

Análisis del índice gonadosomático y la abundancia de huevos y larvas de *Auxis* spp (Perciformes: Scombridae) durante 2021-2024

Gabriela Ayora², Viviana Jurado¹ y Gabriela Ponce²

¹ Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca

² Small Pelagics Sustainability- Fishery Improvement Project

RESUMEN

La presente investigación examina la relación entre el análisis del índice gonadosomático de los adultos de *Auxis* spp. (conocidos como botella) y la abundancia de huevos y larvas de peces, durante las condiciones oceanográficas que prevalecieron entre septiembre de 2021 y mayo de 2024 en las costas ecuatorianas. La investigación se realizó en dos zonas definidas, que coinciden con áreas de captura de los adultos y estaciones de colecta de ictioplancton. El análisis de las series temporales de las condiciones oceanográficas muestra la interacción entre las corrientes oceánicas y el impacto de los eventos climáticos La Niña y El Niño en las costas ecuatorianas, con cambios considerables en la temperatura superficial del mar, clorofila-a y oxígeno disuelto en las zonas y tiempo de estudio. Se identificó que los desoves en las áreas adyacentes a la costa en el Pacífico ecuatorial ocurren durante la mayor parte del año, con dos épocas de máxima actividad reproductiva y de desove, entre enero y marzo. Se detectaron diferencias significativas en la abundancia de huevos y larvas entre zonas, registrando una mayor concentración del desove en la zona 2, norte del Ecuador. La correlación con el análisis de Redundancia (RDA) mostró influencia de la actividad reproductiva y del desove con la temperatura superficial del mar, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila-a. Se definieron los rangos óptimos de parámetros ambientales para el hábitat ideal de la especie, encontrando que la reproducción, el desove y el desarrollo de las larvas de botella se producen dentro de rangos preferenciales de TSM entre 25,5 °C y 27,0 °C, con SSM entre 32,5 y 33,5 ups, concentraciones de OD entre 215 y 230 mmol/m³ y niveles de Cl-a de entre 0,7 y 1,5 mg/m³.

1. INTRODUCCIÓN

Los primeros estudios sobre el comportamiento reproductivo de los peces, abordados desde la perspectiva de la dinámica de poblaciones y su interacción con el medio ambiente, se iniciaron a principios del siglo pasado (Hjort, 1914; Saborido-Rey & Macchi 2021). Estos estudios subrayan la importancia de los primeros estadios vitales (huevos, larvas y etapas juveniles tempranas), que son cruciales para comprender las fluctuaciones en la abundancia de las poblaciones de peces explotadas. En años recientes, ha surgido una nueva perspectiva que destaca la importancia fundamental de las características maternas, como la fecundidad, la calidad de los huevos y larvas, y el estado de condición en los procesos de reclutamiento (Saborido-Rey & Macchi 2021).

Por ello, comprender la biología y la ecología de los mecanismos reproductivos, así como los factores que influyen en la variación anual del reclutamiento, se vuelve esencial en la dinámica poblacional y en el comportamiento futuro de las especies explotadas en distintos escenarios pesqueros (Houde, 2016; Macchi et al., 2014). Por lo tanto, la relación entre la población parental, considerando su capacidad o potencial reproductivo y el reclutamiento representa un desafío central y, a menudo, complicado en el estudio de la dinámica poblacional y en la gestión de los recursos marinos (Hilborn & Walters, 1992).

Los peces se caracterizan por una gran variedad de estilos reproductivos (Balon 1975; Bruton 1990; Murua & Saborido-Rey 2003; Gillett 2008), que se agrupan en diferentes estrategias reproductivas, las cuales varían en términos de estacionalidad, patrón de desove, distribución de recursos energéticos y comportamientos (Stearns, 1992), donde la temperatura, la salinidad, estratificación, proporción de oxígeno disuelto, régimen de lluvias, concentración de clorofila, pH, entre otras, modulan el proceso de desove e incide directamente en la supervivencia de los huevos, larvas y juveniles, existiendo correlación entre estas variables y el desarrollo gonadal (Valdebenito *et al.*, 1995).



Estudios realizados a lo largo del Pacífico Oriental, así como en otros océanos han determinado que particularmente la temperatura, regula todos los procesos metabólicos y la velocidad a la que se llevan los procesos reproductivos, lo que es un factor determinante en la distribución de los organismos y marca de manera aún más estrecha su espacio y periodo reproductivo. En tanto, la disponibilidad del alimento (como la Clorofila-a) regula los procesos metabólicos, de crecimiento y reproducción y una mayor supervivencia larval. Del mismo modo, las concentraciones de oxígeno disuelto proporcionan mayor tasa metabólica energética para la búsqueda de alimento en larvas en pre-reclutamiento (Jobling,1994; Lynn, 2003).

Las poblaciones de pelágicos pequeños siguen una estrategia de desove parcial, caracterizada por intervalos relativamente cortos de desove y períodos prolongados de actividad reproductiva (Claramunt et al., 2021). En las zonas tropicales, la mayoría de estas especies presentan picos reproductivos que coinciden con el aumento de la temperatura. Sin embargo, aquellas especies con una amplia distribución latitudinal pueden experimentar variaciones en la época de desove, dependiendo de la localidad y del entorno en el que habitan, donde otras variables como la disponibilidad de alimento, la competencia intra e interespecífica y la depredación en las zonas de cría (Houde, 2016), generan una mayor variabilidad en el reclutamiento, que afecta la abundancia poblacional.

Por ejemplo, en el Pacífico mexicano, la especie *Sardinops sagax* tiene picos de desove en primavera y verano (Herrera *et al.*, 1994). En contraste, en el Pacífico ecuatorial, las especies *Scomber japonicus* y *Auxis thazard* muestran reproducción en períodos de noviembre a marzo (Gilbert-Jaramillo & Villegas-Tigrero, 2016; Jurado & Bustos, 2024). Durante este proceso, se producen huevos pequeños y larvas poco desarrolladas al momento de la eclosión. A pesar de que esta estrategia conlleva la desventaja de que solo una pequeña fracción de la progenie sobrevive hasta completar su ciclo vital, finalmente logran mantener a las poblaciones adultas en niveles de abundancia considerable.

Los stocks de peces y su potencial de explotación se evalúan a través de investigaciones sistemáticas. Cuando la premisa de estudio se centra en los aspectos reproductivos, como la condición y la madurez gonadal de los individuos, es indispensable llevar a cabo análisis del índice gonadosomático (IGS). Este índice actúa como un indicador macroscópico de la actividad gonadal y refleja los cambios en el peso de la gónada en función de la fase de madurez. Además, es valioso incluir el análisis de huevos y larvas, particularmente en relación con su abundancia y distribución en función de parámetros físicos y biológicos. Esto convierte el estudio de estos aspectos en una herramienta fundamental para las evaluaciones pesqueras (Escarria et al., 2005).

Por lo anteriormente expuesto, este estudio propone investigar cómo las variaciones en el índice gonadosomático de *Auxis* spp. (botella) se relaciona con la abundancia de huevos y larvas, en el contexto de las condiciones oceanográficas cambiantes observados durante 2021 a 2024, a nivel espacial y temporal. A través de este análisis, se espera contribuir al entendimiento de los patrones reproductivos de estos peces y su respuesta a los cambios ambientales, aportando información valiosa para la gestión de recursos pesqueros en aguas ecuatorianas.



2. FUENTE DE DATOS

2.1 Condiciones ambientales

Las variables oceanográficas de estudio: temperatura superficial del mar (°C), salinidad (UPS), oxígeno disuelto (mmol/m³), clorofila-a (mg/m³), fueron descargadas a través del servidor de Copernicus Marine Service, de manera más específica se puede observar en la Tabla 1 los productos de las fuentes de datos y su resolución espacial y temporal.

Tabla 1. Fuentes de descarga de productos de condiciones oceanográficas de estudio.

Parámetro	Unidades	Fuente	Resolución
Temperatura superficial del mar	°C	Copernicus - Global Ocean Physics Analysis and Forecast	0.083°x0.083° - diario
Salinidad superficial	UPS		
Oxígeno disuelto	mmol/m ³	Copernicus - Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast	0.25°x0.25° - diario
Clorofila-a	mg/m ³		

2.2 Huevos y Larvas de peces

Los datos de ictioplancton correspondieron a un total de 350 muestras colectadas en nueve estacionales mensuales durante septiembre 2021 a mayo de 2024, a bordo de los barcos de las empresas Polar, Nirsa y Herco, de la flota cerquera-sardinera asociada al FIP, durante sus faenas de pesca entre el inicio y final de la fase de luna nueva (denominada “oscura”).

2.3 Índice Gonadosomático (IGS)

Se emplearon dos tipos de fuentes de datos: la serie de datos biológicos pertenecientes al Instituto Nacional de Pesca, a partir del Programa Seguimiento de la Pesquería de Peces Pelágicos Pequeños, desde 2021 a 2024, y la base de datos correspondientes al Programa de Observadores de la Subsecretaría de Recursos Pesqueros durante el mismo periodo de tiempo.

3. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca el perfil costero ecuatoriano, desde la frontera sur con Perú (3°24'37" S) hasta aproximadamente el límite centro-norte de Manabí (1°20' S), cubriendo una superficie aproximada de 78.941,50 km² de la plataforma continental y aguas adyacentes.

La línea de costa de la región estudiada carece de irregularidades de gran complejidad, excepto en el Golfo de Guayaquil donde desemboca la gran cuenca del río Guayas, que establece una morfología típica estuarina con gran aporte de sedimentos sobre sus costas y su plataforma continental. La extensión de la plataforma es alrededor de 42 km con una profundidad promedio de 156 m en su borde externo. La plataforma es en general suave y amplia, excepto en Cabo San Lorenzo y Puntilla Santa Elena donde se presenta escarpada y angosta (Miró et al., 1976; 1977). La circulación superficial de gran escala que domina en la región es desde el Sureste, presentando un sistema frontal o Frente Ecuatorial, la cual es una región que separa las aguas tropicales superficiales (T>23°C, S<33.5 0/00) de las aguas subtropicales superficiales modificadas (T<21°C, S>34.59 0/00) (Stevenson et al., 1970).

Las colectas de ictioplancton comprendieron nueve sitios de muestreo ubicados entre 12 a 15 millas náuticas desde la costa, principalmente en la parte externa del Golfo de Guayaquil, que abarca las provincias de El Oro y Guayas, así como en las provincias de Santa Elena y centro de Manabí. Además, se consideró la estructura poblacional de los individuos adultos en función de rasgos sus biológicos, según el trabajo de Jurado & Bustos (2023-2024), que identificó zonas de distribución a partir de las



capturas de la flota pesquera desde el sur del Golfo de Guayaquil (3,5°S) hasta el sur de Esmeraldas (0,02°N).

Para finalidad de este estudio, el área se dividió en dos zonas (Figura 1), las cuales fueron coincidentes con las zonas de las capturas de morenillo y botella (Jurado & Bustos 2023, 2024) y las estaciones de colecta de ictioplancton. Con base en este criterio se definieron dos zonas: **Zona 1**, estaciones que se encontraron desde 3,8°S hasta 2,15°S (Golfo de Guayaquil - Puntilla de Santa Elena) y **Zona 2**, estaciones desde 2,20°S hasta 1,36°S (Puntilla de Santa Elena - Puerto Cayo).

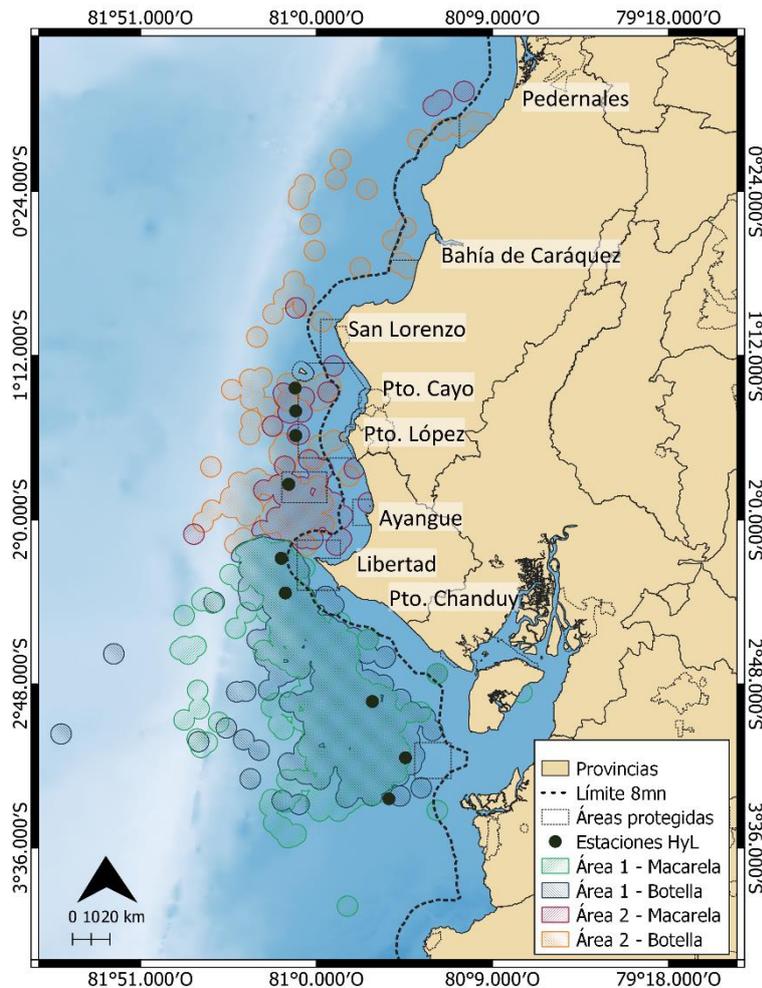


Figura 1. Área de estudio y localización de colecta de muestras de especies adultas y de huevos y larvas de peces, y su división por zonas durante septiembre 2021 a mayo 2024.

4. METODOLOGÍA

4.1 Análisis de Ictioplancton

La recolección de las muestras en cada estación se realizó mediante arrastres verticales de 70 m de profundidad hacia la superficie, con una duración de aproximadamente 5min. Este proceso se realizó principalmente durante la noche y la madrugada, aunque en algunas ocasiones se realizaron recolectas durante el día. En los arrastres se empleó una red tipo bongo de 60 cm de diámetro con dos redes con orificio de malla de 300 y 500 μ . El material biológico se trasvasó a frascos de 500 ml previamente etiquetados y preservados con 20 ml de formalina neutralizada al 4% en agua de mar.



Las muestras colectadas de larvas y huevos de peces fueron separadas y cuantificadas en su totalidad respecto de las muestras de zooplancton, utilizando un estereomicroscopio y se preservaron en formalina neutralizada al 2%. La identificación de los huevos y larvas de las especies de pelágicos pequeños se realizó con base en los caracteres morfológicos, merísticos y de pigmentación hasta el mínimo nivel taxonómico posible, siguiendo los criterios establecidos en Moser et al., (1996), Richards (2006) y Beltrán & Ríos (2009). La abundancia de huevos y larvas de cada especie se estandarizó a número de individuos/10 m² de superficie marina. La estandarización de la abundancia siguió los métodos descritos por Smith & Richardson (1979).

El número de huevos y larvas para cada zona fue calculado mediante el Índice de Abundancia (IA) con la cual se obtuvo la densidad estimada de huevos y larvas de peces por estación positiva por mes y se pudo definir los meses de mayor abundancia temporal por zona de estudio, aplicando la fórmula descrita por Smith & Richardson (1979). Posteriormente, los datos obtenidos de IA fueron transformadas en raíz cuarta, a fin de reducir la variabilidad y la influencia de los meses más abundantes (Clark & Warwick, 2001).

4.2 Análisis de Índice Gonadosomático (IGS)

A partir del análisis espacial realizado sobre las capturas de la especie *Auxis* spp., donde determinaron las zonas de pesca agrupados por sus rasgos biológicos (Jurado 2021, Jurado & Bustos 2023; 2024), se calculó el IGS, el cual relaciona el peso total de las gónadas y el peso corporal total del pez expresada en porcentaje. Este índice representa el grado de madurez sexual de un individuo particular y se expresa de acuerdo con la fórmula:

$$IGS = (WG/WT) * 100$$

donde:

WG= el peso de las gónadas

WT= el peso total del pez

4.3 Procesamiento datos ambientales

La descarga de las variables oceanográficas se realizó de manera puntual en la posición de las estaciones del muestreo de huevos y larvas, correspondiendo con las fechas respectivas; en los casos que no existían datos de muestreo se descargaron los datos centrados en el 15 de cada mes con la finalidad de completar las series temporales. Utilizando los datos in situ de temperatura y salinidad recolectados en las estaciones de muestreo, se realizó una validación de los datos satelitales correspondientes a estas variables. Posteriormente, se calcularon promedios por mes, agrupando las estaciones por zona de estudio. Con los promedios de cada variable por zona, se elaboraron series temporales de septiembre 2021 a mayo 2024, con la finalidad de observar las variaciones presentes en el periodo de estudio.

4.4 Análisis de correlación huevos y larvas vs ambiente

Se evaluaron las diferencias la abundancia de huevos y larvas de peces, considerando como factor de variabilidad en el espacio las zonas de estudio (zona1 y zona2), utilizando la prueba paramétrica de Mann Whitney (MW-U) (Sheskin, 2004).

A partir de la relación entre la abundancia de huevos y larvas de estaciones positivas con el número total de estaciones monitoreadas por mes/año se obtuvo la densidad promedio por cada zona/área de estudio, con el cual se analizaron las variaciones temporales de la abundancia. En este mismo sentido, se realizó las tendencias del Índice de Gonadosomático (IGS) relacionando la presencia de los adultos con la zona de distribución de huevos y larvas por especie.

Con el fin de estimar un periodo de máximo desove, asociado con el inicio de la actividad ovárica y concentración de huevos y larvas de peces, se tomó como referencia las categorías asignadas por Oliva et al. 2020.



Clasificación los estados de IGS:

1. IGS 1-2: Sin actividad reproductiva
2. IGS 3-5: Inicio de actividad reproductiva
3. IGS 6 o más: Máxima actividad y desove

Para huevos peces, se estableció un umbral de abundancia de desove, siguiendo lo descrito por Kramer (1972) y Funes-Rodríguez (1991), en donde las concentraciones sean igual o superior a 1000-10000/10m² (en raíz cuarta 50^hhuevos/10m²) serán consideradas máxima abundancia de desove, de 100-1000/10m² (en raíz cuarta 20^hhuevos/10m²) indicativo de un inicio de actividad reproductiva y de 11 – 100 (en raíz cuarta 10^hhuevos/10m²) baja densidad de desove.

Se analizó el grado de relación entre la abundancia estandarizada del ictioplancton y el peso de gónadas por especie con las condiciones fisicoquímicas por cada zona de estudio utilizando un análisis de redundancia (RDA) desarrollado con el software estadístico de libre acceso PcOrd 6,0 (McCune & Grace, 2002). Esta prueba de asociación multivariada maximiza el grado de correlación entre la abundancia de huevos y larvas de la especie y los parámetros fisicoquímicos.

Para determinar las condiciones ambientales óptimas o hábitat potencial reproductivo se utilizó un análisis de cociente de factor único como herramienta de análisis de datos exploratorios para describir la relación potencial entre la abundancia de huevos y larvas con las variables ambientales que presentaron mayor correlación en el análisis de RDA. La caracterización del hábitat del desove de la especie se realizó siguiendo el modelo de Castro et al., (2005) del hábitat potencial, del desove y óptimo, para el periodo de estudio. Se implementó el método de curvas bi-variadas o de cocientes (Q), con base en lo propuesto por Van der Lingen (2001), Checkley (2004) y Drapeau (2004).

Los cocientes se calcularon como la abundancia relativa de huevos/larvas divididas por la frecuencia relativa de estaciones positivas en intervalos de cada variable ambiental. Para este análisis, se seleccionaron las variables ambientales en función de los resultados del Análisis de Correspondencia Redundante (RDA), priorizando aquellas con la mayor correlación con la presencia de huevos y larvas de la especie estudiada. Los intervalos para TSM, SSM y OD fue de 0.5 y de 0,3 para Cl-a.

Los valores de abundancia relativa del 10% y el cociente $Q \geq 1$, expresan una selección positiva, el cual representa el intervalo con las características para una reproducción óptima (Checkley, 2004; Drapeau, 2004). La escala del hábitat de desove se definió con respecto al criterio: potencial ($Q = 0$), de desove ($Q < 0.5$) y óptimo ($1 \geq Q \leq 10$).

5. RESULTADOS

5.1 Condiciones ambientales

5.1.1 Temperatura superficial del mar (°C)

En 2022, ambas zonas presentaron picos de temperatura en febrero, con la Zona 2 alcanzó un máximo cercano a 28°C, ligeramente superior a la Zona 1, que registró alrededor de 27°C. Los mínimos de ese año se observaron en mayo, cuando ambas zonas descienden a unos 23°C.

En 2023, se repite el patrón, con un máximo en marzo, donde la Zona 2 vuelve a mostrar temperaturas superiores, alcanzando casi 28°C, mientras que la Zona 1 se mantiene ligeramente por debajo. Los mínimos de este año se registran en agosto, nuevamente alrededor de 23°C en ambas zonas. En 2024, se observa un nuevo ascenso en enero y abril, donde ambas zonas presentan un comportamiento similar, con temperaturas cercanas a los 27°C (Figura 2).



Serie de tiempo de temperatura superficial del mar (°C)
Septiembre 2021 a Mayo 2024

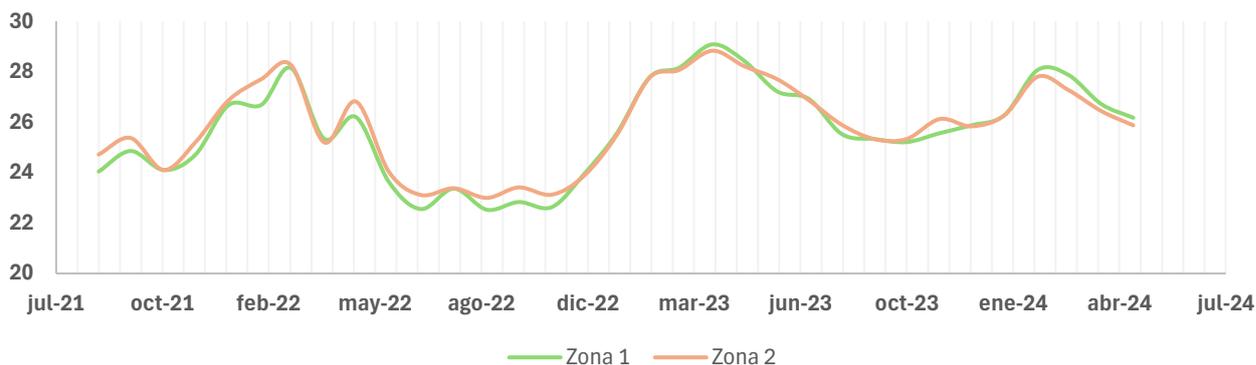


Figura 2. Serie temporal de temperatura superficial del mar, septiembre 2021 a mayo 2024.

5.1.2 Salinidad (UPS)

Durante 2022, ambas zonas muestran fluctuaciones importantes, alcanzando un máximo en febrero con la Zona 2 llegando a cerca de 34.5 UPS, mientras que la Zona 1 registró una disminución abrupta hasta 31 UPS. En 2023, ambas zonas muestran un incremento notable en la salinidad, con picos en junio, donde la Zona 1 supera levemente a la Zona 2 (34.5 UPS).

Durante 2024, los valores de salinidad siguen una tendencia ascendente, especialmente en abril, donde ambas zonas alcanzaron niveles cercanos a 34.5 UPS (Figura 3). De manera general, se puede observar que 2023 reportó mayores valores de salinidad en ambas zonas durante los meses de mayo a octubre, a diferencia de las fluctuaciones que se mostraron en 2022.

Serie de tiempo de salinidad (UPS)
Septiembre 2021 a Mayo 2024

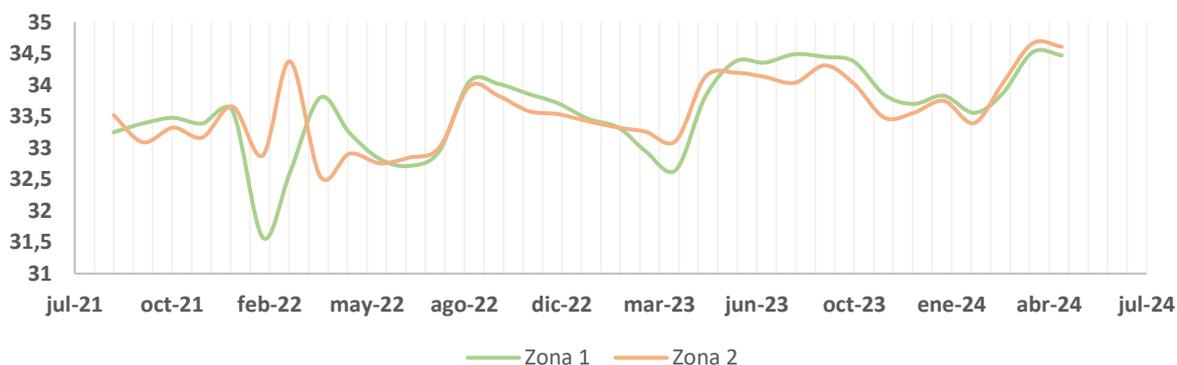


Figura 3. Serie temporal de salinidad, septiembre 2021 a mayo 2024.

5.1.3 Oxígeno disuelto (mmol/m³)

En 2021, se observan fluctuaciones en ambas zonas, con la Zona 1 alcanzando un máximo de 230 mmol/m³ en octubre, mientras que la Zona 2 se mantiene más estable cerca de los 225 mmol/m³. En 2022, ambas zonas muestran un comportamiento similar, con un aumento en febrero, donde la Zona



1 alcanza un máximo cercano a 235 mmol/m³, ligeramente superior a la Zona 2. Los mínimos se observan en mayo, con ambas zonas descendiendo a alrededor de 220 mmol/m³.

En 2023, se registran picos en marzo, con la Zona 1 nuevamente mostrando niveles más altos que la Zona 2 (alrededor de 230 mmol/m³). En 2024, ambas zonas presentan un incremento en enero, alcanzando valores cercanos a 235 mmol/m³ y posteriormente a partir de marzo empiezan a decrecer hasta valores de 223 mmol/m³.

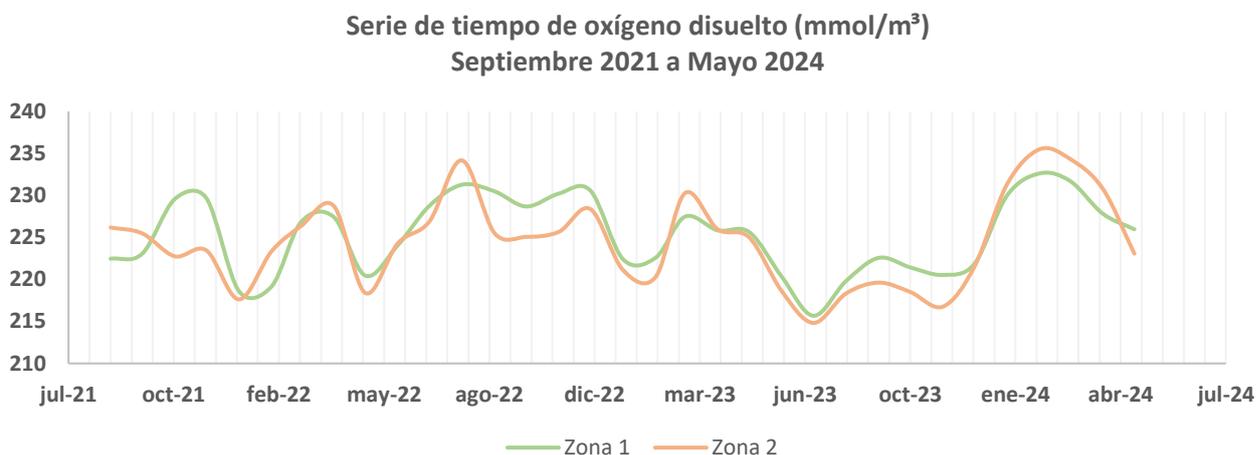


Figura 4. Serie temporal de oxígeno disuelto, septiembre 2021 a mayo 2024.

5.1.4 Clorofila-a (mg/m³)

A finales de 2021, se observa una disminución notable en la Zona 2, que desciende desde un máximo cercano a 2 mg/m³ en julio, mientras que la Zona 1 presenta un comportamiento más estable alrededor de 1 mg/m³. En 2022, ambas zonas muestran variabilidad, con la Zona 1 alcanzando picos cercanos a 1.5 mg/m³ en febrero y abril, superando a la Zona 2, que se mantiene por debajo de 1 mg/m³ en gran parte del año. En 2023, la Zona 1 continúa con picos más elevados, superando los 2 mg/m³ en septiembre, mientras que la Zona 2 sigue mostrando valores más bajos y estables. En 2024, ambas zonas presentan aumentos en enero y abril, con la Zona 1 alcanzando valores superiores a 1.5 mg/m³, mientras que la Zona 2 sigue con niveles más bajos, pero mostrando una tendencia ascendente (Figura 5).

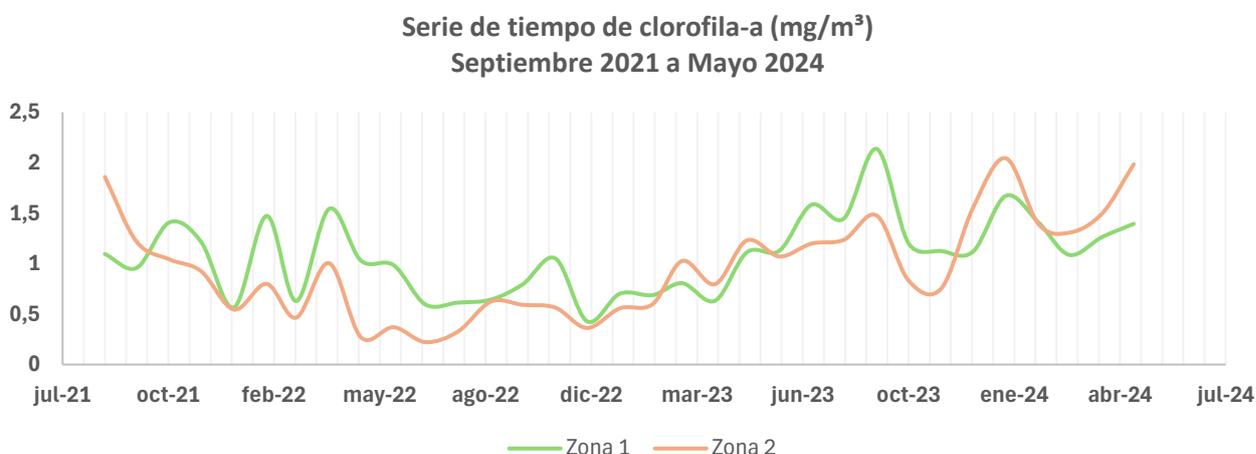


Figura 5. Serie temporal de clorofila-a, septiembre 2021 a mayo 2024.



5.2 Variación del Índice Gonadosomático

De manera anual se registra que esta especie presenta un amplio rango de proceso reproductivo siendo visible durante todo el año, siendo 2022 y 2024 el periodo donde se registraron los niveles más altos de IGS, con valores promedio de 8 – 9 respectivamente, indicando años donde con máxima actividad reproductiva y desoves asociados ($IGS \geq 6$).

A nivel temporal en los últimos periodos 2023 – 2024, se ha observado un desplazamiento en los meses de actividad reproductiva, así como el incremento paulatino de este índice, registrándose un periodo con mayor intensidad durante los dos primeros trimestres, siendo el primer trimestre (enero, febrero, marzo) del 2022 quien aportó con una mayor cantidad de producción de huevos ($IGS: 6.5 - 7$, Figura 6a), caso contrario ocurrió en el 2024 donde el mayor aporte se realizó durante abril y mayo.

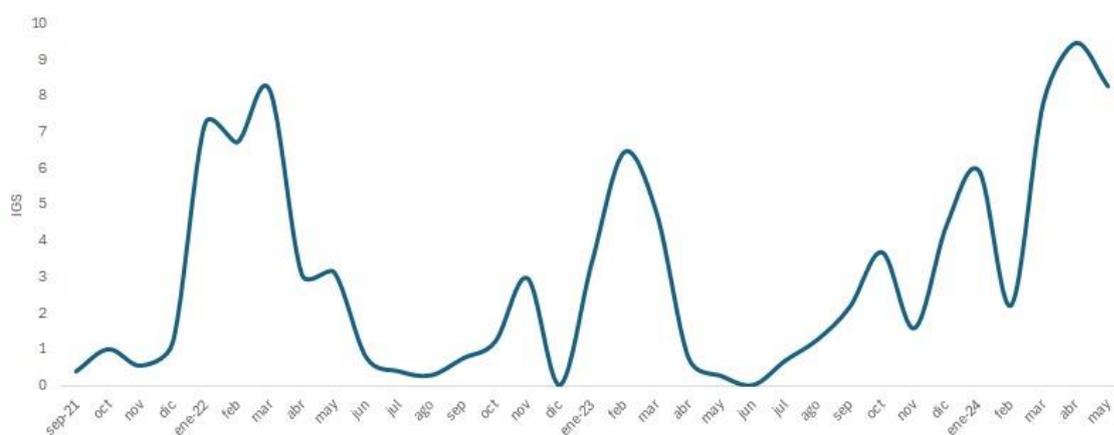


Figura 6 a. Análisis temporal y espacial del índice gonadosomático de *Auxis spp* (botella) registradas entre septiembre 2021 a mayo 2024

A escala espacial, en la zona 1 y zona 2 los individuos de *Auxis spp* presentan actividad reproductiva todos los meses. Adicional dado la relevancia de los datos obtenidos en la parte norte Manabí se graficaron los valores promedios del IGS, observándose que existe una intensa actividad reproductiva en dicha zona en especial para el 2022 con valores promedio de $IGS = 4.5$ ($IGS 3-5$: Inicio de actividad reproductiva) superando a lo registrado en la zona 1, situación similar se ha registrado para el primer trimestre 2024 (Figura 6b).



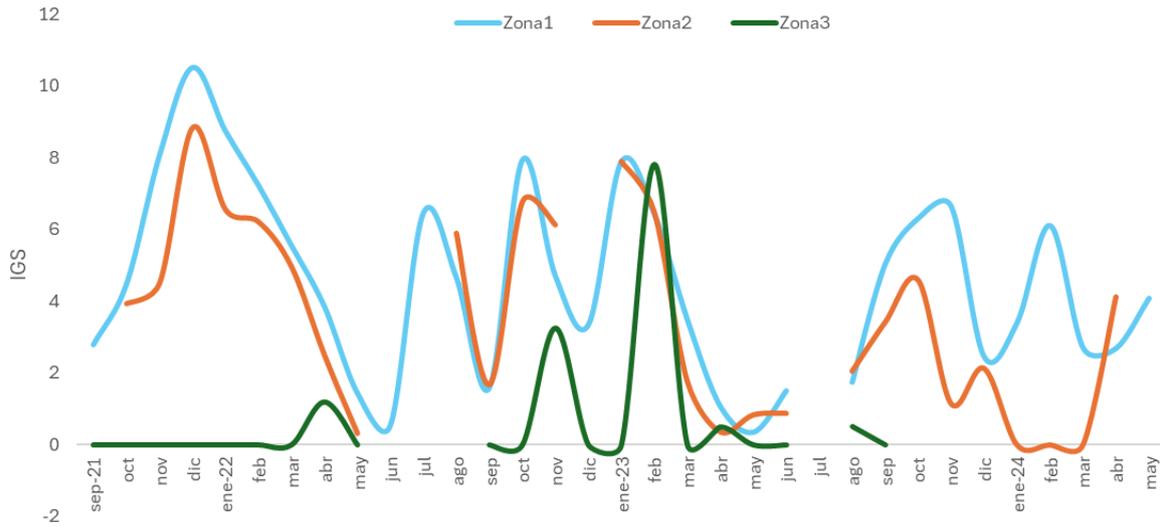


Figura 6b. Análisis temporal y espacial del índice gonadosomático de *Auxis spp* (botella) registradas entre septiembre 2021 a mayo 2024.

5.3 Distribución de la abundancia de huevos y larvas de peces.

Se cuantificaron en promedio un total 1 748^huevos/10m², encontrando diferencias significativas entre las zonas de estudio (MW-U: 150; p < 0,05). La distribución espacial mostró mayores densidades promedio en la zona 2 (48^huevos/10m², ± 25) comparada con la zona 1. Para el caso de las larvas, la abundancia total promedio se cuantifico en 458^Larvas/10m², logrando identificar diferencias significativas (MW-U: 40; p < 0,05) entre las dos zonas de muestreo, localizando los mayores promedios larvales en la zona 2, con 20^Larvas/10m² (± 16) (Figura 7).

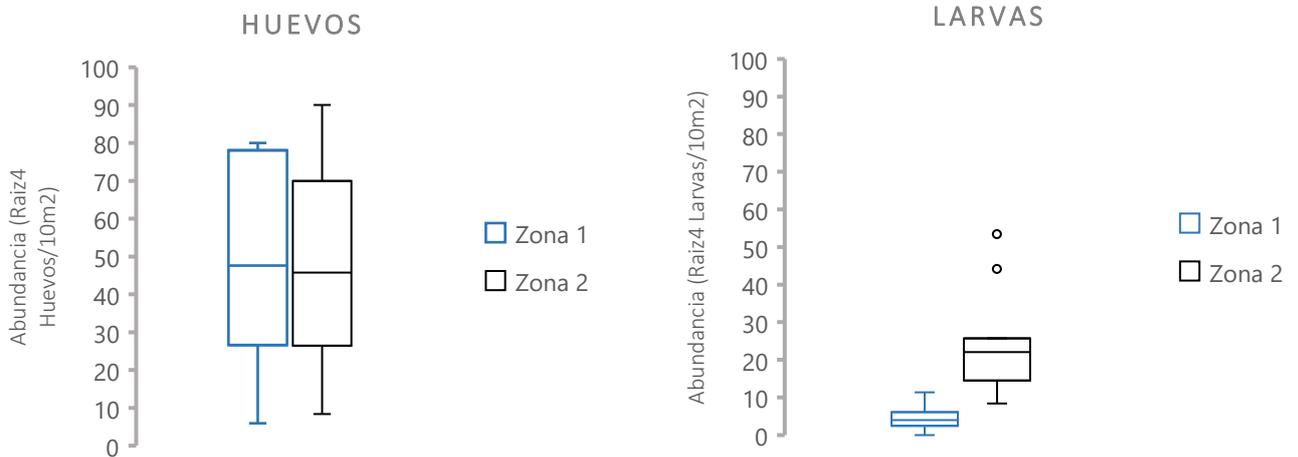


Figura 7. Variabilidad espacial de la densidad promedio de estaciones (+) de huevos y larvas de *Auxis spp* (botella) en la zona 1 y zona 2 durante septiembre 2021 a mayo 2024.



5.4 Variaciones espaciales y temporales de la densidad de huevos, larvas de peces vs IGS

5.4.1 Zona 1

La abundancia de huevos exhibió valores que fluctuaron entre 6^{\wedge} y 80^{\wedge} huevos/m². A lo largo de 2022, se identificaron dos picos máximos en la abundancia de desove. El primer pico de mayor intensidad se registró entre enero a marzo, mientras que el segundo, aunque de menor densidad, tuvo lugar entre octubre y diciembre. Para el 2023 se registró un cambio en los picos donde sucedieron los máximos desoves, siendo el segundo periodo (octubre – diciembre) el que alcanzó una máxima abundancia de desove (79 huevos/m²). En 2024, se ha registrado una tendencia continua de grandes desoves, con densidades de hasta 80^{\wedge} huevos/m², especialmente en febrero. Esta densidad se ha sostenido hasta marzo, pero a partir de mayo ha existido un descenso en estos los valores (Figura 8a).

Los estados larvales de botella mostraron valores entre 3^{\wedge} y 11^{\wedge} Larvas/10m². Las densidades de la serie de abundancia exhibieron un patrón temporal similar al de los huevos, con incrementos notables durante los dos periodos de desove (Figura 8b). No obstante, se observaron algunas variaciones interanuales, como en 2023, donde las larvas mostraron una presencia constante desde julio hasta diciembre. Las máximas abundancias larvales de todo el periodo de estudio se identificaron durante los cuatro primeros meses del 2024, siendo febrero y marzo los de mayor densidad con 11^{\wedge} y 10^{\wedge} Larvas/10m², respectivamente.

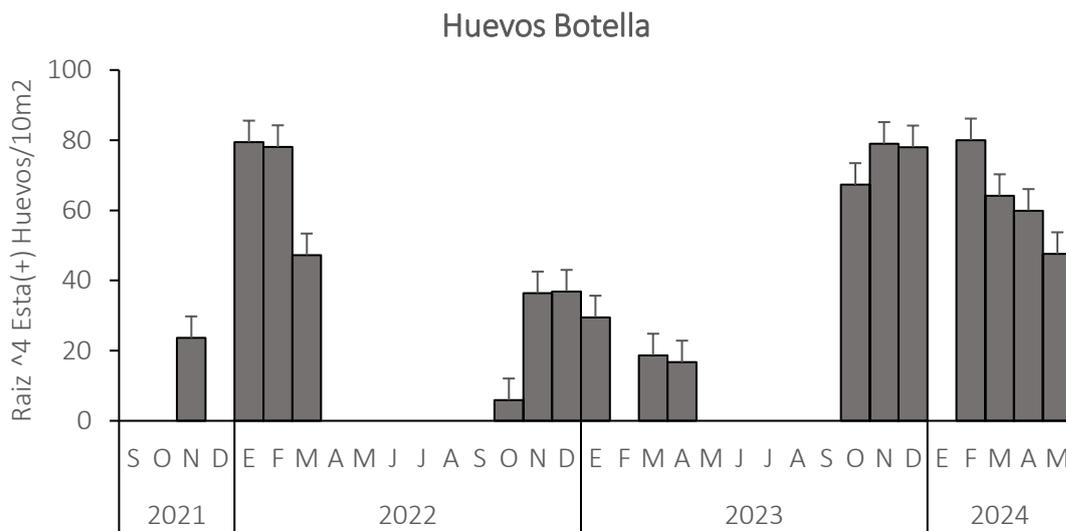


Figura 8a. Variabilidad temporal de la densidad promedio de estaciones (+) de huevos de *Auxis* spp (botella) en la zona 1, durante septiembre 2021 a mayo 2024.



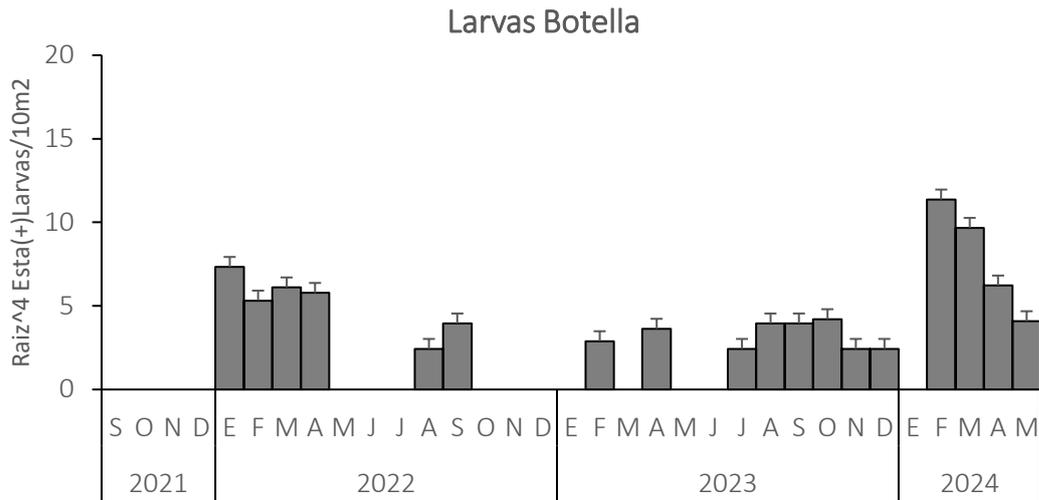


Figura 8b. Variabilidad temporal de la densidad promedio de estaciones (+) de huevos y larvas de *Auxis* spp (botella) en la zona 1, durante septiembre 2021 a mayo 2024.

Las concentraciones de huevos y larvas de peces presentaron una concordancia general con la tendencia estacional del Índice de Gonadosomático (IGS), aunque con algunas variaciones en ciertos periodos. Durante el primer trimestre (enero-marzo) de 2022, 2023 y 2024 y del trimestre octubre-diciembre del 2021, 2022 y 2023 se observaron valores relativamente altos de IGS (≥ 6 , máxima actividad) concordantes con los pick primario y secundario de desove (huevos y larvas de peces); y luego una disminución, producto del descenso en la intensidad de su actividad ovárica y de desove. Durante 2024, se registra una densidad igual de huevos, pero mayor de larvas de la especie, respecto al mes de diciembre. Este patrón sugiere una actividad reproductiva estacional de botella, con picos máximos del desove entre enero a marzo (Figura 9b).

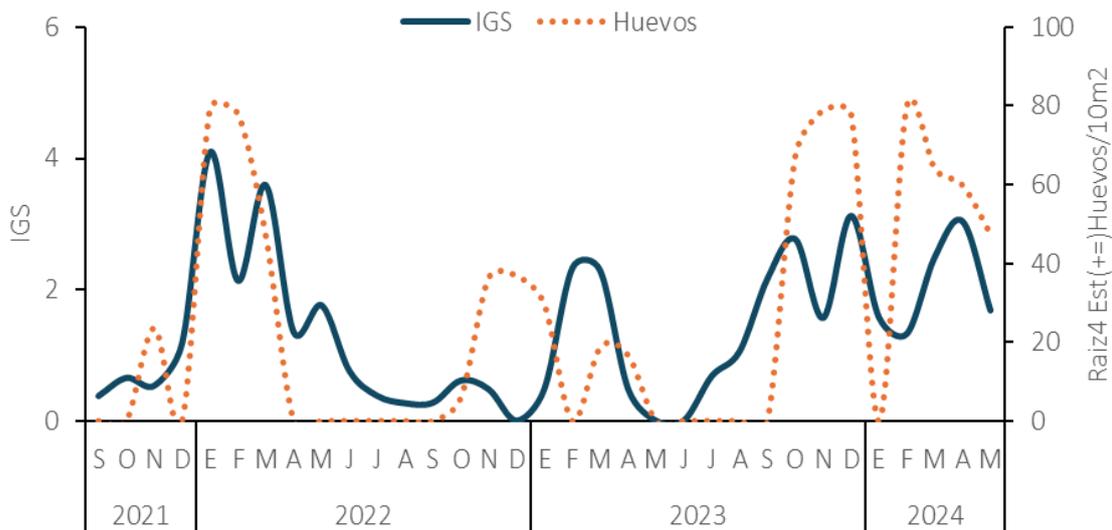


Figura 9a. Variabilidad temporal de la intensidad del desove en relación del índice gonadosomático y la densidad promedio de huevos de *Auxis* spp (botella) registradas entre septiembre 2021 a mayo 2024.



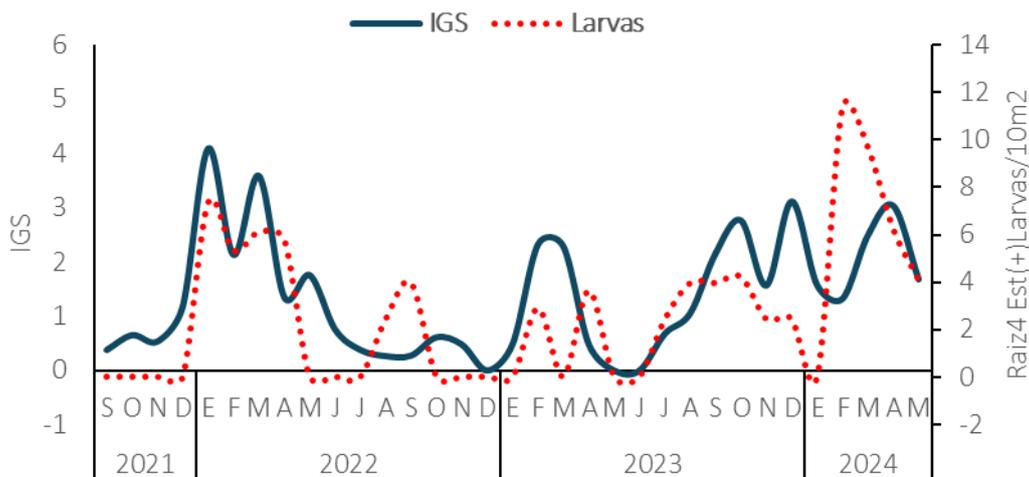


Figura 9b. Variabilidad temporal de la intensidad del desove en relación del índice gonadosomático y la densidad promedio de larvas de *Auxis* spp (botella) registradas entre septiembre 2021 a mayo 2024.

5.4.2 Zona 2

La abundancia de huevos exhibió valores que fluctuaron entre 8[^] y 90[^] huevos/m². En septiembre 2021, se identificó un aumento significativo de huevos (31[^] huevos/m²) el cual llegó a su máxima densidad en diciembre y enero, con 68 y 75[^] huevos/m² respectivamente, seguidos de un descenso a partir de febrero. A finales del 2022 e inicios del 2023, se registró una tendencia similar, sin embargo, durante el segundo semestre de 2023 se evidenciaron signos de un nuevo incremento, comenzando en julio con 30[^] huevos/m² y alcanzando su máxima abundancia de desove con 90[^] huevos/m² entre octubre y noviembre. Este patrón se mantuvo, aunque con menor intensidad, hasta febrero de 2024 (Figura 10a).

Los estados larvales de botella mostraron valores entre 8[^] y 70[^] Larvas/10m². Las dinámicas de esta serie de abundancia mostraron un patrón temporal similar al de los huevos, aunque con variaciones notables (Figura 10b). Se observó que las máximas densidades larvales se registraron tras alcanzar una elevada concentración de huevos. Es decir, en 2022, las larvas alcanzaron picos de 20[^] larvas/10 m² en enero y 22[^] larvas/10 m² en febrero. Mientras que, en 2023, estas máximas densidades se registraron en marzo (44[^] larvas/10 m²), agosto (14[^] larvas/10 m²) y diciembre (24[^] larvas/10 m²). En 2024, se identificó las máximas abundancias larvales de todo el periodo de estudio, siendo febrero y marzo los de mayor densidad larval con 53[^] y 55[^] Larvas/10m², respectivamente.



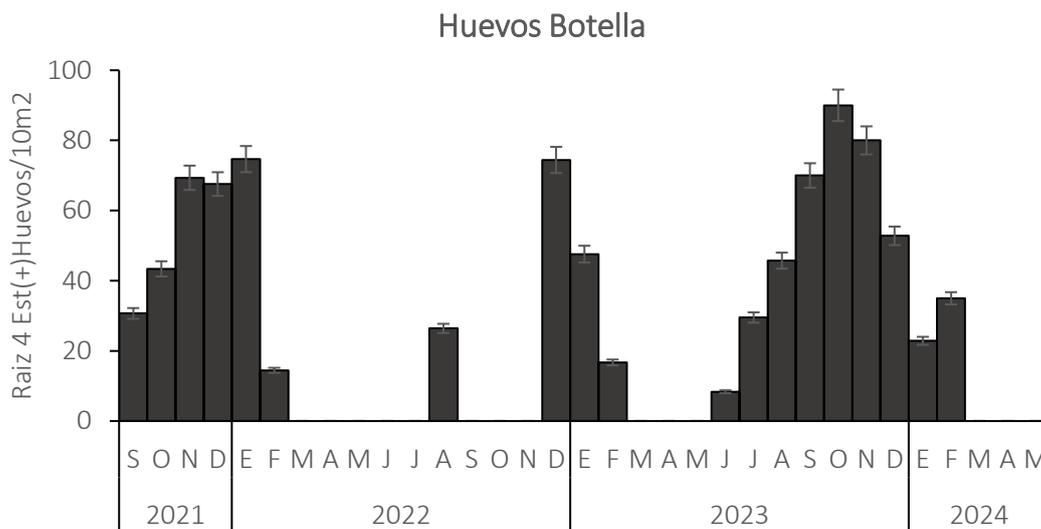


Figura 10a. Variabilidad temporal de la densidad promedio de estaciones (+) de huevos de *Auxis* spp (botella) en la zona 2, durante septiembre 2021 a mayo 2024.

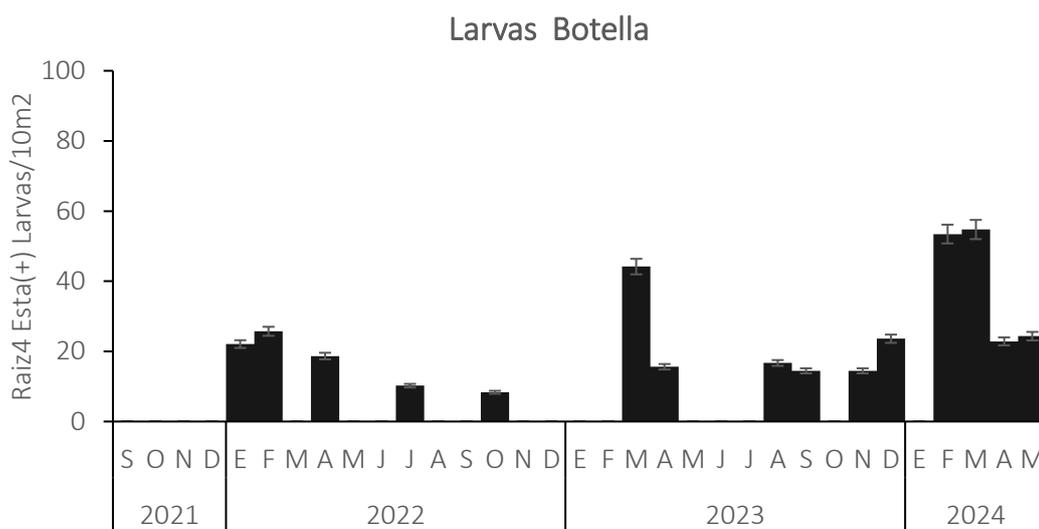


Figura 10b. Variabilidad temporal de la densidad promedio de estaciones (+) de larvas de *Auxis* spp (botella) en la zona 2, durante septiembre 2021 a mayo 2024.

Las concentraciones de huevos y larvas de peces presentaron un comportamiento fluctuante en relación con la tendencia estacional del Índice de Gonadosomático (IGS) durante el periodo estudiado. Se observó que valores bajos de IGS (± 3) se asociaron a densidades relativamente altas de huevos y larvas y viceversa. Durante el primer trimestre (enero-marzo) de 2022 y 2023, y del trimestre octubre-diciembre del 2022 y 2023 se observaron valores superiores a ≥ 3 de IGS (inicio de actividad reproductiva) los cuales fueron relativamente concordantes con los pick primario y secundario de desove (huevos y larvas de peces); y luego una disminución, producto del descenso en la intensidad de su actividad ovárica. Durante 2024, se registra una densidad menor de huevos (Figura 11a) pero mayor de larvas de la especie, respecto al mes de diciembre (Figura 11b).





Figura 11a. Variabilidad temporal de la intensidad del desove en relación del índice gonadosomático y la densidad promedio de huevos de *Auxis* spp (botella) registradas en la zona 2, entre septiembre 2021 a mayo 2024.

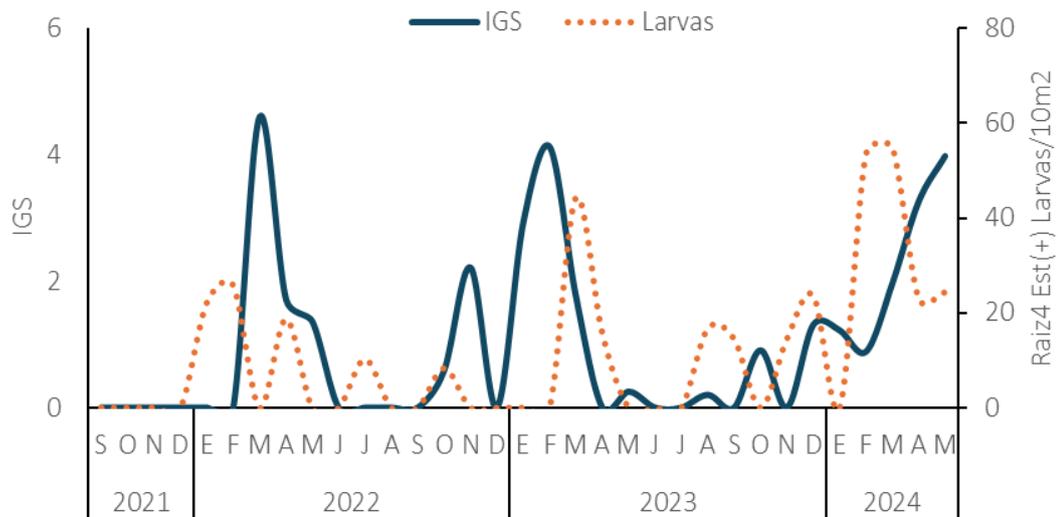


Figura 11b. Variabilidad temporal de la intensidad del desove en relación del índice gonadosomático y la densidad promedio de larvas de *Auxis* spp (botella) registradas en la zona 2, entre septiembre 2021 a mayo 2024.

5.5 Relaciones variables ambientales con parámetros biológicos

5.5.1 Zona 1

El análisis de Redundancia (RDA) para la zona 1 explicó 35,6% de la varianza total en los dos primeros ejes, con una correlación de Pearson de $r = 0,67$ (Tabla 2), indicando que existe un efecto significativo de las variables ambientales analizadas con los datos biológicos (Huevos/Larvas y peso de gónadas). El primer eje explicó 30,2 % de la varianza y presentó un eigenvalor de 0,90. La variable TSM ($^{\circ}\text{C}$) registró correlación negativa con un valor de $r = 0,85$. El eje dos contribuyó con 5,5 % y presentó un eigenvalor de 0,16, exhibiendo correlación negativa con la disponibilidad de alimento como la Clorofila a (Cl-a) con $r = -0,65$ y la salinidad (SSM) con $r = -0,56$ (Tabla 2).



Tabla 2. Eigenvalores, varianza explicada (%) y valores de correlación con las variables ambientales del análisis de redundancia en la zona 1 durante septiembre 2021 a mayo 2024.

Estadística	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Eigenvalor	0.90	0.16	0.03
Varianza explicada (%)	30.2	5.6	1.2
Varianza acumulada explicada (%)	30.2	35.6	36.8
Correlación de Pearson (especie/ambiente)	0.67	0.61	0.25
Correlación de Kendall	0.56	0.36	0.20
Variables de correlación	Eje 1	Eje 2	Eje3
TSM	-0.85	0.20	0.19
SSM	-0.27	-0.56	0.15
OD	-0.36	--0.16	0.08
Cl-a	-0.05	-0.65	-0.76
VZ	0.24	-0.39	0.34

El diagrama de dispersión (Figura 12) revela que la cantidad de huevos y el peso de gónadas de los adultos de *Auxis* spp. (botella) están principalmente asociados con la Temperatura Superficial del Mar (TSM). Esto sugiere que los eventos de desove se producen en condiciones óptimas de temperatura. Además, se observó que la salinidad superficial y la disponibilidad de alimento, representada por la clorofila-a, están relacionados con la abundancia de larvas de botella, lo que destaca la importancia de estos parámetros para la supervivencia larval.



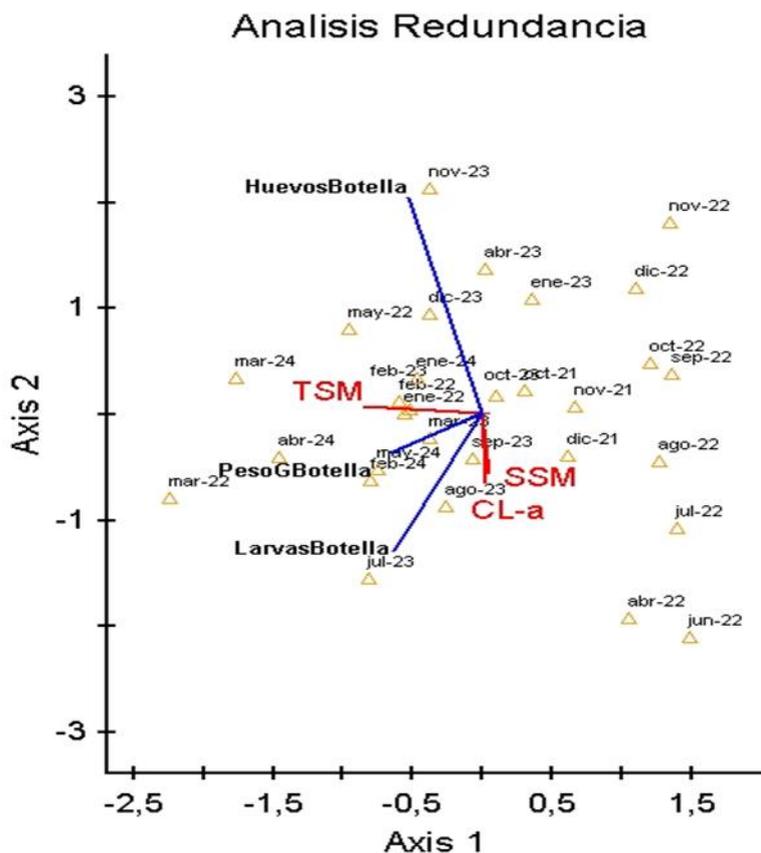


Figura 12. Diagrama de dispersión de análisis redundancia de datos de los pesos de gónadas y de abundancia de huevos y las larvales de *Auxis* spp. (Botella) recolectadas en la zona 1, durante septiembre 2021 a mayo 2024.

5.5.2 Zona 2

El análisis de Redundancia (RDA) para la zona 2 explicó 13,0 % de la varianza total en los dos primeros ejes, con una correlación de Pearson de $r = 0,52$ (Tabla 3, indicando que existe un efecto significativo de las variables ambientales analizadas con los datos biológicos (Huevos/Larvas y peso de gónadas).

El primer eje explicó 7,1 % de la varianza y presentó un eigenvalor de 0,21. La variable OD (mmol/m^3) registró correlación positiva alcanzando el valor de $r = 0,63$. El eje dos contribuyó con 6,0 % y presentó un eigenvalor de 0,17, exhibiendo correlación positiva con la disponibilidad de alimento como la clorofila (CL-a) con $r = 0,71$ y el volumen de zooplancton (VZ) con $r = -0,79$ (Tabla 3).

Tabla 3. Eigenvalores, varianza explicada (%) y valores de correlación con las variables ambientales del análisis de redundancia en la zona 2 durante septiembre 2021 a mayor 2024.

Estadística	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Eigenvalor	0.21	0.17	0.11
Varianza explicada (%)	7.1	6.0	3.7
Varianza acumulada explicada (%)	7.1	12.1	15.7
Correlación de Pearson (especie/ambiente)	0.52	0.43	0.36
Correlación de Kendall	0.34	0.30	0.24



Variabes de correlación	Eje 1	Eje 2	Eje3
TSM	-0.48	-0.14	0.64
SSM	0.24	-0.01	0.75
OD	0.63	-0.39	-0.08
Cl-a	-0.44	0.71	-0.36
VZ	-0.21	-0.79	0.03

El diagrama de dispersión (Figura 13) revela que la cantidad de larvas de botella (*Auxis* spp.) con el peso de gónadas de adultos, estuvieron principalmente asociados con la concentración del Oxígeno disuelto (OD). Además, se observó que la disponibilidad de alimento, representada por la clorofila (Cl-a) y el volumen de zooplancton (VZ), están relacionados con la abundancia del desove (huevos de botella) lo que destaca la importancia de estos parámetros en los eventos de desove y desarrollo larval.

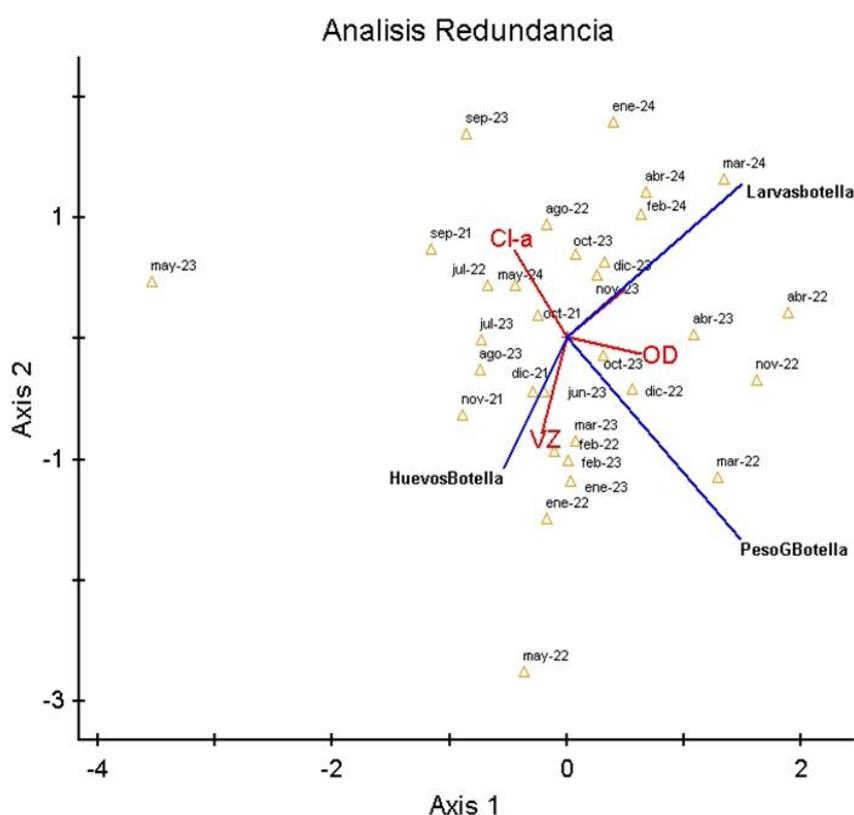


Figura 13. Diagrama de dispersión de análisis redundancia de datos de los pesos de gónadas y de abundancia de huevos y larvas de *Auxis* spp. (Botella) recolectadas en la zona 2, durante septiembre 2021 a mayo 2024.

5.6 Variables ambientales óptimas para el desove (Hábitat reproductivo óptimo, quoting)

Al analizar las relaciones derivadas del análisis de redundancia, se constató que las correlaciones más significativas se presentaron con la TSM, SSM, OD y Cl-a. lo que podría reflejar de manera más precisa los rangos óptimos del desove y la supervivencia larval. A partir de estas relaciones se determinó las preferencias ambientales de la actividad reproductiva (Peso/IGS), el desove (abundancia de huevos) y el desarrollo y supervivencia de los prereclutas (abundancia de larvas).



5.6.1 Actividad reproductiva (Peso de gónadas/IGS)

El análisis de preferencias reveló que la actividad reproductiva de botella se registró en un rango de temperaturas de 20,5 °C a 28,5 °C. Se identificó que el hábitat reproductivo óptimo de máxima actividad de reproducción, definido por valores de $Q \geq 1$, se registró dentro del rango térmico de 25,5 °C a 26,5 °C. Para la salinidad, se estableció un rango de preferencia entre 32,5 y 33,5 ups. Además, el análisis de cocientes de Clorofila-a mostró preferencias en concentraciones entre 0,7 y 1,3 mg/m³ y de 220 y 230 mmol/m³ para las concentraciones preferenciales de oxígeno disuelto (Figura 14).

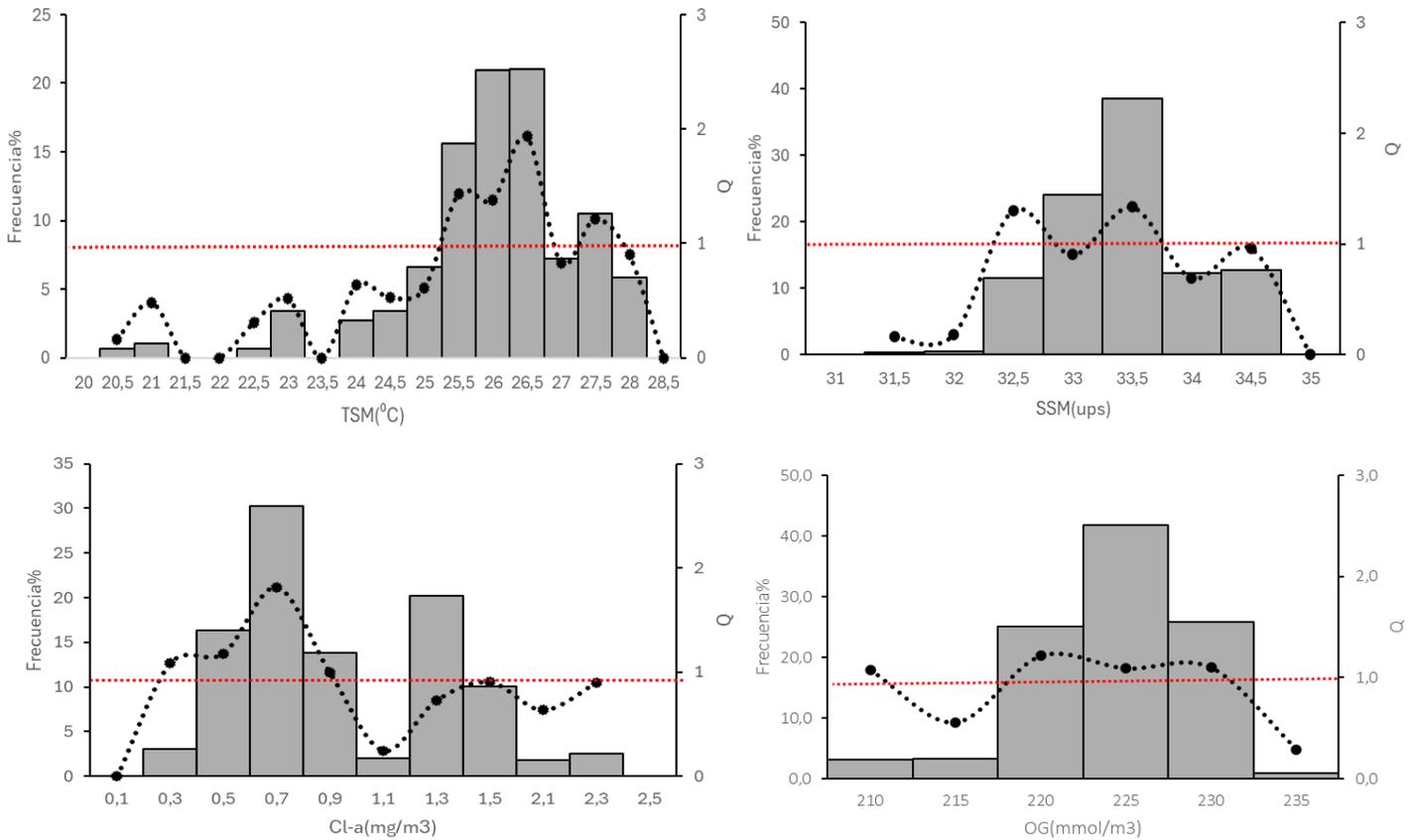


Figura 14. Análisis del cociente para actividad reproductiva (Peso Gónadas/IGS) de *Auxis* spp., en relación con la TSM, SSM, OD y Cl-a durante septiembre 2021 a mayo 2024. Las barras muestran el número de observaciones (frecuencia) dentro de cada intervalo. La línea discontinua representa el cociente del peso de gónadas. Línea discontinua roja representan los valores del cociente $Q \geq 1$.

5.6.2 Huevos

El análisis de preferencias reveló que el desove de la especie de interés se registró en un rango de temperaturas de 22,0 °C a 28,0 °C. Se identificó el hábitat reproductivo óptimo, definido por valores de $Q \geq 1$, dentro del rango térmico de 25,5 °C a 27,0 °C. En cuanto a la salinidad, la abundancia de huevos se observó entre 31,5 y 34,5 ups, estableciéndose su rango de preferencia entre 33,0 y 33,5 ups (Figura 15). Además, el análisis de cocientes de Clorofila-a mostró una preferencia de desove en concentraciones que varían entre 0,7 y 1,5 mg/m³ (Figura 15). Por otro lado, las concentraciones preferenciales de oxígeno disuelto fluctúan entre 220 y 230 mmol/m³.



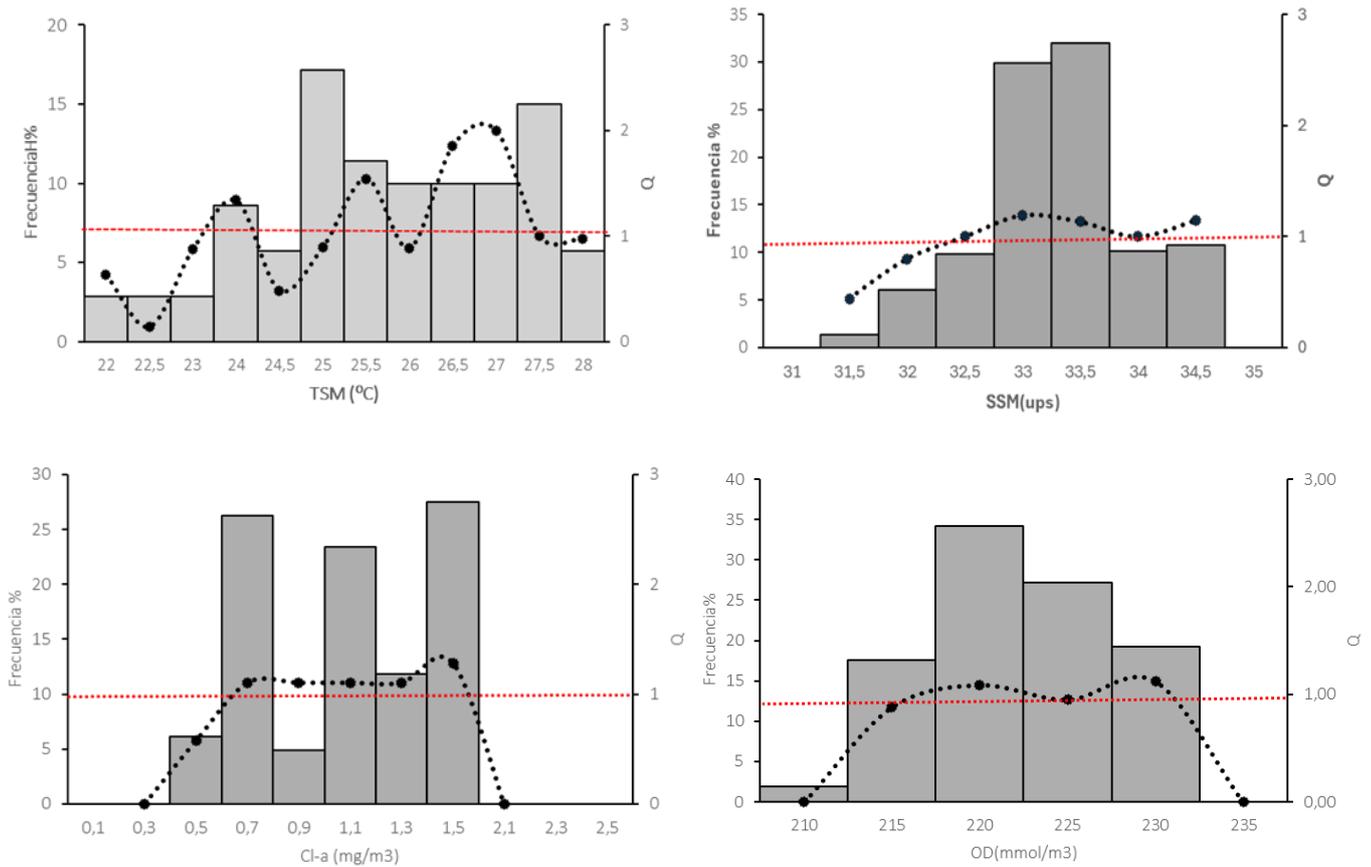


Figura 15. Análisis del cociente para la distribución del desove (huevos) de *Auxis* spp., en relación con la TSM, SSM, OD y Cl-a durante septiembre 2021 a mayo 2024. Las barras muestran el número de observaciones (frecuencia) dentro de cada intervalo. La línea discontinua representa el cociente de la densidad de huevos. Línea discontinua roja representan los valores del cociente $Q \geq 1$

Larvas

El análisis de preferencias reveló que el desarrollo larval tuvo lugar a temperaturas que variaron entre 22,0 °C y 28,0 °C. El hábitat óptimo, determinado por valores de $Q \geq 1$, se ubicó en un rango térmico de 25,5 °C a 27,0 °C (Figura 16). En lo que respecta a la salinidad, se encontraron densidades larvales en un intervalo de 31,5 a 34,5 ups, y el análisis de cociente indicó que la salinidad óptima se situaba entre 32,5 y 33,5 ups (Figura 16). El análisis de cocientes de clorofila-a mostró que la preferencia para el desarrollo larval se registró en concentraciones de entre 0,7 a 0,9 mg/m³ (Figura 16). Por último, en relación con el oxígeno disuelto, las concentraciones preferenciales estuvieron en un rango de 215 a 230 mmol/m³.



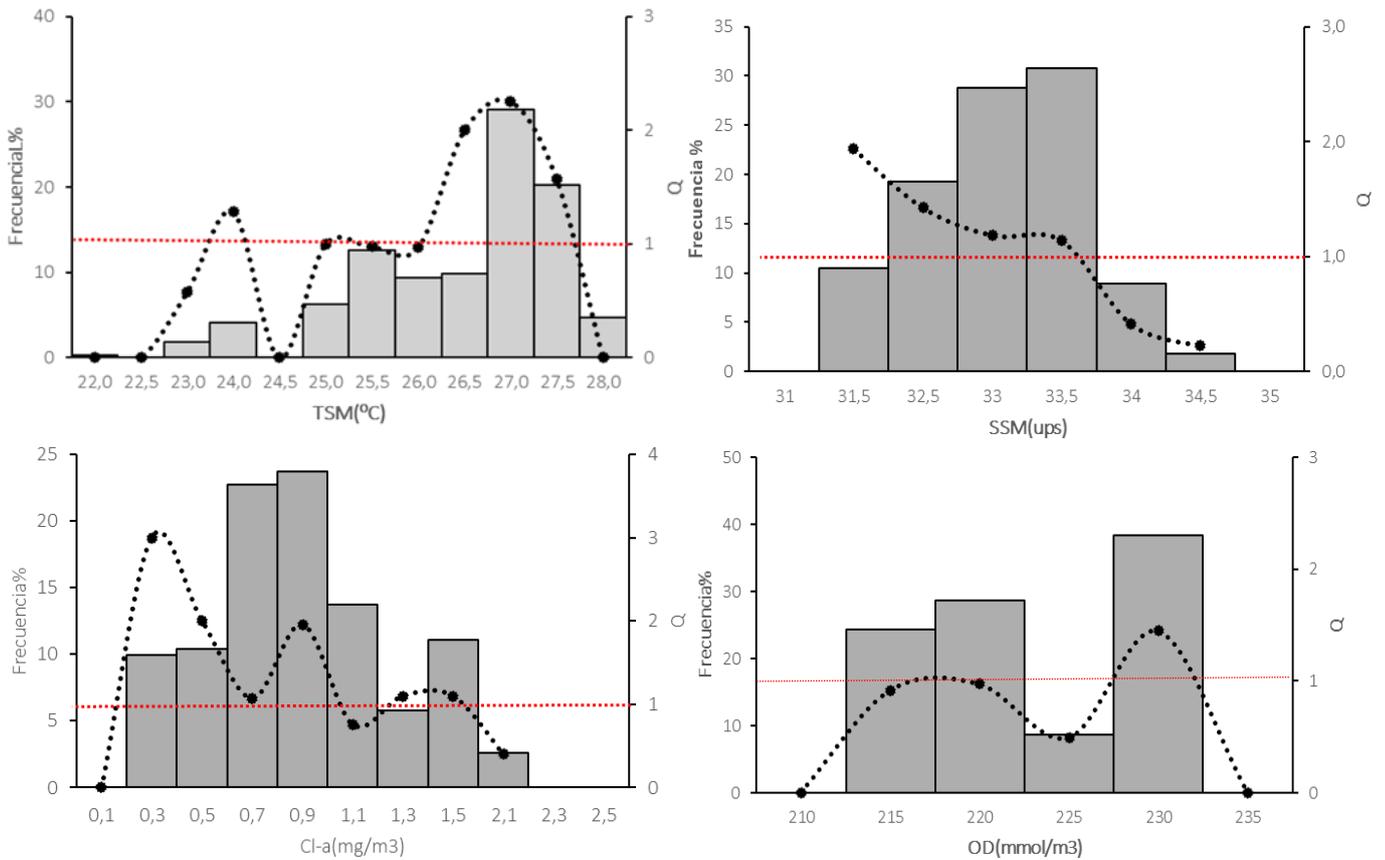


Figura 16. Análisis del cociente para la distribución de desarrollo y supervivencia (larvas) de *Auxis* spp., en relación con la TSM, SSM, OD y Cl-a durante septiembre 2021 a mayo 2024. Las barras muestran el número de observaciones (frecuencia) dentro de cada intervalo de temperatura. La línea discontinua representa el cociente de la densidad de larvas. Línea discontinua roja representan los valores del cociente $Q \geq 1$.

6. DISCUSIÓN

La serie temporal de temperatura en las zonas 1 y 2 entre 2021-2024, de manera general, expone una tendencia t  pica de esta variable en costas ecuatorianas asociado a la influencia de las corrientes cálida de Panamá y fría de Humboldt (De la Cuadra, 2016; Vera et al., 2009). Durante este período, la Zona 2 presentó consistentemente temperaturas más altas que la Zona 1, y la tendencia general de la TSM mostró picos en los primeros meses de cada año y posteriormente empezó un descenso desde los meses de junio-julio. Sin embargo, al observar más específicamente, se revela cómo los eventos climáticos El Niño 2023 y La Niña 2020-2023 durante este periodo tuvieron un impacto en las costas ecuatorianas.

El evento La Niña 2020-2023 (NOAA, 2024; Ormazza, 2023) tuvo una influencia significativa en la disminución de la TSM durante 2022 que mostró valores por debajo de lo normal para la época, desde abril 2022 hasta finales de año se pudo observar un rango de TSM promedio en ambas zonas entre 22  C y 23  C. A inicios de 2023 se observaron los valores de TSM más altos de la serie temporal, fluctuando alrededor de los 28  C, lo cual se sostuvo el primer trimestre; esto se ve explicado por la finalización del evento La Niña y un retorno a condiciones normales. Por otro lado, al avanzar hacia mayo de 2023, se observa un ligero descenso de la TSM, pero estos valores se mantuvieron entre los 25-26  C hasta finales de año, asociados a la influencia del evento El Niño 2023.



Por otro lado, durante los eventos de La Niña, se tienden a fortalecer las corrientes frías y aumentar la afloración de aguas profundas ricas en nutrientes, se observa un ligero descenso en la temperatura superficial, especialmente durante 2022. Esto también está asociado con una mayor productividad biológica, ya que las aguas frías y ricas en nutrientes impulsan la proliferación de fitoplancton, lo cual está en línea con los aumentos en la concentración de clorofila-a observados en la Zona 1 durante estos períodos.

El análisis de la clorofila-a y el oxígeno disuelto también refleja un ecosistema más dinámico en la Zona 1, en la cual las condiciones del evento La Niña y la mayor influencia por parte de la corriente de Humboldt jugaron un papel crucial para el aumento y distribución de los nutrientes (Morón, 2000) (Graco et al., 2016). Adicionalmente, esta redistribución de nutrientes observada durante eventos La Niña también implica un desplazamiento de recursos pesqueros, como los pelágicos pequeños, provocando que se ubiquen en áreas más lejanas a la costa (Bouchon & Peña, 2008) (Ormaza, 2010).

El análisis del Índice de gonadosomático (IGS) reveló que los valores más altos se registraron entre enero y marzo, con promedios de 8-9, indicando años de máxima actividad reproductiva y desoves significativos ($IGS \geq 6$). Además, se evidenció una intensa actividad reproductiva en ambas zonas estudiadas. Este patrón coincide con hallazgos previos de Canales et al. (2013, 2020), Cedeño & González (2008) y Jurado et al. (2018), quienes también reportaron un desplazamiento y ampliación en los meses de mayor actividad reproductiva. Nuestra investigación confirmó este patrón, y ciertas modificaciones especialmente en la zona 1, donde los cambios en las condiciones oceanográficas durante el estudio (asociados a La Niña y El Niño) parecen influir en la actividad reproductiva. Estos resultados respaldan la hipótesis de que los adultos de *Auxis* spp. son desovadores parciales, con periodos de máxima actividad reproductiva y desove estrechamente relacionados con las condiciones ambientales y estacionales.

Saborido-Rey (2021) señala que los picos de actividad reproductiva no necesariamente coinciden año tras año, ya que los organismos buscan que las condiciones óptimas para la reproducción se presenten en la estación adecuada. Este comportamiento actúa como un mecanismo fisiológico de protección, permitiendo regular el momento de la maduración de las gónadas. Por otro lado, Jurado & Bustos (2024) informan sobre la presencia de pesos promedio de gónada significativamente mayores en el norte de Manabí. Esto sugiere la necesidad de llevar a cabo un monitoreo en estas áreas, con el objetivo de determinar si hay una nueva zona de desove para estas especies.

Los resultados del análisis de la distribución de los estadios tempranos de desarrollo indican que la abundancia de huevos y larvas de botella no es homogénea. En ocasiones, para la búsqueda de las condiciones óptimas para el desarrollo de la prole, el individuo debe migrar, ya que se encuentra en la zona óptima de alimentación del adulto, que no tiene por qué ser la misma para que se produzca el desove y por ende el desarrollo larval (Saborido-Rey, 2021). De esta manera se observa una mayor concentración de desove en la zona 2, que corresponde a Puntilla de Santa Elena - Puerto Cayo. Este patrón coincide con los hallazgos de estudios previos realizados en el área evaluada y en zonas adyacentes, donde se ha documentado la presencia de la familia Scombridae, así como de la especie *Auxis* spp. en esta área (García, 1981; Elías et al., 2010; Romero et al., 2018; Ayora y Calderón, 2021; Ayora, 2023).

Del análisis temporal y espacial se obtuvo que aproximadamente el 51% de las muestras mensuales fueron positivas en la zona 1, mientras que en la zona 2, esta cifra alcanzó el 60%. Estos hallazgos sugieren que los desoves en las áreas adyacentes a la costa en el Pacífico ecuatorial ocurren durante la mayor parte del año. Esta tendencia puede estar atribuida a la estrategia



reproductiva de la especie. Según Klawe (1963-1970) y Claramunt et al. (2014), esta especie desova durante todo el año, presentando intervalos de desoves relativamente cortos y períodos prolongados de actividad reproductiva, los cuales pueden variar tanto en su inicio como en su duración. Además, la expansión de la distribución de esta especie hacia la zona 2 sugiere una mayor amplitud en su actividad de desove, comportamiento que está relacionado con los requerimientos reproductivos de la especie.

De manera general en las dos zonas de estudio analizadas, se registraron altas densidades de huevos, lo que sugiere un buen indicador del desove de la población adulta de la especie Botella durante el periodo, principalmente en la zona 2. Los pelágicos pequeños a través de su historia evolutiva han desarrollado estrategias de reproducción, lo que le permite acoplarse a las variaciones estacionales de las condiciones del hábitat pelágico (Blaxter y Hunter, 1982). Según Ahlstrom & Moser (1976), el éxito de la actividad reproductiva está determinado por la cantidad de huevos desovados en una zona específica, lo cual varía en función de los huevos encontrados y de las larvas que completan su fase de alimentación endógena.

De la misma manera, durante el periodo analizado, se observó un número menor de larvas, lo cual puede atribuirse a varios factores. Entre ellos, el posible escape de las larvas a través de la malla de la red de muestreo, las diferencias en la longevidad entre el estadio de huevo y el de larva, la realización del muestreo poco después del inicio del desove, así como la mayor vulnerabilidad de las larvas a los depredadores. Cabe destacar que el período larval se considera un "periodo crítico", ya que las larvas están expuestas a una alta mortalidad debido a la depredación, la cual es mayor a medida que avanza el estado de desarrollo (Fuiman & Werner, 2002; Stouthamer & Bain, 2012).

La variación temporal y espacial en la distribución de huevos y larvas de la especie sugiere la posible existencia de dos "metapoblaciones" de la especie. Esta hipótesis se basa en las diferencias temporales observadas en las áreas de estudio tanto para el IGS como para la abundancia de huevos y larvas: mientras que en la zona 2 se registra un aumento significativo en la abundancia de huevos, resultado del desove de los adultos (IGS) desde septiembre, en la zona 1 esta abundancia comienza a notarse a partir de diciembre. Además, la alta densidad de larvas en la zona 2 respalda esta teoría, indicando que los individuos adultos de la especie inician su actividad reproductiva en esta zona antes que aquellos de la zona 1 o sur. De igual manera se plantea que exista una probable nueva zona de desove en el área del norte de Manabí (Jurado & Bustos, 2024). Sin embargo, es importante señalar que esta hipótesis no puede ser considerada concluyente, debido a que probablemente existen otros factores que no fueron evaluados en este estudio.

Un aspecto fundamental en la ecología marina es explicar que variables oceanográficas influyen en la distribución de los organismos en el ambiente marino. Esto tiene implicaciones importantes en la conservación y el manejo de las pesquerías de los pelágicos pequeños, dado que su sustentabilidad depende de identificar las áreas con características ambientales donde el éxito reproductivo permite un mayor reclutamiento (Pereira, 2011). Dentro de las variables ambientales La TSM se considera un buen indicador de los cambios del ecosistema teniendo un efecto predominante sobre la mortalidad de los peces, afectando el crecimiento, el desarrollo de huevos, larvas y la producción de alimento para larvas y pre-reclutas (Stocker & Haist, 1985). Por lo tanto, las condiciones ambientales pueden generar variaciones, ya sea alterando los niveles de los organismos alimenticios o produciendo algún tipo de daño en los huevos y larvas (Houde, 1987)

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo a partir del análisis de Redundancia se evidenció que la Temperatura (TSM), Clorofila a (Cl-a), la salinidad (SSM) y el oxígeno disuelto (OD)



tienen un efecto significativo con la abundancia de Huevos/Larvas de peces, así como con el incremento de los pesos de gónadas para el inicio de la actividad reproductiva (IGS).

Asch y Checkley Jr. (2013) mencionan que los pelágicos pequeños desovan preferencialmente en masas de agua con características particulares de temperatura y salinidad, en sitios con productividad primaria y secundaria elevada y en corrientes geostróficas con flujos de dirección y velocidad específica. Asimismo, Cushing (1975, 1990) hace relación con el ajuste entre los ciclos reproductivos y los ciclos de productividad local. La hipótesis predice que cuando se observa una sobreposición entre los picks de abundancia larval y los picks de productividad, mayor cantidad de larvas podrían sobrevivir.

Si un individuo tiene que optimizar la producción de descendencia viable, tiene que procurar que ésta se desarrolle en el medio adecuado para favorecer su supervivencia. Es así que durante la época donde se registra el mayor periodo de actividad reproductiva (enero, febrero, marzo), las condiciones ambientales están dadas por valores altos de TSM y Clorofila, así como de una mayor disponibilidad de OD (Aguilar, 2017; Ayora et al., 2022; García, 1988; Wang et al., 2022), para que de esta manera los huevos puedan sobrevivir a temperaturas adecuadas y que al momento de eclosionar las larvas deben encontrar en el ambiente comida disponible para el correcto desarrollo larval. Estas condiciones a su vez están dadas de manera específica para cada etapa del proceso reproductivo evidenciando que existe un hábitat reproductivo óptimo para que los individuos adultos de *Auxis* spp inicien el periodo de actividad de reproductiva. Estas condiciones se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. Resumen de rangos óptimos preferenciales de *Auxis* spp (Botella) obtenidos mediante el análisis Q.

Rangos óptimos (Hábitat referencial)	IGS	Huevos (desove)	Larvas (desarrollo)
TSM	25,5 °C - 26,5 °C	25,5 °C - 27,0 °C	25,5 °C - 27,0 °C
SSM	32,5 - 33,5 ups	33,0 - 33,5 ups	32,5 - 33,5 ups
OD	220 - 230 mmol/m ³	220 - 230 mmol/m ³	215 - 230 mmol/m ³
Cl-a	0,7 – 1,3 mg/m ³	0,7-1,5 mg/m ³	0,7 - 0,9 mg/m ³

Estas condiciones al parecer son factores determinantes en los patrones de reproducción de las especies pelágicas, ya que los adultos eligen el entorno adecuado para el desove. Esta elección incluye aspectos como una temperatura óptima para la incubación de huevos y larvas, la disponibilidad de alimento y las concentraciones de oxígeno disuelto. Estos elementos son cruciales, ya que influyen directamente en la tasa de desarrollo y supervivencia de las larvas, favoreciéndolas dentro de un rango óptimo (Kamler, 2002). Resultados similares se han documentado en la anchoveta del sur de Perú (Canales et al., 2018), en *Opisthonema* spp. en Ecuador (Jurado Maldonado, 2021), así como en *Auxis* spp. (Jurado & Bustos, 2024) y *Scomber japonicus* (Jurado & Bustos, 2023). Estos hallazgos respaldan también la hipótesis de Bakun (1996), que sugiere que el hábitat ideal para la reproducción de especies pelágicas es resultado de tres procesos principales: 1) la presencia de capas superficiales del mar ricas en clorofila, 2) una alta



concentración de nutrientes ocasionada por la disminución del Nivel Medio del Mar (NMM), y 3) la retención de huevos y larvas debido a la reducción del viento.

7. CONCLUSIONES

1. El análisis de las series temporales de las condiciones oceanográficas: temperatura superficial del mar (TSM), salinidad, oxígeno disuelto y clorofila-a, entre 2021 y 2024, revelaron una clara interacción entre las corrientes oceánicas y el impacto de los eventos climáticos La Niña y El Niño en las costas ecuatorianas. Durante el prolongado evento de La Niña 2020-2023, las temperaturas disminuyeron por debajo de lo habitual, especialmente en 2022, mientras que la productividad biológica aumentó significativamente, reflejada en los altos niveles de clorofila-a y oxígeno disuelto en la Zona 1, favorecida además por la influencia de la corriente de Humboldt.
2. En contraste, el regreso a condiciones más cálidas y el desarrollo de El Niño 2023 provocaron un aumento considerable de la TSM, con valores que superaron los 28°C a inicios de 2023, marcando el final de La Niña. Estos cambios no solo afectaron las condiciones oceanográficas, sino también la distribución de los recursos pesqueros, desplazando especies hacia áreas más alejadas de la costa, especialmente durante los periodos de afloramiento asociados a La Niña.
3. El análisis temporal del Índice de gonadosomático (IGS) y su relación con la abundancia de huevos y larvas de peces, reveló dos épocas de máxima actividad reproductiva y de desove, registrando entre enero y marzo el periodo de mayor intensidad.
4. La presencia y las altas densidades de los estadios tempranos de desarrollo de la especie en las dos zonas de estudio, sugiere que los desoves en las áreas adyacentes a la costa en el Pacífico ecuatorial ocurren durante la mayor parte del año.
5. Las variaciones espaciales de la abundancia no fueron homogéneas, con una mayor concentración de huevos y larvas (producto del desove) de la especie en la zona 2, norte del Ecuador (Desde Puntilla hacia Puerto Cayo, centro de Manabí). Esto sugiere una expansión y una mayor amplitud en la actividad de desove, o el inicio de la actividad reproductiva de los individuos adultos en distintas áreas, lo que suministra la hipótesis de la existencia de dos poblaciones desovantes.
6. Las correlaciones de las condiciones ambientales con los parámetros biológicos del recurso Botella, mostraron que las variables que mayor relación con la actividad reproductiva (índice gonadosomático de adultos) y el producto del desove (huevos y larvas de peces) fue la Temperatura superficial del mar (°C), Salinidad superficial (ups), la concentración del Oxígeno disuelto (mmol/m³) y la de Clorofila-a (mg/m³). En particular, la temperatura superficial del mar y el oxígeno disuelto se identificaron como parámetros clave para la actividad reproductiva y el desove, mientras que la salinidad superficial y la clorofila-a se asociaron con el desarrollo y la supervivencia de las larvas.
7. A través del análisis de cocientes (Q), se definieron los rangos óptimos de los parámetros ambientales que permiten a la especie encontrar su hábitat ideal para la reproducción y el desarrollo. Se observó que la reproducción, el desove y el desarrollo de las larvas de Botella se producen dentro de rangos preferenciales de temperatura superficial del mar entre 25,5 °C y 27,0 °C, con salinidades que oscilan entre 32,5 y 33,5 ups. Además, en concentraciones de oxígeno disuelto entre 215 y 230 mmol/m³ y niveles de clorofila a de entre 0,7 y 1,5 mg/m³ como condiciones favorables para su hábitat óptimo.
8. Los resultados respaldan la hipótesis de que los adultos de *Auxis* spp, son desovadores parciales, con periodos de máxima actividad reproductiva y desove estrechamente relacionada con las condiciones ambientales y estacionales.



9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahlstrom E. H. & H. G. Moser. 1976. Eggs and larvae of fish and their role in systematic investigations and in fisheries. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 40(3-4): 379-398.
- Asch, R. G. & D.M. Checkley Jr. 2013. Dynamic height: a key variable for identifying the spawning habitat of small pelagic fishes. *Deep-sea Research I.* 71: 79 – 91.
- Ayora, G., G. Calderón & G. Ponce. 2021. Caracterización del comportamiento reproductivo de peces pelágicos pequeños estimada a través de la abundancia de huevos y larvas, durante septiembre 2021- septiembre 2022. Informe Técnico.
- Balon, E. K. 1975. Reproductive guilds of fishes: A proposal and definition. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32: 821-864.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean : ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant College System, National Oceanic and Atmospheric Administration in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Bruton, M. N., 1990. Trends in the life-history styles of vertebrates: An introduction to the second ALHS volume. *Environmental Biology of Fishes*, 28: 7-16.
- Beltrán-León, B. y R. Ríos. 2000. Estadios tempranos de peces del Pacífico Colombiano. Tomo 1. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Buenaventura –Colombia. 359 p.
- Beltrán-León, B. y R. Ríos. 2000. Estadios tempranos de peces del Pacífico Colombiano. Tomo 2. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Buenaventura–Colombia. 360 – 727p.
- Bouchon Corrales, M., & Peña Tercero, C. 2008. Impactos de los eventos la niña en la pesquería peruana.
- Canales, C. M., Adasme, N. A., Cubillos, L. A., Cuevas, M. J., Sánchez, N., & Kuparinen, A. 2018. Long-time spatio-temporal variations in anchovy (*Engraulis ringens*) biological traits off northern Chile: ¿An adaptive response to long-term environmental change? *ICES Journal of Marine Science*, 75(6), 1908– 1923. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy082>
- Canales, C., Jurado, V., Peralta, M., Chicaiza, D., Elías, E., & Romero, Á. 2020. Evaluación del stock de recursos pelágicos pequeños del Ecuador, 2020.
- Canales, C., Peralta, M., & Jurado, V. 2013. Evaluación de la población de pinchagua (*Opisthonema spp*) en el Ecuador y perspectivas de explotación. *Boletín Especial, Revista Ciencias del Mar*, 4(3), 51.
- Claramunt, G.; Plaza, G. & Pajaro, M. 2021. Dinámica reproductiva en el dominio pelágico. Pequeños pelágicos. *Ecología Reproductiva y Pesquerías en el Contexto Iberoamericano. Red Iberoamericana de Investigación para el Uso Sostenible de los Recursos Pesqueros (RED INVIPESCA)*. 31 diciembre de 2021. 33-60.



- Castro, L. M. Landaeta, M.I. Muñoz & R. León. 2005. Distribución vertical y mecanismos de transporte larval en aguas interiores de la X región y en la boca de estuarios y canales. Informe resultados Crucero CIMAR 11 Fiordos (16 al 27 de julio y 11 al 21 de noviembre 2005).
- Cedeño, I., & González, N. 2008. Criterios técnicos para la recomendación de las vedas vigentes de pinchagua (*Opisthonema* spp.) y chuhueco (*Cetengraulis mysticetus*).
- Checkley, D. Jr. 2004. Introduction to the Use of Temperature-Salinity Plots for Characterizing Spawning Habitat of Small, Pelagic Fish. In Report of a GLOBEC/SPACC Workshop on Characterizing and Comparing the Spawning Habitats of Small Pelagic Fish. 12-13 January 2004, Concepción, Chile. 175 pp.
- Cushing, D. H. 1982. Climate and Fisheries. In Academic Press. Londres (p. 373).
- Cushing, H.D. 1990. Plankton production and year-class strength in fish populations: An update of the match/mismatch hypothesis. *Adv. Mar. Biol.*
- De la Cuadra, T. 1996. Características oceanográficas frente a Ecuador durante noviembre de 1995.
- Drapeau, L. 2004. Introduction to the Use of Quotient Curves for Characterizing Spawning Habitat of Small, Pelagic Fish. In Report of a GLOBEC/SPACC Workshop on Characterizing and Comparing the Spawning Habitats of Small Pelagic Fish (12-13 January 2004, Concepción, Chile). 175 pp.
- Escarria, E., Beltran-Leon, B., A. Giraldo & J. Ortiz. 2005. Composición, distribución y abundancia del ictioplancton en la Cuenca del océano pacifico colombiano durante septiembre 2003. *Boletín Científico CCPP* (12): 23-35.
- Fuiman, L., R. Werner. 2002. *Fishery Science: The unique contributions of early life stages*. First published by Blackwell Science Ltd. USA. 326pp.
- Graco, M., Correa Chilon, D., García Díaz, W., & Sarmiento, M. (2016). Impactos del ENSO en la biogeoquímica del sistema de afloramiento frente a Perú central, febrero 2013-diciembre 2015.
- Hilborn, R. & C. J. Walters. 1992. *Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty*, Chapman and Hall, New York, 570 pp.
- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological researches. *Rapports et Proces-Verbaux des Reunions du Conseil Permanent International pour L'Exploration de la Mer*, 20: 1-228.
- Houde, E. D. 2016. Recruitment variability. *In*: Jakobsen, T; M. J. Fogarty; B. A. Megrey & E. Moksness (Eds), *Fish reproductive biology. Implications for assessment and management*. 2nd edition. Wiley-Blackwell, Oxford, 91-171.
- Houde, E.D. 1987. Fish early life dynamics and recruitment variability. *Am Fish. Soc. Symp.* 2:1729.
- Gilbert, G. & T. Villegas. 2016. Aspectos biológicos y pesqueros de la macarela *Scomber japonicus* (Perciformes Scombridae) en la costa continental de Ecuador. *Ciencias Pesquera* 24(1): 67-75

- Gillett, R. 2008. Global study of shrimp fisheries. FAO Fisheries Technical Papers, No 475, Rome, 331 pp.
- Jobling M. 1994. Respiration and metabolism. In: Jobling M (ed). Fish bioenergetics, pp. 121-146. Chapman & Hall, London.
- Jurado, V. & A. Bustos. 2024. Variación en los rasgos biológicos de Botella (*Auxis* spp.) como respuestas a cambios en las variables ambientales durante 2009 – 2023. Informe Técnico.
- Lynn, R.J. 2003. Variability in the spawning habitat of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off southern and central California. *Fish. Oceanogr.* 12: 541-553.
- Macchi, G. J.; F. Saborido-Rey; H. Murua; G. Claramunt & P. D. T. Chaves. 2014. Advances in fisheries research in Ibero-America. *Fisheries Research*, 160: 1-7.
- McCune, B., Grace, J. y D. Urban. 2002. Analysis of Ecological Communities. MjM software designs, Gleneden Beach, OR.
- Moser, H. G. (Ed.) 1996. The early stages of the fishes in the California Current Region. CalCOFI Atlas, 33.
- Morón Antonio, O. (2000). Características del ambiente marino frente a la costa peruana.
- Murua, H.; P. Lucio; M. Santurtun & L. Motos. 2006. Seasonal variation in egg production and batch fecundity of European hake *Merluccius merluccius* (L.) in the Bay of Biscay. *Journal of Fish Biology*, 69: 1304- 1316.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2024). Oceanic Niño Index (ONI). Obtenido de https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- Oliva, J., Vilaxa, A & Olivares, A. 2020. Evaluación reproductiva de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en la xv, i y ii región de Chile, año 2019. Informe Técnico CIAM-Chile.
- Ormaza, F. (2023). La Niña 2020-2023: El evento frío más largo de los siglos XX y XXI. Obtenido de <https://camaradepesqueria.ec/la-nina-2020-2023-el-evento-frio-mas-largo-de-los-siglos-xx-y-xxi/>
- Ormaza, F. (2010). Fenómeno La Niña. Su posible impacto en las pesquerías. *Ecuador Pesquero*. 55. 28-29.
- Romero, A. E. Landívar, G. Ponce, M. Hurtado, T. De la Cuadra, M. Prado, J. Guerrero, J. Cajas, G. Calderón, G. Ayora, P. Macías, K. Alarcón, A. Muñoz, R. Buchelli, G. Sandoval & V. Jurado. Evaluación hidroacústica de los principales peces pelágicos pequeños en el Ecuador y su distribución geoespacial, durante noviembre de 2018. Informe Interno. <http://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2018/01/Informe-final-CruceroNoviembre-2018.pdf>.



- Saborido-Rey, F. & Macchi, G. J. 2021. "Introducción". "Ecología Reproductiva y Pesquerías en el Contexto Iberoamericano". Red Iberoamericana de Investigación para el Uso Sostenible de los Recursos Pesqueros (RED INVIPESCA). 31 diciembre de 2021. 6-31.
- Sheskin, D. J. (2004). *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures* (3rd ed.). Chapman & Hall/CRC.
- Stearns, S.C. 1992. *The Evolution of Life History*. Oxford University Press, London, 249 pp
- Smith, P. y S. L. Richardson 1979. Standard techniques for pelagic fish egg and larval survey. *FAO Fish. Tech. Pap.* (175):100.
- Takasuka, A., Oozeki, Y. & H. Kubota. 2008. Multi-species regime shifts reflected in spawning temperature optima of small pelagic fish in the western North Pacific. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 360: 211-217 (b).
- Van der Lingen, C.D., Hutchings, L., Merkle, D., Van der Westhuizen, J.J. y J. Nelson. 2001. Comparative spawning habitats of anchovy (*Engraulis capensis*) and sardine (*Sardinops sagax*) in the Benguela upwelling ecosystem. p. 185-209 In: G.H. Kruse, N. Bez, T. Booth, M. Dorn, S. Hills, R.N. Lipcius, D. Pelletier, C. Roy, S.J. Smith and D. Witherell. (Eds). *Spatial processes and Management of Marine Populations*. University of Alaska Sea Grant, AK-SG -01-02, Fairbanks, USA.
- Vera, L., Lucero, M., & Mindiola, M. (2009). Caracterización Oceanográfica de la costa central ecuatoriana entre la Punta del Morro y Jaramijó, Ecuador.

