidad de 30 días (Figura 1).

La metodología empleada para la obtención de datos, colecta de muestras y su posterior análisis son parte del procedimiento convencional empleado en oceanografía química.

Las muestras de agua fueron colectadas con botellas Niskin, filtradas al vacío, a través de filtros de fibra de vidrio GF/F, almacenadas en botellas de polietileno y congeladas para su posterior análisis en los laboratorios del IPIAP. Se obtuvieron muestras de agua para determinar nutrientes inorgánicos disueltos tales como, nitrito (NO2), nitrato [NO3], fosfato [PO4], silicato [SiO4], y oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto fue determinado por el método de Winkler modificado por Carpenter (1976), y los nutrientes inorgánicos disueltos con las metodologías descritas por Strickland y Parsons (1972), Solórzano (1969 y 1984). Clorofila “a” por el método espectrofotométrico citado en el manual de Strickland y Parsons (1972)

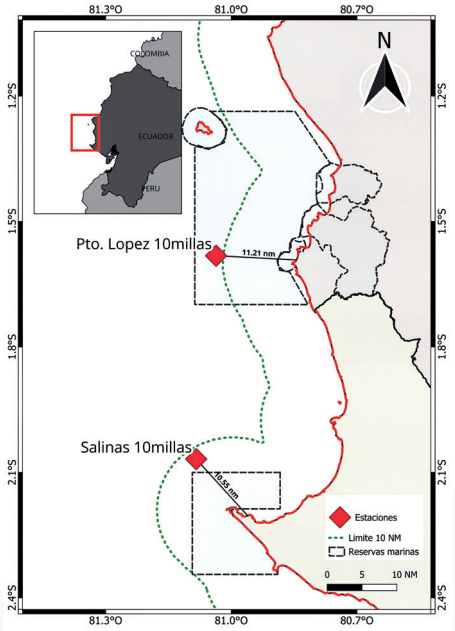


Figura 1. Estaciones del programa Variabilidad Climática

RESULTADOS

PUERTO LÓPEZ

En esta estación se registró en la superficie (0.5 m) las menores concentraciones de oxígeno disuelto 4.1 y 4.8 ml. l^{-1} para el mes de junio en ambos periodos, en tanto que los máximos valores fueron reportados en el mes de agosto de 2024 (5.4 ml.l^{-1}), mientras que para el 2025, su mayor concentración se detectó en abril (5.9 ml. l^{-1}) (Figura 2).

Para el segundo semestre del 2024, se detectó las apolínea de 4.5 y 3.0 ml. l^{-1}en los meses de agosto a noviembre, aproximadamente entre 20–30 m, similar distribución temporal se observó en el 2025, pero ligeramente más profunda (~40 m), mientras que en el primer semestre del 2025, se observó una marcada variabilidad en la profundidad de la isolinea de 3.0 ml. l^{-1} con su mayor pendiente en agosto, que alcanzó aproximadamente los 30 m de profundidad, mientras que para marzo se profundizó hasta ~55 m (Figura 3).

En la superficie (0.5 m), los nutrientes fluctuaron entre 0.4 a 0.9 [µM-NO3] y 0.3 a 0.5 [µM-PO4] de nitrato y fosfato, respectivamente. Las menores concentraciones de los micronutrientes mencionados fueron registradas durante todo el periodo del 2025, oscilando desde 0.1 a 0.3 [µM-NO3]; 0.1 a 0.4 [µM-PO4]; a diferencia del Silicato, que registró entre junio y diciembre 2024 los menores valores (0.3 a 1.4 [µM-SiO4]), mientras que para el 2025 las concentraciones oscilaron entre 1.2 a 1.9 [µM-SiO4], sin embargo, en agosto de ambos años se presentaron los máximos valores (4.1 y 7.2 [µM-SiO4]) (Figura 4).

En el periodo comprendido entre junio 2024 y julio 2025 en los primeros 20 m., las concentraciones fluctuaron entre 0.2 y 0.9 [µM-NO3] de nitrato; 0.4 a 0.7 [µM-PO4] de fosfato; 1.0 a 1.8 [µM-SiO4] de silicato, mientras que, para el tercer cuatrimestre del 2025, se observaron concentraciones menores de nitrógeno y fósforo que oscilaron entre 0.1 a 0.2 [µM-NO3]; 0.1 a 0.3 [µM-PO4]; de 1.5 a 5.1 [µM-SiO4]. El mayor cambio en la concentración de los nutrientes se detectó después de los 30 m de profundidad durante ambos periodos, fluctuando entre 8.0 y 22.0 µM-NO3; 1.0 a 2.0 µM-PO4; 6.7 a 17.7 [µM-SiO4] (Figura 5, 6, y 7).

En la capa superficial (0.5 m.) el cociente NO3/PO4, registró en el segundo semestre del 2024, valores entre 1.3 y 2.4, detectando un valor atípico para el mes de julio (17.0) mientras que para el 2025 el cociente fluctuó entre 0.4 y 5.4; los mayores valores del cociente fueron observados en el mes de octubre (Figura 8).

La distribución vertical de la relación Redfield durante el segundo semestre del 2024, acusó valores entre 1.5 a 8.0 hasta aproximadamente 25 m, mientras que para el segundo semestre del 2025 se observó la isolinea de 8.0 alrededor de los 30 m., las mayores concentraciones del cociente se detectaron en las capas más profunda, julio y octubre del 2024 (~10.0) y para agosto y octubre 2025 (~15.0) (Figura 9).

La concentración de clorofila "a" reportada entre junio y octubre del 2024, osciló entre 0.1- 0.3 mg.m^{-3} hasta aproximadamente los 30 m., mientras que entre marzo y noviembre del 2025 se registraron concentraciones de clorofila "a", de 0.5 a 2.0 mg.m^{-3} en los primeros 20 m., las mayores concentraciones se registraron en abril y septiembre para el 2025 (Figura 10).

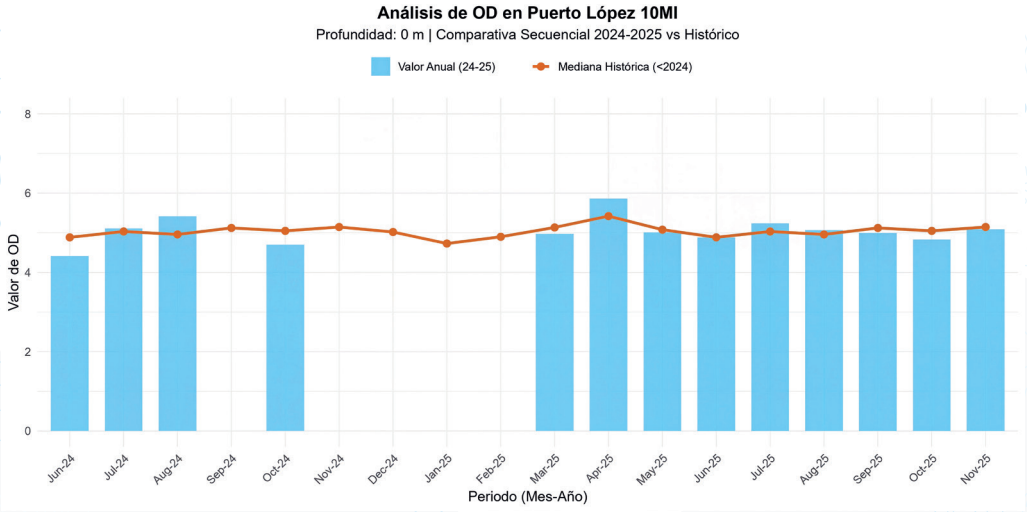


Figura 2. Distribución superficial de Oxígeno disuelto en la estación de Pto. López, junio 2024-noviembre 2025

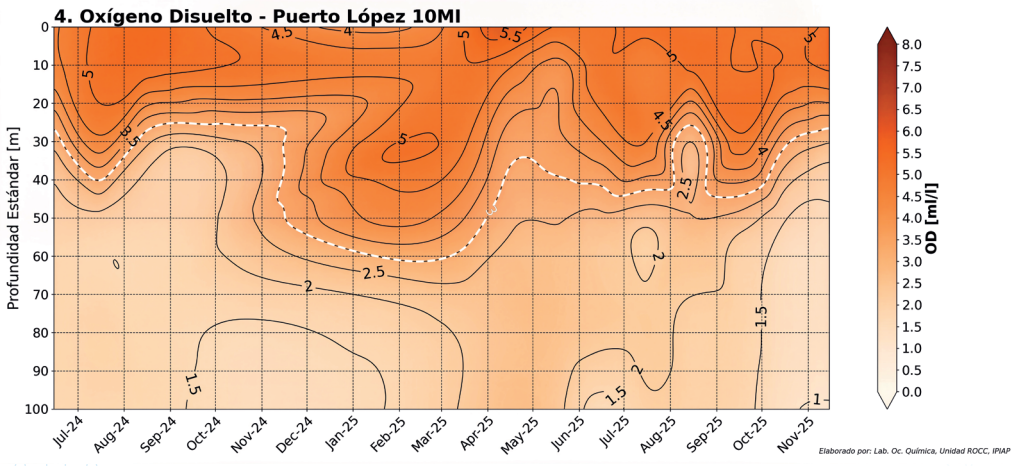


Figura 3. Distribución vertical del Oxígeno disuelto en la estación de Pto López, junio 2024 - noviembre 2025

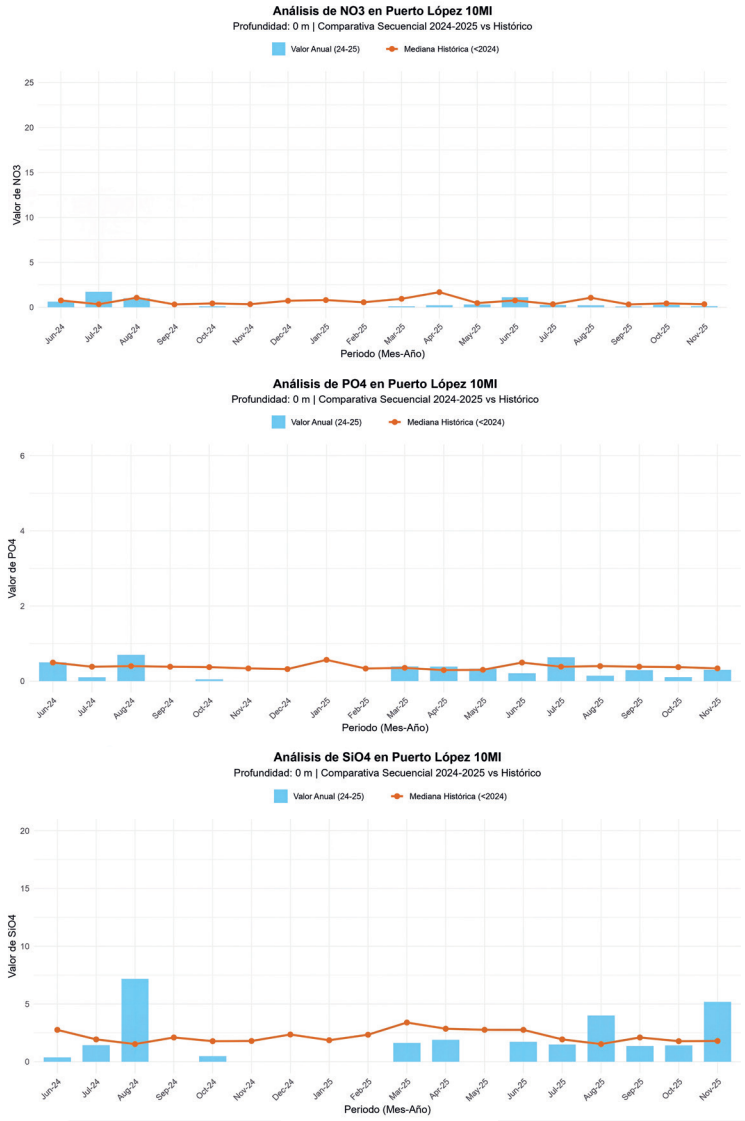


Figura 4. Distribución superficial de los principales nutrientes (Nitrato, fosfato, silicato) en la estación de Pto López, junio 2024 - noviembre 2025

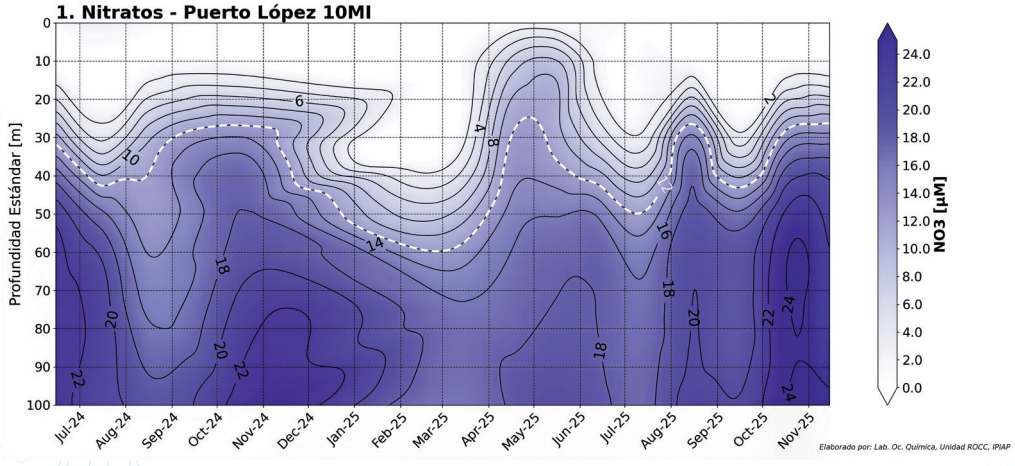


Figura 5. Distribución vertical de nitrato en la estación de Pto López, junio 2024 - noviembre 2025

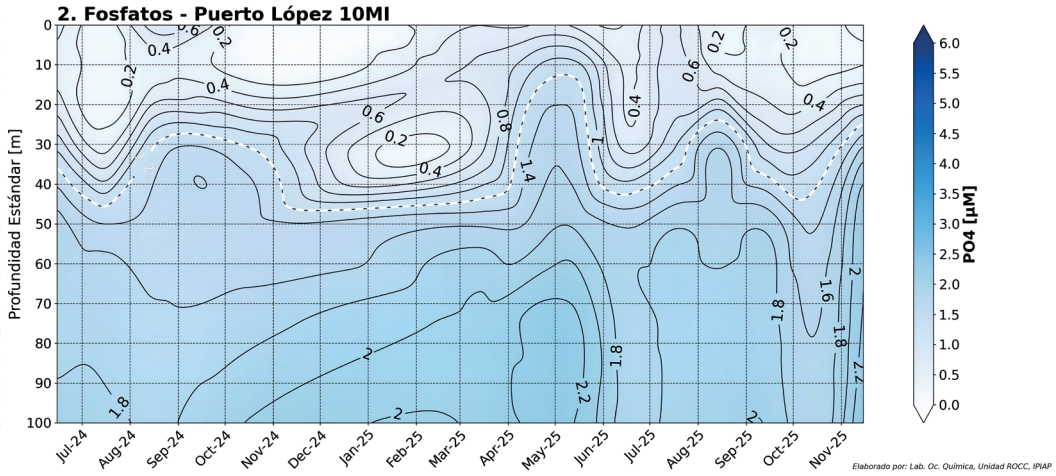


Figura 6. Distribución vertical de Fosfato en la estación de Pto López, junio 2024 - noviembre 2025

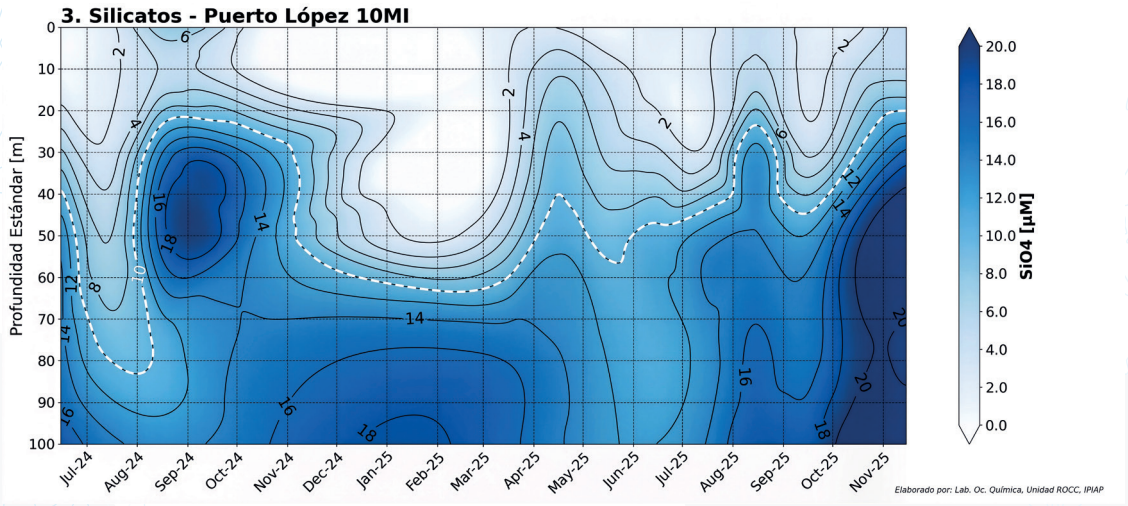


Figura 7. Distribución vertical de silicato en la estación de Pto López, junio 2024 - noviembre 2025

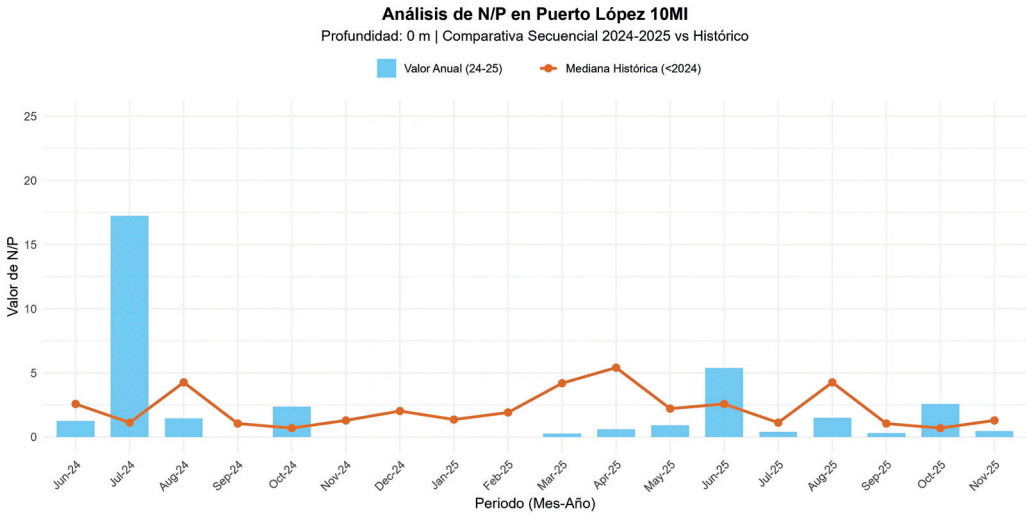


Figura 8. Distribución superficial de la razón Redfield en la estación de Pto López, junio 2024 - noviembre 2025

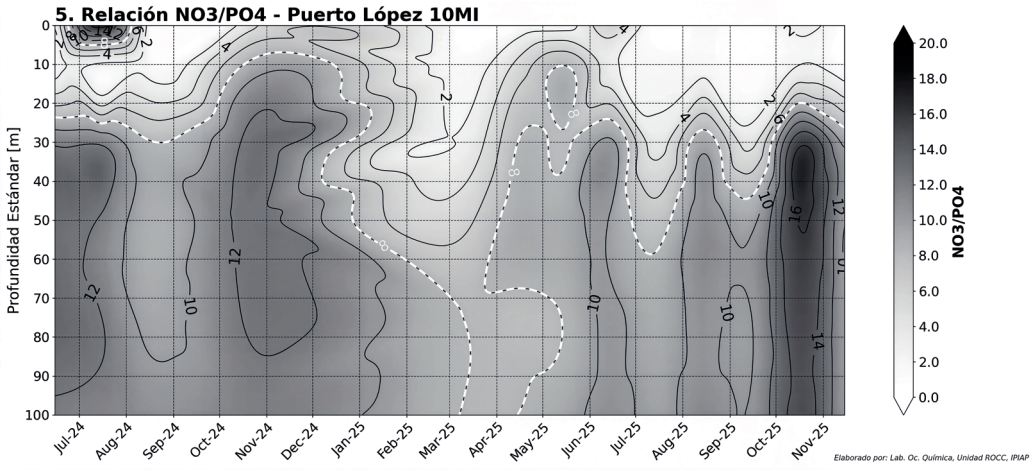


Figura 9. Distribución vertical del cociente Redfield en la estación de Pto López, junio 2024 - noviembre 2025

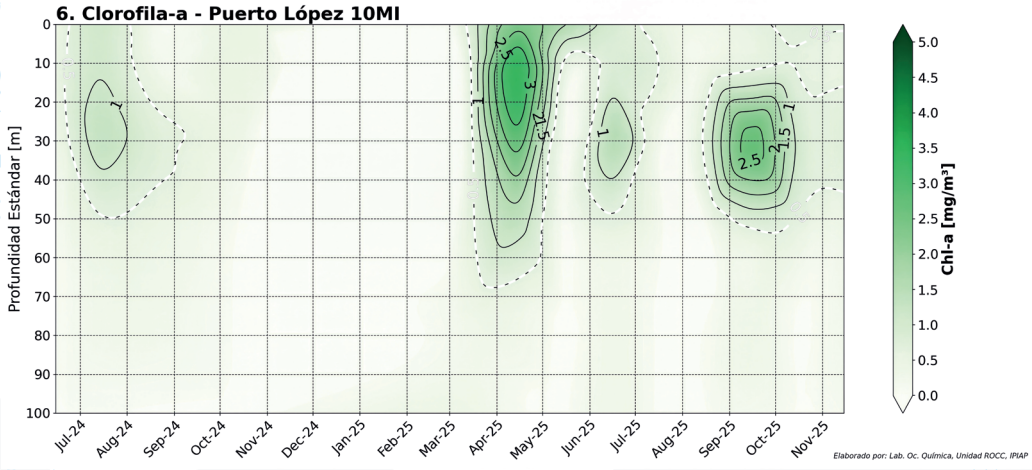


Figura 10. Distribución vertical de clorofila a en la estación de Pto López, junio 2024 - noviembre 2025

SALINAS

Salinas, registró en el 2024 a nivel superficial (0.5 m) las menores concentraciones de oxígeno disuelto (OD), con el mínimo (4.5 ml. l^{-1}) en junio, para los siguientes meses del año acusó valores promedio de 5.1 ml. l^{-1}, mientras que para el 2025, la mayor concentración se detectó en febrero (5.8 ml. l^{-1}), y el menor valor en mayo (4.7 ml. l^{-1}); en general para los meses de estudio su concentración (5.1 ml. l^{-1}) y distribución fue uniforme (Figura 11).

Durante el segundo semestre del 2024, se observaron concentraciones de 4.5 a 3.0 ml. l^{-1} ubicadas entre los 10 y 30 m, excepto en septiembre que se detectó la isolinea de 3.0 ml. l^{-1}aproximadamente en 10 m. Para el primer semestre del 2025, se observó una marcada variabilidad en la profundidad de la Oxíclina de 3.0 ml. l^{-1} con su mayor pendiente en abril que alcanzó aproximadamente los 15 m de profundidad, y se profundizó hasta ~50 m en mayo. Mientras que el último semestre del 2025 se observó la isolinea de 3.0 ml. l^{-1} ligeramente recuperada hasta alcanzar los 30 m (Figura 12).

Los nutrientes en la capa superficial en el segundo semestre 2024 fluctuaron entre 0.3 a 1.8 [µM-NO3]; 0.3 a 0.6 [µM-PO4] de nitrato y fosfato, respectivamente. Las menores concentraciones fueron registradas durante el 2025, oscilando desde 0.1 a 0.9 [µM-NO3]; 0.3 a 0.6 [µM-PO4]; silicato, registró entre agosto y diciembre 2024 las mayores concentraciones (5.6 [µM-SiO4]), a diferencia del 2025 que registró a partir de abril los menores valores (1.1 a .1.4 [µ M-SiO4]) (Figura 13).

En los primeros 20 m de la columna de agua, para el periodo de estudio, las concentraciones fluctuaron en el 2024 entre 0.3 y 0.6 [µM-NO3] de nitrato; 02. a 0.5 [µM-PO4] de fosfato; 0.7 a 9.3 [µM-SiO4] de silicato, mientras que para el 2025 las concentraciones en esta capa, oscilaron desde 0.1 a 0.3 [µM-NO3]; 0.1 a 0.4 [µM-PO4]; de 0.9 a 1.6 [µM-SiO4], excepto para abril y mayo que registraron mayores concentraciones, desde 6.4 a 10.5 [µM-NO3]; 1.3 a 1.7 [µM-PO4]; 2.7 a 7.2 [µM-SiO4]. El mayor cambio en la concentración de los nutrientes se detectó después de los 30 m de profundidad, fluctuando entre 6.0 y 24.0 [µM-NO3]; 1.8 a 2.3 [µM-PO4]; 6.8 a 21.2 [µM-SiO4] (Figuras 14, 15, 16).

En la capa superficial el cociente NO3/PO4, registró desde junio hasta octubre 2024, valores entre 1.0 y 2.8, excepto julio que presentó el máximo valor de esta relación (8.0), mientras que para el 2025 los niveles detectados estuvieron entre 0.1 y 2.1, su máximo valor se registró en mayo (Figura 17). La distribución vertical de la relación Redfield, hasta aproximadamente 20 m, acuso valores entre 0.5 a 2.5, después de esta profundidad fluctuó entre 8.0 y 12.0 durante todo el periodo (Figura 18); Se observó flujo continuo de este cociente hacia la superficie en el mes de abril 2025.

Para el segundo semestre de 2024, Salinas registró en los primeros 15 metros, concentraciones de clorofila "a", entre 0.15 - 0.30 mg.m^{-3}, el mínimo se reportó en junio y julio y máximo valor en septiembre y noviembre, adicionalmente se detectó para el mes de julio la formación de un núcleo alrededor de los 30 metros con valores mayor a 0.50 mg.m^{-3}.,mientras que entre febrero y noviembre del 2025 se registraron concentraciones de clorofila "a", de 0.60 a 1.40 mg.m^{-3} excepto abril que acusó valores mayores a 3.0 mg.m^{-3} en los primeros 20 m. y menores concentraciones en los meses de agosto y septiembre (0.10 - 0.50 mg.m^{-3}). (Figura 19)

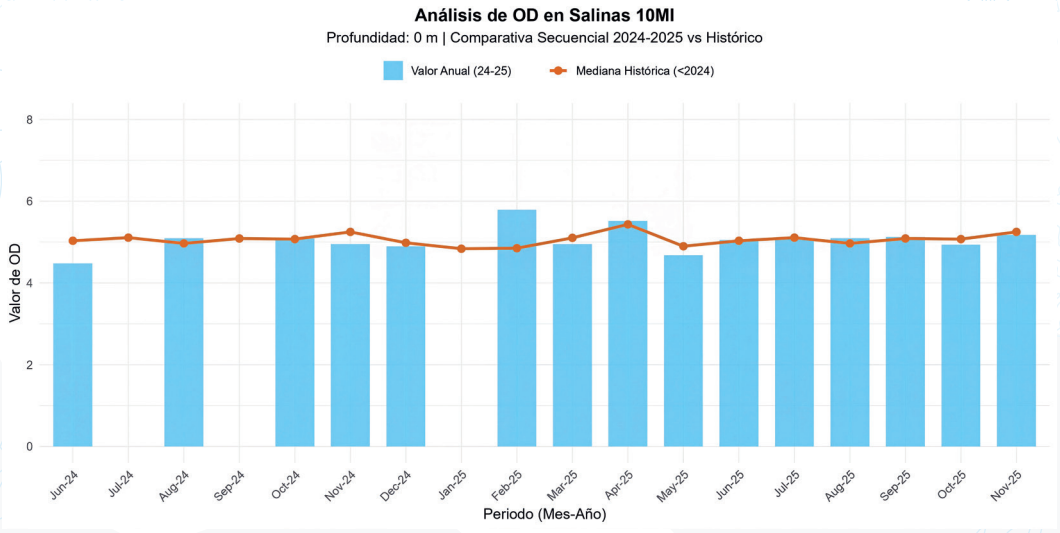


Figura 11. Distribución superficial de Oxígeno disuelto en la estación de Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

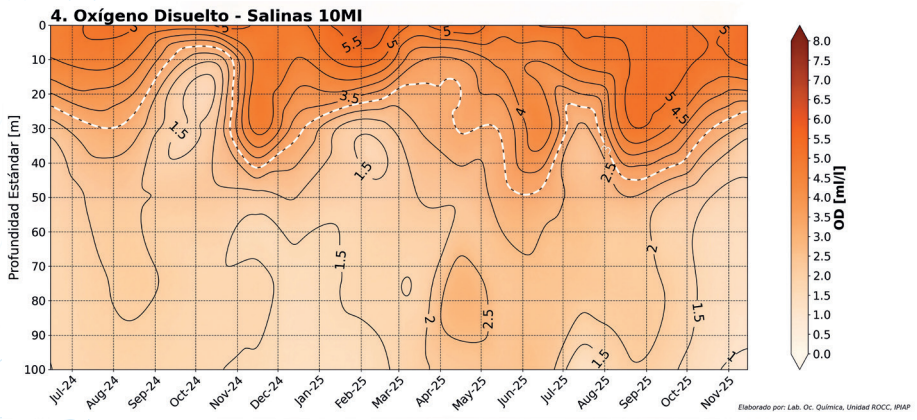


Figura 12. Distribución vertical del Oxígeno disuelto en la estación de Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

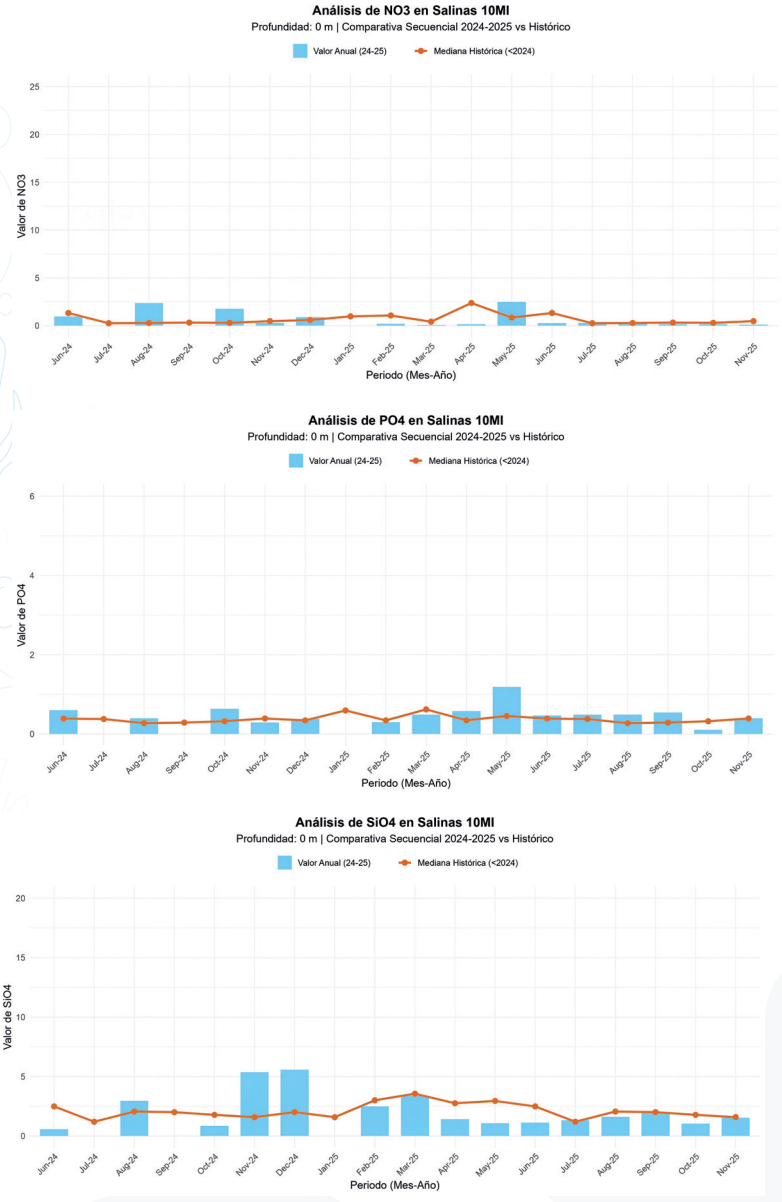


Figura 13. Distribución superficial de los principales nutrientes (Nitrato, fosfato, silicato) en la estación de Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

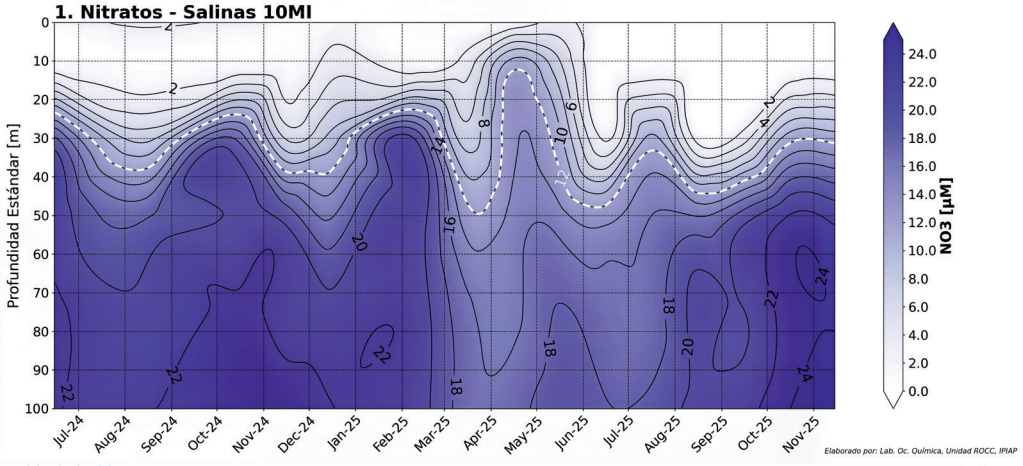


Figura 14. Distribución vertical de Nitrato en la estación de Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

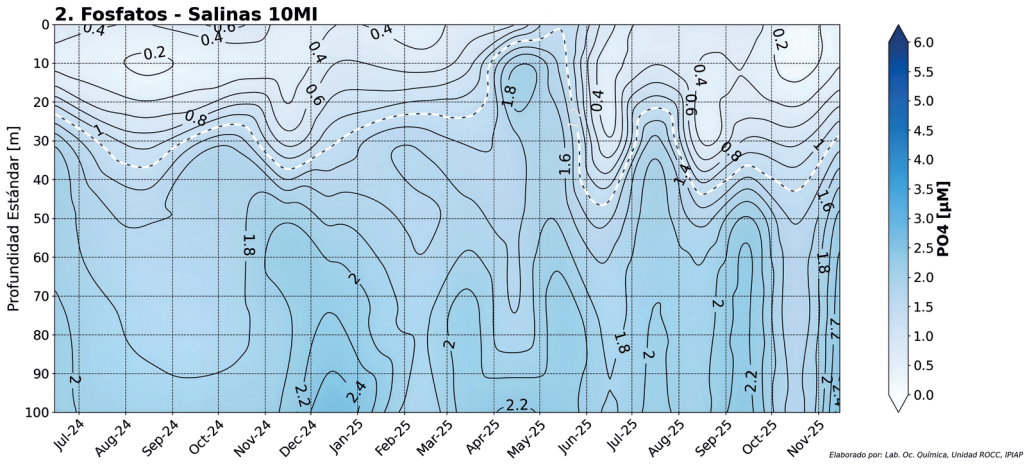


Figura 15. Distribución vertical de Fosfato en la estación de Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

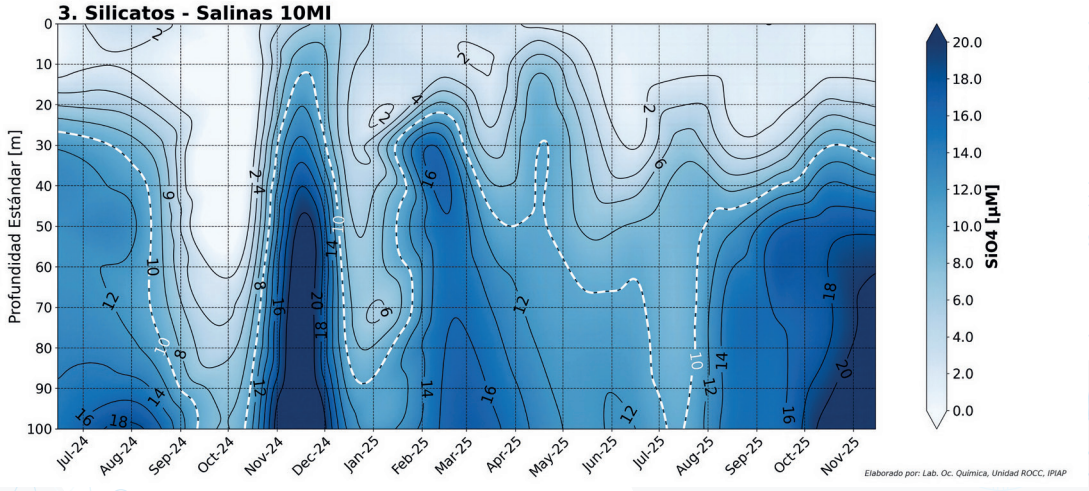


Figura 16. Distribución vertical de silicato en la estación de Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

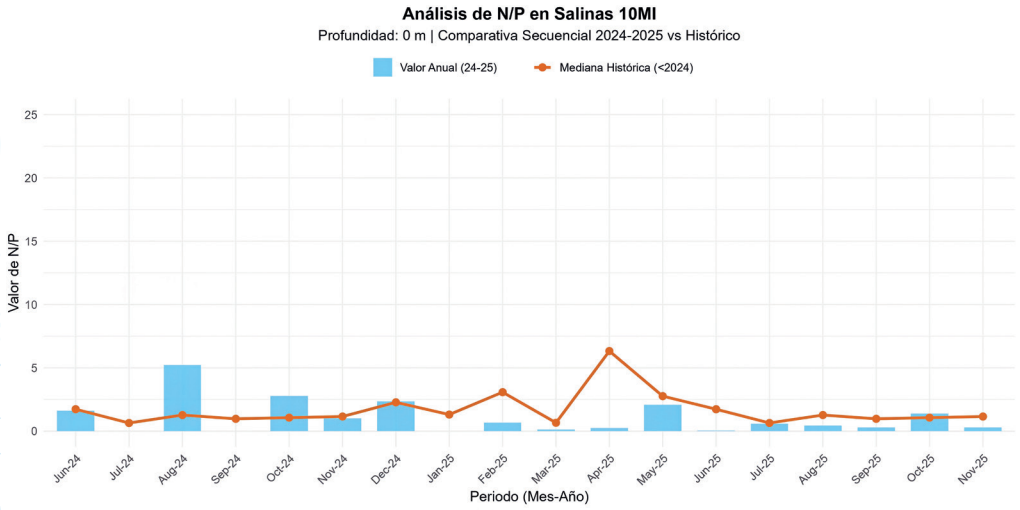


Figura 17. Distribución superficial de cociente NO3/PO4 en la estación de Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

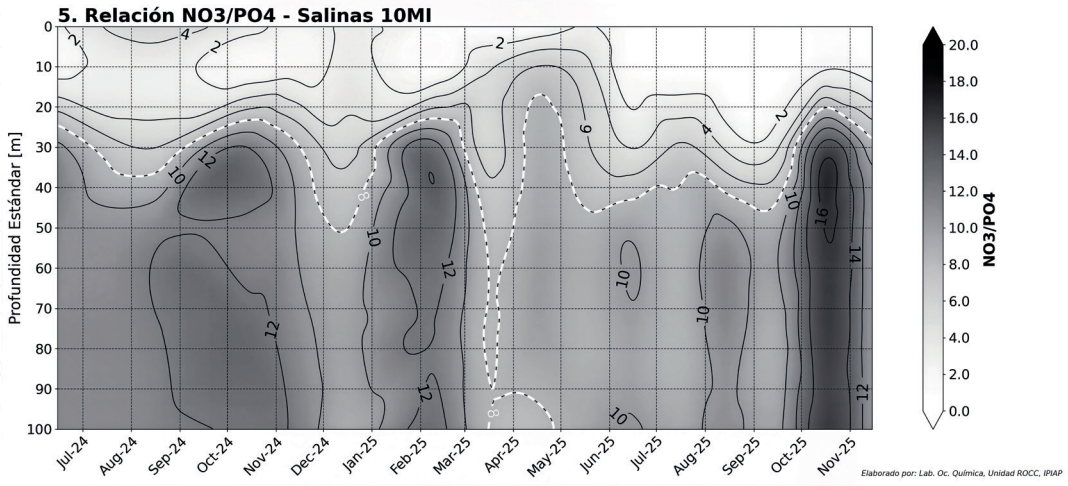


Figura 18. Distribución superficial de cociente NO3/PO4 en la estación de Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

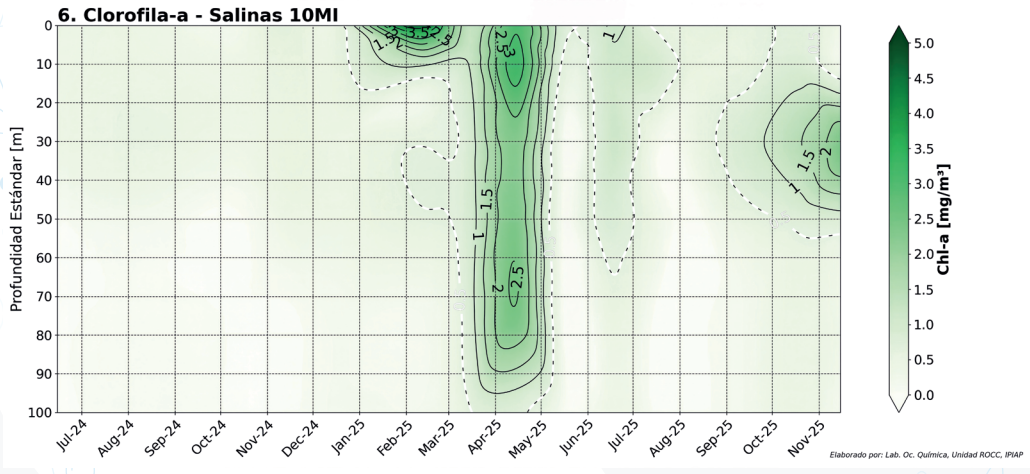


Figura 19. Distribución vertical de clorofila “a” en la estación de Salinas, junio 2024 - noviembre 2025

DISCUSIÓN

El oxígeno a nivel superficial registró las mayores concentraciones en agosto 2024 y abril 2025 para Puerto López, mientras que en Salinas fueron detectadas en febrero y abril 2025, probablemente por procesos fotosintéticos muy intensos, las concentraciones se detectaron en los rangos normales a nivel superficial, sin embargo se observó variabilidad en la profundidad de la isoxigena de 3.0 ml. L^{-1} probablemente el aporte de una masa de agua con reconocidas implicaciones en la renovación de nutrientes y en la distribución vertical de los organismos planctónicos (Brinton, 1979) relacionadas con pérdida de nitrógeno, exportación de carbono, productividad, reciclaje, etc. (Paulmier y Ruiz-Pino, 2008).

Los micronutrientes nitrógeno / fósforo presentan una estequiometría molar cercana al cociente NO3:PO4=16:1., para el periodo estudiado, es más baja en superficie y bastante aproximada a la relación Nitrato/fosfato (16:1) después de los 30 m, que sugiere condiciones de fertilización cuando los procesos de mezcla juegan un papel trascendental en el aporte de estos compuestos a la zona eufótica (Libes, 2009) , mientras que la desviación de esta relación en la superficie estaría relacionada a la influencia de procesos biogeoquímicos (Silva & Palma, 2007) tales como la remineralización.

El último cuatrimestre del 2024 y 2025 se caracterizaron por un intenso gradiente entre los 30 y 40 m, ubicando la nutriclina y oxiclina a estas profundidades, probablemente por una marcada estratificación, que no permitiría el intercambio de energía para sostener los procesos productivos primarios (Escribano & Castro, 2014), consecuentemente un agotamiento de los principales nutrimentos en superficie. Mientras que entre febrero y junio 2025 se observó un flujo de nutrientes, que fertilizaron la capa superficial, permitiendo procesos fotosintéticos en los primeros 20 m, la cual generaría una mayor productividad primaria en las zonas de estudio.

Los datos de silicato observado en la columna de agua reflejaron variabilidad muy marcada en sus concentraciones, mostrando agotamiento del mismo en diferentes meses del periodo 2024-2025, que podría indicar la proliferación de especies afines a este elemento, que frente a condiciones reducidas de nutrientes daría paso a especies con migraciones verticales, mecanismos de defensa contra la predación y de alimentación mixotrófica para obtener energía y nutrientes de manera eficiente para proliferar (Smayda, 1980; Cushing, 1989; Reynolds, 1997).

CONCLUSIONES

• Para el último cuatrimestre del 2024 y el 2025, la nutriclina y oxiclina se ubicaron entre 30 y 40 m de profundidad, limitando el intercambio de energía y un agotamiento de nutrientes en la capa superficial.

• Entre febrero y junio del 2025, Flujo de nutrientes fertilizando la capa superficial, generaría una mayor productividad primaria.

• Los datos sugieren una variabilidad estacional de los nutrientes, asociada a actividades biológicas y a las distintas masas de agua que incursionaron la zona.

BIBLIOGRAFÍA

Brinton, E. (1979). Parameters relating to the distribution of planktonic organisms, especially euphausiids in the eastern tropical Pacific. *Progress in Oceanography*, 8, 125–189.

Carita, M. T., Catarina, F., & Slay, G. (1999). Interactions of light, temperature and inorganic nitrogen in controlling plankton nitrogen utilization in the Tagus estuary. *Aquatic Ecology*, 33, 251–261.

Carpenter, J. H. (1965). The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. *Limnology and Oceanography*, 10, 135–140.

Cushing, D. H. (1975). *Marine ecology and fisheries.* Cambridge University Press.

Cushing, D. H. (1989). A difference between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. *Jornal of Plancton Resecar*, 11(1), 1–13.

Escribano, R., & Castro, L. (2004). Plancton y productividad. En C. Werlinger (Ed.), *Biología marina y oceanografía: Conceptos y procesos* (Tomo 1, pp. 287–312).

Fernández, C., Farías, L., & Ulloa, O. (2011). Nitrogen fixation in denitrified marine waters. *Plops ONE*, 6(6), e20539.

Hazing, P., & Zonneveld, J. R. V. (1973). The Cromwell Current on the east side of the Galapagos Islands. *Journal of Geophysical Research*, 78, 7845–7859.

Helmet, P., Romero, O., & Fischer, G. (2005). Northwest African upwelling and its effect on offshore organic carbon export to the deep sea. *Global Biogeochemical Cycles, 19.* **https://doi.org/10.1029/2004GB002265**

Icochea, L., & Rojas, E. (2001). La Corriente Cromwell y sus variaciones en los 0°N, 110°W. En M. Espino, M. Samamé, & R. Castillo (Eds.), *Forum Inst. Mar Perú: La merluza peruana (Merluccius gayi peruanus): Biología y pesquería* (Documento de trabajo, pp. 20–28). Instituto del Mar del Perú.

Libes, S. (2009). *Introduction to marine biogeochemistry*. Elsevier.

Montoya, J. P., Holl, C. M., Zehr, J. P., Hansen, A., Villareal, T. A., & Capone, D. G. (2004). High rates of N2 fixation by unicellular diazotrophs in the oligotrophic Pacific Ocean. *Nature, 430,* 1027–1031.

Paulmier, A., & Ruiz-Pino, D. (2008). Oxygen minimum zones (OMZs) in the modern ocean. *Progress in Oceanography.* https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.08.001

Reynolds, C. S. (1997). Vegetation processes in the pelagic: A model for ecosystem theory. En O. E. Kinne (Ed.), *Excellence in ecology.* Ecology Institute.

Silva, N., & Palma, S. (2007). Oxígeno disuelto, pH y nutrientes en canales y fiordos australes. *En Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a Cabo de Hornos 2007* (pp. 37–43). Comité Oceanográfico Nacional – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Smayda, T. J. (1980). Phytoplankton species succession. En I. Morris (Ed.), *The physiological ecology of phytoplankton* (pp. 493–570). Blackwell Scientific Publications.

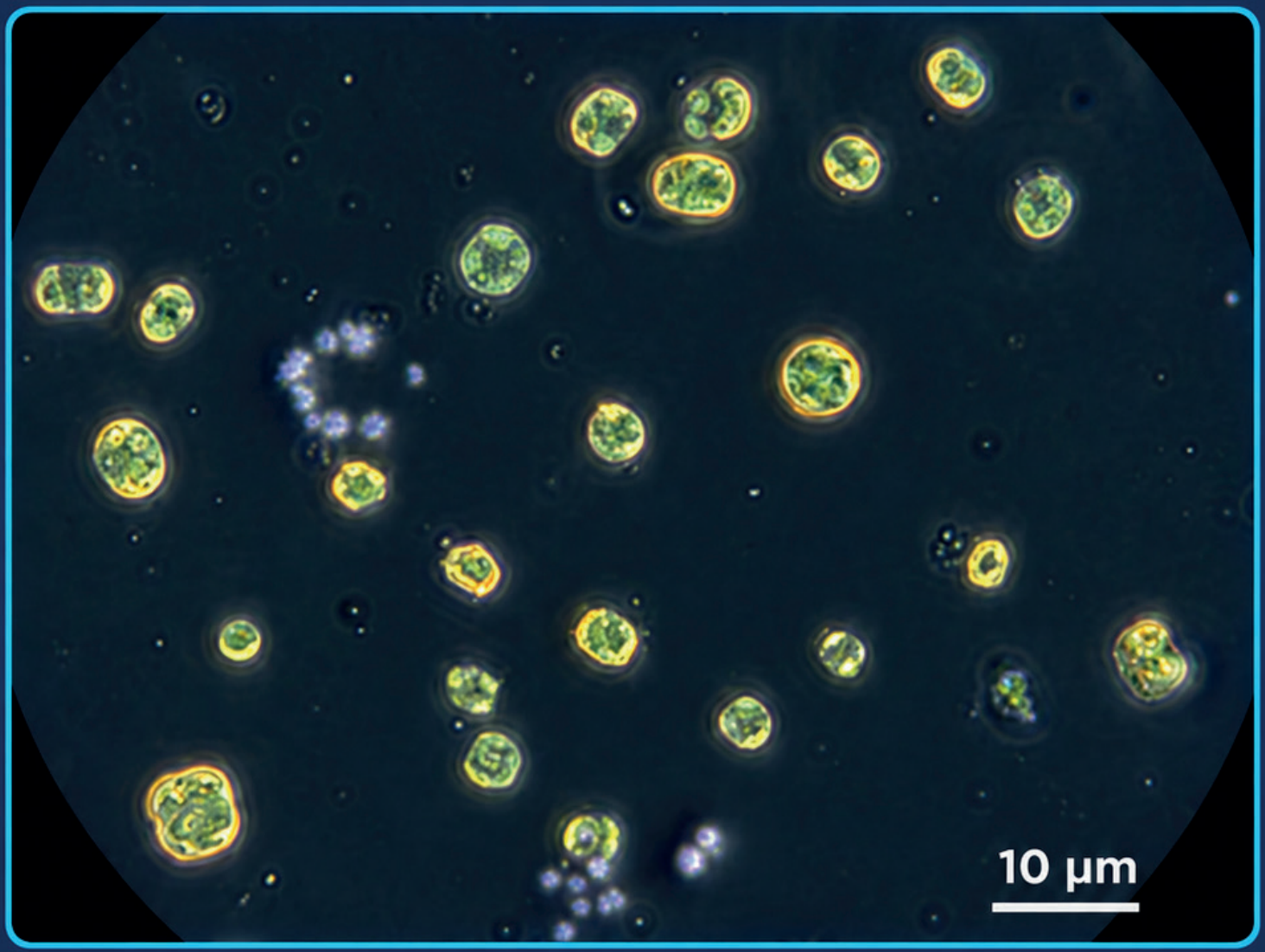
Smayda, T. J. (1997). Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnology and Oceanography,* 42(5, Pt. 2), 1137–1153.

Solorzano, L. (1969). Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypoclorite method. *Limnology and Oceanography,* 14(5), 799–801.

Solorzano, L. (1984). Métodos de análisis en el curso latinoamericano de post-grado: "Instrumentación y análisis químicos de agentes contaminantes en el mar". *Boletín Científico y Técnico del Instituto Nacional de Pesca, 7*(1).

Strickland, J. D. H., & Parsons, T. R. (1972). *A practical handbook of sea water analysis* (Bulletin 67). Fisheries Research Board of Canada.

VARIABILIDAD DEL FITOPLANCTON EN PUERTO LÓPEZ Y SALINAS, DURANTE 2025



VARIABILIDAD DEL FITOPLANCTON EN PUERTO LÓPEZ Y SALINAS, DURANTE 2025

David Garcìa-Asencio[1]
[1] Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, dgarcia@institutopesca.gob.ec

RESUMEN

El presente estudio analiza la variabilidad espacio-temporal del fitoplancton en estaciones de monitoreo ubicadas frente a Puerto López (Manabí) y Salinas (Santa Elena) durante el 2025. Las diatomeas constituyeron el grupo taxonómico dominante en ambas localidades, con variaciones específicas en la distribución y densidad de especies. Aunque las densidades promedio se mantuvieron dentro de los rangos históricos de variabilidad para estas zonas, el análisis estadístico mostró patrones diferenciados: en la provincia de Manabí cuyas diferencias significativas se limitaron a los estratos de profundidad, mientras que en Santa Elena la variabilidad fue significativa tanto a escala mensual como batimétrica. A nivel de composición específica, se registraron eventos puntuales de floraciones algales (blooms) de *Thalassiosira cf.* mala (abril y septiembre) en Puerto López. Por su parte, *Cylindrotheca* closterium mostró una recurrencia constante en ambas localidades con una contribución superior al 20%. La firma biológica de estos ecosistemas marino-costeros estuvo tipificada por taxones como *Leptocylindrus danicus*, *Dactyliosolen phuketensis, Dactyliosolen mediterraneus,* los complejos de especies *Pseudo-nitzschia delicatissima* y *P. seriata,* además del dinoflagelado *Karlodinium* sp. Los índices bióticos mostraron una dominancia ecológica marcada entre abril y septiembre, sugiriendo condiciones de estrés o selección ambiental, mientras que el resto del año presentó una estructura más heterogénea y diversa en Puerto López. En contraste, la comunidad de fitoplancton fue más equilibrada y estable durante todo el periodo de estudio en Salinas. Finalmente, el análisis de conglomerados evidenció una baja cohesión biológica en los estratos de fondo de Puerto López y una alta cohesión interna en la columna de agua de Salinas. Estos hallazgos sugieren un cambio crítico en la composición biológica a nivel subsuperficial, específicamente en el estrato de 50 a 100 metros de profundidad.

Palabras claves: Diatomeas, Bloom, cohesión biológica, estratificación, *Cylindrotheca closterium*

ABSTRACT

This study analyzes the spatiotemporal variability of phytoplankton at monitoring stations located off Puerto López (Manabí) and Salinas (Santa Elena) during the 2025. The results revealed that diatoms constituted the dominant taxonomic group in both locations, with specific variations in species distribution and density. Although average densities remained within the historical ranges of variability for these areas, statistical analysis showed differentiated patterns: in the province of Manabí, significant differences were limited to depth strata, while in Santa Elena, variability was significant at both monthly and bathymetric scales. Regarding species composition, isolated algal blooms of *Thalassiosira cf.* mala (April and September) were recorded in Puerto López. *Cylindrotheca closterium*, on the other hand, showed constant recurrence in both locations, contributing more than 20%. The biological signature of these marine-coastal ecosystems was characterized by taxa such as *Leptocylindrus danicus, Dactyliosolen phuketensis, Dactyliosolen mediterraneus,* the species complexes *Pseudo-nitzschia delicatissima* and *P. seriata,* and the dinoflagellate *Karlodinium* sp. Biotic indices showed marked ecological dominance between April and September, suggesting stressful conditions or environmental selection, while the rest of the year exhibited a more heterogeneous and diverse structure in Puerto López. In contrast, the phytoplankton community was more balanced and stable throughout the study period in Salinas. Finally, cluster analysis revealed low biological cohesion in the bottom strata of Puerto López and high internal cohesion in the water column of Salinas. These findings suggest a critical shift in biological composition at the subsurface level, specifically in the 50- to 100-meter depth stratum.

Key words: Diatoms, Bloom, biological cohesion, stratification, *Cylindrotheca closterium*

INTRODUCCIÓN

El fitoplancton marino, pertenece a un grupo de organismos fotosintéticos unicelulares, responsables del 50% de la producción primaria global (Benedetti et al., 2021). Es así, que la diversificación de grupos fitoplanctónicos y su variabilidad de tamaño es una característica clave en los ecosistemas marinos, ya que, afecta la abundancia y diversidad de organismos en el océano (Marañon, 2015). Y a su vez, permite comprender los impactos del calentamiento global sobre la base de los ecosistemas marinos, para predecir cambios en la biodiversidad futura, productividad oceánica y producción pesquera (Barange y Perry, 2009).

La abundancia relativa de células pequeñas y grandes de fitoplancton también influyen en los procesos climáticos y los ciclos biogeoquímicos globales de los elementos principales (C, N, P, O y Si), junto con el Fe y otros oligoelementos que impulsan la productividad primaria. Se cree que la mayor parte de la biomasa producida por el fitoplancton pequeño, se recicla rápidamente dentro de la zona eufótica, mientras que las células grandes de fitoplancton impulsan la bomba biológica al transportar rápidamente carbono al interior del océano (Marañon, 2015). Por ello, la coexistencia de especies pequeñas de crecimiento rápido y especies grandes de crecimiento lento es fácilmente permisible bajo exclusión trófica, incluso en ambientes acuáticos temporalmente estables y con bajos niveles de nutrientes, como los giros oceánicos centrales (Benedetti et al., 2021).

Una interacción compleja de condiciones ambientales (temperatura y concentraciones de nutrientes), relaciones interespecíficas (depredación y competencia) y dispersión contribuyen a crear patrones heterogéneos de estructuras de tamaño de la comunidad de fitoplancton en diferentes regiones oceánicas (Ward et al., 2012). Las regiones con bajas concentraciones de nutrientes de los océanos tropicales y subtropicales están dominadas por fitoplancton pequeño, mientras que las regiones con altas concentraciones de nutrientes sustentan grandes células de fitoplancton (Marañon et al., 2001; Hirata et al., 2011).

METODOLOGÍA

ÁREA DE ESTUDIO

Los datos utilizados corresponden al monitoreo de dos estaciones fijas 10 millas costa afuera frente a las costas de Manabí y Santa Elena del Programa de Variabilidad Climática de la Unidad de Recursos Oceanográficos y Cambio Climático (ROCC) (Figura 1).

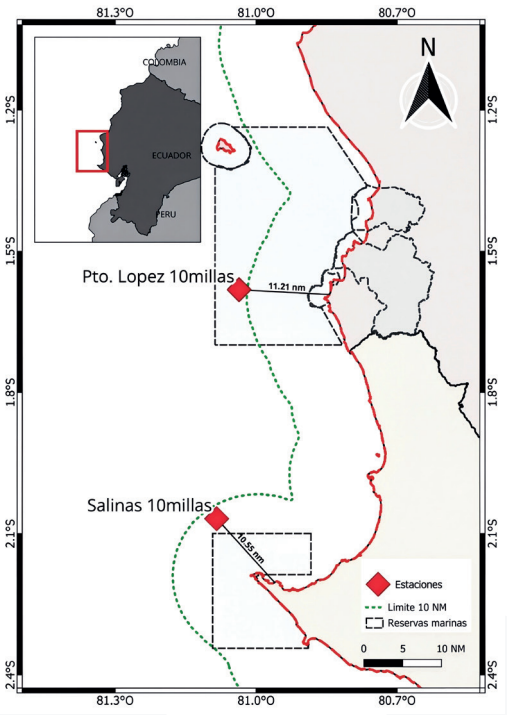


Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones 10 millas costa afuera frente a las costas de Manabí y Santa Elena, durante 2025

METODOLOGÍA DE CAMPO

Se colectaron muestras de fitoplancton en la columna de agua a profundidades estándares de 0, 10, 30, 50, 75, 100 m de profundidad con botella Niskin, y luego fueron fijadas con 8-10 gotas de Lugol hasta que tome una coloración ambar in-situ para su posterior análisis en el laboratorio (Utermohl, 1958). A la par, se tomaron datos in-situ de temperatura con sensor CastAway -CTD. La periodicidad del muestreo fue: 9 meses (marzo a noviembre) para la localidad de Puerto López, y 10 meses (febrero a noviembre) para Salinas. Considerándose a la época lluviosa (diciembre a mayo) y época seca (junio a noviembre) de acuerdo a Cucalón (1996).

METOLOGÍA DE LABORATORIO

ANÁLISIS BIOLÓGICOS

Para el análisis cuantitativo de fitoplancton se empleó el Método de Utermöhl (1958) con cámara de sedimentación 10 cc con la ayuda de microscopio invertido Leica DMi 8 M, obteniéndose los resultados en Cel.L^{-1}; mientras que la categorización de especies como dominantes y abundantes, se realizó en base a lo establecido por Lobo y Leighton (1986), es decir, abundante es aquella alga cuya ocurrencia numérica supera la media del número total de individuos de las especies en una muestra, y dominante cuando su ocurrencia numérica supera el 50% de la densidad total.

La clasificación de los taxones se efectuó con las directrices establecidas por el Registro Mundial de Especies Marinas (WoRNS), AlgaeBase y Global Biodiversity Information Facility GBIF, en cuanto a la identificación taxonómica se efectuó con las claves taxonómicas correspondientes:

Moreira et al., (2019); Mardones & Clément (2016); Morquecho-Escamilla et al., (2016); Gómez (2013); Inostroza et al., (2010); Fuerte et al., (2010); Meave del Castillo & Zamudio (2009); Al-Kandari et al., (2009); Rodríguez et al., (2008); Siqueiros-Beltrones (2002); Soler et al., (2003); Tomas (1996); Moreno et al., (1996); Licea et al., (1995); Jordan et al., (1991); Balech (1988); Pesantes (1983); Jiménez (1983 a y b); Schiller (1937) y Schiller (1933).

En función a la complejidad de las especies de *Pseudo-nitzschia*, al compartir caracteres morfológicos específicos difíciles de observar con microscopio de luz, se utilizaron los términos *Pseudo-nitzchia seriata* complex y *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex en función a los criterios de Hasle (1965) y Hasle & Syvertsen (1996).

TRATAMIENTO DE LA MUESTRA

ÍNDICES BIÓTICOS

Una vez realizada la cuantificación e identificación taxonómica del fitoplancton y empleando la formulación existente en Krebs (1999), se calcularon los siguientes índices:

Riqueza específica: corresponde al número de especies presentes en un ecosistema (S)

Equidad de Pielou: relaciona la diversidad observada con la máxima diversidad esperada. Su valor fluctúa de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad (Magurran, 1988).

Se calcula con la siguiente formulación:

$$J=H'/H'máx$$

Dónde:
J= índice de equidad de Pielou
H'= índice de diversidad de Shannon-Weaver
H' máx= $\log_2$ (S)
S= número de especies

ÍNDICE DE SHANNON-WEAVER

Se fundamenta en la teoría de la información y por tanto en la probabilidad de encontrar un determinado individuo en un ecosistema. Se calcula con la siguiente formulación:

$$H = -\sum_{i=1}^{S} pi.log_2(pi)$$

$$pi = \frac{ni}{N}$$

Dónde:
Ni= número de individuos en el sistema de la especie determinada i
N= número total de individuos
S= número total de especies

Los valores obtenidos, varían entre 0 a 3,5 bits.org, por lo que se utilizará la escala establecida por Magurran (1988) **(Tabla 1).**

Tabla 1. Rangos del índice de Shannon y Weaver

Intervalo	Interpretación
De 0 a 1,5	Diversidad baja
De 1,6 a 2,5	Diversidad media
De 2,6 a 3,5	Diversidad alta

ABUNDANCIA

Se representó la abundancia promedio de fitoplancton en barras horizontales ± error estándar, y las abundancias totales de fitoplancton fueron visualizadas en mapas de calor empleando el software libre Ocean Data View (ODV) expresadas en $Log_{10}Cel.L^{-1}$.

Para representar y visualizar las abundancias relativas de las especies más representativas, se aplicaron gráficos de burbujas de acuerdo a los lineamientos en Legendre y Legendre (2012).

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Previo al análisis estadístico los datos de las comunidades de fitoplancton fueron transformados a base Log_{10} según lo recomendado por Frontier (1980). Para determinar si existen diferencias significativas ($p = < 0,005$) entre las estaciones se realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis; así como también el porcentaje de similaridad entre las estaciones estudiadas por medio del índice de Bray Curtis, además de un test "ANOSIM" para detectar diferencias significativas entre estaciones (Clark, 1993) y un análisis exploratorio SIMPROF (Legendre y Legendre, 1998), empleando para ello los paquetes estadísticos Statgraphics Centurion XVI.I, Primer 6 y R Studio.

RESULTADO

PUERTO LÒPEZ

COMPOSICIÓN

Cualitativamente se registraron 106 especies fitoplanctónicas correspondientes a las clases: Coscinodiscophyceae con 13 familias, 57 especies, y tres (sp.); Bacillariophyceae con cuatro familias, 16 especies, un (sp.), un (cf.) y tres complejos; Dinophyceae con 10 familias, 22 especies, 7 (sp.) y dos (cf.); Litostomatae con una familia y una especie; Fragilariophyceae con una familia y dos especies; Coccolithophyceae con dos familias y cuatro (sp.); Dictyochophyceae con una familia y dos especies; Euglenophyceae con una familia, una especie y un (sp.); Prasinophyceae con una familia y una especie y Cryptophyceae con una familia y un (sp.). Estas dos últimas clases tuvo un registro puntual entre agosto y septiembre, respectivamente. Mientras que, a nivel de grupos las diatomeas céntricas dominaron con pulsos en abril, junio y septiembre (>50%), seguida de las diatomeas rafideas con el mayor pulso en julio (>75%) y los dinoflagelados con repuntes (>25%) en febrero, mayo y octubre, representadas por las clases (Figura 2).

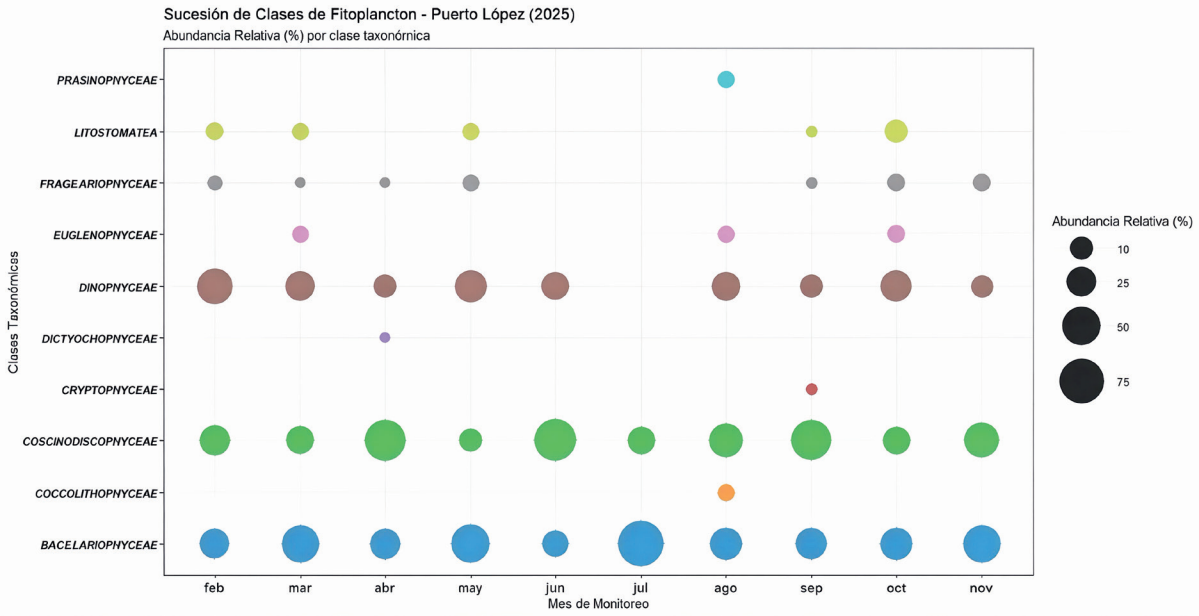


Figura 2. Distribución mensual de la composición por clase de fitoplancton en la estación 10 millas costa afuera frente a Puerto López, durante 2025

ABUNDANCIA

Espacialmente se observaron dos pulsos que van desde la superficie hasta los 30 m en abril y septiembre con valores entre 6 a 6,5 $\log_{10}$Cel.L^{-1} , dentro de los cuales hay un aporte significativo de *Thalassiosira cf.* mala, quien originó bloom en abril con 103x10^{4} Cel.L^{-1} a 424x10 $^{-1}$Cel.L^{-1} entre 0 y 10 m de profundidad, y en septiembre a los 30 m de profundidad con 227x10^{4} Cel.L^{-1}. Exceptuando estos dos eventos puntuales, se categorizó como normal de acuerdo al histórico. En cuanto a los meses con menor abundancia fueron junio con 68x10^{4} Cel.L^{-1} y octubre con 36x10^{4} Cel.L^{-1}. Sin embargo, durante todo el 2025 sus densidades se encontraron por encima del valor esperado en la categoría de abundante, registrando diferencias significativas solo entre profundidades (Kw=21,4637; p=0,000661896), evidenciando que a 0 m mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) con los niveles evaluados (10, 30, 75 y 100); siendo la diferencia más significativa a 50 m de profundidad (p=0,0000952) (Figura 3 y Figura 4).

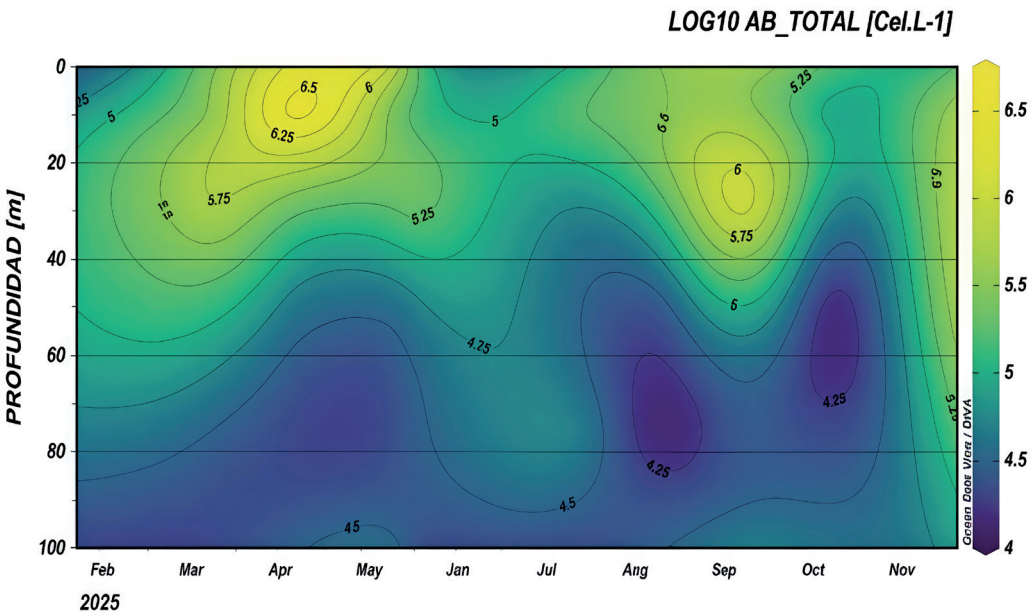


Figura 3. Distribución espacial de las abundancias totales de fitoplancton en la estación 10 millas costa afuera frente a Puerto López, durante 2025

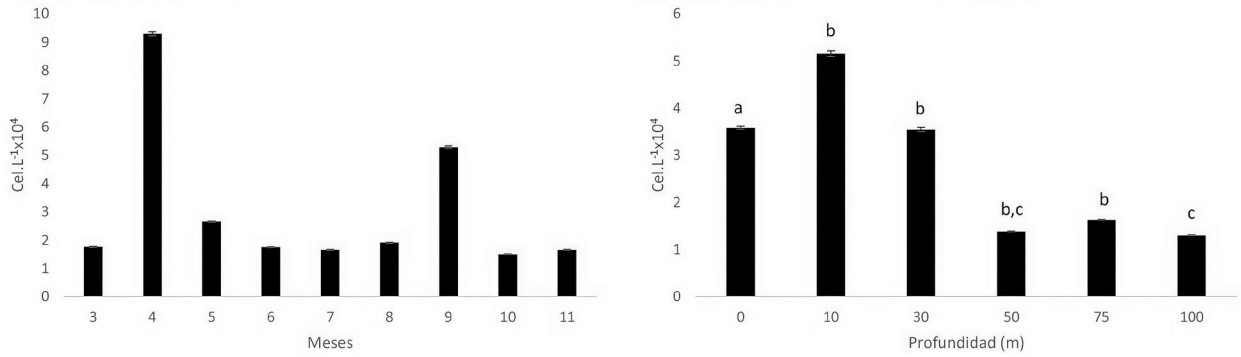


Figura 4. Abundancia promedio del fitoplancton por: a) meses y b) profundidad (m) en la estación 10 millas costa afuera frente a Puerto López, durante 2025 ± error estándar; letras iguales no hay diferencias significativas según prueba post hoc Dunn.

El análisis de la abundancia relativa determinó que solo la especie *Th. cf.* mala alcanzó un valor por encima del 50%, y en cuanto al resto de especies obtuvieron una representatividad por debajo del 22%, siendo la especie *Cylindrotheca closterium,* quien se presentó constante durante todo el año de estudio, con picos en julio (21%) y marzo (16%) y al final de la época seca se registró un ligero incremento en su abundancia. El resto de especies presentan pulsos puntuales entre meses: mayo 10% y julio 14% para *Leptocylindrus danicus*, mayo 13% y junio 15% para *Dactyliosolen phuketensis*; En tanto, para las especies: *Pseudonitzschia delicatissima* complex, *Karlodinium* sp., *Dactyliosolen mediterraneus, D. fragilissimus* y *P. seriata* complex obtuvieron una contribución < 10% a excepción de *D. mediterraneus* quien alcanzó la mayor representatividad con un 22% en agosto (Figura 5).

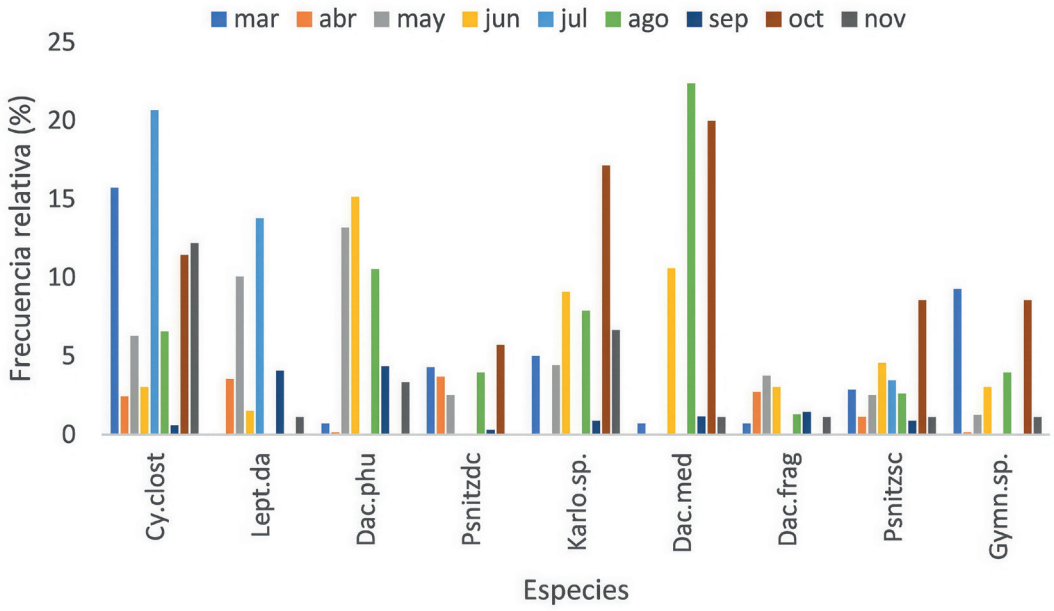


Figura 5. Abundancia relativa de las especies de fitoplancton en la estación 10 millas costa afuera frente a Puerto López, durante 2025

ÍNDICES BIÓTICOS

DIVERSIDAD, EQUITATIVIDAD Y RIQUEZA

Se registraron valores de diversidad por encima del histórico 3,4 bits.Cel.L^{-1}, sin embargo, se registra una baja diversidad (2,1 bits.Cel.L^{-1}) y baja equitatividad (0,4) para abril y una alta diversidad (2,6 bits.Cel.L^{-1}) y moderada equitatividad (0,5) en septiembre lo que indica evidencia de una dominancia ecológica fuerte. En cuanto al resto de meses se observa una estructura más heterogénea (4,2;0,9), mostrándose un equilibrio en el ecosistema. En cuanto a la mayor riqueza de especie, fue registrada entre marzo y mayo donde se presentaron valores de alta diversidad mostrando un ecosistema estable (Figura 6).

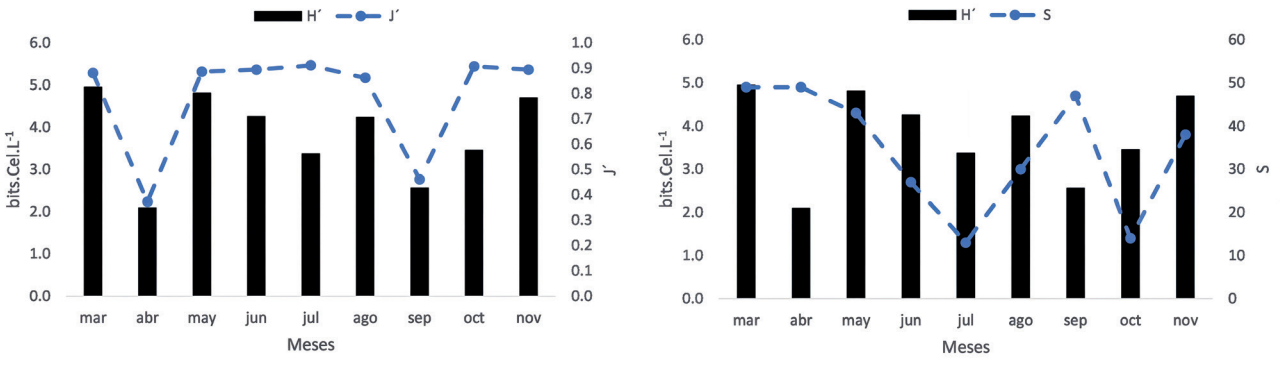


Figura 6. Índices bióticos (diversidad, equitatividad y riqueza) de la comunidad fitoplanctónica en la estación 10 millas costa afuera frente a Puerto López, durante 2025

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANÁLISIS ANOSIM (ANÁLISIS DE SIMILITUDES)

El test de ANOSIM de una vía mostró que hay diferencias altamente significativas (p=0,001) por profundidades con un valor bajo de R=0,228 observándose que los grupos están fuertemente traslapados. El análisis SIMPER mostró el mayor valor de similitud a los 10 m (44,41%), con una contribución de *Karlodinium* sp. (27,11%), *C. closterium* (26,98 %) y *Pseudo-nitzschia seriata* complex (14,19%). La disimilitud entre profundidades (superior 50%) superó la similitud de cada nivel, lo que sustenta la significancia, a pesar del solapamiento observado en el valor R de ANOSIM (Tabla 2).

Tabla 2. Porcentajes de disimilaridad SIMPER de las especies de fitoplancton en la estación 10 millas costa afuera frente a Puerto López, durante 2025

Species	Group 10 Av.Abund	Group 100 Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Cyl.clost	8,11	1,03	16,23	1,10	18,22	18,22
karlo.sp	7,47	1,03	14,56	1,33	16,35	34,57
Psnitzsc	5,26	2,13	11,93	0,87	13,40	47,97

ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS

El análisis de conglomerado de Bray Curtis mostró la conformación de 14 grupos, siendo el grupo n quien presentó mayor robustez entre 0-30 m de profundidad con una similitud del 15%, mientras que, internamente se observó que entre noviembre a 0 m y octubre a 30 m obtuvo la mayor similaridad (97.22 %); En el grupo m, mostró una similitud superior al 60% siendo a niveles de 50 y 75 m que comparten su composición fitoplanctónica con una similaridad perfecta (100%); para el grupo l durante julio presentó una similitud del 95% representado por los 50 y 75 m con la máxima similitud (100%).

El resto de grupos sugiere que su composición biológica es totalmente diferente. La profundidad de 100 m se separa de manera basal en el dendrograma, lo que corrobora la disimilitud del 89.05% hallada en el análisis SIMPER y la baja cohesión biológica en el fondo (Figura 7).

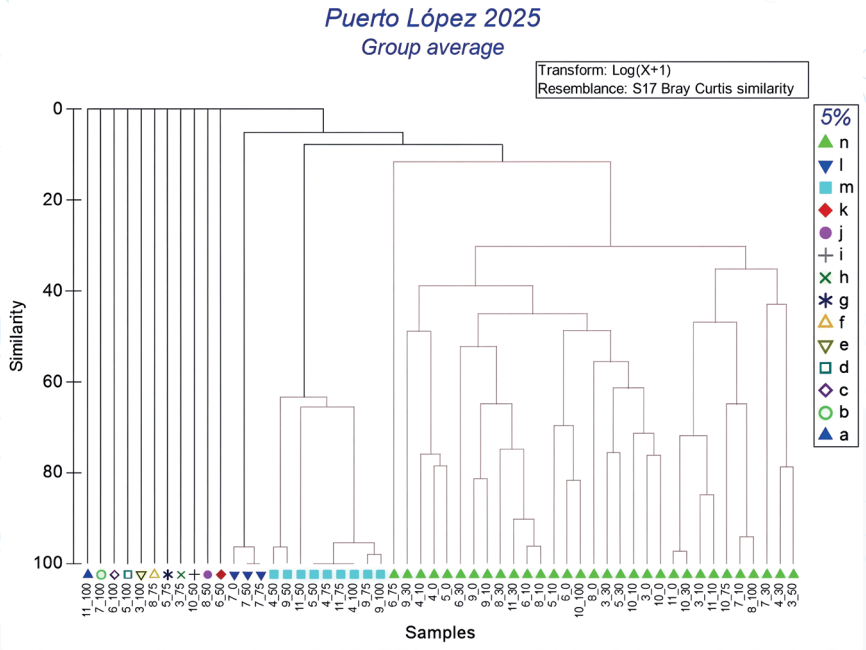


Figura 7. Agrupamiento de similitud de Bray –Curtis, entre meses y profundidades en la estación 10 millas costa afuera frente a Puerto López, durante 2025

SALINAS

COMPOSICIÓN

Cualitativamente se registraron 77 especies fitoplanctónicas correspondientes a las clases: Coscinodiscophyceae con 11 familias, 42 especies, y tres (sp.); Bacillariophyceae con cuatro familias, 12 especies, un (sp.), un (cf.) y tres complejos; Dinophyceae con 9 familias, 16 especies, cuatro (sp.) y dos (cf.); Fragilariophyceae con una familia y cuatro especies; Litostomatae con una familia y una especie; Euglenophyceae con una familia, una especie y un (sp.); Dictyochophyceae con una familia y una especie; Coccolithophyceae con una familia y una especie; Cryptophyceae con una familia y un (sp.); Prasinophyceae con una familia y una especie. Estas dos últimas clases tuvieron un registro puntual entre agosto y septiembre respectivamente entre 30 y 50 m de profundidad. Mientras que, la variación temporal del fitoplancton, las diatomeas pennadas dominaron el sistema >75% en julio, seguida de las diatomeas céntricas en abril, junio y septiembre con una contribución >50% y los dinoflagelados >25% en febrero, mayo y octubre, representadas por las clases (Figura 8).

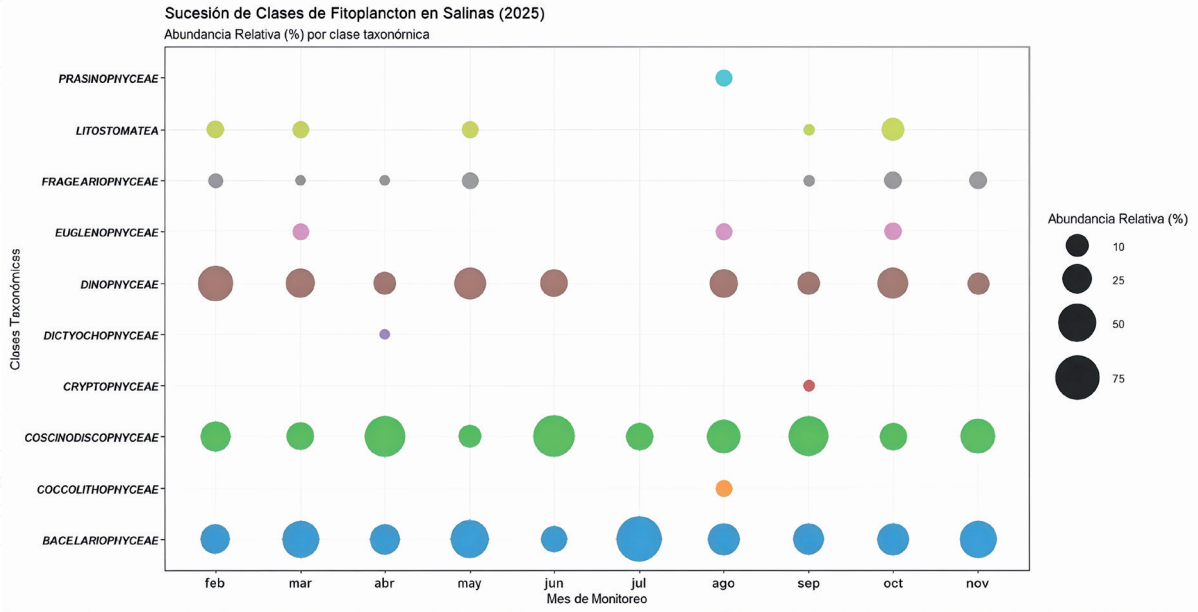


Figura 8. Distribución mensual de la composición por clase de fitoplancton en la estación 10 millas costa afuera frente a Salinas, durante 2025

ABUNDANCIA

Espacialmente se observaron dos pulsos de mayor abundancia hasta los 10 m en abril con valores de 5 a 6 $\log_{10}$ Cel.L^{-1}, y el otro en noviembre a nivel subsuperficial con valores entre 5.25 a 5.50 $\log_{10}$ Cel.L^{-1} cuyas densidades se ubicaron por encima del valor histórico al igual que en los meses de febrero, mayo y junio, lo que implica una mayor distribución fitoplanctónica hacia los tres primeros estratos. Sin embargo, es evidente que durante la época seca hubo mayor estratificación y diversificación del primer nivel trófico.

En términos generales, de acuerdo al valor promedio de las abundancias, se ubicaron en la categoría normal de acuerdo al histórico (10K-100K) para el 2025. Registrándose diferencias significativas entre los meses (Kw=20.1778; p=0.0168465), y los resultados de análisis post hoc Dunn revelaron una heterogeneidad marcada entre el periodo de estudio. Específicamente, en abril que destaca por presentar discrepancias estadísticas significativas frente al resto de meses. Por otro lado, febrero, mayo y junio no mostraron diferencias significativas entre sí ($p > 0.05$), lo que sugiere una mayor homogeneidad en estos meses, y por profundidad fue muy significativa (Kw=28.9165; p=0.0000240791) lo que refleja una zonificación vertical.

Se identificó un estrato superior homogéneo que abarca desde la superficie hasta los 30 m ($p > 0.05$). Se observa una discontinuidad significativa al alcanzar los 50 m de profundidad ($p < 0.05$ respecto a los niveles superiores), marcando el inicio de un estrato profundo con características distintas que se mantienen estables hasta los 100 m (Figura 9 y Figura 10).

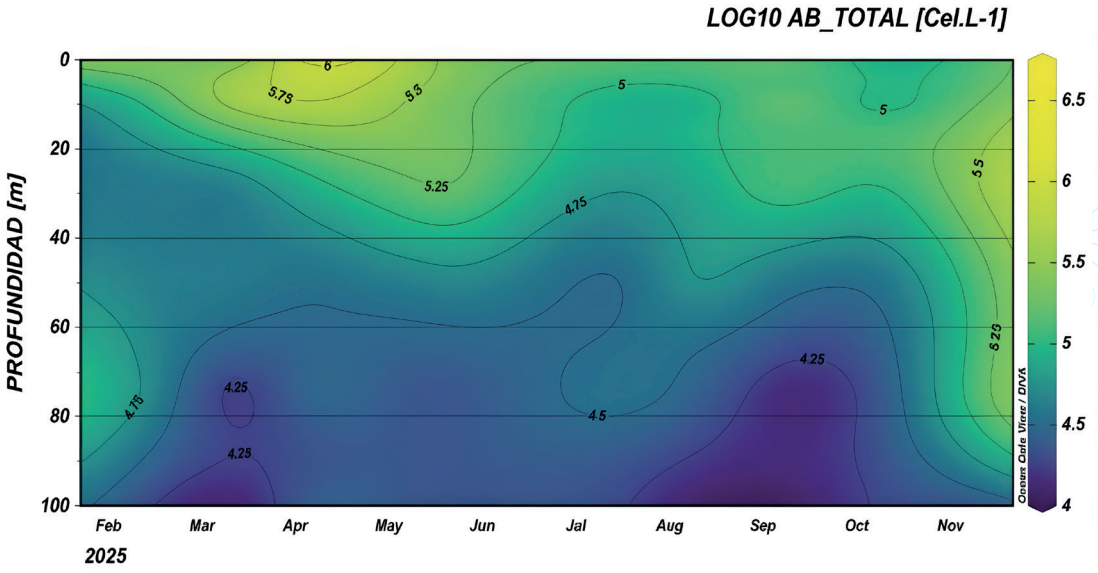


Figura 9. Distribución espacial de las abundancias totales de fitoplancton en la estación 10 millas costa afuera frente a Salinas, durante 2025

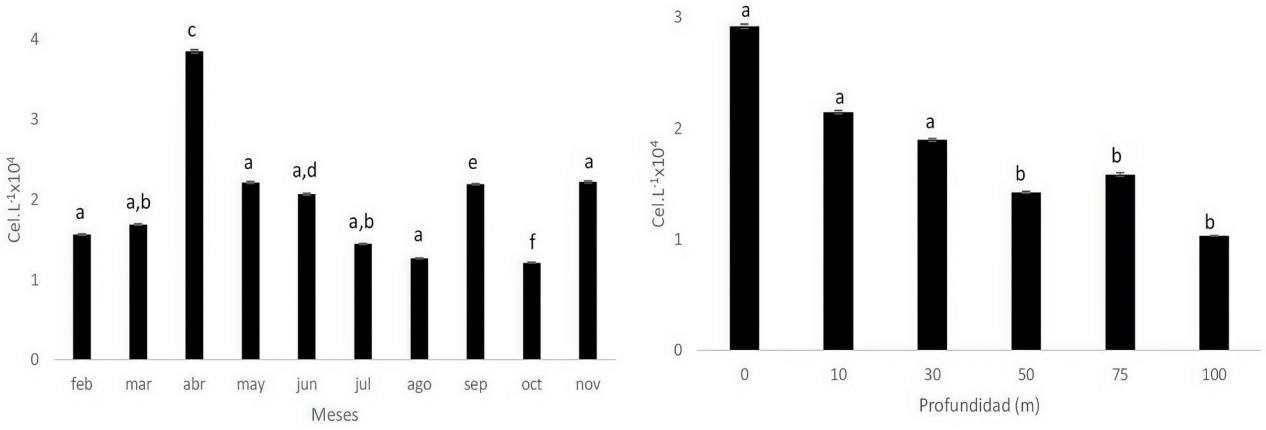


Figura 10. Abundancia promedio del fitoplancton por: a) meses y b) profundidad en la estación 10 millas costa afuera frente a Salinas, durante 2025 ± error estándar; letras iguales no hay diferencias significativas según prueba post hoc Dunn

El análisis de la abundancia relativa determinó que en general, solo hubo representatividad entre las especies de fitoplancton registradas en Salinas durante el 2025, siendo las especies que obtuvieron la mayor contribución en julio *Cylindrotheca closterium* con un 33% y *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex con un 29%. Mientras que, *Karlodinium* sp., obtuvo una contribución puntual del 19% en octubre y *Leptocylindrus danicus* en septiembre con un 17%. En tanto, *Thalassiosira cf.* mala registró pulsos entre abril y septiembre con un 12% y 9%, respectivamente. Finalmente, *Guinardia striata* mostró la menor frecuencia relativa del resto de especies con un 2% en febrero y abril (Figura 11).

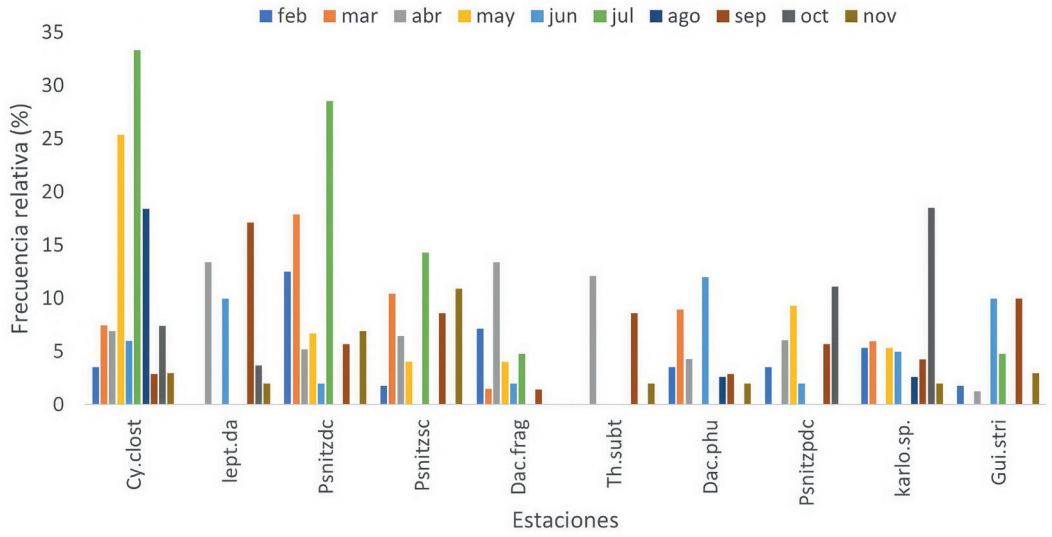


Figura 11. Abundancia relativa de las especies de fitoplancton en la estación 10 millas costa afuera frente a Salinas, durante 2025

ÍNDICES BIÓTICOS

DIVERSIDAD, EQUITIVIDAD Y RIQUEZA

Se registraron valores de diversidad por encima del histórico 4.0 bits.Cel.L^{-1}, a excepción de julio y octubre. En cuanto a los valores obtenidos para el presente estudio, julio registró el valor más bajo de diversidad (2.5 bits.Cel.L^{-1}) y alta equitatividad (0.8); y una baja riqueza (8).

En junio se obtuvo una máxima diversidad (4.5 bits.Cel.L^{-1}), muy alta equitatividad (0.9) y una riqueza alta (32), este último índice fue mayor en abril (39) y noviembre (36). En términos generales Salinas presentó un ecosistema más equilibrado y estable (Figura 12).

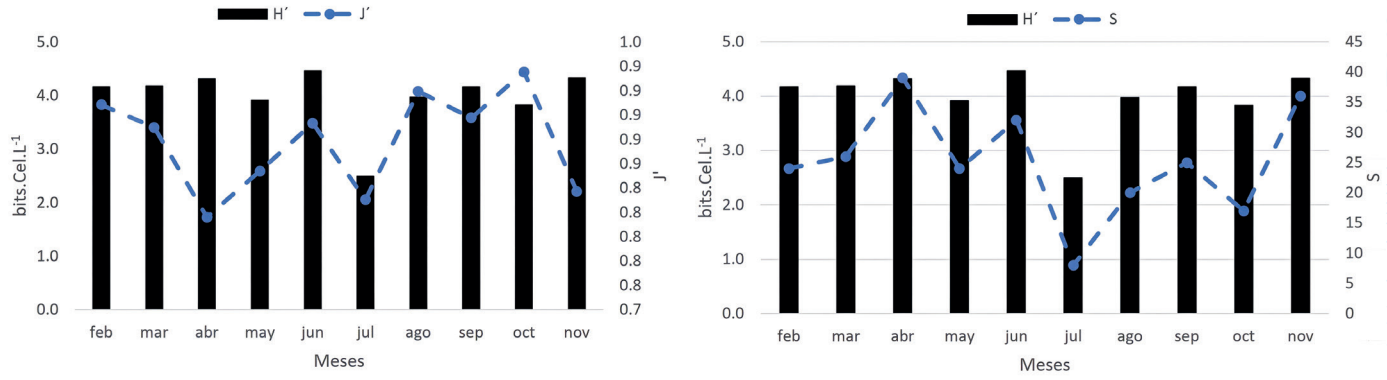


Figura 12. Diversidad y equitatividad de las especies de fitoplancton en la estación 10 millas costa afuera frente a Salinas, durante 2025

ANÁLISIS ESTADÌSTICOS

ANÁLISIS ANOSIM

El test de ANOSIM de una vía mostró que hay diferencias altamente significativas (p=0.001) por profundidades con un valor bajo de R=0.117, observándose que los grupos están fuertemente solapados. El análisis SIMPER mostró el mayor valor de similitud a los 10 m (41.29%), con una contribución de *Cylindrotheca closterium* (52.21%), *Karlodinium* sp. (22.82%) y *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex (11.24%). La disimilitud entre profundidades (superior 50%), superó la similitud de cada nivel, lo que sustenta la significancia a pesar del solapamiento observado en el valor R de ANOSIM (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentajes de disimilaridad SIMPER de las especies de fitoplancton en la estación 10 millas costa afuera frente a Salinas, durante 2025

Species	Group 10	Group 100	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund				
Cy.clost	8,91	0,92	24,33	1,09	26,79	26,79
karlo.sp.	5,82	0,00	18,76	0,77	20,65	47,44
Psnitzdc	5,13	0,92	11,38	0,86	12,52	59,96

ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS

El análisis de conglomerado de Bray Curtis mostró la conformación de 18 grupos, siendo el grupo q que exhibe una alta cohesión interna (similitud > 40%) y una ausencia de diferencias estadísticamente significativas según la prueba SIMPROF (líneas rojas). No obstante, la separación del grupo r con niveles de similitudes cercanos a 22% evidencia una heterogeneidad espacial significativa principalmente en octubre a 0 y 10 m, y en abril a 50 m, separándolas de forma aislada hacia la izquierda. El resto de grupos sugiere que su composición biológica es totalmente diferente (Figura 13).

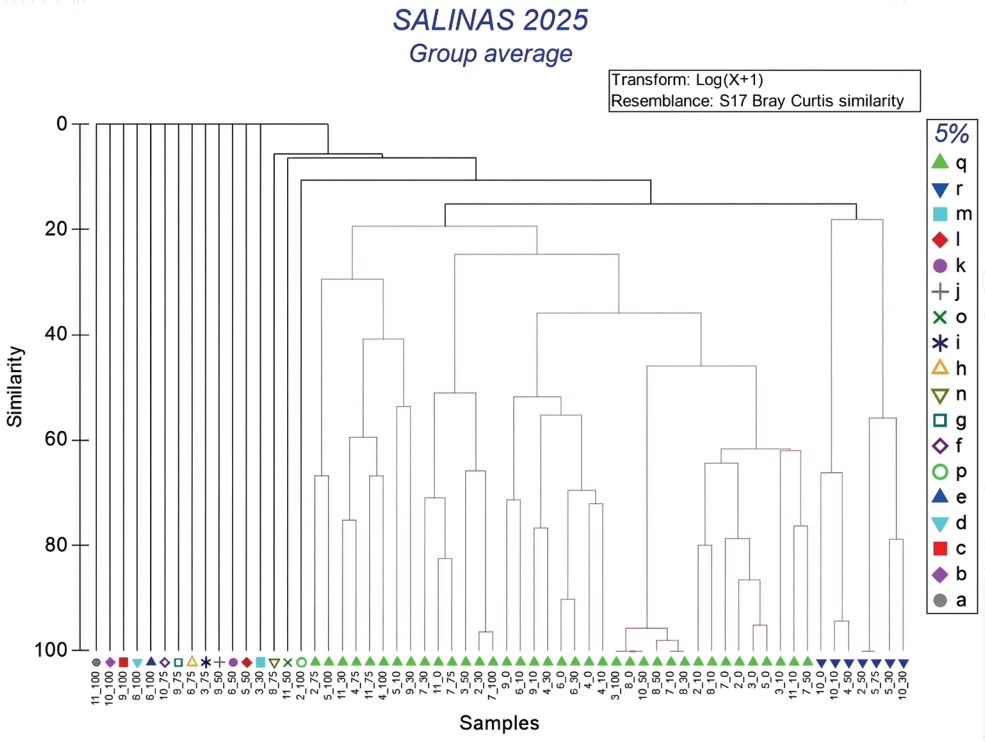


Figura 13. Agrupamiento de similitud de Bray –Curtis, entre meses y profundidades en la estación 10 millas costa afuera frente a Salinas, durante 2025

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA COMUNITARIA DEL FITOPLANCTON: 2024 Y 2025

HISTÓRICO

A nivel de densidad celular la abundancia de fitoplancton en la localidad de Puerto López, se mostró más productiva durante el 2025, superando el valor histórico con respecto al 2024. Mientras que, en Salinas sus abundancias indican que la época seca del 2024 obtuvo mayor diversificación al sur del Ecuador continental, cuyos rangos superan el histórico a excepción de junio 2024 y julio, agosto y octubre 2025, donde se registró la menor riqueza de especies (Figura 14).

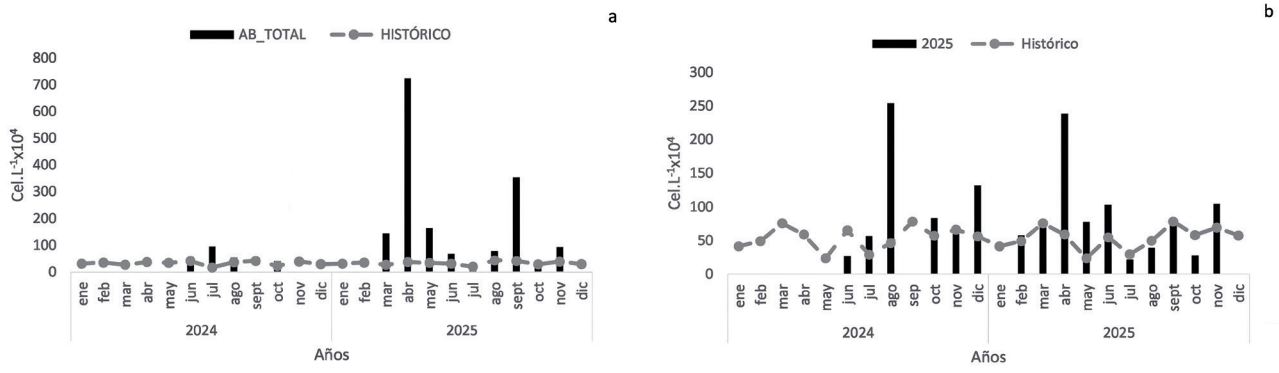


Figura 14. Distribución espacial e interanual de la abundancia de fitoplancton en las localidades **a.** Puerto López y **b.** Salinas, durante 2024 y 2025

ANÁLISIS ESTADÍSTICO: PUERTO LÓPEZ

El test de ANOSIM de una vía no mostró diferencias estadísticamente significativas entre años (R: 0.032; p=0.381) al igual SIMPROF (Pi=2.238; p= 0.228) con un stress de 0.11. De manera general la abundancia fitoplanctónica revelan una similitud del 20-40%, mientras que, el subgrupo que se encuentra dentro del 60% correspondieron a los meses de julio y agosto del 2024 con el 89.87%. Mientras que, el SIMPER mostró que el 2024 obtuvo mayor similaridad con 66,70 % con la mayor contribución de las especies: *Pseudo-nitzschia seriata* complex (20.91%), *Cylindrotheca closterium* (20.29%) y *Rhizosolenia styliformis* (19.66%). Adicionalmente, se observó una disimilaridad (38.17%) entre ambos años siendo: *Dactyliosolen mediterraneus, Karlodinium* sp., *Dactyliosolen phuketensis* y *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex, las especies que mayormente contribuyen a este resultado (Figura 15 y Tabla 4).

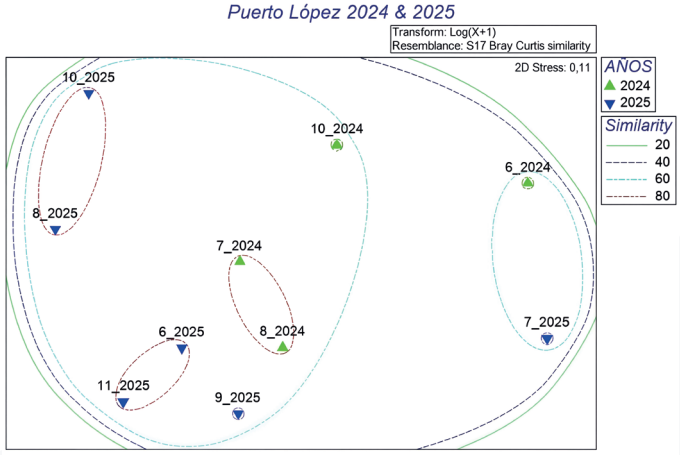


Figura 15. Diagrama MDS de la estructura comunitaria del fitoplancton frente a Puerto López, durante el 2024 y 2025

Tabla 4. Porcentajes de disimilaridad SIMPER de las especies de fitoplancton en la estación 10 millas costa afuera frente a Puerto López, durante 2024 y 2025

Especies	Group 2024	Group 2025	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund				
Dact.medi	2,76	9,05	4,99	1,33	13,08	13,08
Karlod.sp.	5,14	9,08	4,09	1,02	10,72	23,80
Dact.phuk	5,34	7,53	3,99	1,04	10,46	34,26
Psdntzsdc	10,44	4,92	3,91	1,01	10,24	44,50
Lept.dani	4,79	6,83	3,75	1,00	9,82	54,32
Rh.stylif	9,99	4,92	3,68	1,04	9,63	63,95
Gymno.sp.	8,35	6,64	3,62	0,96	9,49	73,44
Dact.frag	5,14	6,55	3,58	1,04	9,39	82,83
Th.cf.ma	2,71	4,22	3,19	0,84	8,36	91,19

ANÁLISIS ESTADÍSTICO: SALINAS

El test de ANOSIM de una vía no mostró diferencias significativas en la estructura de la comunidad entre 2024 y 2025 (R: -0.056; p > 0.05) al igual SIMPROF (Pi: 2.602; p>0.05) con un stress de 0.11. De manera general se observa un amplio solapamiento de los muestreos y una alta similitud que agrupa entre un 60% y 80 % para ambas localidades, siendo el 2024 donde se alcanzó una mayor similaridad con 60,70%. Mientras que, el análisis SIMPER mostró que las especies con mayor contribución fueron: *Gymnodinium* sp. (24.90%), *Cylindrotheca closterium* (24.53%) y *Heterocapsa* sp. (15.32%).

Además, se registró una disimilaridad (39.62%) entre ambos años siendo: *Karlodinium* sp. (11.21%), *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex (10.34%) y *Guinardia striata* (10.09%), las especies que mayormente contribuyen a este resultado (Figura 16 y Tabla 5).

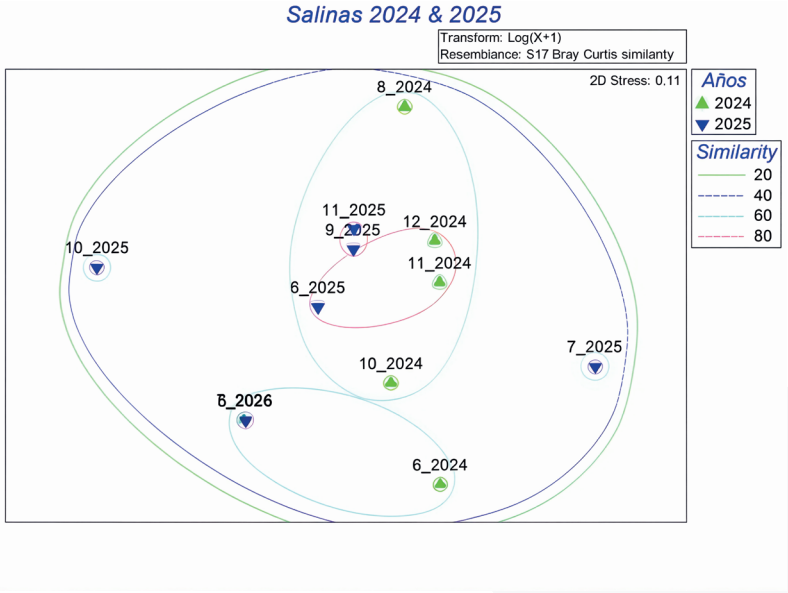


Figura 16. Diagrama MDS de la estructura comunitaria del fitoplancton frente a Salinas, durante el 2024 y 2025

Tabla 5. Porcentajes de disimilaridad SIMPER de las especies de fitoplancton en la estación 10 millas costa afuera frente a Salinas, durante 2024 y 2025

Especies	Group 2024	Group 2025	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund				
Karlo.sp.	3,70	8,54	4,44	1,26	11,21	11,21
Psdntzdc	8,02	7,13	4,10	0,99	10,34	21,55
Gui.stria	3,50	7,05	4,00	1,14	10,09	31,64
Iept.dani	5,30	7,08	3,92	1,08	9,88	41,53
Psdntzsc	5,38	5,50	3,88	0,98	9,78	51,31
Dact.frag	5,38	4,74	3,73	1,04	9,42	60,72
Dact.phuk	6,76	6,81	3,55	0,97	8,95	69,67
Psdntzpdc	0,00	5,15	3,31	0,93	8,36	78,03
Heter.sp.	8,12	6,58	3,12	0,83	7,88	85,91
Th.cf.ma	2,43	3,50	2,91	0,77	7,34	93,25

DISCUSIÓN

La variabilidad del fitoplancton entre las localidades de Puerto López y Salinas durante el 2025 estuvo representada por las diatomeas céntricas con un 75% y 46% en la columna de agua, respectivamente, y superando en un 29% con respecto al 2024 en la provincia de Manabí. La dominancia de diatomeas sobre los dinoflagelados representa un cambio de un sistema de reciclaje superficial a uno de exportación profunda.

Mientras los dinoflagelados (estrategas K) favorecen la retención de nutrientes en la capa de mezcla, las diatomeas (estrategas r) acoplan la producción superficial con el secuestro de carbono en el océano profundo gracias al lastre de sus frústulos silíceos y la formación de agregados de rápido hundimiento (Treguer et al., 2018).

En cuanto, a las abundancias totales sus rangos se encontraron dentro de lo normal de acuerdo al histórico. Al igual que el 2024 se registraron eventos puntuales de bloom de *Thalassiosira cf.* mala en Puerto López con densidades que van desde $103x10^4$ Cel.L^{-1} a 0 m y $422x10^4$ Cel.L^{-1} a 10 m en abril y en septiembre a 30 m de profundidad con $226x10^4$ Cel.L^{-1}. Sin embargo, esta misma especie en el 2024 produjo floración en Salinas con densidades $208x10^4$ Cel.L^{-1} (Macias et al., 2024). Aunque *Thalassiosira* es muy frecuente en las costas del sur del Ecuador según Naranjo & Tapia (2017). Así también, Troccoli & Prado (2017) Golfo Externo de Guayaquil, e IPIAP (2023) en el veril de los 81° oeste y Golfo de Guayaquil, prosperan en ambientes marinos ricos en nutrientes.

La estación 10 millas costa afuera de Puerto López es muy particular con respecto a la composición y abundancia de especies fitoplanctónicas ya que están asociadas a especies más marinas por la presencia de corrientes que aportan sus aguas. Es así, que *Cyindrotheca closterium* se mostró constante durante todo el año evaluado, especie considerada como oportunista al aprovechar los nutrientes disponibles en el mar (García et al., 2015).

El resto de especies formaron parte de dinámica planctónica sin reflejar algún cambio significativo en el sistema a excepción de *Dactyliosolen mediterraneus*, quien ha sido una especie más representativa en la época seca del 2025. Una importancia ecológica de esta especie es la simbiosis con *Solenicola setigera*, que es un protista marino que participa activamente en la regeneración de nutrientes, control de poblaciones bacterianas y la remineralización del carbono a océano abierto (Gómez et al., 2011). Otro aspecto a considerarse es la baja salinidad que afecta a la cohesión entre el protista y la diatomea (Buck y Bentham, 1998; Gómez, 2007), cuya interacción podría estar marcada por la estratificación y competencia con otras diatomeas.

En tanto, Salinas registró la misma tendencia de las especies representativas que la provincia de Manabí, con pulsos de abundancia relativa más fuertes en julio con las especies *Cylindrotheca closterium* y *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex, quienes caracterizaron el sistema. En cuanto a *Th. cf. mala* tuvo valores altos solo en abril a nivel superficial 0 y 10 m ($17x10^4$ Cel.L^{-1}y $7x10^4$ Cel.L^{-1}, respectivamente): y en el resto de año se mantuvo en el rango de normal (10 000 y 100 000 Cel.L^{-1}). Por su parte, *Leptocylindrus danicus*, especie de aguas templadas obtuvo mayor densidad en septiembre donde se observó mayor estratificación. Margaleft (2023) estableció que *L. danicus*, actúa como un indicador de aguas con alta disponibilidad de nutrientes inorgánicos y condiciones de mezcla moderada, contrastando el nicho de reciclaje de nutrientes que ocupa *D. mediterraneus*. Estas variaciones en las especies fitoplanctónicas se le puede atribuir a una repuesta del ciclo de vida de las especies, sus relaciones tróficas y a las variables química y física como el aporte de nutrientes variaciones de la temperatura (Quispe et al., 2015). Gonzalez-Narvaez (2016), estableció que durante el 2013 y 2015 las especies *L. danicus* y *Dactyliosolen fragilissimus* incrementaron su abundancia a mayores valores de oxígeno y temperatura y valores bajos de silicato, nitrato y salinidad en la localidad de La Libertad y bajo fosfato y nitrito para Manta. En tanto, García et al., (2015) indicaron que para 2011 y 2012 en la localidad de Puerto López solo *L. danicus* mostró una correlación positiva y fuerte con los nutrientes inorgánicos para la época seca del 2011, y en el caso de *D. fragilisimus* tuvo una correlación positiva entre moderada débil y moderada en la época seca del 2012.

Por otro lado, la presencia de dinoflagelados desnudos de pequeño tamaño en la columna agua generan una ventaja adaptativa en ambientes marinos estratificados, mediante el acoplamiento de la migración vertical y el mixotrofismo. Esta estrategia les permite superar el desacoplamiento físico entre la zona fótica (limitada en nutrientes) y la nutriclina (rica en nutrientes inorgánicos), alternando entre la fijación de carbono diurna en la superficie y la asimilación de nitrógeno y fósforo en capas profundas durante la noche (Stoecker, 1999), lo que afirma la postura de Gómez et al., (2011) al indicar que a nivel subsuperficial los atecados asimilan mejor sus nutrientes y a su vez los hace más competitivos en la columna de agua.

CONCLUSIÓN

La variabilidad del fitoplancton en Puerto López, durante la época seca del 2025 fue superior a lo registrado en el 2024, patrón similar ocurrido en Salinas, pero, solo al inicio y fin de la estacionalidad. Mientras que, de julio a octubre el 2024 obtuvo sus mayores abundancias de fitoplancton, representadas principalmente por las diatomeas.

La estructura comunitaria del fitoplancton en Puerto López y Salinas, estuvo representada por especies marino-costeras, propias de la localidad de acuerdo al histórico, con el dominio de diatomeas de pequeño a mediano tamaño como: *Cylindrotheca closterium*, especie oportunista asociadas aguas nutritivas en aguas ecuatorianas. Los índices bióticos revelaron que en Puerto López se registró una dominancia ecológica fuerte entre abril y septiembre por el bloom de *Th. cf. mala*, mientras que el resto de meses mostró una estructura más heterogénea. En cuanto a Salinas, se presentó más equilibrado y estable durante todo el año.

Las especies que marcaron una diferenciación ecológica para el año evaluado en Puerto López fueron *Karlodinium* sp., *Dactyliosolen Phuketensis*, *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex y *Dactyliosolen mediterraneus*, y en Salinas fueron *Leptocylindrus danicus*, *Guinardia striata*, *P. delicatissima* complex y *Karlodinium* sp., siendo estas últimas quienes obtuvieron mayor contribución en el 2025.

Los conglomerados por localidad mostraron una baja cohesión biológica en el fondo en la localidad de Puerto López y una alta cohesión interna en la columna de agua en Salinas, lo que sugiere un cambio en la composición biológica a nivel subsuperficial 50-100 m.

A nivel general la localidad de Puerto López registró densidades por encima del valor esperado en todo el 2025, mientras que, Salinas solo febrero, abril a junio y noviembre. En tanto, los valores promedios de abundancia se ubicaron dentro de la categoría normal de acuerdo al histórico (10 000 – 100 000 Cel.L^{-1})., mostrando diferencias significativas solo por profundidades en la provincia de Manabí y en la provincia de Santa Elena mostró diferencias significativas entre meses y profundidad.

Finalmente, durante el 2025 no se evidencio sucesión de población entre las especies *Nitzschia longissima* y *Cylindrotheca closterium*.

BIBLIOGRAFÍA

Balech, E. (1988). Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publicaciones Especiales del Instituto Español de Oceanografía, No. 1, Madrid- España.

Barange, M. y Perry, R.I. 2009. Repercusiones físicas y ecológicas del cambio climático en la pesca de captura marina y continental y en la acuicultura. En K. Cochrane, C. De Young, D. Soto y T. Bahri (eds). Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, No 530. Roma, FAO. pp. 7–118. https://www.fao.org/4/i0994s/i0994s01.pdf

Benedetti, F., Vogt, M., Elizondo, UH., Righetti, D., Zimmermann, NE., & Gruber, N. (2021). Reestructuración importante de las asociaciones de plancton marino bajo el calentamiento global. Nature Communications 12: 5226, https://doi.org/10.1038/s41467-021-25385-x

Buck, K.R., & Bentham, W. N. (1998). A novel symbiosis between a cyanobacterium, Synechococcus sp., an aplastidic protist, Solenicola setigera, and a diatom, *Leptocylindrus mediterraneus*, in the open ocean. Marine Biology. 132, 349–355 https://doi.org/10.1007/s002270050401

Cucalón, E. (1996). Sistemas Biofísicos en el Golfo de Guayaquil. Primera Parte: Oceanografía y Sistemas Biofísicos: Comisión Asesora Ambiental.

Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian journal of ecology, 18(1), 117-143. https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x

Frontier, S. (1980). Métodos para el análisis rápido en muestras de planctónicas. Acta oceanográfica del Pacífico INOCAR. 1 (1), 137-145. https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta1/OCE101_10.pdf

Fuertes, L., Siqueiros B., & Navarro, J. (2010). Benthic diatoms associated with mangrove environments in the northwest region of México. CICIMAR-Oceánides, México.

García Asencio, D. E., Coello Salazar, D., & Pernía Santos, B. (2015). Parámetros abióticos y su relación con la abundancia del fitoplancton frente a Puerto López–Ecuador (2011-2012), Provincia de Manabí, Ecuador. Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales, 9(2), 33-45. https://doi.org/10.53591/cna.v9i2.237

Gómez, F. (2007). The Consortium of the Protozoan *Solenicola setigera* and the Diatom *Leptocylindrus mediterraneus* in the Pacific Ocean. Acta Protozoologica, 46(1), 15-24. https://www.airitilibrary.com/Article/Detail?DocID=00651583-200703-201101060023-201101060023-15-24

Gómez, Fernando, Moreira, David, & López-García, Purificación. (2011). Avances en el estudio de los dinoflagelados (Dinophyceae) con la filogenia molecular. Hidrobiológica, 21(3), 343-364. Recuperado en 17 de marzo de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972011000300011&lng=es&tlng=es.

Gómez, F., Moreira, D., Benzerara, K., & López-García, P. (2011). *Solenicola setigera* is the first characterized member of the abundant and cosmopolitan uncultured marine stramenopile group MAST-3. Environmental microbiology, 13(1), 193–202. https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2010.02320.x

Gómez, F. (2013). Reinstatement of the dinoflagellate genus Tripos to replace *Neoceratium*, marine species of *Ceratium* (Dinophyceae, Alveolata). CICIMAR Oceánides, 28(1), 1–22. https://doi.org/10.37543/oceanides.v28i1.119

González-Narváez, M. A. (2016). *Distribución espacio-temporal del fitoplancton en el Pacífico Ecuatorial Oriental, zona de la Región Niño 1+ 2: aplicación del método STATICO* [Trabajo de Fin de Máster, Universidad de Salamanca]. GREDOS. https://gredos.usal.es/handle/10366/132881

Hasle, G. R. 1965. *Nitzschia* and *Fragilariopsis* species studied in the light and electron microscopes. II. The group Pseudo-nitzschia. Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo, I. Mat. Naturv. Klasse, Ny Serie. 18: 1-45.

Hasle, G. R. & E. E. Syvertsen. 1997. Marine diatoms. In: Tomas, C. R. (ed.). Identifying marine phytoplankton. Academic Press. San Diego, California. pp. 5-385. http://dx.doi.org/10.1016/B978-012693018-4/50004-5

Hirata, T., Hardman-Mountford, N. J., Brewin, R. J. W., Aiken, J., Barlow, R., Suzuki, K., Isada, T., Howell, E., Hashioka, T., Noguchi-Aita, M., and Yamanaka, Y. (2011). Synoptic relationships between surface Chlorophyll-a and diagnostic pigments specific to phytoplankton functional types, Biogeosciences, 8, 311–327, https://doi.org/10.5194/bg-8-311-2011

Inostroza, I., Aguilera, A., & Gómez, P. (2010). Catálogo fotográfico de especies de fitoplancton marino de la Región de Los Lagos y Región de Aysén, Sur de Chile. Programa COPAS Sur-Austral (PFB-31/2007), Universidad de Concepción, Chile.

IPIAP (2023). Estimación Hidroacústica, Distribución Geoespacial y Condiciones biológicas y ambientales de los principales Peces Pelágicos Pequeños en el Ecuador, durante junio-julio de 2022. Instituto Público de Investigación Acuicultura y Pesca (IPIAP). Informe de Crucero. https://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/Informe-Crucero-IPIAP-2022-06-01-PPP-FINAl-8-03-2023.pdf

Jiménez, R. (1983a). Diatomeas y silicoflagelados del fitoplancton del Golfo de Guayaquil. Acta Oceanográfica del Pacífico, 2(2), 193–281. https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta2_2/OCE202_1.pdf

Jiménez, R. (1983b). Coccolitofóridos identificados en el fitoplancton de aguas ecuatorianas. Acta Oceanográfica del Pacífico, 2(2), 401–441. https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta2_2/OCE202_3.pdfKrebs, C. (1999). Ecological methodology (2nd ed.). Benjamín/Cummings. California.

Jordan, R. W., Ligowski, R., Nöthig, E.-M., & Priddle, J. (1991). The diatom genus *Proboscia* in Antarctic waters. Diatom Research, 6(1), 63–78. https://doi.org/10.1080/0269249X.1991.9705148

Licea, S., Moreno, J., Santoyo, H., & Figueroa, G. (1995). Dinoflagelados del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California.

Legendre, P. & Legendre, L. (2012). Numerical Ecology (3rd English ed., Vol. 24). Elsevier.

Magurran, A. (1988). Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey.

Margalef, R. (2023). Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In a. Buzzati-Traverso (Ed.), Perspectives in Marine Biology (pp. 323-350). Berkeley: University of California Press. https://doi.org/10.1525/9780520350281-024

Marañón E. (2015). Cell size as a key determinant of phytoplankton metabolism and community structure. Annual review of marine science, 7, 241–264, https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010814-015955

Marañon, E., Holligan, P., Barciela, R., González, N., Mourio, B., Pazó, M., & Varela, M. (2001). Patterns of phytoplankton size structure and productivity in contrasting open-ocean environments, Marine Ecology Progress Series, 216, 43–56, https://www.int-res.com/articles/meps/216/m216p043.pdf

Mardones, J. I., & Clément, A. (2016). Manual de microalgas del sur de Chile. Plancton Andino SpA.

Meave del Castillo, M., & Zamudio, M. (2009). Atlas de dinoflagelados marinos del Pacífico mexicano. CONACYT.

Morquecho-Escamilla, L., Reyes-Salinas, A., & Okolodkov, Y. B. (2016). Illustrated taxonomic guide of the marine dinoflagellate collection (CODIMAR) / Guía taxonómica ilustrada de la colección de dinoflagelados marinos (CODIMAR). Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, México.

Moreira, A., Tester, P. A., Larsson, M. E., Laczka, O. F., Suthers, I. M., Ajani, P. A., ... Saburova, M. A. (2019). Marine phytoplankton of Kuwait's waters Volume II: Diatoms. PLoS ONE, 110(1). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100289

Moreno, J., Licea, S., & Santoyo, H. (1996). Diatomeas del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California.

Naranjo, C., & Tapia, M. E. (2017). Composición y abundancia del plancton en la zona costera del Ecuador, en mayo de 2013. Acta Oceanográfica del Pacífico, 21(1) ,27-45.https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/publicaciones/actas-oceanograficas/37-acta-oceanografica-del-pacifico-vol-21-n-1-2016-2017/466-composicion-y-abundancia-del-plancton-en-la-zona-costera-del-ecuador-en-mayo-de-2013

Pesantes, F. (1983). Los dinoflagelados como indicadores de El Niño en el mar ecuatoriano. Acta Oceanográfica del Pacífico, 2(1), 85–117. https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/publicaciones/actas-oceanograficas/3-acta-oceanografica-del-pacifico-vol-2-n-1-1983/16-los-dinoflagelados-como-indicadores-de-el-nino-en-el-mar-ecuatoriano

Quispe-Calluaril C., Tam J., Demarcq H., Romero C.,Espinoza D., Chamorro A., Ramos J. y R. Oliveros. (2016). El Índice Térmico Costero Peruano (ITCP). Bol. Trimestral Oceanográfico, 2 (1): 7-11 (PDF) Variabilidad espacio-temporal del fitoplancton y variables oceanográficas en El Golfo de Guayaquil durante el 2013-15. DOI: 10.15381/iigeo.v20i40.14392

Schiller, J. (1933). Dinoflagellatae (Peridineae). Teil 1. Akademische Verlagsgesellschaft M.B.H., Leipzig.

Schiller, J. (1937). Dinoflagellatae (Peridineae). Teil 2. Akademische Verlagsgesellschaft M.B.H., Leipzig.

Soler, B. A., Pérez, A. M., & Aguilar, G. E. (2003). Diatomeas de las costas del Pacífico de Panamá. Universidad de Panamá.

Stoecker, D. K. (1999). Mixotrophy among dinoflagellates. *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, 46(4), 397-401 https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.1999.tb04619.x

Tomas, C. (1996). Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press.

Tréguer, P., C. Bowler, B. Moriceau, S. Dutkiewicz, M. Gehlen, K. Leblanc, O. Aumont, L. Bittner, R. Dugdale, Z. Finkel, L. Guidi, D. Iudicone, O. Jahn, M. Lasbleiz, M. Levy and P. Pondaven (2018): Influence of diatom diversity on the ocean biological carbon pump. Nature Geoscience, 11: 27–37 https://doi.org/10.1038/s41561-017-0028-x

Troccoli-Ghinaglia, L. & Prado-España, M. (2017). Estado trófico y estructura comunitaria del microfitoplancton en un sector del Golfo de Guayaquil, Ecuador. Biota Colombiana, vol. 18, núm. 2, pp. 145-163 https://doi.org/10.21068/c2017.v18n02a09

Utermohl, H. (1958) Zur Ver vollkommung der quantitativen phytoplankton-methodik. Mitteilung Internationale Vereinigung Fuer Theoretische unde Amgewandte Limnologie, 9, 39 p.

Ward B. A., Dutkiewicz S. , Jahn O. , Follows M. J. , (2012), A size-structured food-web model for the global ocean, Limnology and Oceanography, 57, https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.6.1877

VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL Y ESTRUCTURA COMUNITARIA DEL ZOOPLANCTON A 10 MILLAS DE LAS COSTAS DE LAS PROVINCIAS DE MANABÍ Y SANTA ELENA DURANTE 2025



VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL Y ESTRUCTURA COMUNITARIA DEL ZOOPLANCTON A 10 MILLAS DE LAS COSTAS DE LAS PROVINCIAS DE MANABÍ Y SANTA ELENA DURANTE 2025

Jacqueline Cajas[1] y Robert Bucheli[1]
[1] Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, jcajas@institutopesca.gob.ec y rbucheli@institutopesca.gob.ec

RESUMEN

Se evaluó la variabilidad espacio-temporal y la estructura comunitaria del zooplancton a 10 millas de las costas de Puerto López (Manabí) y Salinas (Santa Elena) durante 2025, bajo un escenario de condición climática normal. Los resultados evidenciaron comunidades zooplanctónicas estables y funcionales, sin señales de perturbación ecológica significativa. La abundancia mostró fluctuaciones estacionales moderadas, con valores relativamente mayores durante la época lluviosa y una tendencia a estabilizarse en la época seca. Puerto López presentó mayor variabilidad temporal, asociada a una influencia oceánica más marcada, mientras que Salinas evidenció una estructura más homogénea y persistente. La comunidad estuvo dominada por copépodos calanoideos, cladóceros, quetognatos y apendicularias, destacando especies como *Calanus* sp., *Penilia avirostris*, *Subeucalanus pileatus*, *Oncaea* spp., *Sagitta* sp. y *Oikopleura* sp., consideradas indicadoras de condiciones ambientales estables. Los índices de diversidad indicaron que la equitatividad y la dominancia relativa fueron determinantes en la estructura comunitaria, evidenciando que altas abundancias no implicaron necesariamente mayor diversidad.
El análisis histórico mostró que las abundancias registradas en 2025 se mantuvieron dentro del rango característico de años neutros. En comparación con 2024, caracterizado por mayor variabilidad oceanográfica, 2025 presentó una comunidad más equilibrada y con menor dominancia extrema.

Palabras Claves: Zooplancton, variabilidad espacio-temporal, estructura comunitaria, diversidad, condiciones ENSO-neutrales, Puerto López, Salinas, Pacífico ecuatoriano.

ABSTRACT

The spatiotemporal variability and community structure of zooplankton were assessed at stations located 10 nautical miles offshore from Puerto López (Manabí) and Salinas (Santa Elena), Ecuador, during 2025, under ENSO-neutral conditions. The results revealed a zooplankton community structure characterized by seasonal fluctuations in abundance, taxonomic composition, and diversity, without extreme changes in the overall patterns observed during the study period. Zooplankton abundance exhibited moderate seasonal variations, with relatively higher values during the rainy season and a tendency toward stabilization during the dry season. Puerto López showed greater temporal variability, potentially associated with stronger oceanic influence, whereas Salinas exhibited a more homogeneous and persistent community structure. The zooplankton community was mainly composed of calanoid copepods, cladocerans, chaetognaths, and appendicularians, with notable taxa including *Calanus* sp., *Penilia avirostris*, *Subeucalanus pileatus*, *Oncaea* spp., *Sagitta* sp., and *Oikopleura* sp. These taxa reflected the composition and ecological variability of the zooplankton community under the oceanographic conditions prevailing during 2025. Diversity indices indicated that evenness and relative dominance played an important role in community structure, demonstrating that higher zooplankton abundance did not necessarily correspond to greater taxonomic diversity. Historical comparisons showed that zooplankton abundances recorded in 2025 were consistent with the variability observed during previous ENSO-neutral periods. Compared with 2024, which exhibited greater oceanographic variability, the zooplankton community in 2025 showed a more balanced taxonomic structure and less pronounced dominance patterns. Overall, these findings contribute to understanding zooplankton dynamics and their relationship with environmental variability in the coastal waters of the Ecuadorian Pacific.

Keywords: Zooplankton, spatiotemporal variability, community structure, taxonomic diversity, ENSO-neutral conditions, Puerto López, Salinas, Ecuadorian Pacific.

INTRODUCCIÓN

El plancton constituye la base funcional de los ecosistemas marinos, desempeñando un rol esencial en la productividad biológica, el flujo de energía y la dinámica de las redes tróficas oceánicas y costeras. Además de participar activamente en los ciclos biogeoquímicos del carbono en el océano (NASA Earth Observatory, s. f.; Naselli-Flores et al., 2022; US Ocean Carbon & Biogeochemistry, s. f.). Está conformado por comunidades de fitoplancton, zooplancton y otros componentes microscópicos y macroscópicos que responden de manera rápida y sensible a las variaciones físicas, químicas y biológicas del ambiente marino, como la temperatura, salinidad, disponibilidad de nutrientes, oxígeno disuelto y dinámica de masas de agua. Debido a esta alta sensibilidad ambiental, el plancton es ampliamente utilizado como un indicador temprano de cambios oceanográficos, climáticos y ecológicos, tanto en sistemas costeros como en zonas neríticas y oceánicas adyacentes lo que las convierte en herramientas útiles para evaluar la condición ecológica y la variabilidad ambiental de sistemas acuáticos (Chandel et al., 2024; EPA, 2025; Bellardini et al., 2025).

En el Pacífico tropical oriental, la productividad y la estructura del plancton dependen fuertemente del suministro de nutrientes desde capas subsuperficiales hacia la zona eufótica, controlado por procesos como la profundidad de la termoclina, la circulación, la mezcla y el afloramiento, y a escala interanual, por la variabilidad asociada al ENSO, que puede disminuir la disponibilidad de nutrientes y la producción primaria en fases cálidas tipo El Niño (Pennington et al., 2006).

En la costa ecuatoriana, la variabilidad planctónica ha sido evaluada históricamente mediante estaciones fijas ubicadas a ~10 millas náuticas, evidenciando que las densidades de fitoplancton y zooplancton varían principalmente en función de condiciones oceanográficas y de la estacionalidad, además de las interrelaciones entre los propios componentes del plancton (Coello et al., 2010). Para las estaciones de Puerto López (Manabí) y Salinas (Santa Elena), existen antecedentes específicos que documentan el comportamiento temporal del plancton asociado a factores oceanográficos y eventos climáticos, reforzando su utilidad como indicador de variabilidad ambiental en el litoral ecuatoriano (Bucheli, 2021). Asimismo, informes técnicos institucionales han caracterizado la franja de 10 millas frente a Puerto López y Salinas, registrando cambios intra-anuales y patrones de composición, dominancia del zooplancton en relación con periodos estacionales (época lluviosa-seca) y con señales de variación ambiental (Cajas et al., 2019). En este contexto, el presente documento sintetiza los resultados del monitoreo anual 2025 a 10 millas de las costas de Puerto López y Salinas, describiendo la variabilidad espacio-temporal y la estructura comunitaria del plancton como línea base para el seguimiento ecológico y la interpretación de cambios oceanográficos en la franja nerítica externa del Ecuador continental.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio incluyó la estación fija ubicada a 10 milla de distancia del margen continental de la provincia de Manabí (Puerto López: 1°34.9 S y 81°02.2 W) y Santa Elena (Salinas: 2°12.3 S y 81°08.0 W) (tabla 1).

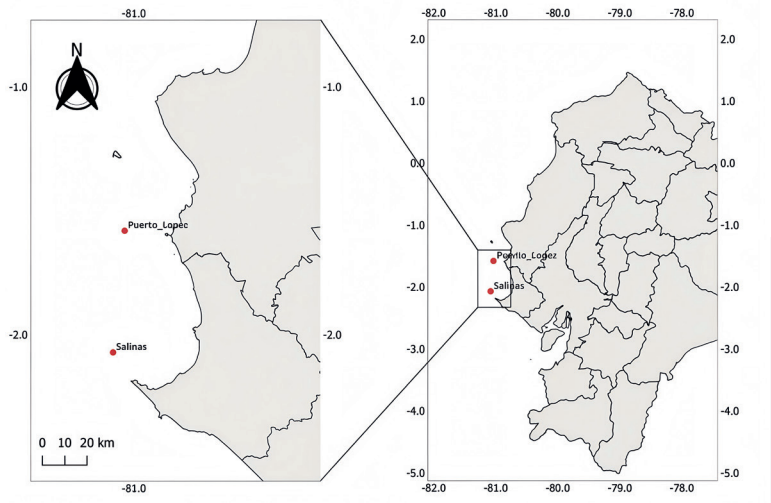


Figura 2. Sitios de colecta de plancton en la zona costera de las provincias de Manabí (Puerto López) y Santa Elena (Salinas) durante 2025

COLECTA Y ANÁLISIS DE MUESTRA

Durante 2025, el muestreo planctónico se realizó con una frecuencia mensual, efectuándose nueve campañas de muestreo en Puerto López, desde marzo hasta noviembre, y diez en Salinas, desde febrero hasta noviembre. Las muestras para el análisis cuali-cuantitativo de zooplancton se colectaron con redes cilindro-cónicas de 200 µm de luz de malla, mediante arrastres verticales en la columna de agua de 50 a 0 metros y arrastres superficiales de cinco minutos de duración en embarcaciones con motor fuera de borda a una velocidad aproximada de 2 nudos; la preservación se realizó utilizando solución de formol al 4%, neutralizado con tetraborato de sodio.

Para la cuantificación del zooplancton, se utilizaron cámaras Dollfus con la técnica de Sergio Frontier y la taxonomía se empleó claves especializadas, principalmente de Boltovskoy (1981) y Boltovskoy (1999). En cada sitio de muestreo se realizaron mediciones in situ de temperatura y salinidad con un CTD Seabird SB19.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para el análisis de los datos cuantitativos, se procedió con los siguientes cálculos y análisis:

• Cálculo de Abundancia, Equitatividad, Riqueza, Diversidad y de Dominancia.

Se utilizaron los métodos descritos por Krebs (1999) para calcular la abundancia, equitatividad, riqueza, diversidad y dominancia de las especies. Adicionalmente, se analizaron las abundancias de los grupos funcionales.

• Pruebas de Normalidad y Homogeneidad de Varianza:

Se realizaron las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilks y de homogeneidad de varianza de Bartlett. Basado en estos resultados, se aplicó el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis (Siegel & Castellan, 1995) para evaluar si las variables bióticas y abióticas presentaban diferencias significativas entre las estaciones y las épocas estacionales de muestreo.

• Análisis de Clasificación (Clúster- Simper-ACC):

Para establecer la afinidad de las estaciones de muestreo según la estructura comunitaria del zooplancton, se realizó un análisis de clasificación (clúster) utilizando el método Bray-Curtis; Ward (Legendre & Legendre, 1998), (Magurran y McGill, 2011). También se efectuó un análisis a nivel de especies mediante el SIMPER que utiliza también las distancias de Bray-Curtis (Clarke y Green, 1988; Clarke y Warwick, 2001).

Finalmente, con el fin de conocer las posibles relaciones entre especies relevantes y variables ambientales, se efectuó un análisis de correspondencia canónica (ACC), el cual permitió posicionar los grupos de organismos y factores ambientales en un sistema sintético de coordenadas (componentes 1 y 2) (Ter Braak & Verdonschot, 1995), mediante el programa CANOCO 4.5 (Ter Braak & Smilauer, 1998).

RESULTADOS

GENERAL

Durante el 2025, la abundancia del zooplancton registrada a 10 millas de las costas de Puerto López (Manabí) y Salinas (Santa Elena) evidenció una variabilidad espacio-temporal moderada, con valores que fluctuaron a lo largo del periodo de estudio, sin mostrar incrementos abruptos ni colapsos poblacionales. En términos generales, las mayores abundancias se concentraron en la columna de agua, mientras que el nivel superficial presentó valores relativamente menores, patrón consistente con la distribución vertical típica del zooplancton en zonas neríticas externas.

Comparativamente, Puerto López mostró una mayor variabilidad temporal, asociada a la influencia de masas de agua oceánicas y procesos de mezcla, mientras que Salinas presentó un comportamiento más estable, reflejando condiciones neríticas relativamente homogéneas durante el periodo analizado (figura 2).

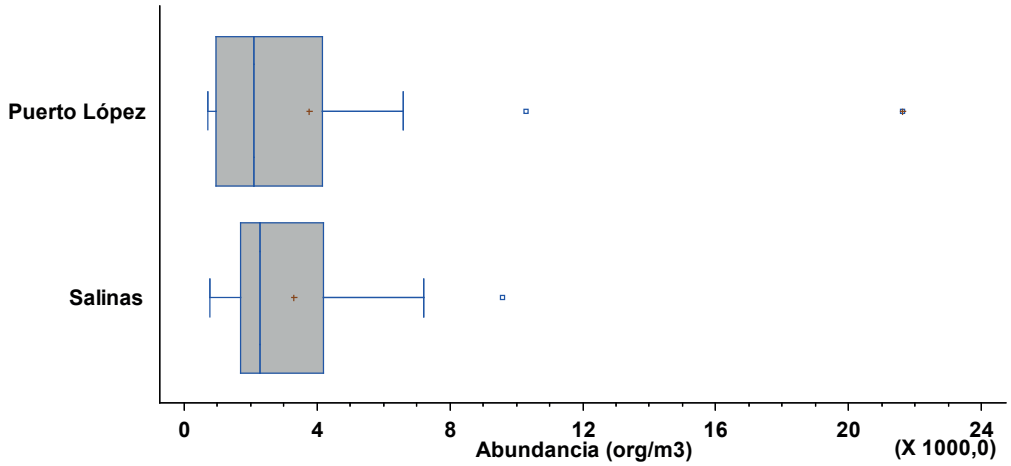


Figura 2. Valores promedio (org/m³) a 10 millas de las costas de Manabí (Puerto López) y Santa Elena de la variación espacial y temporal de la abundancia del zooplancton (Salinas), durante 2025

PUERTO LÓPEZ

ABUNDANCIA

En Puerto López, los valores más altos de abundancia se registraron principalmente durante los meses de inicio y desarrollo de la época lluviosa, lo cual podría estar relacionado con un mayor aporte de nutrientes y una intensificación de los procesos de mezcla vertical, que favorecen la disponibilidad trófica para el zooplancton. Durante los meses secos, la abundancia tendió a disminuir, posiblemente debido a condiciones más estables y estratificadas, así como a una mayor influencia de masas de agua oceánicas con menor productividad (figura 3).

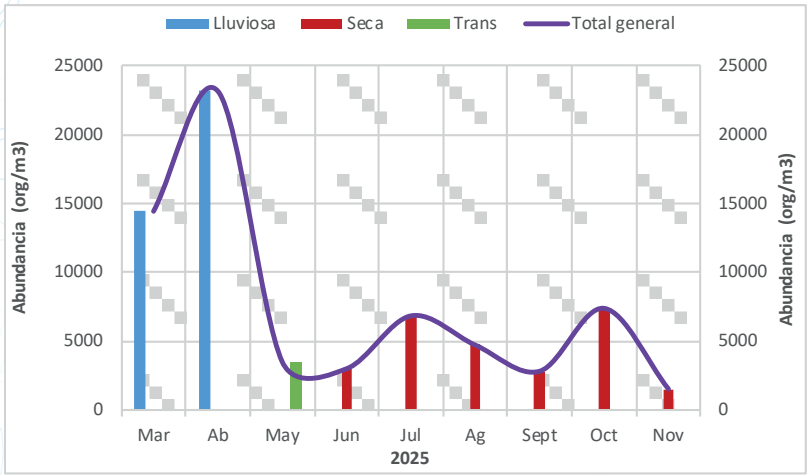


Figura 4. Abundancia de la variación espacial y temporal del zooplancton (org/m³) a 10 millas de las costas de Manabí (Puerto López) durante 2025

COMPOSICIÓN PORCENTUAL

La estructura comunitaria estuvo dominada por copépodos, seguidos por cladóceros y larvas meroplanctónicas, tanto en el nivel superficial como en la columna de agua. La alta presencia de copépodos refleja condiciones típicas de aguas cálidas oceánicas, con comunidades adaptadas a ambientes de productividad baja a moderada. Los cladóceros, aunque presentes en menor proporción, aportaron de manera relevante a la biomasa zooplanctónica, especialmente en determinados meses del periodo de estudio (figura 4).

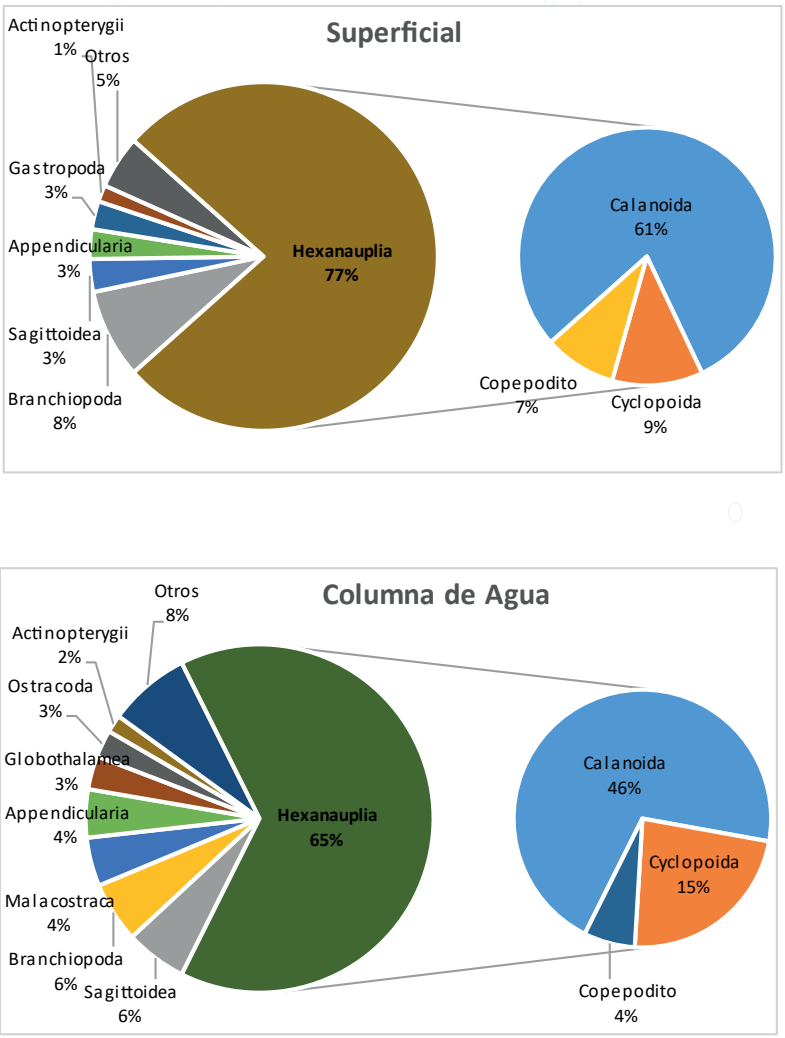


Figura 4. Composición porcentual de los grupos relevantes del zooplancton en el nivel superficial y columna de agua, presentes en la zona costera de la provincia de Manabí (Puerto López) durante 2025

ESPECIES MÁS DESTACADAS

En la localidad de Puerto López, las especies más destacadas del zooplancton durante 2025 correspondieron principalmente a copépodos calanoideos, cladóceros, quetognatos y apendicularias, reflejando una comunidad típica de aguas cálidas neríticas con influencia oceánica. De acuerdo con el aporte a la abundancia total registrada, sobresalieron *Bestiolina sp.*, *Calanus sp.* y *Subeucalanus pileatus*, especies ampliamente asociadas a ambientes de productividad baja a moderada y a una columna de agua relativamente estable.

Asimismo, la presencia significativa del cladócero *Penilia avirostris* indica condiciones favorables para organismos filtradores en aguas cálidas, mientras que *Sagitta* sp. (Chaetognatha) evidencia una estructura trófica funcional, asociada a la disponibilidad de presas zooplanctónicas. Por su parte, *Oikopleura* sp. (Appendicularia) sugiere una fracción importante de partículas finas y materia orgánica en suspensión, característica de ambientes neríticos externos. En conjunto, estas especies definen un ensamble zooplanctónico estable y bien adaptado a la variabilidad estacional, sin evidencias de alteración ecológica durante el periodo evaluado (figura 5).

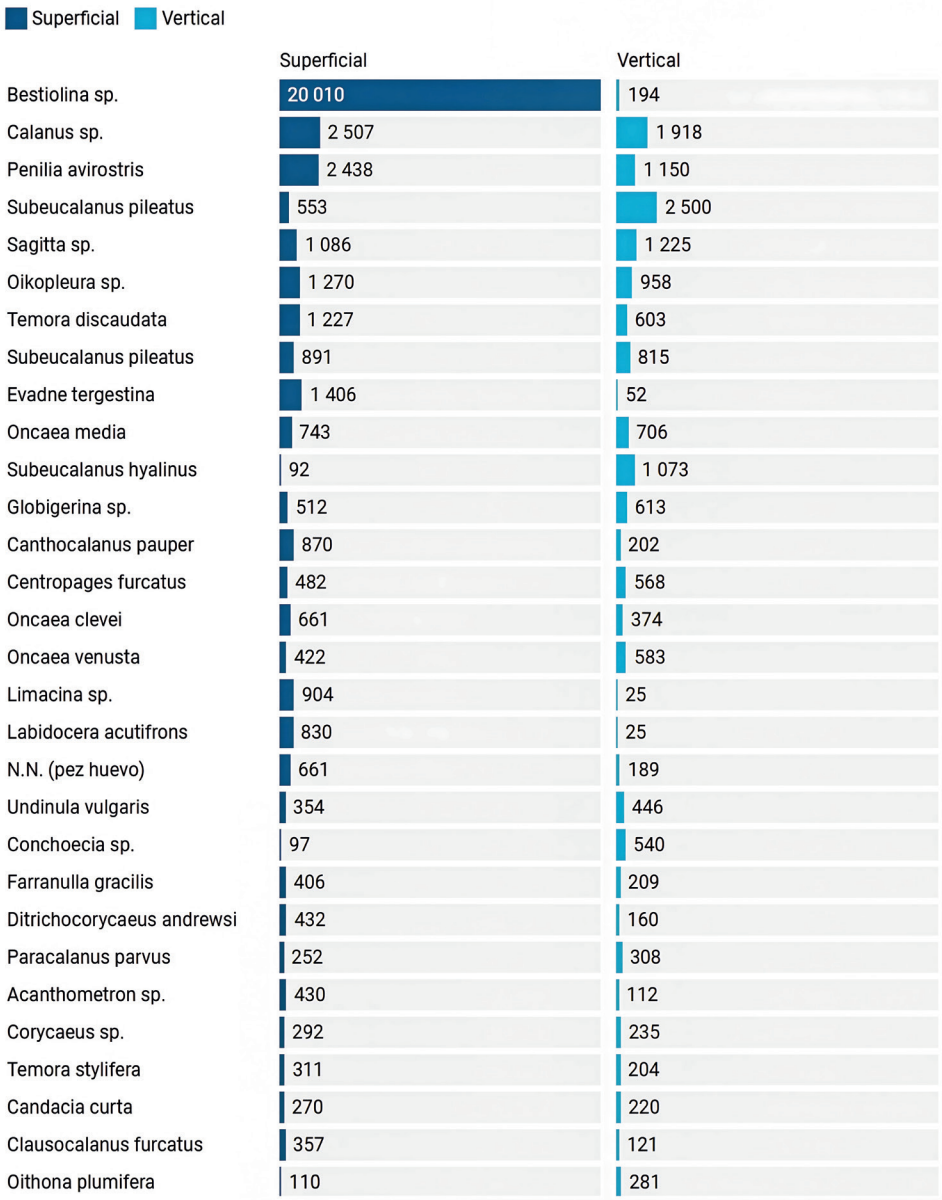


Figura 5. Especies del zooplancton, en el nivel superficial y columna de agua, presentes en la zona costera de la provincia de Manabí (Puerto López) durante 2025

COMPOSICIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LAS ESPECIES DEL ZOOPLANCTON

La variación temporal de las especies más relevantes del zooplancton en Puerto López durante 2025 evidenció patrones contrastantes entre especies persistentes y especies de ocurrencia puntual, reflejando la influencia de la estacionalidad y de cambios temporales en las condiciones oceanográficas.

Bestiolina sp. presentó un comportamiento marcadamente puntual, registrándose únicamente en un mes específico del periodo de estudio, donde alcanzó su máximo de abundancia, mientras que en los meses restantes su presencia fue nula o muy baja. Este patrón sugiere una aparición oportunista, posiblemente asociada a un pulso transitorio de condiciones favorables, como un aumento temporal en la disponibilidad de alimento o cambios en la estructura de la columna de agua, sin constituir un componente permanente de la comunidad zooplanctónica local.

En contraste, *Calanus* sp. mostró una presencia sostenida a lo largo del año, con fluctuaciones moderadas en su abundancia. Se observó un ligero incremento durante la mitad del periodo de muestreo, seguido de una disminución progresiva hacia los meses finales, lo que indicó una respuesta gradual a la variabilidad estacional, característica de especies estructurales del zooplancton en ambientes neríticos con influencia oceánica.

Por su parte, *Penilia avirostris* evidenció una variación temporal más marcada, con abundancias relativamente bajas durante gran parte del año y un incremento notable hacia los meses finales del periodo analizado. Este comportamiento es consistente con la ecología de los cladóceros marinos, los cuales suelen responder rápidamente a condiciones favorables de temperatura y disponibilidad de partículas orgánicas, especialmente en ambientes cálidos.

En conjunto, estos resultados muestran que la estructura temporal del zooplancton en Puerto López estuvo definida por la persistencia de especies clave como *Calanus* sp. y *Penilia avirostris*, junto con la aparición episódica de especies oportunistas como *Bestiolina* sp. Este patrón refleja un sistema zooplanctónico dinámico pero estable, capaz de responder a pulsos ambientales sin alterar de forma significativa la composición general de la comunidad durante 2025 (figura 6).

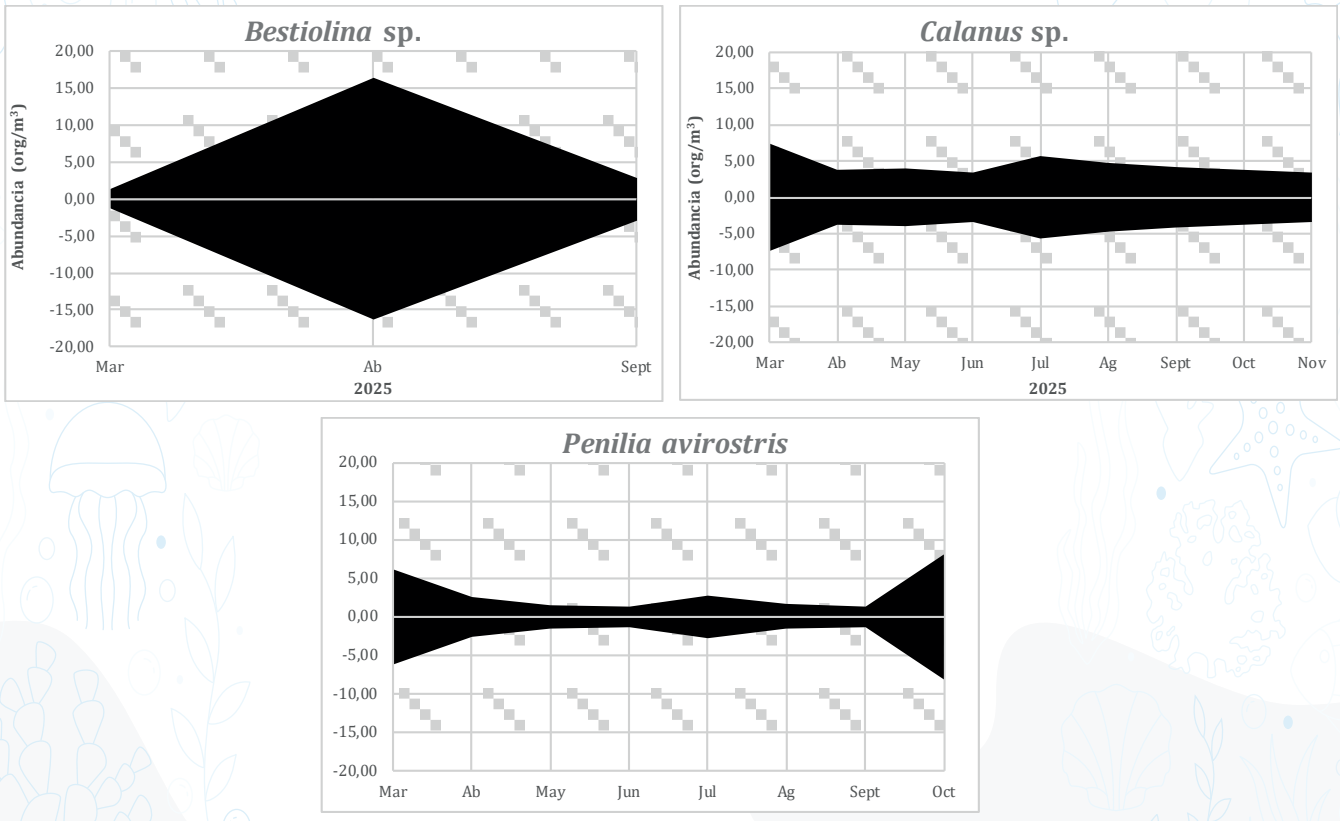


Figura 6. Variación temporal de la abundancia de las principales especies taxonómicas del zooplancton presentes en la zona costera de la provincia de Manabí (Puerto López) durante 2025

DIVERSIDAD

Los índices de diversidad del zooplancton en Puerto López durante 2025 mostraron una variabilidad temporal marcada, reflejando cambios tanto en la riqueza específica (S) como en la distribución de la abundancia entre las especies (Evenness y J). Estos cambios evidencian una comunidad dinámica, sensible a la estacionalidad y a las condiciones oceanográficas locales.

La riqueza específica (S) presentó valores relativamente altos durante gran parte del periodo de estudio, con un máximo registrado en marzo (76 spp.) y valores también elevados en julio (70 spp.) y agosto (65 spp.), lo que indica una comunidad con una composición taxonómica diversa. En contraste, los valores más bajos de riqueza se observaron en abril (37 spp.) y noviembre (41 spp.), evidenciando periodos con menor número de especies presentes.

La diversidad de Shannon (H') mostró una respuesta estrechamente ligada tanto a la riqueza como a la equitatividad. Los valores más altos de H' se registraron entre junio y septiembre (H' = 3.42–3.53), coincidiendo con altos niveles de equitatividad (Evenness: 0.52–0.55; J: 0.83–0.85). Esto sugiere que durante estos meses la comunidad zooplanctónica estuvo bien estructurada, con una distribución relativamente homogénea de los individuos entre las especies y sin dominancia marcada.

En contraste, abril presentó el valor más bajo de diversidad (H' = 0.80), a pesar de registrar la mayor abundancia total del periodo (23171 org/m^3). Este patrón estuvo acompañado de una equitatividad extremadamente baja (Evenness = 0.06; J = 0.22), lo que indica que el aumento de la abundancia estuvo concentrado en muy pocas especies dominantes, reduciendo significativamente la diversidad efectiva de la comunidad. Este comportamiento es característico de eventos puntuales de dominancia, posiblemente asociados a pulsos ambientales favorables para especies oportunistas.

De manera similar, octubre presentó una diversidad relativamente baja (H' = 2.58), asociada a una menor equitatividad (Evenness = 0.24; J = 0.65), lo que sugiere una estructura comunitaria más simplificada en comparación con los meses centrales del año. Por el contrario, noviembre, a pesar de registrar la menor abundancia total (1561 org/m^3), mostró valores moderados de diversidad (H' = 3.00) y equitatividad (J = 0.81), indicando una comunidad menos abundante pero mejor balanceada en términos de distribución de especies.

En conjunto, los resultados indican que en Puerto López la diversidad del zooplancton durante 2025 estuvo determinada principalmente por la equitatividad y la dominancia relativa, más que por la abundancia total. Los meses con mayor estabilidad comunitaria correspondieron al periodo junio–septiembre, mientras que los meses de abril y octubre reflejaron condiciones de mayor dominancia específica. Este patrón es consistente con un sistema zooplanctónico dinámico, pero ecológicamente estable, capaz de responder a pulsos ambientales sin perder su estructura general durante un año de condición climática normal (tabla 1).

Tabla 1. Variación espacial de la diversidad riqueza, y los índices de Shannon-Wiener, y equitatividad del zooplancton (bits·org^{-1})

MES	S	Ab	H	Evenness	J
Mar	76	14461	3,12	0,30	0,72
Ab	37	23171	0,80	0,06	0,22
May	52	3525	3,18	0,46	0,80
Jun	57	3039	3,44	0,55	0,85
Jul	70	6872	3,52	0,48	0,83
Ag	65	4748	3,53	0,52	0,85
Sept	58	2856	3,42	0,53	0,84
Oct	54	7417	2,58	0,24	0,65
Nov	41	1561	3,00	0,49	0,81

DATOS HISTÓRICOS

El análisis de la serie histórica de abundancia del zooplancton en Puerto López (2003–2025) evidencia una alta variabilidad interanual, estrechamente asociada a la ocurrencia de eventos El Niño, La Niña y periodos de condiciones normales. Los valores registrados muestran oscilaciones amplias, con abundancias que van desde 15061 org/m³ (2013) hasta 162446 org/m³ (2006), reflejando la sensibilidad del zooplancton a las fluctuaciones climáticas y oceanográficas de gran escala.

Durante años influenciados por eventos El Niño, como 2009–2010, 2015–2016 y 2023, se observaron en general reducciones relativas en la abundancia del zooplancton, con valores bajos a moderados (por ejemplo, 29425 org/m³ en 2009; 17589 org/m³ en 2010; 30926 org/m³ en 2016), asociados a una mayor estratificación de la columna de agua, disminución del aporte de nutrientes y menor productividad primaria. Sin embargo, algunos años niño moderados mostraron respuestas variables, evidenciando que la intensidad del evento condiciona la magnitud del impacto biológico. En contraste, durante años asociados a condiciones La Niña, como 2006, 2011–2012 y 2020–2021, se registraron incrementos notables en la abundancia del zooplancton, destacando valores elevados como 162446 org/m³ en 2006 y 111804 org/m³ en 2012. Estos aumentos estuvieron relacionados con una mayor mezcla vertical, enfriamiento de las aguas superficiales y un incremento en la disponibilidad de nutrientes, condiciones que favorecen la producción fitoplanctónica y, consecuentemente, el desarrollo del zooplancton.

Por su parte, los años clasificados como condiciones normales presentaron valores intermedios de abundancia, con fluctuaciones moderadas y sin extremos pronunciados. En este contexto, el 2025, considerado un periodo de condición normal, registró una abundancia de 107650 org/m³, ubicándose por encima del promedio histórico de los años normales y cercano a los valores observados en años de transición o influencia fría débil. Este comportamiento sugiere que, durante 2025, las condiciones oceanográficas fueron favorables para el desarrollo del zooplancton, sin alcanzar los máximos asociados a eventos La Niña intensos, pero claramente superiores a los mínimos observados en años Niño. En conjunto, la comparación histórica indica que la abundancia del zooplancton registrada en 2025 no representa un comportamiento atípico, sino que se enmarca dentro de la variabilidad natural del sistema bajo condiciones climáticas normales (figura 7).

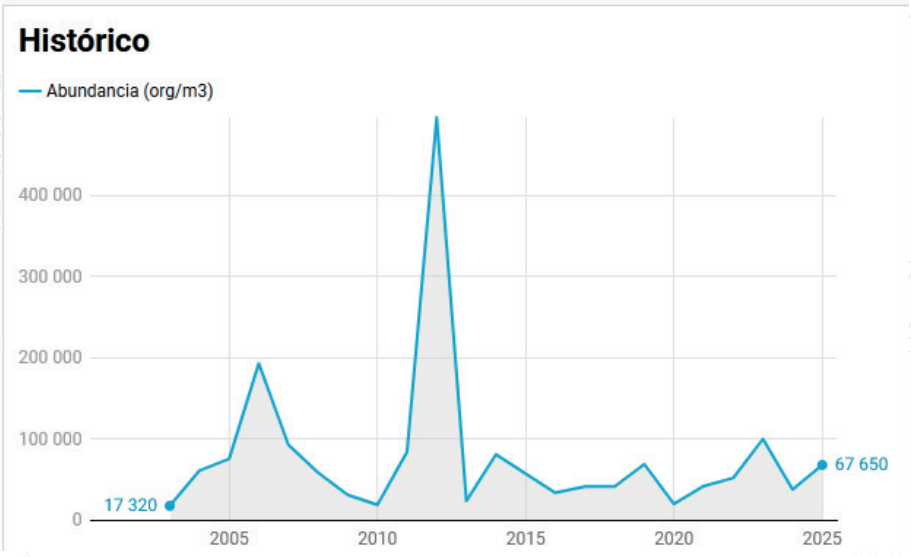


Figura 7. Registro histórico de la variación del zooplancton presentes en la zona costera de la provincia de Manabí (Puerto López) durante 2025

SALINAS

ABUNDANCIA

En Salinas, aunque también se observaron incrementos de abundancia en los meses lluviosos, la variación fue menos marcada, manteniéndose valores relativamente más homogéneos a lo largo del año. Esta respuesta más amortiguada podría estar asociada a una mayor estabilidad hidrológica del sistema, con influencia persistente de aguas neríticas cálidas y un aporte más constante de productividad costera, lo que atenúa los contrastes estacionales en la abundancia total. Si bien el gráfico presenta la abundancia de forma general, los patrones observados sugieren que la columna de agua desempeña un rol clave en la dinámica del zooplancton, ya que durante los periodos lluviosos la mayor mezcla y redistribución vertical favorecen la concentración de organismos en estratos subsuperficiales, reflejándose en incrementos de la abundancia total registrada. En conjunto, estos resultados indican que la época lluviosa y la estructura de la columna de agua son factores determinantes en la variabilidad estacional del zooplancton a 10 millas de la costa, sin evidenciar condiciones de estrés ecológico severo durante 2025 (figura 8).

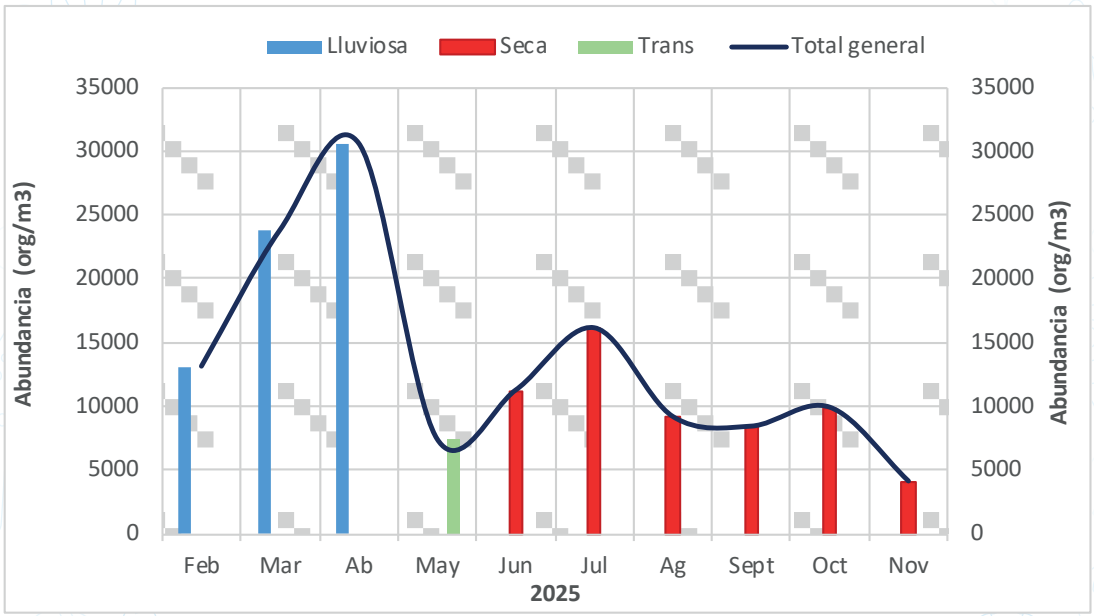


Figura 8. Abundancia de la variación espacial y temporal del zooplancton (org/m³) a 10 millas de las costas de Santa Elena (Salinas), durante 2025

COMPOSICIÓN PORCENTUAL

La comunidad zooplanctónica estuvo dominada principalmente por copépodos costeros, acompañados por cladóceros y larvas de invertebrados bentónicos. Esta composición refleja la influencia de aguas neríticas cálidas, con un aporte moderado de productividad costera y mayor retención de organismos en la columna de agua (figura 9).

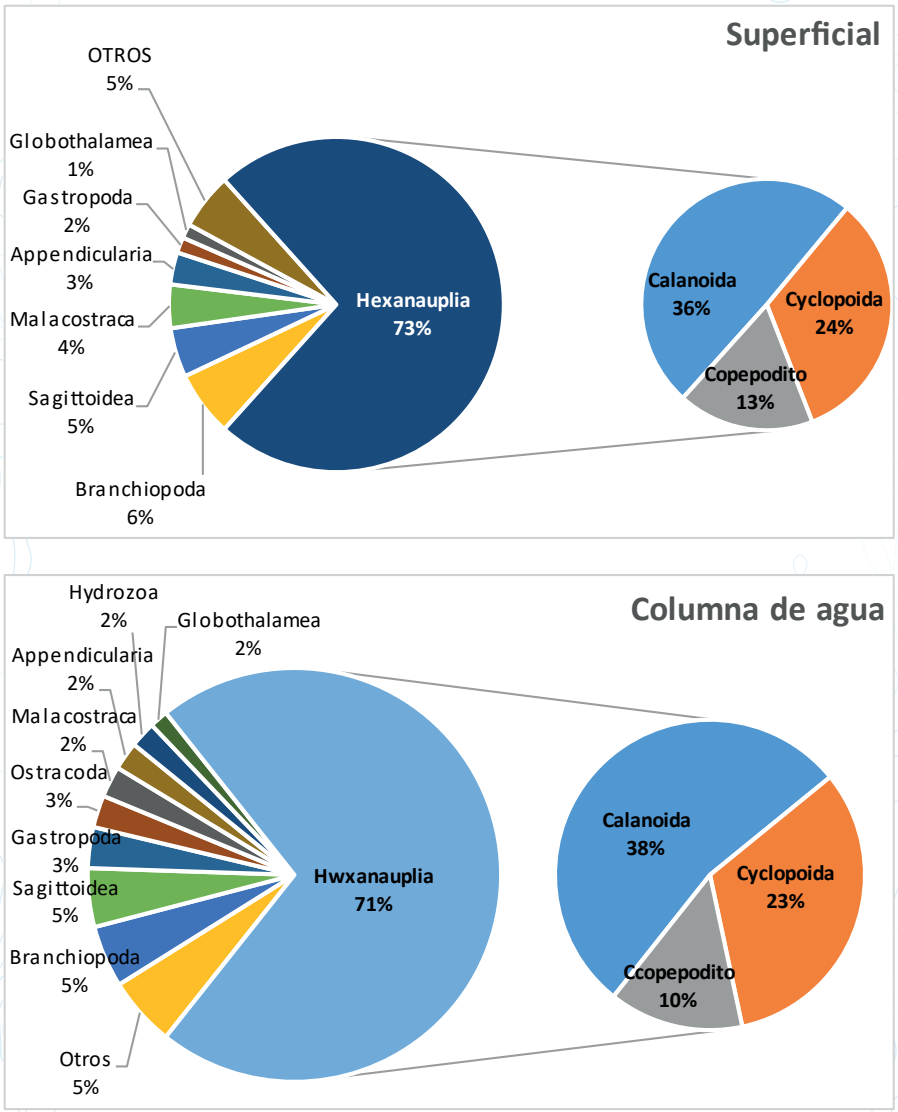


Figura 9. Composición porcentual de los grupos relevantes del zooplancton en el nivel superficial y columna de agua, presentes en la zona costera de la provincia de Santa Elena (Salinas) durante 2025

ESPECIES MÁS DESTACADAS

En la localidad de Salinas, la estructura del zooplancton durante 2025 estuvo dominada principalmente por copépodos calanoideos y ciclopoideos, acompañados por quetognatos, cladóceros, apendicularias y foraminíferos, reflejando un ensamble típico de aguas neríticas cálidas y relativamente estables. El análisis comparativo entre el nivel superficial y la columna de agua evidencia una distribución diferencial de las especies, asociada a sus estrategias ecológicas y a la dinámica vertical del sistema. Entre las especies más abundantes destacó *Calanus* sp., que presentó los mayores valores de abundancia total, con una clara predominancia en la columna de agua, lo que sugiere afinidad por estratos subsuperficiales y condiciones de mayor estabilidad térmica. De manera similar, *Subeucalanus pileatus* y *Canthocalanus pauper* mostraron mayores abundancias en el muestreo vertical, confirmando su carácter de especies estructurales del zooplancton nerítico-oceánico.

En el nivel superficial, sobresalieron especies como *Oncaea clevei*, *Bestiolina* sp., *Evande tergestina*, *Acartia* sp. y *Labidocera fluviatilis*, las cuales alcanzaron valores relativamente altos en comparación con su representación vertical. Este patrón indica una mayor afinidad por capas superficiales, posiblemente relacionada con la disponibilidad de alimento, partículas finas y procesos de mezcla superficial. Asimismo, especies como *Sagitta* sp., *Penilia avirostris*, *Oikopleura* sp., *Temora discaudata, Centropages furcatus* y *Oncaea venusta* presentaron una distribución más equilibrada entre superficie y columna de agua, lo que refleja una mayor plasticidad ecológica y capacidad de adaptación a las condiciones ambientales predominantes durante 2025.

La presencia de taxones como *Globigerina* sp., *Creseis* sp., *Euchaeta media* y *Temora stylifera*, aunque con abundancias menores, complementa la estructura comunitaria y confirma la influencia de aguas oceánicas cálidas en la zona de Salinas. En conjunto, estas especies definen una comunidad zooplanctónica diversa, bien estructurada y sin dominancias extremas, consistente con un escenario de condición climática normal durante el año de estudio (figura 10).

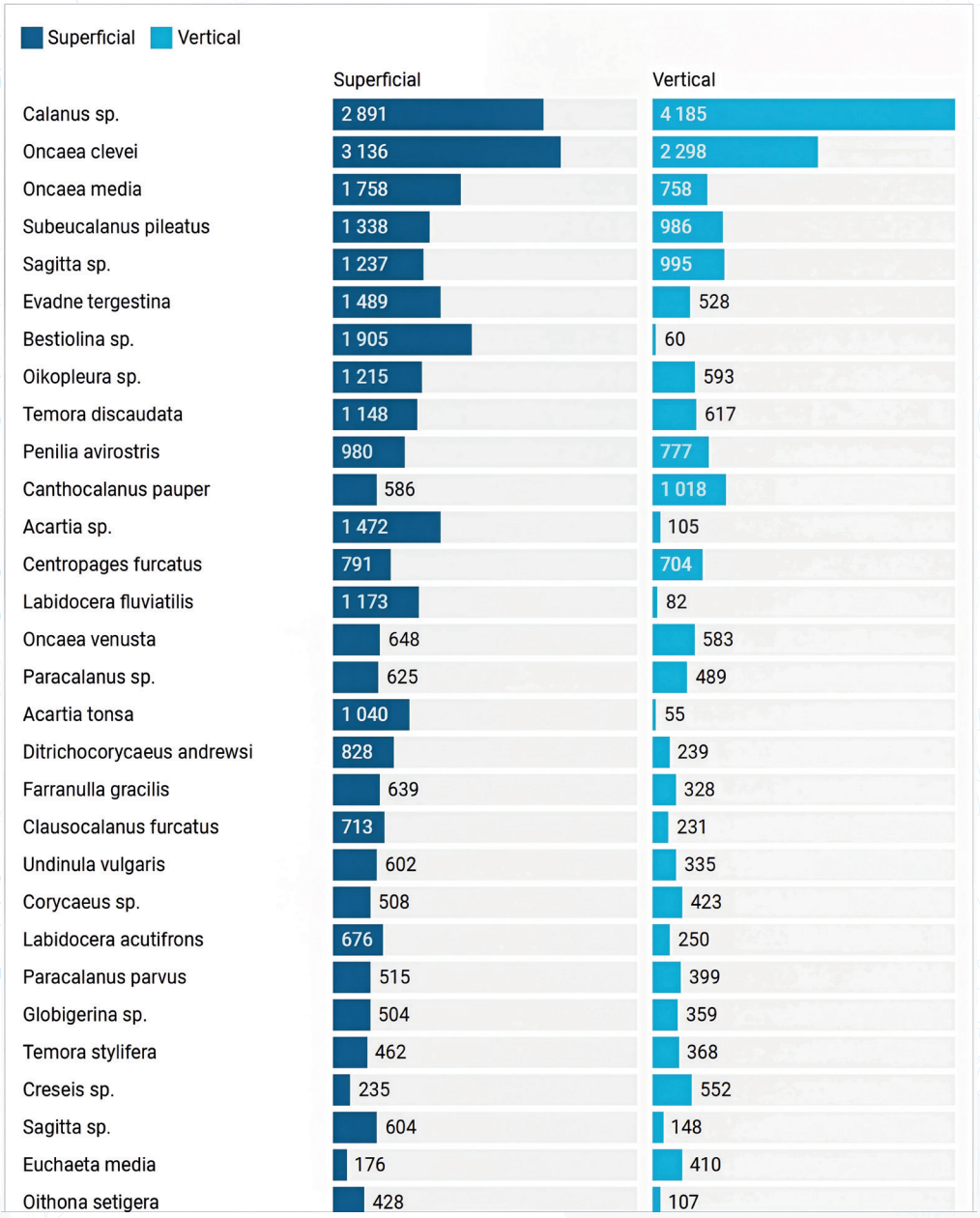


Figura 10. Composición porcentual de los grupos relevantes del zooplancton en el nivel superficial y columna de agua, presentes en la zona costera de la provincia de Santa Elena (Salinas) durante 2025

COMPOSICIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LAS ESPECIES DEL ZOOPLANCTON

La variación temporal de las especies dominantes del zooplancton en Salinas durante 2025 evidenció un patrón relativamente estable, con fluctuaciones moderadas a lo largo del año, consistente con un escenario de condición climática normal y con la influencia persistente de aguas neríticas cálidas.

Calanus sp. mostró una presencia continua durante todo el periodo de estudio, con incrementos relativos al inicio del año y un segundo aumento moderado hacia la mitad del periodo, seguido de una leve disminución hacia los meses finales.

Por su parte, *Oncaea media* presentó una variación temporal suave, con valores relativamente constantes y un ligero incremento hacia los meses intermedios del año, lo que indica una alta tolerancia a las condiciones ambientales predominantes y una estrecha asociación con ambientes neríticos estables.

En contraste, *Oncaea clevei* mostró una mayor variabilidad temporal, con valores más elevados al inicio del año y un incremento hacia los meses finales, seguido de una leve reducción. Este patrón podría estar asociado a cambios en la disponibilidad de alimento o a variaciones en la estructura de la columna de agua, reflejando una respuesta más sensible a las condiciones ambientales dentro de un rango de variación moderado.

En conjunto, las tres especies analizadas evidencian que la comunidad zooplanctónica en Salinas durante 2025 estuvo caracterizada por la persistencia de especies dominantes, con fluctuaciones estacionales graduales y sin reemplazos abruptos en la composición específica (figura 11).

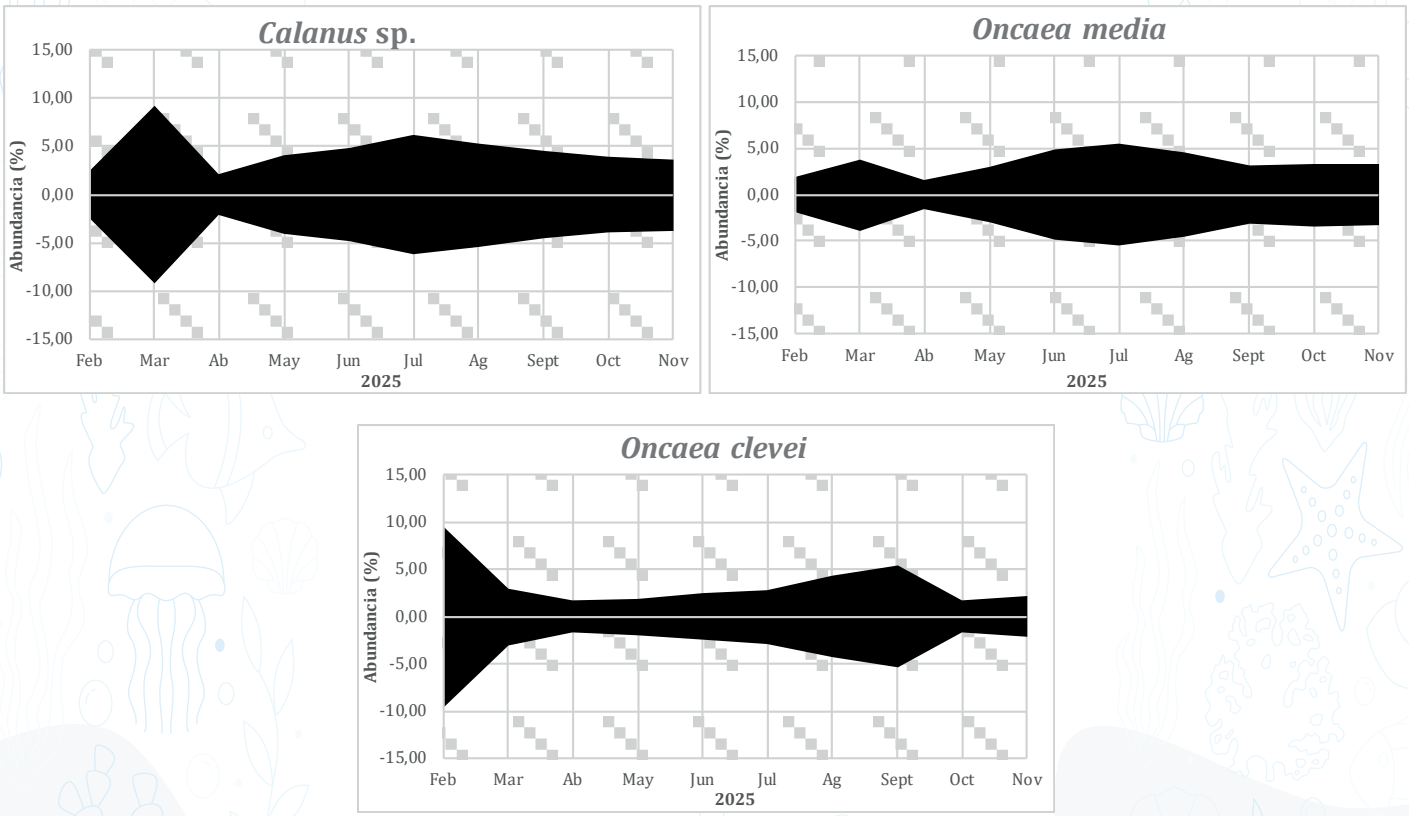


Figura 11. Variación temporal de la abundancia de las principales especies taxonómicas del zooplancton presentes en la zona costera de la provincia de Santa Elena (Salinas) durante 2025

DIVERSIDAD

Los índices de diversidad del zooplancton en Salinas durante 2025 evidenciaron una comunidad dinámica. En términos de riqueza específica (S), se registraron valores relativamente altos al inicio del año (febrero: 81 spp.) y un incremento marcado hacia septiembre (95 spp.), indicando meses con mayor incorporación de taxones y, por tanto, una comunidad más diversa en composición. En contraste, noviembre presentó el valor más bajo de riqueza (33 spp.), evidenciando una comunidad más reducida en número de especies.

La diversidad (H') mostró su valor máximo en septiembre (H' = 3.78), coincidiendo con la mayor riqueza (S = 95) y con una equitatividad relativamente alta (Evenness = 0.46; J = 0.83). Esto sugiere que en septiembre no solo hubo más especies, sino que también estuvieron mejor representadas, sin dominancia extrema de pocas especies. En cambio, el valor mínimo de diversidad se registró en noviembre (H' = 2.37), acompañado de baja riqueza (S = 33) y menor equitatividad (Evenness = 0.33; J = 0.68), lo que indica una comunidad más simplificada y con mayor dominancia relativa.

Un aspecto importante es que la abundancia total (Ab) no se relacionó de forma lineal con la diversidad. En, febrero presentó la abundancia más alta (13104 org/m³), pero con diversidad moderada (H' = 2.94) y baja equitatividad (Evenness = 0.23), lo que sugiere que el aumento de individuos estuvo concentrado en pocas especies dominantes. En contraste, meses como mayo–julio y octubre presentaron abundancias más bajas o moderadas (mayo: 3868 org/m³; octubre: 2466 org/m³), pero con alta equitatividad (Evenness: 0.50–0.59; J: 0.84–0.86) y valores de H' relativamente altos (3.32–3.49), reflejando comunidades más balanceadas, donde las especies se distribuyeron de manera más uniforme.

En conjunto, los resultados indicaron que en Salinas durante 2025 la diversidad estuvo determinada principalmente por la combinación de riqueza específica y equilibrio en la dominancia (Evenness/J), más que por la abundancia total. Los meses con mayor estabilidad comunitaria (alta equitatividad) fueron mayo, junio, julio y octubre, mientras que los meses con señales de mayor dominancia fueron febrero (por dominancia con alta abundancia) y noviembre (por comunidad empobrecida y menos equitativa) (tabla 2).

Tabla 2. Variación espacial de la diversidad riqueza, y los índices de Shannon-Wiener, y equitatividad del zooplancton (bits·org ⁻¹)

MES	S	Ab	H	Evenness	J
Feb	81	13104	2,94	0,23	0,67
Mar	60	9341	2,78	0,27	0,68
Ab	57	7449	2,91	0,32	0,72
May	53	3868	3,40	0,57	0,86
Jun	67	8193	3,42	0,46	0,81
Jul	65	9249	3,49	0,50	0,84
Ag	52	4411	3,24	0,49	0,82
Sept	95	5545	3,78	0,46	0,83
Oct	47	2466	3,32	0,59	0,86
Nov	33	2531	2,37	0,33	0,68

HISTÓRICO

El análisis de la serie histórica de abundancia del zooplancton en Salinas (2004–2025) evidencia una marcada variabilidad interanual, asociada principalmente a la influencia de los eventos climáticos tipo El Niño, La Niña y periodos de condiciones normales, los cuales modulan la dinámica de la columna de agua y la disponibilidad de recursos tróficos en esta zona nerítica. Los valores históricos de abundancia oscilaron entre 5456 org/m³ (2015) y 202811 org/m³ (2012), reflejando una amplia amplitud de respuesta biológica del zooplancton frente a la variabilidad climática. En años influenciados por eventos El Niño, como 2009–2010, 2015–2016 y 2023, se registraron en general valores bajos a moderados de abundancia, destacando mínimos pronunciados durante 2015 (5456 org/m³) y 2016 (9490 org/m³), asociados a una mayor estratificación térmica, menor mezcla vertical y reducción del aporte de nutrientes hacia la zona eufótica.

En contraste, durante años asociados a condiciones frías o eventos La Niña, como 2011–2012, 2018 y 2021–2022, se observaron incrementos significativos en la abundancia del zooplancton, alcanzando valores elevados como 74243 org/m³ en 2011, 202811 org/m³ en 2012 y 82020 org/m³ en 2018. Estos aumentos están relacionados con una mayor mezcla de la columna de agua, enfriamiento de las capas superficiales y un incremento en la productividad primaria, condiciones favorables para el desarrollo del zooplancton.

Por su parte, los años clasificados como condiciones normales presentaron valores intermedios de abundancia, con fluctuaciones moderadas y sin extremos marcados. En este contexto, el 2025, considerado un periodo de condición climática normal, registró una abundancia de 65237 org/m³, ubicándose dentro del rango histórico esperado para este tipo de años y cercano a los valores observados en periodos de transición o influencia fría débil. Este comportamiento indica que, durante 2025, las condiciones oceanográficas fueron favorables pero estables, sin alcanzar los máximos característicos de eventos La Niña intensos ni los mínimos asociados a eventos El Niño fuertes. En conjunto, los resultados históricos de Salinas mostraron que la abundancia del zooplancton registrada en 2025 no constituye un comportamiento atípico, sino que se enmarca dentro de la variabilidad natural del sistema bajo condiciones normales (figura 12).

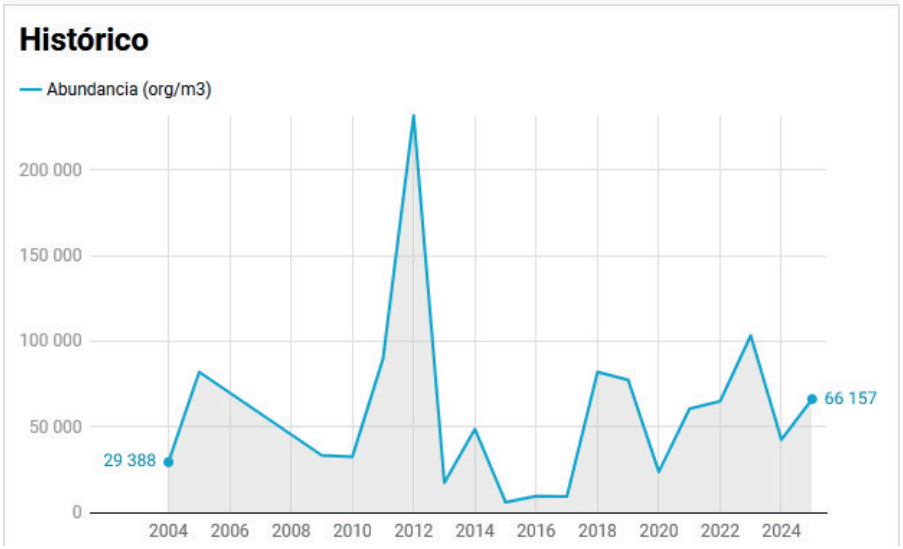


Figura 12. Registro histórico de la variación del zooplancton presentes en la zona costera de la provincia de Santa Elena (Salinas), durante 2025

ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL ECOSISTEMA

PUERTO LÓPEZ

El estado de conservación del ecosistema en Puerto López, evaluado a partir de la estructura y dinámica del zooplancton durante 2025, indica un sistema ecológicamente funcional y estable, sin evidencias de deterioro significativo. La comunidad zooplanctónica estuvo caracterizada por una composición diversa, con presencia de especies estructurales persistentes y fluctuaciones temporales asociadas principalmente a la estacionalidad y a la variabilidad natural de las condiciones oceanográficas.

Los patrones de abundancia se mantuvieron dentro del rango histórico esperado para periodos de condición climática normal, sin presentar colapsos poblacionales ni dominancias extremas sostenidas en el tiempo. Si bien se registraron eventos puntuales de alta abundancia asociada a pocas especies dominantes, esto no persistió a lo largo del año ni alteraron de forma permanente la estructura comunitaria. Los índices de diversidad y equitatividad evidenciaron, en general, valores moderados a altos, especialmente durante los meses centrales del año, lo que refleja una distribución equilibrada de las especies y una adecuada capacidad de respuesta del ecosistema frente a cambios ambientales de corta duración.

En conjunto, estos resultados sugieren que el ecosistema zooplanctónico de Puerto López durante 2025 mantuvo un buen estado de conservación, con una dinámica coherente con la variabilidad natural del sistema nerítico externo y sin señales de estrés ambiental severo.

SALINAS

En Salinas, el análisis del zooplancton durante 2025 evidencia un estado de conservación favorable, caracterizado por una alta estabilidad interanual e intra-anual de la comunidad. La composición específica estuvo dominada por especies típicas de aguas neríticas cálidas, con una distribución vertical y temporal consistente, lo que refleja condiciones ambientales relativamente homogéneas a lo largo del periodo de estudio.

Las abundancias registradas se mantuvieron dentro del rango histórico observado para años clasificados como condiciones normales, sin presentar extremos asociados a eventos climáticos intensos. Los índices de diversidad mostraron valores moderados a altos, con niveles de equitatividad generalmente elevados, indicando una comunidad bien estructurada y sin dominancia marcada de pocas especies durante la mayor parte del año.

La persistencia de especies clave y la ausencia de cambios abruptos en la composición comunitaria sugieren que el ecosistema zooplanctónico en Salinas presentó una alta capacidad de resiliencia, respondiendo de forma gradual a la variabilidad estacional sin comprometer su integridad ecológica. En este contexto, el estado de conservación del ecosistema puede considerarse adecuado, coherente con un sistema nerítico bajo condiciones climáticas normales y sin presiones ambientales evidentes durante 2025.

De manera general, tanto Puerto López como Salinas mostraron durante 2025 un estado de conservación adecuado, con comunidades zooplanctónicas estructuralmente estables y funcionales. Las variaciones observadas responden principalmente a la dinámica natural del sistema y a la estacionalidad, más que a perturbaciones ambientales de origen antrópico o climático extremo, lo que refuerza el valor de estas estaciones como referencias ecológicas para el monitoreo de la franja nerítica externa del Ecuador continental.

ESPECIES INDICADORAS Y/O ÁREAS SENSIBLES

PUERTO LÓPEZ

En Puerto López, la comunidad zooplanctónica estuvo dominada por especies características de aguas cálidas neríticas con influencia oceánica, las cuales pueden ser consideradas indicadoras de condiciones ambientales relativamente estables durante 2025. Entre estas especies destacan *Calanus* sp., *Subeucalanus pileatus, Penilia avirostris, Sagitta* sp. y *Oikopleura* sp., todas ellas registradas de manera recurrente a lo largo del periodo de estudio y con una contribución significativa a la abundancia total.

La presencia persistente de estos taxones sugiere una estructura trófica funcional, con disponibilidad suficiente de recursos y una columna de agua que mantiene condiciones adecuadas para el desarrollo del zooplancton. Asimismo, la aparición puntual de *Bestiolina* sp., con altos valores de abundancia en un mes específico, puede interpretarse como un indicador de pulsos ambientales transitorios, más que como una señal de alteración ecológica permanente.

Desde el punto de vista espacial, no se identificaron áreas sensibles asociadas a cambios abruptos o deterioro de la comunidad zooplanctónica. Las variaciones observadas responden principalmente a la dinámica natural y estacional del sistema, sin evidencias de estrés ambiental localizado durante 2025.

SALINAS

En Salinas, las especies dominantes del zooplancton, tales como *Calanus* sp., *Oncaea clevei*, *Oncaea media*, *Subeucalanus pileatus*, *Penilia avirostris* y *Oikopleura* sp., se mantuvieron presentes de forma continua durante el año, lo que las posiciona como indicadoras de estabilidad ambiental en esta localidad. La distribución relativamente homogénea de estas especies entre el nivel superficial y la columna de agua refleja condiciones hidrológicas consistentes y una adecuada estructuración del ecosistema nerítico.

La ausencia de proliferaciones atípicas de especies oportunistas o de reemplazos abruptos en la composición comunitaria indica que, durante 2025, no se identificaron áreas sensibles asociadas a perturbaciones ambientales severas. Las fluctuaciones registradas en abundancia y composición fueron graduales y coherentes con la estacionalidad, lo que sugiere una alta capacidad de resiliencia del sistema zooplanctónico en Salinas.

En ambas localidades, las especies indicadoras identificadas corresponden principalmente a taxones ampliamente distribuidos en sistemas neríticos tropicales, sensibles a cambios en la estructura de la columna de agua, pero sin evidenciar respuestas extremas durante 2025. En consecuencia, no se detectaron áreas sensibles desde el enfoque zooplanctónico, y las condiciones observadas reflejan un ecosistema en estado funcional y estable, bajo un escenario de condición climática normal.

ESPECIES O ÍNDICE DE IMPORTANCIA ECOLÓGICA (IIE)

El análisis del Índice de Importancia Ecológica (IIE) permitió clasificar a las especies del zooplancton registradas durante 2025 en especies dominantes, especies acompañantes y especies accidentales o de baja importancia ecológica, considerando su frecuencia de ocurrencia, abundancia relativa y persistencia temporal en cada localidad.

PUERTO LÓPEZ

En Puerto López, las especies dominantes correspondieron a aquellas que presentaron altas abundancias relativas y presencia recurrente a lo largo del periodo de estudio, constituyendo la base estructural de la comunidad zooplanctónica. Entre ellas destacaron *Calanus* sp., *Subeucalanus pileatus*, *Penilia avirostris*, *Sagitta* sp. y *Oikopleura* sp., especies típicas de aguas cálidas neríticas con influencia oceánica y con un rol clave en la transferencia de energía hacia niveles tróficos superiores.

Las **especies acompañantes** estuvieron representadas por taxones que, si bien no alcanzaron los valores máximos de abundancia, mantuvieron una presencia frecuente y estable durante varios meses del año, contribuyendo a la diversidad y funcionalidad del ecosistema. Este grupo incluye copépodos y otros componentes del holoplancton que refuerzan la estructura comunitaria sin ejercer dominancia marcada.

Por su parte, las **especies accidentales o de baja IIE** correspondieron a aquellas registradas de manera esporádica o puntual, con baja frecuencia y escasa contribución a la abundancia total. En este grupo se incluye *Bestiolina* sp., cuya aparición estuvo restringida a un mes específico con un incremento puntual de abundancia, así como otros taxones de ocurrencia ocasional. Estas especies reflejan pulsos ambientales transitorios y no constituyen componentes permanentes de la comunidad zooplanctónica de Puerto López.

SALINAS

En Salinas, las **especies dominantes** estuvieron conformadas principalmente por *Calanus* sp., *Oncaea clevei*, *Oncaea media, Subeucalanus pileatus*, *Penilia avirostris* y *Oikopleura* sp., las cuales presentaron altos valores de abundancia y una presencia sostenida tanto en el nivel superficial como en la columna de agua. Estas especies definen la estructura central del zooplancton en esta localidad y son indicativas de condiciones neríticas cálidas y relativamente estables.

Las **especies acompañantes** incluyeron taxones que mostraron abundancias moderadas y una distribución temporal continua, contribuyendo de manera significativa a la diversidad sin alcanzar niveles de dominancia. Este grupo reflejó una comunidad bien balanceada, con una adecuada repartición de individuos entre las especies.

Las **especies accidentales o de baja IIE** estuvieron representadas por organismos de baja frecuencia y abundancia, cuya presencia fue limitada a determinados meses o condiciones específicas. Estas especies aportaron a la riqueza total, pero su influencia sobre la estructura y el funcionamiento del ecosistema zooplanctónico fue reducida.

En ambas localidades, el análisis del IIE mostró que la comunidad zooplanctónica durante 2025 estuvo claramente estructurada, con un conjunto de especies dominantes persistentes, un grupo de especies acompañantes que refuerzan la estabilidad comunitaria y un componente de especies accidentales asociado a la variabilidad natural del sistema (figura 12). Este patrón es consistente con un escenario de condición climática normal, en el cual la estructura ecológica del zooplancton se mantiene funcional y sin evidencias de alteración significativa.

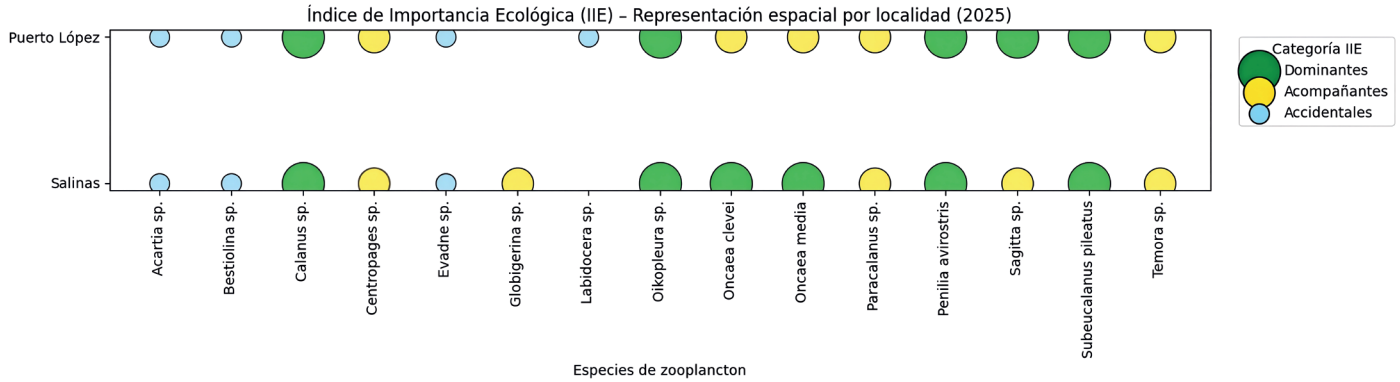


Figura 13. Especies de zooplancton de alta importancia Ecológica IIE presentes en la zona costera de la provincia de Manabí (Puerto López) y Santa Elena (Salinas), durante 2025

INTERRELACIONES AMBIENTALES, BIOLÓGICAS Y ECOLÓGICAS (ANÁLISIS MULTIVARIADO)

ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS

El análisis de conglomerados permitió evaluar las asociaciones entre los principales grupos zooplanctónicos en función de su comportamiento temporal y su respuesta a las condiciones ambientales predominantes durante las épocas seca y lluviosa en las localidades de Puerto López y Salinas.

PUERTO LÓPEZ

En Puerto López, el dendrograma mostró una estructura jerárquica bien definida, con la formación de varios conglomerados a una distancia de similitud intermedia, lo que indica una respuesta diferencial del zooplancton a la estacionalidad. Durante la época lluviosa, se observó una asociación cercana entre copépodos calanoideos, apendicularias, cladóceros e hidromedusas, grupos que tienden a agruparse a menores distancias. Esta afinidad sugiere condiciones ambientales caracterizadas por una mayor disponibilidad trófica, incremento de partículas orgánicas y una columna de agua más estratificada, favoreciendo a organismos filtradores y a consumidores primarios y secundarios. La agrupación de estos taxones refleja una estructura trófica activa, con una base zooplanctónica bien desarrollada durante este periodo.

En contraste, durante la época seca, el dendrograma evidencia la formación de conglomerados dominados por copépodos ciclopoideos, ostrácodos y poliquetos, los cuales se asocian a mayores distancias, indicando una menor afinidad ecológica con los grupos dominantes de la época lluviosa. Este patrón sugiere condiciones de mayor mezcla de la columna de agua, menor disponibilidad de alimento particulado y una comunidad zooplanctónica más dispersa, influenciada por procesos oceanográficos de mayor intensidad.

La separación progresiva de algunos grupos, como peces y braquiópodos, indica una respuesta más específica y menos sincrónica frente a la variabilidad estacional, lo que contribuye a la mayor heterogeneidad comunitaria observada en Puerto López (figura 13).

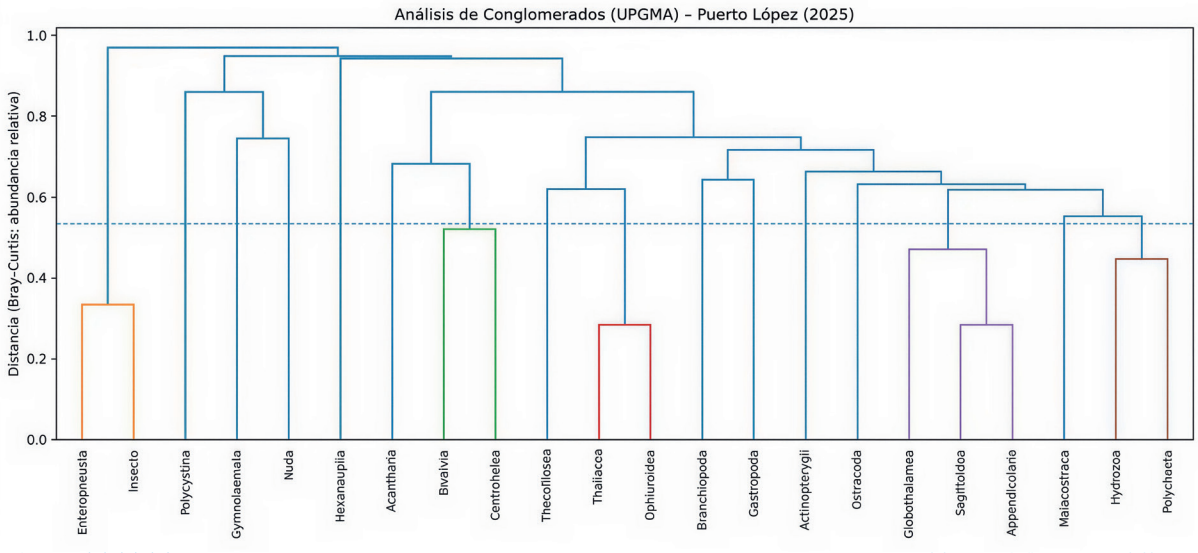


Figura 14. Dendrograma del análisis de conglomerado que muestran la similitud entre los principales grupos zooplanctónicos presentes en la zona costera de la provincia de Manabí (Puerto López) en las épocas seca y lluviosa de 2025

SALINAS

En Salinas, el dendrograma presentó una estructura más compacta, con conglomerados formados a distancias de similitud menores en comparación con Puerto López, lo que indica una mayor estabilidad temporal de la comunidad zooplanctónica.

Durante la época lluviosa, los principales grupos como copépodos calanoideos, cladóceros, apendicularias y foraminíferos tienden a agruparse estrechamente, lo que sugiere una respuesta comunitaria integrada frente a incrementos moderados de temperatura y productividad. Este patrón reflejó un sistema nerítico donde los cambios ambientales son amortiguados, favoreciendo asociaciones persistentes entre los grupos zooplanctónicos.

En la época seca, aunque se observaron ligeras variaciones en la composición de los conglomerados, la mayoría de los grupos mantuvo una alta similitud, sin separaciones abruptas. La asociación de copépodos ciclopoideos, ostrácodos y poliquetos a distancias relativamente cercanas indicaron que estos grupos continúan formando parte del núcleo estructural de la comunidad, incluso bajo condiciones de mayor mezcla y menor productividad relativa (figura 14).

La menor dispersión de los conglomerados sugiere que el zooplancton en Salinas presentó una mayor tolerancia a la variabilidad estacional, con cambios graduales en la estructura comunitaria y sin rupturas marcadas entre épocas.

El análisis de conglomerados evidenció que Puerto López presentó una mayor diferenciación estacional en la estructura del zooplancton, con asociaciones específicas durante la época lluviosa y una reorganización comunitaria durante la época seca, reflejando una dinámica ambiental más variable y compleja. Por el contrario, Salinas mostró una estructura zooplanctónica más estable, con conglomerados consistentes entre ambas épocas, lo que indicaría un sistema nerítico más homogéneo y resiliente frente a la variabilidad ambiental.

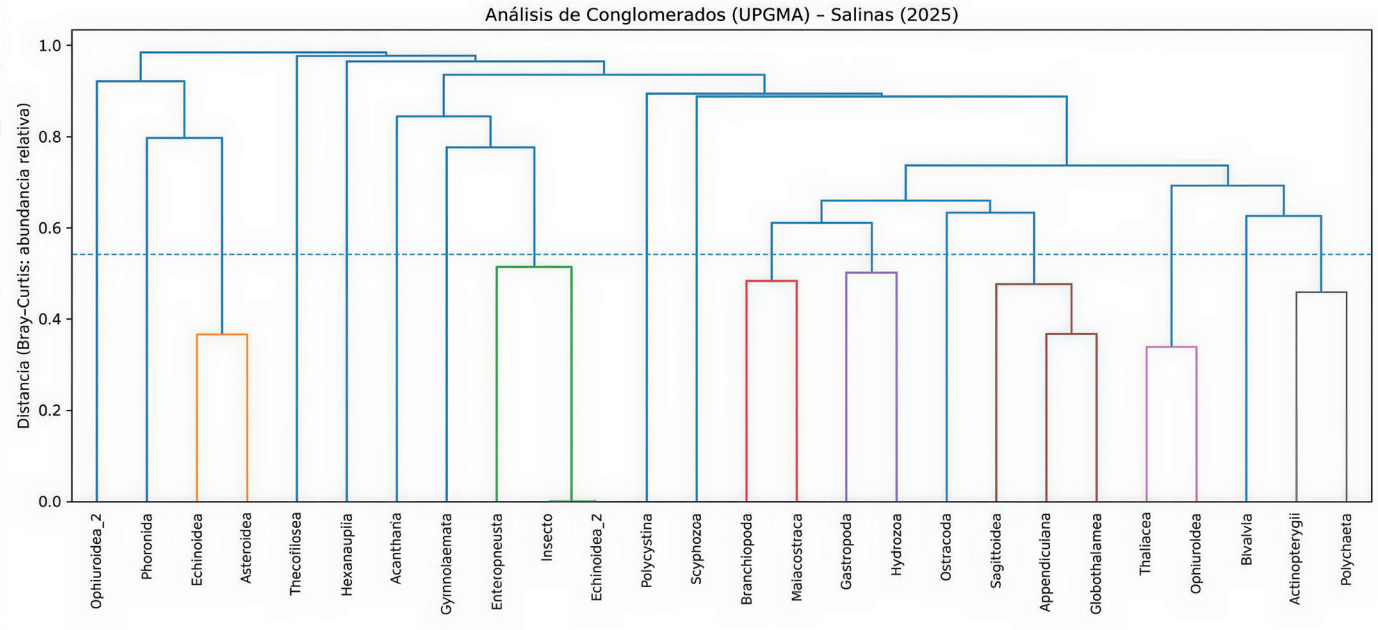


Figura 15. Dendrogramas del análisis de conglomerados que muestran la similitud entre los principales grupos zooplanctónicos presentes en la zona costera de la provincia de Santa Elena (Salinas) en las épocas seca y lluviosa de 2025

Estos patrones son coherentes con los resultados de abundancia, diversidad, CCA e histórico, y confirman que la estacionalidad climática es un factor clave en la organización ecológica del zooplancton, modulando de manera diferenciada la estructura comunitaria en cada localidad durante 2025.

ANÁLISIS SIMPER

PUERTO LÒPEZ

El análisis mostró que la estructura del zooplancton estuvo dominada principalmente por *Penilia avirostris*, la cual explicó más del 55% de la similitud promedio, constituyéndose en la especie clave que define la comunidad. En segundo lugar, *Calanus* sp. aportó aproximadamente 20% de la similitud, seguido por *Sagitta* sp. y *Oikopleura* sp., que en conjunto elevaron la similitud acumulada por encima del 85%.

La dominancia de *Penilia avirostris* estuvo asociada a picos temporales bien definidos, mientras que *Calanus* sp. y *Sagitta* sp. mostraron una presencia más constante a lo largo del periodo de estudio. Este patrón indica una comunidad zooplanctónica estructurada por pocas especies dominantes, con una marcada influencia de organismos filtradores y carnívoros, reflejando una mayor variabilidad temporal en la composición.

Tabla 3. Análisis de porcentaje de similitudes (SIMPER), mostrando la abundancia promedio de las especies y los mayores porcentajes de contribución presentes en la zona costera de la provincia de Manabí (Puerto López) durante 2025

Especie	Av.Abund (org/m³)	Av.Sim (%)	Sim/SD	Contrib. (%)	Cum. (%)
Penilia avirostris	398,67	0,4934	0,3162	1,762	78,368
***Calanus* sp.**	491,67	4,2506	1,8266	15,183	15,183
***Sagitta* sp.**	292,33	2,3664	2,0387	8,453	32,206
***Oikopleura* sp.**	247,56	2,3994	1,7061	8,57	23,753
Subeucalanus pileatus	528,78	2,0191	0,9433	7,212	39,418
Temora discaudata	203,33	1,2624	0,6229	4,509	49,428

SALINAS

En Salinas, el análisis SIMPER evidenció una mayor similitud interna en comparación con Puerto López. *Calanus* sp. fue la especie con mayor contribución a la similitud (42%), seguida por *Penilia avirostris*, que explicó cerca del 26%. Ambas especies juntas representaron más del 65% de la similitud total, indicando una comunidad altamente estructurada y estable.

Las especies *Oikopleura* sp., *Sagitta* sp. y Temora discaudata contribuyeron de manera secundaria, alcanzando una similitud acumulada cercana al 90%, lo que evidencia una comunidad zooplanctónica dominada por especies persistentes y con menor fluctuación estacional.

Tabla 4. Análisis de porcentaje de similitudes (SIMPER), mostrando la abundancia promedio de las especies y los mayores porcentajes de contribución presentes en la zona costera de la provincia de santa Elena (Salinas) durante 2025

Especie	Av.Abund (org/m³)	Av.Sim (%)	Sim/SD	Contrib. (%)	Cum. (%)
***Calanus* sp.**	707,6	4,1979	1,2952	14,493	14,493
Penilia avirostris	175,7	0,855	0,6631	2,952	56,913
***Oikopleura* sp.**	180,8	1,6858	0,9739	5,82	43,93
***Sagitta* sp.**	298,4	2,6884	2,7897	9,281	23,774
Temora discaudata	176,5	0,8154	0,7022	2,815	65,406

ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA (ACC)

Este Análisis permitió evaluar la relación entre la composición del zooplancton y las variables ambientales temperatura (T °C) y salinidad (Sal ups) en Puerto López y Salinas durante 2025. El ordenamiento mostró que ambas variables se encuentran orientadas en direcciones opuestas, lo que indica una relación inversa entre temperatura y salinidad en la estructuración de la comunidad zooplanctónica.

PUERTO LÓPEZ

En Puerto López, el diagrama CCA evidenció una amplia dispersión de las especies, reflejando una mayor heterogeneidad ambiental y una respuesta diferenciada del zooplancton frente a los gradientes físicos. El vector de temperatura (T °C) se orienta en sentido opuesto al de salinidad (Sal ups), indicando que las especies asociadas a uno de estos gradientes tienden a desvincularse del otro (figura 13).

Las especies ubicadas más cercanas al vector de temperatura como *Penilia avirostris* y *Oikopleura* sp., mostraron una mayor afinidad por condiciones relativamente más cálidas, asociadas a escenarios de mayor estratificación y estabilidad de la columna de agua. Estas especies son típicas de ambientes neríticos cálidos y responden favorablemente a incrementos térmicos moderados.

En contraste, especies como *Calanus* sp. y *Subeucalanus pileatus* se distribuyen más próximas al gradiente de salinidad, lo que sugiere una mayor afinidad por condiciones con mayor influencia oceánica, caracterizadas por aguas más salinas y procesos de mezcla. Por su parte, *Sagitta* sp. ocupa una posición intermedia en el espacio canónico, indicando una mayor plasticidad ecológica y una menor dependencia exclusiva de uno de los gradientes ambientales.

Este patrón confirma que, en Puerto López, la estructura del zooplancton está condicionada por una respuesta inversamente proporcional a temperatura y salinidad, con especies favorecidas alternativamente por cada uno de estos factores, lo que explica la mayor variabilidad comunitaria observada en esta localidad.

SALINAS

En Salinas, el CCA se observó una mayor concentración de las especies en el espacio canónico, lo que indicó una respuesta comunitaria más homogénea frente a los gradientes ambientales. Aunque los vectores de temperatura y salinidad también se presentaron en direcciones opuestas, la mayoría de las especies se agruparon en posiciones intermedias, sugiriendo una menor segregación ambiental.

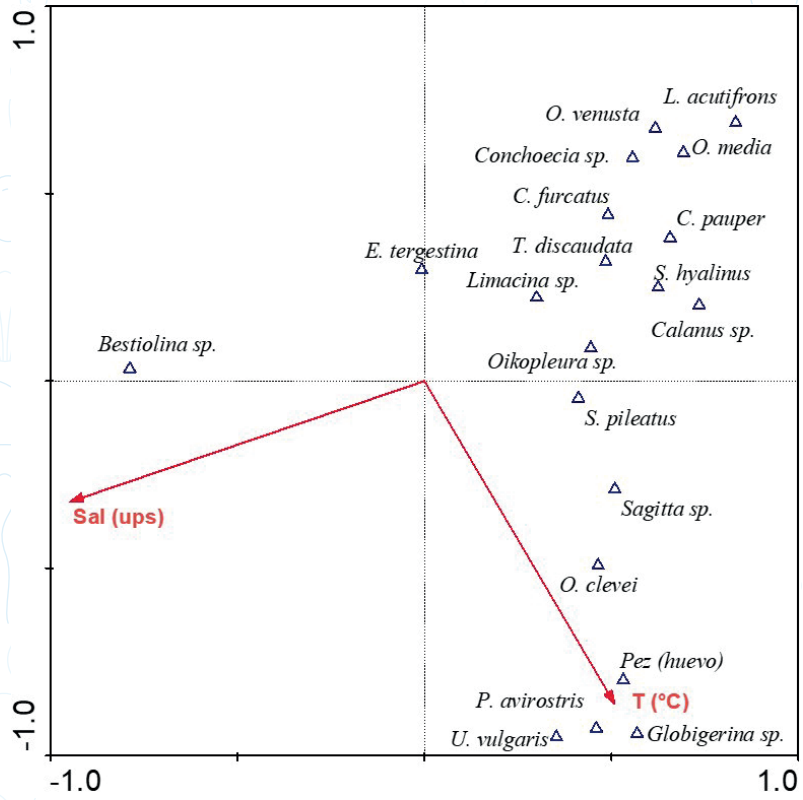
Especies dominantes como *Calanus* sp., *Oncaea clevei* y *Oncaea media* se ubicaron próximas al centro del ordenamiento, lo que indicó que no están fuertemente favorecidas por extremos térmicos o salinos, sino que responden positivamente a condiciones ambientales estables, típicas de sistemas neríticos con menor variabilidad hidrológica.

Asimismo, *Penilia avirostris* y *Oikopleura* sp. muestraron una leve afinidad hacia el gradiente térmico, aunque sin una separación marcada respecto al resto de las especies, lo que refuerza la idea de una comunidad tolerante a variaciones moderadas de temperatura y salinidad. La ausencia de especies claramente asociadas a valores extremos de los gradientes ambientales sugiere que, en Salinas, ningún factor físico domina de forma exclusiva la estructuración del zooplancton.

En conjunto, el CCA evidenció que la relación entre el zooplancton y las variables ambientales en ambas localidades estuvo gobernada por una interacción inversa entre temperatura y salinidad. Puerto López presentó una mayor segregación de especies a lo largo de estos gradientes, con taxones favorecidos alternativamente por condiciones más cálidas o más salinas, reflejando una mayor complejidad oceanográfica. En contraste, Salinas presentó una respuesta comunitaria más integrada y estable, con especies dominantes menos dependientes de extremos ambientales.

Estos resultados son coherentes con los patrones observados en abundancia, diversidad e histórico, y confirman que, durante 2025, un año de condiciones climática normales, la estructura del zooplancton estuvo modulada por gradientes ambientales opuestos, sin evidencias de estrés extremo en ninguna de las dos localidades.

PUERTO LÓPEZ



SALINAS

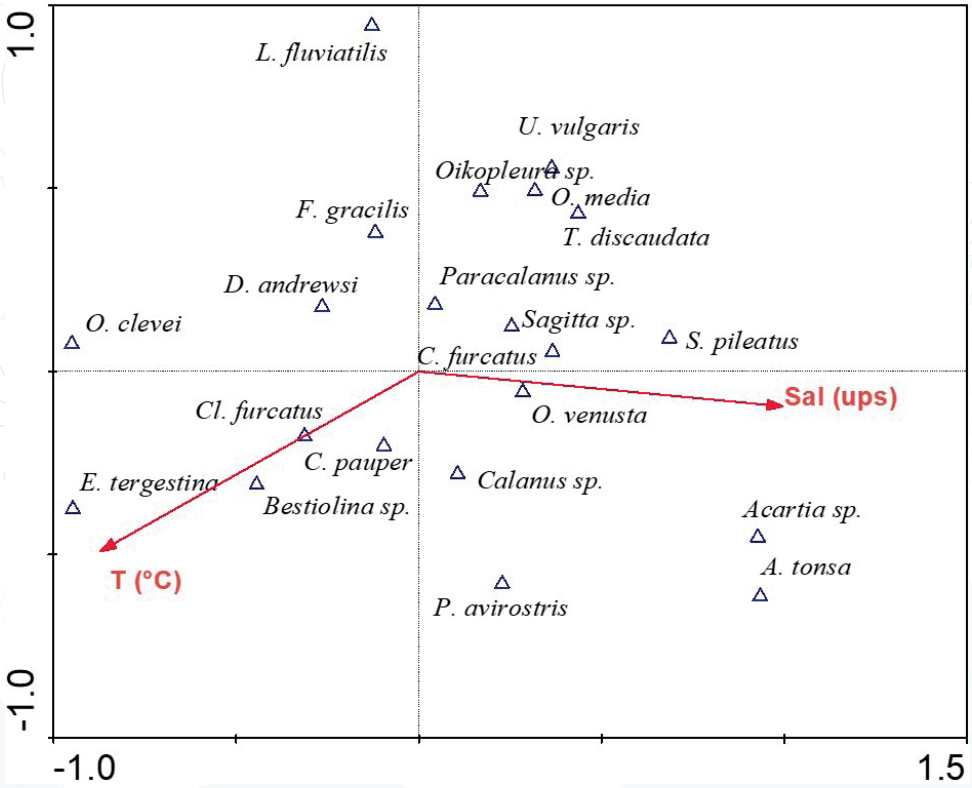


Figura 16. Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) que muestra la relación entre la composición del zooplancton y las variables ambientales (temperatura y salinidad) en Puerto López y Salinas, durante 2025

DISCUSIÓN

Durante 2025, las comunidades zooplanctónicas registradas a 10 millas de las costas de Puerto López y Salinas evidenciaron una estructura comunitaria estable y coherente con un escenario climático normal, sin la influencia de eventos extremos como El Niño o La Niña. Este comportamiento es consistente con lo reportado para ecosistemas neríticos tropicales del Pacífico oriental, donde la variabilidad del zooplancton responde principalmente a gradientes estacionales y a la dinámica físico-oceanográfica local (Pennington et al., 2006; Chandel et al., 2024).

En Puerto López, la comunidad zooplanctónica mostró una mayor variabilidad espacial y temporal, reflejada en la segregación de especies a lo largo de los gradientes de temperatura y salinidad, los cuales actuaron de forma inversamente proporcional, tal como se evidenció en el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA). Especies como *Calanus* sp. y *Subeucalanus pileatus* se asociaron preferentemente a condiciones de mayor salinidad, propias de una influencia oceánica más marcada, mientras que *Penilia avirostris* y *Oikopleura* sp. mostraron afinidad relativa hacia condiciones térmicas más elevadas. Por su parte, *Sagitta* sp. ocupó una posición intermedia, confirmando su plasticidad ecológica y su capacidad de tolerar fluctuaciones ambientales moderadas. Estos patrones concuerdan con lo descrito por Coello et al., (2010) y Bucheli (2021) para la franja nerítica ecuatoriana, donde Puerto López presenta una mayor complejidad oceanográfica.

En Salinas, la respuesta del zooplancton fue más homogénea y estable, con especies dominantes como *Calanus* sp., *Oncaea clevei, Oncaea media, Penilia avirostris* y *Oikopleura* sp. ubicándose en posiciones intermedias del ordenamiento canónico. Esto indica que dichas especies no estuvieron favorecidas por extremos térmicos o salinos, sino por condiciones ambientales relativamente estables, típicas de un sistema nerítico con menor variabilidad hidrológica. Este comportamiento es consistente con estudios previos en la península de Santa Elena, donde se ha descrito una alta resiliencia del zooplancton bajo condiciones climáticas normales (González et al., 2017; Rodríguez et al., 2019).

En conjunto, los resultados confirman que 2025 fue un año representativo de condiciones normales, en el cual el zooplancton de Puerto López y Salinas mantuvo una estructura estable, dominada por especies indicadoras de ambientes neríticos saludables. La comparación con 2024 refuerza la idea de que las variaciones observadas responden principalmente a la dinámica natural del sistema y no a procesos de degradación ambiental.

ESPECIES INDICADORAS Y ESTADO ECOLÓGICO

Las especies dominantes identificadas en ambas localidades *Calanus* sp., *Penilia avirostris*, *Oncaea clevei*, *Oncaea media*, *Subeucalanus pileatus*, *Sagitta* sp. y *Oikopleura* sp., pueden ser consideradas indicadoras biológicas que reflejaron la estructura y dinámica de la comunidad zooplanctónica durante 2025. Su presencia persistente y su alta contribución a la abundancia total expresan una estructura trófica funcional, con adecuada disponibilidad de recursos y sin señales de estrés ecológico. Este patrón coincide con lo reportado para otros ecosistemas neríticos tropicales del Pacífico y Atlántico, donde estos taxones son ampliamente utilizados como bioindicadores de condiciones ambientales normales (Romare et al., 2003; Downs et al., 2008; Bellardini et al., 2025).

COMPARACIÓN HISTÓRICA Y CONTRASTE 2024–2025

Desde una perspectiva histórica, las abundancias registradas en 2025 para ambas localidades se mantuvieron dentro del rango observado para años neutros, sin alcanzar los picos asociados a eventos cálidos intensos ni las disminuciones marcadas reportadas durante periodos fríos extremos. En comparación con 2024, año en el que se evidenció una transición climática con anomalías térmicas débiles a moderadas y una mayor influencia de masas de agua subsuperficiales (ATS, ASTS y AESS), el zooplancton en 2025 mostró una mayor estabilidad intermensual, menor dominancia de eventos puntuales y una distribución más equilibrada entre especies (Cucalón, 1986; Comité Nacional ERFEN, 2025).

Mientras que en 2024 se observaron señales de estratificación más marcada y una mayor variabilidad vertical que pudo limitar el intercambio de nutrientes hacia la capa superficial, en 2025 las condiciones térmicas y salinas favorecieron una comunidad zooplanctónica más homogénea, sin cambios abruptos en composición ni proliferaciones atípicas. Esto sugiere que, bajo condiciones normales, el zooplancton frente a Puerto López y Salinas presenta una alta capacidad de resiliencia, respondiendo de forma gradual a la estacionalidad sin comprometer la integridad ecológica del sistema.

Además de la temperatura y la salinidad, otros factores como la estructura de la columna de agua, la disponibilidad de alimento (fitoplancton), la dinámica de masas de agua y los procesos de mezcla vertical probablemente influyeron en la distribución y abundancia del zooplancton durante 2025. La interacción de estos procesos físicos y biológicos ha sido ampliamente documentada para la región ecuatorial del Pacífico, donde pequeñas variaciones oceanográficas pueden modular la productividad y la estructura comunitaria sin necesariamente generar impactos negativos (Pennington et al., 2006; Moreno et al., 2015).

BIBLIOGRAFÍA

Bellardini, D., Russo, L., Abagnale, M., Botte, V., Buondonno, A., Casotti, R., Del Gaizo, G., Di Capua, I., Furia, M., Iudicone, D., Kokoszka, F., Margiotta, F., Mazzocchi, M. G., Saggiomo, M., Sarno, D., Saviano, S., Percopo, I., Tramontin, E., Trano, A. C., Vannini, J., Cianelli, D., Licandro, P., Vassallo, P., & D'Alelio, D. (2025). Plankton food webs as indicators of the ecosystem status to support the Marine Strategy Framework Directive: A case study from Campania region (Italy). Environmental and Sustainability Indicators, 27, 100763. https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100763

Boltovskoy, D. (Ed.). (1981). Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación especial del INIDEP, Mar del Plata, Argentina. 936 pp.

Boltovskoy, D. (Ed.). (1999). South Atlantic zooplankton (Vols. 1–2). Backhuys Publishers.

Bucheli, R. (2021). Comportamiento temporal del plancton ante factores oceanográficos en las estaciones de Esmeraldas, Puerto López y Salinas. Revista Acta Oceanográfica del Pacífico, 3(1), 1–19. https://doi.org/10.54140/raop.v3i1.31

Cajas, J., Bucheli, R., Calderón, G., Ayora, G., & Guerrero, J. (2019). Variabilidad y estructura comunitaria del plancton a 10 millas de las costas de Manabí (Puerto López) y Santa Elena (Salinas) durante 2019 [Informe técnico institucional]. Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca.

Chandel, P., Mahajan, D., Thakur, K., Kumar, R., Kumar, S., Brar, B., Sharma, D., & Sharma, A. K. (2024). A review on plankton as a bioindicator: A promising tool for monitoring water quality. World Water Policy, 10(1), 213–232. https://doi.org/10.1002/wwp2.12137

Chávez, F. P., Bertrand, A., Guevara-Carrasco, R., Soler, P., & Csirke, J. (2008). The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future. Progress in Oceanography, 79(2–4), 95–105. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.012

Clarke, K. R., & Green, R. H. (1988). Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. Marine Ecology Progress Series, 46, 213–226.

Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation (2nd ed.). PRIMER-E.

Coello, D., Prado, M., Cajas, J., & Cajas de L. (2010). Variabilidad del plancton en estaciones fijas frente a la costa ecuatoriana. Revista de Ciencias del Mar y Limnología, 4(2).

Cucalón, E. (1986). Oceanografía del Golfo de Guayaquil y su influencia en la productividad biológica. Boletín Científico y Técnico del Instituto Nacional de Pesca, 9, 1–28.

Cushing, D. H., Humphrey, G. F., Banse, K., & Laevastu, T. (1975). Marine ecology and fisheries. Cambridge University Press.

Gliwicz, Z. M. (1986). Predation and the evolution of vertical migration in zooplankton. Nature, 320, 746–748. https://doi.org/10.1038/320746a0

Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca. (2024). Informe anual del Programa de Variabilidad Climática: Componente zooplancton [Informe interno]. Unidad ROCC.

Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, & Comité Nacional ERFEN. (2025). Evaluación de las condiciones oceanográficas y biológicas en la costa ecuatoriana durante 2024–2025 [Informe técnico].

Jeppesen, E., Jensen, J. P., Søndergaard, M., Lauridsen, T., & Landkildehus, F. (2000). Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: Changes along a phosphorus gradient. Freshwater Biology, 45(2), 201–218. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2000.00675.x

Krebs, C. J. (1999). Ecological methodology (2nd ed.). Benjamin/Cummings.

Legendre, P., & Legendre, L. (1998). Numerical ecology (2nd English ed.). Elsevier Science.

Magurran, A. E., & McGill, B. J. (Eds.). (2011). Biological diversity: Frontiers in measurement and assessment. Oxford University Press.

NASA Earth Observatory. (s. f.). What are phytoplankton? NASA. https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/what-are-phytoplankton/

Naselli-Flores, L., & Padisák, J. (2023). Ecosystem services provided by marine and freshwater phytoplankton. Hydrobiologia, 850, 2691–2706. https://doi.org/10.1007/s10750-022-04795-y

Pennington, J. T., Mahoney, K. L., Kuwahara, V. S., Kolber, D. D., Calienes, R., & Chavez, F. P. (2006). Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. Progress in Oceanography, 69(2–4), 285–317. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.012

Romare, P., Bergman, E., & Lauridsen, T. L. (2003). Zooplankton size structure, trophic position and impact of planktivorous fish in lakes. Freshwater Biology, 48(9), 1716–1728. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01107.x

Siegel, S., & Castellan, N. J., Jr. (1988). Nonparametric statistics for the behavioral sciences (2nd ed.). McGraw-Hill.

Ter Braak, C. J. F., & Šmilauer, P. (1998). CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for canonical community ordination (version 4). Microcomputer Power.

Ter Braak, C. J. F., & Verdonschot, P. F. M. (1995). Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. Aquatic Sciences, 57(3), 255–289. https://doi.org/10.1007/BF00877430

U.S. Environmental Protection Agency. (2025). Climate change impacts on the ocean and marine resources.

U.S. Ocean Carbon & Biogeochemistry Program. (s. f.). Biological pump.

DINÁMICA ESPACIO – TEMPORAL Y ESTRUCTURA DEL ENSAMBLE DE ICTIOPLANCTON EN PUERTO LÓPEZ Y SALINAS, DURANTE 2025



DINÁMICA ESPACIO – TEMPORAL Y ESTRUCTURA DEL ENSAMBLE DE ICTIOPLANCTON EN PUERTO LÓPEZ Y SALINAS, DURANTE 2025

Gregoria Calderón-Peralta[1], Rodrigo Moreno-Vera[1], Mónica Sánchez-Velásquez[1] y Gabriela Ayora-Macías[1]
[1] Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, gcalderon@institutopesca.gob.ec, rmoreno@institutopesca.gob.ec, msanchez@institutopesca.gob.ec y gayora@institutopesca.gob.ec.

RESUMEN

El presente estudio analiza la variación temporal de la composición y abundancia del ictioplancton en las estaciones de Puerto López y Salinas durante el 2025. Se registró una abundancia total de 507 491 org.10m² en Puerto López y 31 777 org.10m² en Salinas. Los resultados evidencian una marcada estacionalidad vinculada a condiciones oceanográficas; los picos máximos de desove de *Cetengraulis mysticetus* y *Auxis* spp., ocurrieron entre febrero y marzo, coincidiendo con temperaturas superficiales máximas de 27.8°C a 28.2°C. Se determinó una estratificación vertical donde los huevos se concentraron en el estrato superficial, mientras que las larvas predominaron en la columna de agua. La temperatura como modulador principal de la actividad reproductiva en ambas zonas. Así también, los análisis multivariados evidenciaron una estructura temporal del ensamblaje asociada a la estacionalidad oceanográfica. El análisis de correspondencia canónica mostró que la temperatura superficial del mar y la salinidad contribuyeron a estructurar la distribución del ictioplancton, mientras que los análisis de agrupamiento evidenciaron diferencias estacionales en la composición de la comunidad. El análisis SIMPER identificó a *Cetengraulis mysticetus* y *Auxis* spp., como las especies que más contribuyeron a la similitud dentro de los grupos temporales.

Palabras Claves: Ictioplancton, distribución, costa ecuatoriana.

ABSTRACT

This study analyzes temporal variation in ichthyoplankton composition and abundance at the Puerto Lopez and Salinas sampling stations during 2025. Total abundance reached 507 491 organisms 10 m² in Puerto Lopez and 31,777 organisms 10 m² in Salinas. The results revealed marked seasonality associated with oceanographic conditions. Peak spawning activity of *Cetengraulis mysticetus* and *Auxis* spp. occurred between February and March, coinciding with maximum sea surface temperatures ranging from 27.8 to 28.2 °C. Vertical stratification was observed, with fish eggs concentrated in the surface layer, whereas larvae were more widely distributed throughout the water column. Temperature represented the main environmental gradient related to temporal variation in ichthyoplankton in both areas. Multivariate analyses also revealed temporal structuring of the ichthyoplankton assemblage associated with oceanographic seasonality. Canonical correspondence analysis showed that sea surface temperature and salinity contributed to structuring ichthyoplankton distribution, while cluster analyses revealed seasonal differences in community composition. SIMPER analysis identified *Cetengraulis mysticetus* and *Auxis* spp. as the taxa contributing most to within-group similarity across temporal groups.

Keywords: Ichthyoplankton, distribution, Ecuadorian coast.

INTRODUCCIÓN

Los huevos y larvas de peces presentan una fase crítica del ciclo de vida de las especies ícticas y constituyen un componente clave en el plancton marino, los cuales a través de su distribución y abundancia reflejan los patrones reproductivos, la dinámica poblacional, la conectividad de las comunidades y el reclutamiento (Hjort, 1914; Miller & Kendall, 2009). El análisis del ictioplancton permite identificar zonas y periodos de reproducción, así como evalúa la influencia de los factores ambientales sobre el éxito temprano del ciclo de vida de los peces.

La dinámica del ictioplancton se encuentra influenciada por la temperatura, la productividad y los procesos de surgencia costera (Fiedler & Talley, 2006). A lo largo de la costa continental del Ecuador estas condiciones generan una marcada heterogeneidad espacial particularmente en las zonas de estudio (Alava & Paladines, 2017).

Diversos estudios han señalado que las especies pelágicas pequeñas dominan el ensamble del ictioplancton en aguas ecuatorianas, respondiendo a pulsos de productividad y condiciones oceanográficas adecuadas (Cruz et al., 2005; Vinueza et al., 2014). Por lo tanto, se presenta el análisis espacial y temporal del ensamble de huevos y larvas de peces en las estaciones de Puerto López y Salinas, describiendo su composición, abundancia y estructura, así como su relación con los parámetros ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

Las dos zonas muestreadas se encuentran ubicadas 10 millas costa fuera, y constituyen una zona de alta productividad biológica, influenciada por la corriente de Humboldt, la contracorriente ecuatorial y los procesos de surgencias costera estacional. Puerto López (01°28'S, 80°49'O) se ubica en la provincia de Manabí, mientras que Salinas (02°12'S, 80°57'O) se encuentra en la provincia de Santa Elena (Tabla 1; Figura 1), zonas caracterizadas por fondos arenosos, plataformas rocosas y variada hidrografía superficial y subsuperficial (Santana et al., 2004), y áreas consideradas de estrategias de desove y reclutamiento.

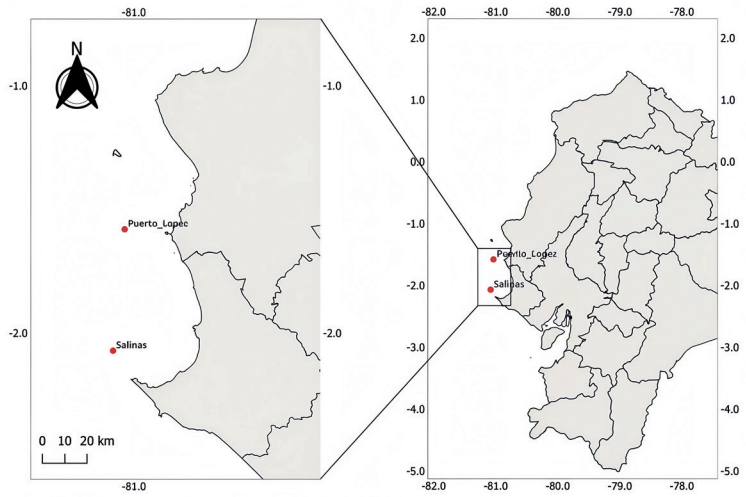


Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones en el área de estudio

Tabla 1. Localización del área de estudio

PROVINCIAS	ESTACIONES	Latitud	Longitud
Manabí	Puerto López	-15.819	-810.363
Santa Elena	Salinas	-20.682	-810.839

METODOLOGÍA DE CAMPO Y LABORATORIO

Las muestras de Ictioplancton fueron recolectadas mediante arrastres verticales (50 metros) y superficiales (0 metros) en una embarcación con motor fuera de borda, con redes tipo Bongo (0.60 cm de diámetro), provistas de un flujómetro en el centro de la boca de la red para estimar el volumen de agua filtrada, con un tiempo de arrastre de 5 min en promedio. El método de muestreo fue el estándar descrito por Smith y Richardson (1979). El material recolectado se fijó en formol neutralizado con una solución saturada de borato de sodio al 4%.

En el laboratorio, el ictioplancton se separó de las muestras sin fraccionar y los organismos se preservaron con formalina al 4%. Los huevos y larvas de peces fueron identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible, siguiendo los criterios establecidos por Matarese et al. (1989), Moser (1996), Beltrán-León y Ríos (2000–2001), Richards (2005) y Calderón et al. (2011, 2021).

Los huevos fueron identificados y cuantificados según su fase de desarrollo, siguiendo la clasificación propuesta por Ahlstrom y Counts (1955), que comprende tres estadios: inicial, desde la fecundación hasta el cierre del blastoporo; medio, desde el cierre del blastoporo hasta la separación de la cola del embrión del vitelo; y final, desde el término de la fase media hasta la eclosión. Las larvas de peces fueron identificadas y cuantificadas según sus etapas de desarrollo, de acuerdo con la clasificación propuesta por Kendall et al. (1984), que comprende cuatro etapas relacionadas con el desarrollo del notocordio: preflexión, flexión, postflexión y juvenil.
A los especímenes que no pudieron ser identificados hasta el nivel de especie se les asignó la categoría "tipo", con base en sus patrones de pigmentación y características morfométricas particulares, o la categoría "sp." cuando no existió información suficiente para diferenciarlos entre especies. La abundancia se estandarizó como número de individuos por 10 m² de superficie marina, siguiendo el método descrito por Smith y Richardson (1979).

Para caracterizar el hábitat de los taxones identificados, se registró el hábitat de los adultos de acuerdo con la información disponible para cada especie, género o familia. En los casos en que un taxón presentó más de un tipo de hábitat, se asignó el hábitat reportado con mayor frecuencia. Una vez identificados los especímenes, se establecieron categorías de hábitat según la distancia a la costa: costero (profundidades de 0 a 50 m sobre la plataforma continental), nerítico (profundidades de 51 a 200 m sobre la plataforma continental y zonas del talud continental) y oceánico (profundidades de 0 a 3600 m).

Asimismo, las especies fueron categorizadas según el hábitat de los adultos, de acuerdo con Fisher et al. (1995), utilizando la información disponible en FishBase (versión electrónica 11/2010). Las categorías consideradas fueron: Ar (asociados a arrecifes), Dp (demersales de profundidad), Ds (demersales superficiales), Mp (mesopelágicos), Pc (pelágicos costeros), Po (pelágicos oceánicos) y Bp (bento-pelágicos).

ANÁLISIS DE DATOS

Para caracterizar la estructura de la comunidad, se calcularon los índices ecológicos a partir de la abundancia. La diversidad se estimó mediante el índice de Shannon (Shannon & Weaver, 1949), utilizando la expresión H′=−∑i=1Spiln(pi); la riqueza de especies mediante el índice de Margalef (Margalef, 1974), d=(S−1) /ln(N); y la equidad mediante el índice de Pielou (Pielou, 1966), J′=H′/Hma´x′. La dominancia se estimó mediante el índice de McNaughton (McNaughton, 1968, según lo descrito por Krebs, 1989). La constancia de las especies se clasificó en tres categorías de acuerdo con Yáñez-Arancibia et al. (1980) (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de componentes para la determinación del índice de abundancia y constancia

Componentes	Frecuencia
Ocasionales o accidentales	1 a 30% (*)
Cíclicas o estacionales	31 a 70% (●)
Residentes permanentes	71 a 100% (■)

Las asociaciones temporales se calcularon mediante el índice de similaridad de Bray - Curtis y como técnica de agrupamiento (Cluster) la media aritmética no ponderara (UPGMA), el cual se basa en la asignación de similitud entre especies de acuerdo a sus distancias en una gráfica multidimensional, en donde su posición está definida por su abundancia (o por su similitud en la composición de especies). Se utilizó la transformación log 10 (X+1) y se consideraron las especies frecuentes y abundantes con el criterio del 4%. El criterio para establecer el nivel de corte o similitud fue definido considerando el promedio de los niveles de similitud en el cual se formaron los grupos, resultando en grupos formados con el 50% de similitud.

Adicionalmente, se determinó el aporte de las especies estimando el porcentaje de similaridad (Simper) por estación y etapa ontogénica. Finalmente, se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC) utilizando el software libre PcOrd v.6 para evaluar el grado de relación entre la abundancia de huevos y larvas de peces con los parámetros fisicoquímicos colectados durante el periodo de estudio.

RESULTADOS

RELACIÓN FÍSICA-BIOLÓGICA

En Puerto López, la temperatura superficial del mar (TSM) registró valores entre 23.4 a 27.8 °C, con los valores más altos durante marzo, mes en los que se evidenció las más altas abundancias de huevos de peces. Mientras que las larvas, presentaron un patrón diferente con valores moderados en el primer trimestre, descendiendo posteriormente hasta agosto, y un incremento en octubre. En lo que respecta a salinidad, esta osciló entre 32.0 y 34.5 UPS, con ligera disminución a mediados de año (Figura 2a).

En Salinas, la TSM más alta se registró en febrero, coincidiendo con la máxima abundancia de huevos de peces. A partir de marzo se presentó un descenso progresivo de la temperatura y de los huevos de peces. Mientras que las larvas, mostraron un pico alto en marzo, con descensos importantes a partir de mayo hasta septiembre. La salinidad mostró valores similares que la estación de Puerto López, con rangos entre 32 y 35 UPS (Figura 2b).

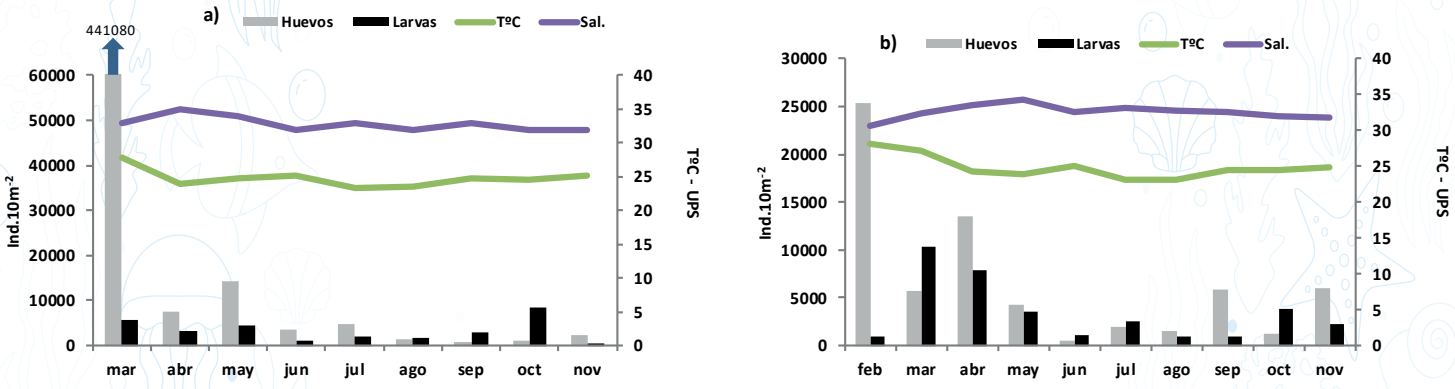
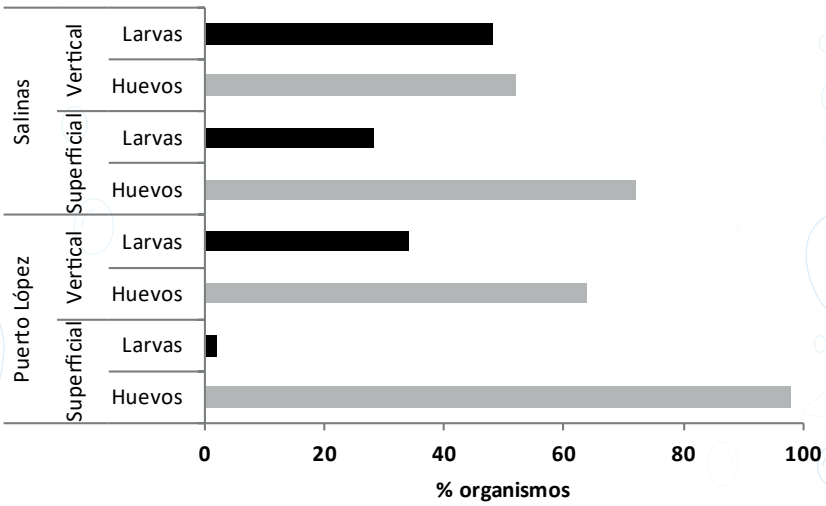


Figura 2. Relación entre abundancia de huevos y larvas de peces con la Temperatura superficial de mar (°C) y Salinidad (UPS), en las estaciones ubicadas frente **a)** Puerto López y **b)** Salinas, durante 2025

ABUNDANCIA TOTAL Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

El número total de organismos colectados y estandarizados en la estación de Puerto López fue de 507 491 org.10m-², y de 31 777 org.10m-² en Salinas. En ambas zonas y niveles de muestreo (superficial y vertical), los huevos predominaron cuantitativamente con 98% y 72%, respectivamente, mientras que, las larvas de peces presentaron una contribución significativamente menor (Figura 3).

En Puerto López a nivel superficial, los huevos de peces representaron el 98% (438 885 huevos.10m-²) de la abundancia total, mientras que, las larvas de peces aportaron con el 2% (10 697 larvas.10m-²). En contraste, en la columna de agua (vertical), los huevos representaron el 66% (38 397 huevos.10m-²) y las larvas aumentaron al 34% (19 512 larvas.10m-²) (Figura 3a). En Salinas, se observó una tendencia similar: los huevos de peces fueron predominantes a nivel superficial con el 72% (49 791 huevos.10m-²), mientras que en la columna de agua representaron el 52% (16 446 larvas.10m-²). Por su parte, el estadio larval registró un 28% (19 059 huevos.10m-²) a nivel superficial y el 48% (15 331 larvas.10m-²) en la columna de agua (Figura 3a). El análisis comparativo entre ambas zonas indicó que, a pesar de las variaciones observadas en la proporción relativa de huevos y larvas, no existen diferencias estadísticamente significativas en la abundancia total del ictioplancton (Figura 3b).



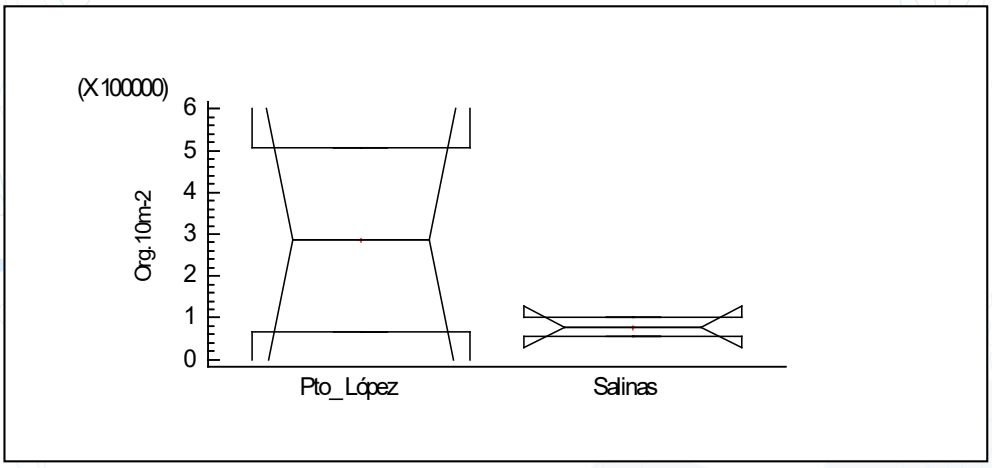


Figura 3. Abundancia de huevos y larvas de peces colectadas en las estaciones 10 millas costa fuera, frente Puerto López y Salinas, durante 2025

VARIACIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA POR ESTADIO DE DESARROLLO

Temporalmente, se evidenció una marcada estacionalidad, la máxima abundancia de huevos de peces se registró durante la época húmeda (febrero en Salinas y marzo en Puerto López). En contraste, los valores más representativos de abundancia de larvas de peces se presentaron principalmente durante la época seca, lo que indica una diferencia temporal entre los picos de desove y la presencia de estadios larvales (Figura 4 a y b).

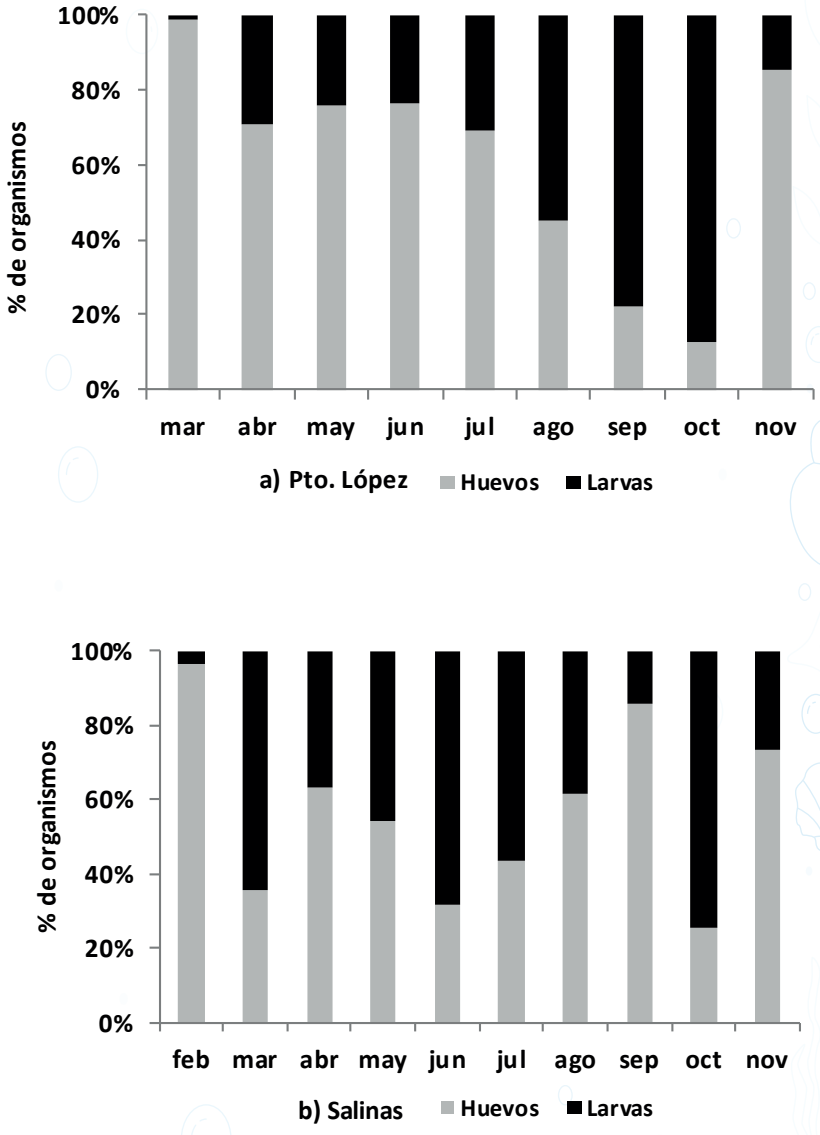


Figura 4. Abundancia porcentual (%) de huevos y larvas de peces colectadas en las estaciones 10 millas costa fuera frente a Puerto López **(a)** y Salinas **(b)**, durante 2025

COMPOSICIÓN ESTACIONAL Y DE CONSTANCIA MENSUAL DEL ICTIOPLANCTON

En la estación de Puerto López, durante el periodo de muestreo se registró un total de 507 491 org.10m-² de los cuales el 89% se registraron a nivel superficial y el 11% en la columna de agua, identificándose 36 familias, 34 especies y 20 géneros.

En el estadio de huevos de peces, se observó una alta abundancia a nivel superficial con predominio de especies pelágicas costeras. *Cetengraulis mysticetus*, especie permanente, destacó notablemente por densidad, dominando ampliamente en marzo con el 93% de la densidad total. Otras especies ocasionales, presentaron aportes significativamente menores, como los grupos demersales *Pleuronichthys* spp., 4%, y *Anguillidae* tipo 1 con el 1%. El resto de las especies identificadas (otros 2%), conformaron un conjunto de especies raras o de baja frecuencia, con aportes individuales inferiores al 0.3% (Tabla 3).

En cuanto al ensamble larval, la especie pelágica costera *C. mysticetus* lideró nuevamente con un aporte dominante del 33% en octubre, seguida por la especie demersal *Eucinostomus gracilis*, cuya presencia fue ocasional (27%), con un pico máximo en mayo. Asimismo, con un 4% de representatividad cada una, se identificaron especies de interés comercial como *Auxis* spp., y *Opisthonema* spp., dominantes en septiembre y octubre, respectivamente, y la especie de interés ecológico *Labrisomus* spp., con alta presencia en octubre. El porcentaje restante estuvo distribuido entre especies de baja frecuencia (Tabla 3).

En la columna de agua, los huevos de peces estuvieron representados mayoritariamente por *C. mysticetus* (60%), registrada únicamente en marzo y considerada estacional en este estrato. Le siguió *Pleuronichthys* spp., especie demersal, con el 12% y con mayor abundancia también en marzo. Otras especies pelágicas ocasionales, registraron porcentajes menores: *Engraulis ringens* 4%, *Etrumeus acuminatus* 3% y *Sardinops sagax* con el 2%. El 9 % restante estuvo conformado por especies con porcentajes inferiores al 1% (Tabla 3).

En el segundo estadio, la especie estacional *Bregmaceros bathymaster* fue la más representativa con el 50%. Esta especie constituyó como la dominante, por su presencia durante todos los meses de muestreo, alcanzando su pico máximo entre marzo a mayo. La segunda especie en importancia fue *C. mysticetus*, con el 1% con presencia ocasional y valores máximos en octubre. Por último, con aportes del 6 y 5%, destacaron las especies de hábitat demersal y mesopelágico *E. gracilis* y *Benthosema panamenses*, registrando sus máximos valores en marzo y mayo, respectivamente. El 27 % restante, estuvo distribuido en especies de valor comercial y ecológico (Tabla 3).

Tabla 3. Abundancia total de huevos y larvas de peces colectadas en las estaciones 10 millas costa fuera frente a Puerto López (Manabí), durante 2025

VARIABLE	HUEVOS	LARVAS
Distribución	89% a nivel superficial, 11% columna de agua	Alta riqueza taxonómica y variabilidad estacional en ambos estratos muestreados
Especie dominante (superficie)	*Cetengraulis mysticetus* (93% en marzo)	*Cetengraulis mysticetus* (33% en octubre)
Especie dominante (vertical)	*Cetengraulis mysticetus* (60% en marzo)	Bregmaceros bathymaster (50% dominante anual)
Meses de mayor abundancia	marzo dominancia de especies pelágicas	mayo (*Eucinostomus gracilis*) y octubre (*C. mysticetus*)
otras especies relevantes	*Pleuronichthys* spp. (4% superficial, 12% vertical)	*Eucinostomus gracilis* 6%, y *Benthosema panamenses* 5%
Interpretación ecológica	zona de desove	Zona de dispersión y migración larval

En la localidad de Salinas, se colectó un total de 1 000 629 org.10m-², de los cuales el 68% se obtuvo a nivel superficial y el 32% en la columna de agua (vertical). Esta abundancia estuvo compuesta por 37 familias, 51 géneros y 34 especies.

Los huevos de peces a nivel superficial, estuvo domina por *Auxis* spp., especie estacional y de interés comercial (47%), con máximos durante febrero y septiembre. Le siguieron en abundancia *Synodus* spp., con 9%, *Citharichthys* spp., con 6%, *Prionotus stephanophrys* y *Opisthonema* spp., con 5% cada una, mientras que *Pleuronichthys* spp., y *Symphurus* spp., se registraron con el 4% cada una. El 19% restante estuvo distribuido en especies importantes (Tabla 4).

El estadio larval estuvo constituido principalmente por *B. bathymaster*, especie estacional, que representó el 44%, y alcanzó su pico máximo de abundancia en marzo. La segunda especie en importancia comercial fue *C. mysticetus*, con el 12%, quien registró presencia ocasional durante febrero y octubre, siendo este último mes donde registró su valor máximo. Con aportes menores se destacaron especies de hábitat pelágico y demersal entre ellas *Opisthonema* spp., con 6%, *E. ringens* y *E. gracilis* con el 5% cada una, con sus máximos valores en octubre y julio, respectivamente. El 29% restante, estuvo distribuido en especies de valor comercial y ecológico (Tabla 4).

A nivel de la columna de agua, la especie de huevos de peces reportados pertenecieron al grupo de frecuencia ocasional, siendo *Opisthonema* spp., la más representativa con el 23% y con presencia solamente en febrero, seguido de *Auxis* spp., con el 14%, presente en cuatro de los 10 meses muestreados, siendo noviembre donde presentó mayor abundancia. Asimismo, *Maurolicus muelleri* y *Prionotus* spp., representaron el 10% cada una, con picos de abundancia en septiembre y marzo, respectivamente.

Otras especies con densidades relevantes como *Anguillidae* Tipo 1 y *E. ringens* se registraron cada una con el 6%, mientras que, *Cynoscion* spp., *Synodus* spp., y *Pleuronichthys* spp., registraron con un 5% cada una. El 16% restante se distribuyó en especies con porcentajes menores al 3%. Finalmente, las larvas en la columna de agua mostraron una distribución más limitada y menor abundancia. Predominó *B. bathymaster* con el 56%, seguida de la especie mesopelágica *B. panamenses* con el 11%, y las pelágicas pequeñas *C. mysticetus* con el 9% y *Opisthonema* spp., con el 3%. El 21% restante lo representaron especies con porcentajes inferiores a 2% (Tabla 4).

Tabla 4. Abundancia total de huevos y larvas de peces colectadas en las estaciones 10 millas costa fuera frente

VARIABLE	HUEVOS	LARVAS
Distribución	68% a nivel superficial, 32% columna de agua	Distribución más limitada y menos abundancia en la columna de agua comparada con la superficie
Especie dominante (superficie)	*Auxis* spp., (47% en febrero y septiembre) y *Synodus* spp (9%)	Bregmaceros bathymaster (44% marzo)
Especie dominante (vertical)	*Opisthonema* spp, 23% en febrero, seguida de *Auxis* spp. con 14% mayor abundancia en noviembre	*Bregmaceros bathymaster* (56%)
Meses de mayor abundancia	febrero y septiembre para *Auxis* spp, en superficie.	marzo para *B. bathymaster* y octubre para *C. mysticetus*
otras especies relevantes	*Citharichthys* spp, con 6%, *Prionotus stephanophrys* 5% y *Pleuronicnthys* spp., 4%	*C. mysticetus* 12%, *Benthosema panamenses* 11% y *Opisthinema* spp., 3%
Interpretación ecológica	zona de desove de especies de interés comercial, especiealmente durante el primer y terces trimestre del año	Zona de crianza y desarrollo larval, con predominio de especies estacionales y mesopelágicas

ANÁLISIS ECOLÓGICOS

En Puerto López la riqueza específica (S) de huevos de peces, registró un máximo en marzo con 16 especies, y posteriormente disminuye durante el resto del año, oscilando entre 5 y 9 especies. En cuanto a la equidad (J), se evidenció una marcada inestabilidad en los primeros meses de muestreo, siendo marzo casi nulo con 0.004, indicando el dominio de una sola especie. No obstante, en los últimos meses alcanzó su mayor valor en septiembre con 0.87, en el que también se observó el valor más alto de la diversidad (H) 0.84 (Tabla 5).

Por su parte, el estadio larval mostró una riqueza específica superior a la de los huevos, registrando su máximo valor en septiembre con 22 especies, seguido de marzo con 19, mientras que en mayo y julio se registró 14 especies cada mes. Así también, se observó una distribución de abundancia larval más equilibrada, destacando noviembre (0.88) y junio (0.88), con los índices de equidad más altos. Finalmente, la diversidad más alta se evidenció en septiembre (0.16), coincidiendo con la mayor riqueza de especies (Tabla 5).

Tabla 5. Abundancia total de huevos y larvas de peces colectadas en las estaciones 10 millas costa fuera frente

Etapas	Meses	Riqueza especifica (S)	Equidad (J')	Diversidad H'
Huevos	marzo	16	0.004	0.005
	abril	8	0.69	0.62
	mayo	6	0.22	0.17
	junio	5	0.38	0.26
	julio	7	0.36	0.30
	agosto	5	0.82	0.57
	septiembre	9	0.87	0.83
	octubre	9	0.82	0.79
	noviembre	7	0.77	0.65
Larvas	marzo	19	0.56	0.72
	abril	8	0.53	0.48
	mayo	14	0.67	0.77
	junio	10	0.88	0.88
	julio	14	0.67	0.77
	agosto	7	0.58	0.49
	septiembre	22	0.87	1.16
	octubre	12	0.43	0.47
	noviembre	6	0.88	0.692

En Salinas, la riqueza específica (S) de huevos de peces presentó su valor más alto en abril con 14 especies, seguido de marzo y mayo con 10 especies cada uno. Para los demás meses, la riqueza se mantuvo estable entre 7 y 8 especies, con un descenso marcado en agosto con 3 especies. La equidad (J) alcanzó su valor máximo en junio (0.93), lo que coincidió con la diversidad (H) que registró su máximo valor en junio (0.84) y mayo (0.80).

En cuanto al estadio larval, se observó una riqueza significativamente mayor en comparación con los huevos, alcanzando máximos de 25 especies en abril y 24 en marzo. Otro incremento importante se registró en julio con 22 especies. Mientras que la equidad fue más alta en febrero (0.84) y julio (0.81). Finalmente, el índice de diversidad (H) más relevante en todo el estudio se registró en julio con un valor de 1.09 (Tabla 6).

Tabla 6. AÍndices ecológicos (riqueza específica, equidad y diversidad de Shannon–Wiener) de huevos y larvas de peces frente a Salinas, durante 2025

Etapas	Meses	Riqueza especifica (S)	Equidad (J')	Diversidad (H')
Huevos	febrero	8	0.36	0.32
	marzo	10	0.75	0.75
	abril	14	0.66	0.76
	mayo	10	0.80	0.80
	junio	8	0.93	0.84
	julio	8	0.79	0.71
	agosto	3	0.70	0.33
	septiembre	7	0.66	0.56
	octubre	7	0.80	0.68
	noviembre	7	0.42	0.35
Larvas	febrero	8	0.84	0.76
	marzo	24	0.43	0.60
	abril	25	0.59	0.82
	mayo	15	0.70	0.82
	junio	10	0.75	0.75
	julio	22	0.81	1.09
	agosto	7	0.77	0.65
	septiembre	8	0.72	0.65
	octubre	15	0.80	0.94
	noviembre	8	0.55	0.50

SIMILITUD Y ESTRUCTURA COMUNITARIA

En Puerto López, el análisis de conglomerados de dos vías basado en la similitud de Bray–Curtis (nivel de corte: 50%) mostró una estructura específica tanto a nivel temporal como en la composición específica de huevos y larvas de peces.

El análisis a nivel de huevos se agrupó en tres grupos principales. El primero, integrado por meses de la época húmeda y de transición (marzo, abril y junio), presentó alta similitud en la composición específica. Este conjunto se caracterizó por una mayor representación de especies costeras pelágicas y demersales someras, entre ellas *C. mysticetus, C. hippurus, S. sagax, S. japonicus, E. acuminatus, E. ringens, Anchoa* spp., y *O. micropterus*. El segundo grupo, conformado por meses de transición hacia la época seca (mayo y julio) presentó una diferencia marcada respecto al grupo anterior.

Se observó una menor frecuencia en la composición, con especies de ocurrencia más restringida, destacando *Cynoscion* spp., *Bairdiella* spp. y *V. lucetia*. Finalmente, el tercer grupo, correspondiente a la época seca (agosto a noviembre), presentó una composición más heterogénea, integrada por especies como *Auxis* spp., *Sarda* spp., *Citharichthys* spp., *P. stephanophrys*, *Paralichthys* spp., *Chiasmodon niger*, *Synodus* spp., *M. cephalus*, *M. muelleri* y *Ophichthidae* sp. Este conjunto reflejó una mezcla de especies pelágicas, demersales, arrecifales y bentopelágicas, evidenciando un ensamblaje más diverso durante la época seca (Figura 5 a).

A nivel larvario, también se identificaron tres grupos temporales. El primero estuvo conformado por marzo, mayo, junio y septiembre (meses que abarcan la época húmeda, transición y parte de la seca), mostrando alta similitud en la composición larval. Este periodo se caracterizó por una elevada frecuencia de ocurrencia de especies como *Auxis* spp., *B. panamensis*, *D. laterna*, *C. hippurus*, *S. sagax, S. japonicus*, *E. acuminatus*, *E. ringens*, *E. gracilis* y *C. mysticetus*, entre otras. El segundo grupo incluyó julio, agosto y octubre, meses asociados principalmente a la época seca. En este conjunto se observó una disminución en la frecuencia de algunas especies dominantes del primer grupo y una mayor representación de taxa como *M. cephalus*, *Opisthonema* spp., *O. saurus*, *Seriola* spp., *Labrisomus* spp. y *Paralabrax* spp., lo que evidencia un recambio parcial en la composición.

El tercer grupo, integrado por noviembre y abril, presentó la mayor diferenciación respecto a los grupos anteriores. Este conjunto mostró una composición más heterogénea, con mayor representación de especies demersales y asociadas a hábitats bentónicos o arrecifales, como *L. negropinna*, *Larimus* spp., *N. vermiformis* y *Opisthognathus* spp. La ocurrencia de estas especies fue más restringida temporalmente, concentrándose principalmente en el periodo de transición entre la época seca y húmeda (Figura 5 b).

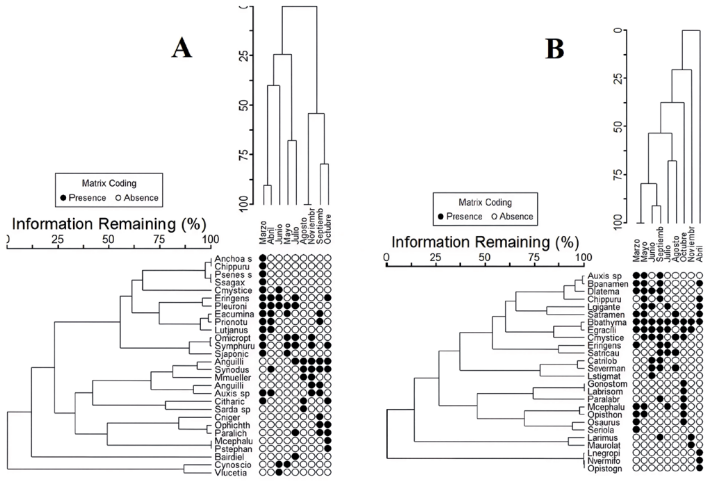


Figura 5. Dendrograma de agrupamiento de dos vías basado en la similitud de Bray–Curtis a partir de la matriz de presencia–ausencia de **a)** huevos y **b)** larvas de peces registradas en la estación de Puerto López, durante los meses de muestreo 2025. El nivel de corte corresponde al 50% de similitud

En la estación de Salinas, el análisis de conglomerados de dos vías basado en la similitud de Bray–Curtis (nivel de corte: 50%) mostró una estructura temporal definida y una agrupación consistente de las especies de huevos y larvas de peces según su patrón de presencia–ausencia.

Para la composición de huevos, se identificaron tres asociaciones temporales principales. La primera agrupó meses de la época húmeda (marzo y abril) junto con meses de la época seca (octubre y noviembre), mostrando alta similitud en la composición específica. Este conjunto se caracterizó por la ocurrencia de especies como *Auxis* spp., *M. muelleri*, *C. mysticetus*, *P. stephanophrys*, *Synodus* spp., *E. ringens* y *Prionotus* spp. La coexistencia de estas taxa, que incluyen componentes pelágicos, bentopelágicos y demersales, sugiere una estructura relativamente estable del ensamblaje en estos periodos, más allá de la estacionalidad climática.

Un segundo grupo estuvo conformado por meses de la época seca (julio, agosto y septiembre). En este conjunto se registró la presencia de especies como *Mugil cephalus*, *Paralichthys* spp., *S. sagax*, *V. lucetia*, *Lutjanus* spp., y *Anguilliformes* spp. Este grupo refleja una composición más diversa, con especies pelágicas, demersales y bentónicas asociadas a hábitats costeros, lo que indica una mayor complejidad de la comunidad durante este periodo. Finalmente, mayo y junio (época de transición) conformaron un tercer grupo con una composición diferenciada, destacando *Cynoscion* spp., *Sarda* sp., *E. acuminatus*, *C. hippurus* y *Bairdiella* spp., entre otras (Figura 6a).

A nivel larvario, se identificaron tres grupos principales. El primero estuvo conformado por febrero, marzo y abril, que presentaron la mayor similitud entre sí y se diferenciaron del resto de los meses. Este grupo se caracterizó por la ocurrencia de especies como *Auxis* sp., *Haemulon* spp., *Pontinus* spp., *Opisthognathus* spp., *Sebastes* spp. y *Peprilus* spp., cuya presencia fue más frecuente durante este periodo húmedo. La segunda agrupación, incluyó mayo y junio, mostrando una similitud intermedia y una composición parcialmente compartida tanto con los meses húmedos y transición. En este conjunto se registró la presencia de especies como *B. panamensis, C. mysticetus, E. gracilis, D. laterna, Larimus* spp., *Citharichthys* spp., *Lutjanus* spp. y *E. ringens*, mostrando un recambio parcial en la composición larval.

El tercer grupo comprendió julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, correspondientes principalmente a la época seca. Este conjunto presentó mayor heterogeneidad interna y se caracterizó por la presencia de especies como *Seriola* spp., *Labrisomus* spp., *Mugil cephalus*, *Stellifer* spp., *Caranx caballus*, *Paranthias* spp., *L. guttatus* y *S. plumieri*, entre otras (Figura 6 b).

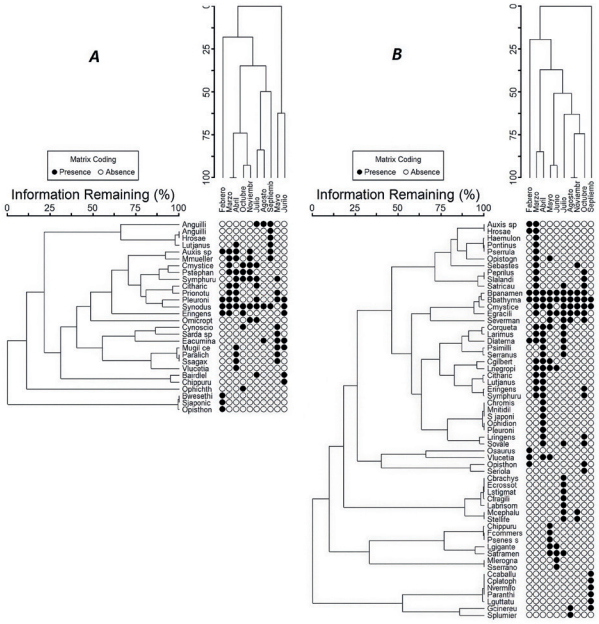


Figura 6. Dendrograma de agrupamiento de dos vías basado en la similitud de Bray–Curtis a partir de la matriz de presencia–ausencia de **a)** huevos y **b)** larvas de peces registradas en la estación de Salinas, durante los meses de muestreo 2025. El nivel de corte corresponde al 50% de similitud

ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE SIMILITUD

El análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) entre épocas en la estación de Puerto López, mostró que, para la época húmeda, la composición de huevos estuvo prácticamente dominada por *C. mysticetus*, que explicó el 99.9% de la contribución total. En contraste, la composición larval mostró una participación más distribuida entre varias especies, con *E. gracilis* (45.7%) y *B. bathymaster* (30.8%) como las especies con mayor aporte, seguidas por *Oligoplites saurus* (8,4%), *Lepophidium negropinna* (4.7%), *Seriola lalandi* (3.7%) y *Auxis* spp. (2.1%).

En la época de transición, la composición de huevos estuvo dominada por *Pleuronichthys* spp., que aportó el 98.4% de la contribución total. En el caso de las larvas, *B. bathymaster* fue la especie dominante, representando el 82.1% de la contribución, seguida por *E. gracilis* (9.8%) y *C. mysticetus* (3.9%). Durante la época seca, la composición de huevos estuvo principalmente determinada por *Anguillidae* tipo 1 (60 %) y *E. ringens* (36%) y las larvas por *E. gracilis* (94.6%) (Tabla 7).

Tabla 7. Resumen del análisis SIMPER de las especies de ictioplancton presentes en la estación de Puerto López, durante 2025. Contrib. = contribución porcentual; Contrib. acumulada = contribución porcentual acumulada.

	HUEVOS			LARVAS		
Época	Especies	Contrib. (%)	Contrib. acumulada (%)	Especies	Contrib. (%)	Contrib. acumulada (%)
Húmeda	*C. mysticetus*	99.9	99.9	*Auxis* spp.	2.1	6.5
				S. lalandi	3.7	10.2
				L. negropinna	4.7	15.0
				O. saurus	8.4	23.4
				B. bathymaster	30.8	54.2
				E. gracilis	45.7	100
Transición	*Auxis* spp.	0.3	0.4	*S. atramentatus*	1.7	4.1
	M. muelleri	0.55	0.9	*C. mysticetus*	3.9	8.0
	Cynoscion spp.	0.5	1.5	*E. gracilis*	9.8	17.8
	Pleuronichthys	98.4	100	*B. bathymaster*	82.1	100
Seca	*Synodus* spp.	1.1	2.6	*Opisthonema*	0.3	1.9
	M. muelleri	1.3	3.9	*B. bathymaster*	0.9	2.9
	E. ringens	36	40	*C. mysticetus*	2.5	5.4
	Anguillidae tipo 1	60	100	*E. gracilis*	94.6	100

En la estación de Salinas, durante la época húmeda, las larvas de *B. bathymaster* fue la de mayor contribución (86.6%), y en cuanto a los huevos lo fue *Auxis* spp. (85.2%). En la época de transición, la estructura de la comunidad larval mostró una distribución más equilibrada entre especies, destacando *B. bathymaster* con el 39.9%, *Chloroscombrus orqueta* (36%). *C. mysticetus* (10.5%) y *Calamus brachysomus* (6.7%). Para los huevos, la dominancia de *Auxis* spp., se mantuvo constante, contribuyendo con el 85.2%.

Durante la época seca, la especie *Opisthonema* spp., fue la de mayor contribución (33.6%), seguida por *C. mysticetus* (23.7%), *Engraulis ringens* (11.4%) y *Seriola* spp. (8.4%). En el caso de los huevos, *Auxis* spp., continuó siendo la especie dominante con el 76.1% de la contribución total (Tabla 8).

Tabla 8. Resumen del análisis Simper de las especies de ictioplancton presentes en la estación de Salinas, durante 2025. Contrib. = contribución porcentual; Contrib. acumulada = contribución porcentual acumulada

	HUEVOS			LARVAS		
Época	Especies	Contrib. (%)	Contrib. acumulada (%)	Especies	Contrib. (%)	Contrib. acumulada (%)
Húmeda	*M. cephalus*	2.5	5.1	*B. panamense*	1.05	2.6
	Pleuronichthys spp.	4.3	9.5	*E. gracilis*	2.1	4.7
	Cynoscion spp.	5.2	14.7	*C. mysticetus*	8.5	13.3
	Auxis spp.	85.2	100	*B. bathymaster*	86.6	100
Transición	*M. cephalus*	2.5	5.1	*C. brachysomus*	6.7	13.4
	Pleuronichthys spp.	4.3	9.5	*C. mysticetus*	10.5	24.0
	Cynoscion spp.	5.2	14.7	*C. arcuata*	36	60.0
	Auxis spp.	85.2	100	*B. bathymaster*	39.9	100
Seca	*S. lucioceps*	1.4	4.8	*Labrisomus* spp.	5.8	22.8
	E. ringens	1.8	6.7	*Seriola* spp.	8.4	31.2
	Anguillidae tipo 1	5.4	12.2	*E. ringens*	11.4	42.6
	Synodus spp.	11.6	23.8	*C. mysticetus*	23.7	66.4
	Auxis spp.	76.1	100	*Opisthonema* spp.	33.6	100

CORRELACIÓN DE ABUNDANCIA DE HUEVOS Y LARVAS DE PECES vs PARÁMETROS AMBIENTALES

Para la estación de Puerto López, el análisis de correspondencia canónica (ACC) explicó el 15.3% de la varianza total en la composición del ensamblaje de huevos y larvas de peces. Al evaluar la contribución de las variables ambientales, se observó que la salinidad (Sal) presentó una fuerte correlación positiva con el eje 1 (r = 0.90), mientras que la temperatura superficial del mar (TSM) mostró una correlación positiva con el eje 2 (r = 0.80).

En el diagrama de ordenación se observó que la salinidad se orienta hacia el lado positivo del eje 1, lo que sugiere que varias especies se relacionan con valores más altos de esta variable. Entre ellas, *Cynoscion* spp., *B. panamenses, E. acuminatus, C. hippurus, P. stephanophrys, Lutjanus* spp., y *Pleuronichthys* spp., registradas principalmente durante abril y mayo, lo que sugiere afinidad con condiciones de mayor salinidad. Por otro lado, las especies registradas durante los meses de la época seca, se ubicaron hacia el lado negativo del eje 1, separándose claramente del grupo anterior, agrupando especies como *Maurolicus muelleri, Chiasmodon niger, Paralichthys* spp., y *Synodus* spp., indicando una asociación con condiciones relativamente menos salinas y con menor temperatura. Asimismo, el eje 2 mostró una diferenciación temporal menos marcada entre los meses. Marzo se posicionó en la parte superior del diagrama, cercano a especies como *Auxis* spp., *Anchoa* spp., *Seriola* spp., *Diogenichthys laternatus*, *Scomber japonicus, Sardinops sagax* y *Chloroscombrus* orqueta relacionadas con condiciones con mayor temperatura (Figura 7).

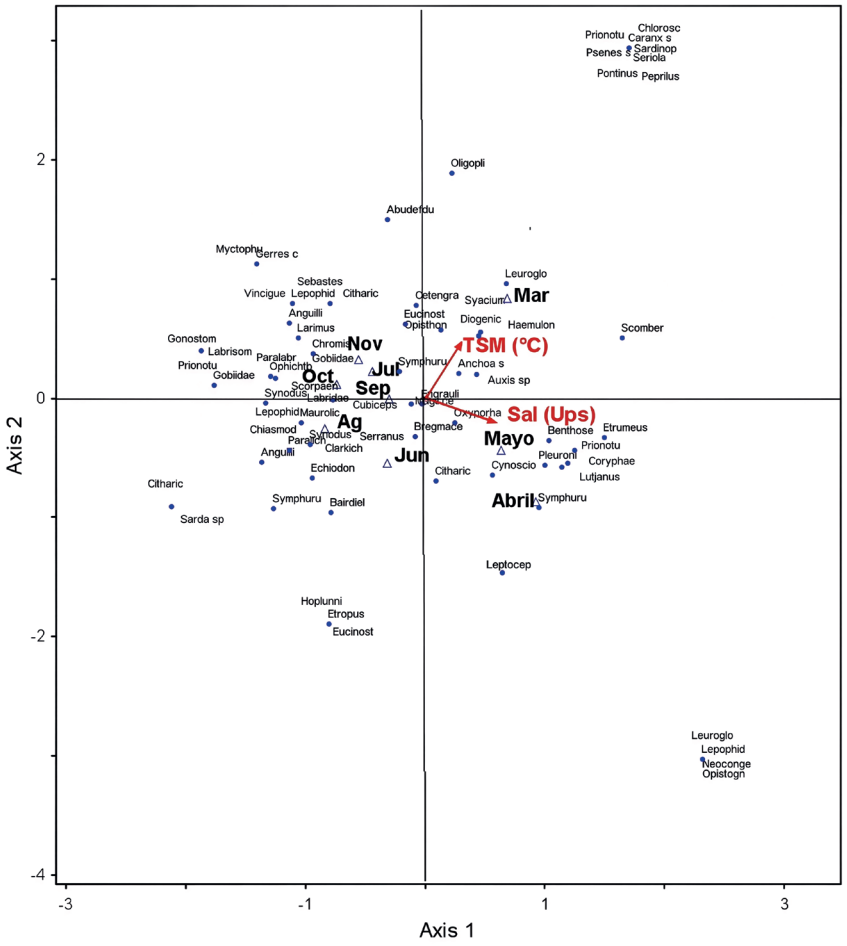


Figura 7. Diagrama de ordenación del análisis de correspondencia canónica (ACC) utilizando la abundancia de las especies de huevos y larvas encontradas en la estación Puerto López, durante 2025

Para la estación de Salinas, el análisis de correspondencia canónica (ACC) explicó el 17,3% de la varianza total en la composición del ensamblaje de huevos y larvas de peces. Al evaluar la contribución de las variables ambientales, se observó que la salinidad (Sal) presentó correlación negativa (r = 0.96), mientras que la temperatura superficial del mar (TSM) mostró una correlación positiva con el eje 2 (r = 0.71).

En el diagrama se observó que las especies como *Mugil cephalus, Cynoscion* spp., *Pleuronichthys* spp., y *Peprilus* spp., principalmente representadas en los meses de abril y mayo, presentaron correlaciones con condiciones de mayor salinidad. Por su parte, la temperatura superficial del mar (TSM) presentó una asociación positiva con las especies como *Scomber japonicus, Seriola* spp., *Peprilus* spp., y *Engraulis ringens*, relacionadas principalmente con los meses de febrero y marzo, lo que sugiere una mayor afinidad de estas especies con condiciones caracterizadas por temperaturas relativamente más elevadas. Mientras que, varios meses correspondientes a la época seca del año (junio, julio, agosto, septiembre y octubre) se concentraron cerca del origen del diagrama. Esta posición indica una relación menos marcada con los gradientes ambientales observados, donde las especies como *Synodus* spp., *B. bathymaster*, *E. gracilis* y representantes de Anguillidae, no presentaron una correlación tan cercana (Figura 8).

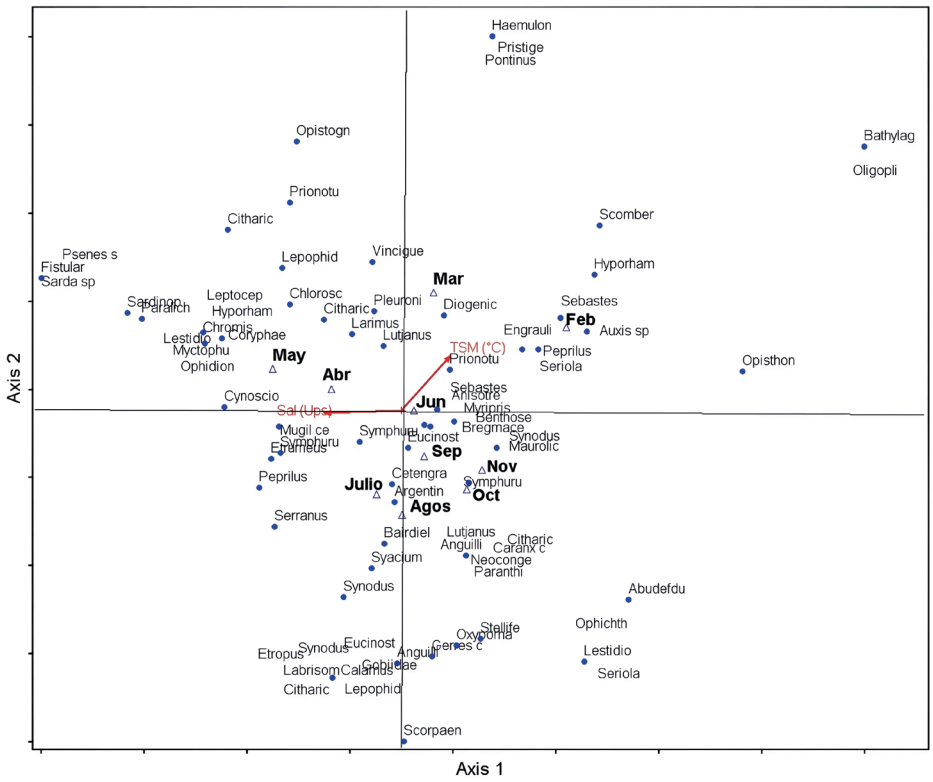


Figura 8. Diagrama de ordenación del análisis de correspondencia canónica (ACC) utilizando la abundancia de las especies de huevos y larvas encontradas en la estación de Salinas, durante 2025

DISCUSIÓN

La dinámica del ictioplancton observada en Puerto López y Salinas durante 2025, refleja una estrecha relación entre la estacionalidad oceanográfica y las estrategias reproductivas de las especies presentes. La marcada dominancia de huevos en ambas localidades (98% en Puerto López y 72% en Salinas) sugiere que estas zonas costeras, ubicadas aproximadamente a 10 millas de la costa, funcionan como áreas importantes de desove para diversas especies pelágicas y neríticas. Este patrón ha sido descrito en numerosos sistemas de surgencias, donde los peces sincronizan sus eventos reproductivos con periodos de condiciones ambientales favorables que incrementan la supervivencia de los estadios tempranos (Smith & Richardson, 1979; Moser & Smith, 1993).

Los máximos de huevos de *C. mysticetus* registrados en marzo en Puerto López y de *Auxis* spp., en febrero en Salinas coincidieron con los valores más altos de temperatura superficial del mar (27.8 – 28.2°C), lo que sugiere que ambas especies sincronizan su reproducción con periodos de mayor estabilidad térmica. Este patrón es consistente con la hipótesis de la ventana ambiental óptima, la cual propone que el éxito reproductivo de peces pelágicos en regiones influenciadas por surgencias ocurre cuando la intensidad de mezcla se mantiene dentro de un rango intermedio que favorece simultáneamente la productividad y la retención de huevos y larvas (Cury & Roy, 1989). Considerando lo anterior, el análisis de correspondencia canónica evidenció que la temperatura superficial del mar y la salinidad contribuyeron a estructurar el ensamblaje de huevos y larvas en ambas localidades. Estos resultados sugieren que, aunque los gradientes ambientales influyen en la distribución de las especies, la estructura del ictioplancton también puede estar condicionada por otros procesos físicos, como la mezcla de la columna de agua, el transporte costero y la retención local de larvas (Smith & Richardson, 1977; Moser & Smith, 1993).

En Salinas, la baja salinidad registrada durante febrero coincidió con el pico de huevos de *Auxis* spp., lo que sugiere condiciones de mayor estratificación de la columna de agua. La combinación de aguas relativamente menos salinas y temperaturas superficiales elevadas favorecen la estabilidad de la capa superficial, lo que puede promover la permanencia de huevos pelágicos en la zona fótica y facilitar el acceso de las larvas recién eclosionadas a recursos tróficos. Este tipo de condiciones ha sido descrito como favorable para la supervivencia larval en sistemas pelágicos, donde una estratificación moderada puede favorecer la acumulación de presas planctónicas necesarias para las primeras etapas de desarrollo (Lasker, 1978; Smith & Richardson, 1979).

Las diferencias observadas entre los arrastres superficiales y verticales sugieren además estrategias ecológicas diferenciadas entre huevos y larvas. Mientras los huevos se concentraron principalmente en el estrato superficial, las larvas de especies mesopelágicas como *Bregmaceros bathymaster* y *Benthosema panamense* mostraron mayor presencia en la columna de agua. Esta distribución podría reflejar migraciones ontogénicas tempranas que permiten a las larvas reducir la exposición a depredadores visuales y acceder a diferentes capas de alimento en la columna de agua (Kendall et al., 1984). La presencia recurrente de *B. bathymaster* a lo largo del periodo de estudio sugiere además una elevada tolerancia ecológica y una importante función dentro de la red trófica pelágica regional (Vinueza et al., 2014).

Los patrones de diversidad también reflejan cambios estacionales en la estructura de la comunidad. Aunque la abundancia total fue mayor durante la época húmeda, los índices de diversidad y riqueza alcanzaron valores más altos durante la época seca y de transición. Este patrón puede explicarse por efectos de dominancia durante los periodos de desove masivo de especies oportunistas como *C. mysticetus* o *Engraulis ringens*, que generan altas concentraciones de huevos y reducen la equidad del ensamblaje. Por lo contrario, durante la época seca se observa la incorporación de especies provenientes de distintos hábitats adultos, incluyendo taxones demersales, arrecifales y oceánicos, lo que incrementa la diversidad del conjunto ictioplanctónico. Este tipo de sucesión estacional ha sido documentado en sistemas de surgencia del Pacífico sudoriental, donde la intensificación de los procesos de mezcla promueve una estructura comunitaria más diversa y equilibrada (Ayón et al., 2008; Alava & Paladines, 2017).

Los análisis de similitud confirmaron que la estructura del ensamblaje estuvo fuertemente influenciada por eventos reproductivos específicos. En Puerto López, la alta similitud en la composición de huevos durante los meses húmedos y de transición estuvo dominada por *C. mysticetus*, lo que indica episodios de desove intensos en la zona costera. Sin embargo, la comunidad larval mostró una composición más diversa dominada por especies como *Eucinostomus gracilis* y *B. bathymaster*, lo que sugiere que la estructura larval no solo refleja el desove local, sino también procesos de transporte y mezcla desde diferentes hábitats de la plataforma continental (Moser & Smith, 1993).

En Salinas, la dominancia persistente de huevos de *Auxis* spp., sugiere que esta zona podría funcionar como un área recurrente de desove para túnidos menores. En contraste, la comunidad larval mostró mayor variabilidad temporal, con especies como *B. bathymaster, Opisthonema* spp., y *C. mysticetus* contribuyendo de forma importante en distintos periodos. La coexistencia de especies con diferentes afinidades ecológicas sugiere que procesos físicos regionales, como la retención costera o la convergencia de masas de agua, podrían favorecer la concentración local de huevos y larvas, un mecanismo descrito para numerosas poblaciones de peces pelágicos en ambientes marinos (Sinclair, 1988).

La presencia de larvas de especies de importancia pesquera como *Auxis* spp., *Scomber japonicus* y *Coryphaena hippurus*, aunque en densidades relativamente bajas, resalta la importancia de estas zonas como áreas potenciales de crianza y reclutamiento. La estabilidad relativa de las condiciones oceanográficas durante ciertos periodos podría favorecer la supervivencia larval y la retención de individuos en etapas tempranas, contribuyendo así al mantenimiento de las poblaciones explotadas en la región (Miller & Kendall, 2009).

CONCLUSIONES

La elevada proporción de huevos respecto a las larvas en ambas estaciones indica que las zonas de estudio funcionan como áreas importantes de desove para varias especies de peces pelágicos y costeros.

Los picos de abundancia de huevos coincidieron con periodos de mayor temperatura superficial del mar, lo que sugiere una sincronización reproductiva con condiciones térmicas favorables, principalmente en la época húmeda.

La estructura del ensamblaje ictioplanctónico mostró una marcada variación temporal asociada a la estacionalidad ambiental, con una mayor dominancia de especies pelágicas costeras durante la época húmeda y una mayor diversidad de taxones durante la época seca.

Los análisis multivariados evidenciaron que la temperatura superficial del mar y la salinidad influyen en la composición del ictioplancton; sin embargo, la variabilidad observada sugiere que otros procesos oceanográficos, como la mezcla, el transporte costero y la retención larval, también desempeñan un papel importante.

La presencia de huevos y larvas de especies de interés pesquero, como *Auxis* spp., *Scomber japonicus* y *Coryphaena hippurus*, resalta la importancia de Puerto López y Salinas como áreas potenciales de desove y crianza dentro del sistema costero ecuatoriano.

BIBLIOGRAFÍA

Ahlstrom, E. H., & Counts, R. C. (1955). Eggs and larvae of the Pacific hake, *Merluccius productus.* Fishery Bulletin, 56, 295–329.

Alava, J. J., & Paladines, F. (2017). Ecología marina del Ecuador: *Una síntesis de los ecosistemas costeros y oceánicos.* Editorial Científica.

Ayón, P., Criales-Hernández, M. I., Schwamborn, R., & Hirche, H. J. (2008). Zooplankton biomass and abundance of high-level taxonomic groups in the northern Humboldt Current system (1992–2005). *Progress in Oceanography,* 79(2–4), 249–261.

Beltrán-León, R., & Ríos, R. (2000–2001). *Estadios tempranos de peces del Pacífico colombiano* (Vols. 1–2). Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA).

Calderón, G. (2011). *Catálogo de huevos y larvas de peces colectadas en aguas ecuatorianas*. Instituto Nacional de Pesca. 118.

Calderón, G., Ayora, G., & Elías, E. (2021). *Catálogo de huevos y larvas de peces colectadas en aguas ecuatorianas.* Instituto Público de Investigación de Acuacultura y Pesca.

Cruz, F., Donlan, C. J., Campbell, K., & Carrion, V. (2005). Conservation action in the Galápagos: Feral pig *(Sus scrofa)* eradication from Santiago Island. Biological Conservation, 121, 473–478. **https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.05.018**

Cury, P., & Roy, C. (1989). Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 46(4), 670–680.

Fiedler, P. C., & Talley, L. D. (2006). Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 143–180.

Hjort, J. (1914). Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. *ICES Rapports et Procès-Verbaux*, 20, 1–228.

Kendall, A. W., Ahlstrom, E. H., & Moser, H. G. (1984). Early life history stages of fishes and their characters. In H. G. Moser, W. J. Richards, D. M. Cohen, M. P. Fahay, A. W. Kendall, & S. L. Richardson (Eds.), *Ontogeny and systematics of fishes* (pp. 11–22). American Society of Ichthyologists and Herpetologists.

Krebs, C. J. (1989). *Ecological methodology* (2nd ed.). Harper & Row.

Lasker, R. (1978). The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California Current: Identification of factors contributing to recruitment failure. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer, 173,* 212–230.

Margalef, R. (1974). Ecología (2.ª ed.). Omega.

Matarese, A. C., Kendall, A. W., Blood, D. M., & Vinter, B. M. (1989). *Laboratory guide to early life history stages of northeast Pacific fishes* (NOAA Technical Report NMFS 80). National Oceanic and Atmospheric Administration.

Miller, B. S., & Kendall, A. W. (2009). *Early life history of marine fishes.* University of California Press.

Moser, H. G. (1996). *The early stages of fishes in the California Current region* (CalCOFI Atlas No. 33). California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations.

Moser, H. G., & Smith, P. E. (1993). *Larval fish assemblages and oceanic boundaries. Bulletin of Marine Science, 53*(2), 283–289.

McNaughton, S. J. (1968). Structure and function in California grasslands. Ecology, 49(5), 962–972. https://doi.org/10.2307/1936547

Pielou, E. C. (1966). Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology*, 10(2), 370–383. **https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90133-0**

Richards, W. J. (Ed.). (2005). *Early stages of Atlantic fishes: An identification guide for the Western Central North Atlantic* (Vol. 1). CRC Press.

Santana, E., Dumont, J. F., Armas, V., Burbano, L., Gutiérrez, L., & Valdez, F. (2004). Evolución morfológica de la costa en la Península de Santa Elena: Evidencias de plataformas marinas y socavones superpuestos. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 12, 155–167.

Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication.* University of Illinois Press.

Sinclair, M. (1988). *Marine populations: An essay on population regulation and speciation.* University of Washington Press.

Smith, P. E., & Richardson, S. L. (1979). *Standard techniques for pelagic fish egg and larva surveys* (FAO Fisheries Technical Paper No. 175). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Vinueza, L. R., Menge, B. A., Ruiz, D., & Palacios, D. M. (2014). Oceanographic and climatic variation drive top-down/bottom-up coupling in the Galápagos intertidal meta-ecosystem. *Ecological Monographs*, 84(3), 411–434. **https://doi.org/10.1890/13-0169.1**

Yáñez-Arancibia, A., Sánchez-Gil, P., & Day, J. W. (1980). Ecological characterization of estuarine and lagoon fish communities in tropical America. A*nales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, 7(1), 69–102.

EL NUEVO ECUADOR

Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca

Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca

IPIAP Ecuador

Ipiapec

institutopesca.gob.ec