

Figura 18. Biplot y análisis categórico de especies comerciales y variables ambientales en el Golfo de Tehuantepec, durante el invierno-primavera de 2021.

7.1.11 Ecointegración

En la primera etapa se generó un análisis multifrecuencia para separar los ecos de los peces, de los ecos reflejados por organismos de otros grupos biológicos (plancton, medusas, etc.). Los valores más altos ($>5,000 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$) del coeficiente de retrodispersión por milla náutica cuadrada (NASC) asociados a peces se reportaron en los inicios de los transectos cuatro, cinco, seis, siete y ocho, así como en el intertransecto 4-5 contiguo a la costa de las localidades Tonameca, Ventanilla y Mazunte Oaxaca (2.5 mn), sobre las isobatas de 150 y 200 m. En este intertransecto, se realizó el lance de pesca número cinco en el horario diurno (15:21 y 17:21 horas), donde se obtuvo la captura de chabela *Peprilus snyderi* (431.41 kg). Además, en zonas puntuales del transecto uno, tres y seis, así como en mar adentro de los transectos cuatro y cinco se registraron valores entre 5,000 y 20,000 m^2mn^{-2} . En este último transecto (cinco) se realizó el lance de pesca número siete, siendo la jaiba (*Portunus* sp.) una de las especies importantes del lance. En el resto de la región se detectaron energías inferiores a 5,000 m^2mn^{-2} (Figura 19).

En la segunda etapa, con la ecointegración de la información clasificada para peces pelágicos menores (38 kHz) se observó que cerca de la costa de los transectos 12, 14, 15, 16 y 20 hubo dispersiones de energía importantes (entre 5,000 y 2,000 m^2mn^{-2}). En las zonas próximas al litoral de los transectos 14-16, 19-20 se observaron densidades importantes de energía, concordando con los sitios donde se capturó sardina crinuda (*Opisthonema* spp.). Sin embargo, los valores más altos de S_A (20,000 y 50,000 m^2mn^{-2}) se detectaron en zonas puntuales de los transectos 13, 16 y 20. Por otro lado, en el resto de la región se registraron valores inferiores a 5,000 m^2mn^{-2} , aunque fue más notorio en los transectos 18 a 20 ($<2500 \text{ m}^2\text{mn}^{-2}$). En esta zona se observó una "lengua" relativamente paralela a la costa de Chiapas con valores bajos de clorofila-a ($<0.3 \text{ mg/m}^3$) que penetró hacia Salina Cruz (Figura 19).

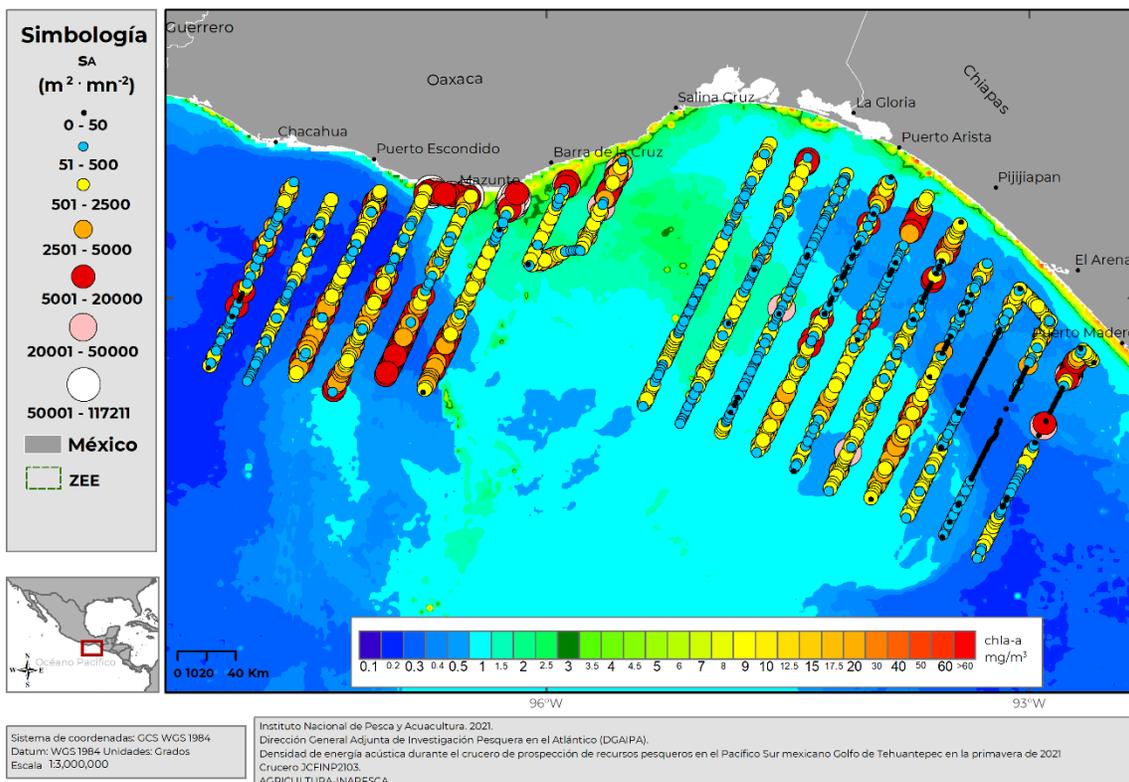


Figura 19. Gráfico de burbujas de los valores de s_A ($m^2 \cdot mn^{-2}$) que muestra la distribución de la energía clasificada para pelágicos menores hasta 500 m para la frecuencia de 38 kHz. La imagen de la clorofila-a fue obtenida de ERDDAP de la NOAA.

Con el objetivo de describir la densidad de peces en diferentes capas de profundidad, se generaron mapas con la energía clasificada en diferentes estratos de la columna de agua. Las mayores densidades observadas en las capas desde los 5 hasta los 20 m, se detectaron en mar abierto ($>2,500 m^2 \cdot mn^{-2}$), aunque el máximo ($40,466 m^2 \cdot mn^{-2}$) se registró en la parte central del transecto 13. Entre 20 y 40 metros se nota un ligero aumento de la actividad biológica tanto en la costa como en mar abierto ($>2,500 m^2 \cdot mn^{-2}$) (Figura 20).



Densidad de energía acústica por capas de profundidad durante el crucero de prospección de recursos pesqueros en el Pacífico Sur mexicano Golfo de Tehuantepec en la primavera de 2021

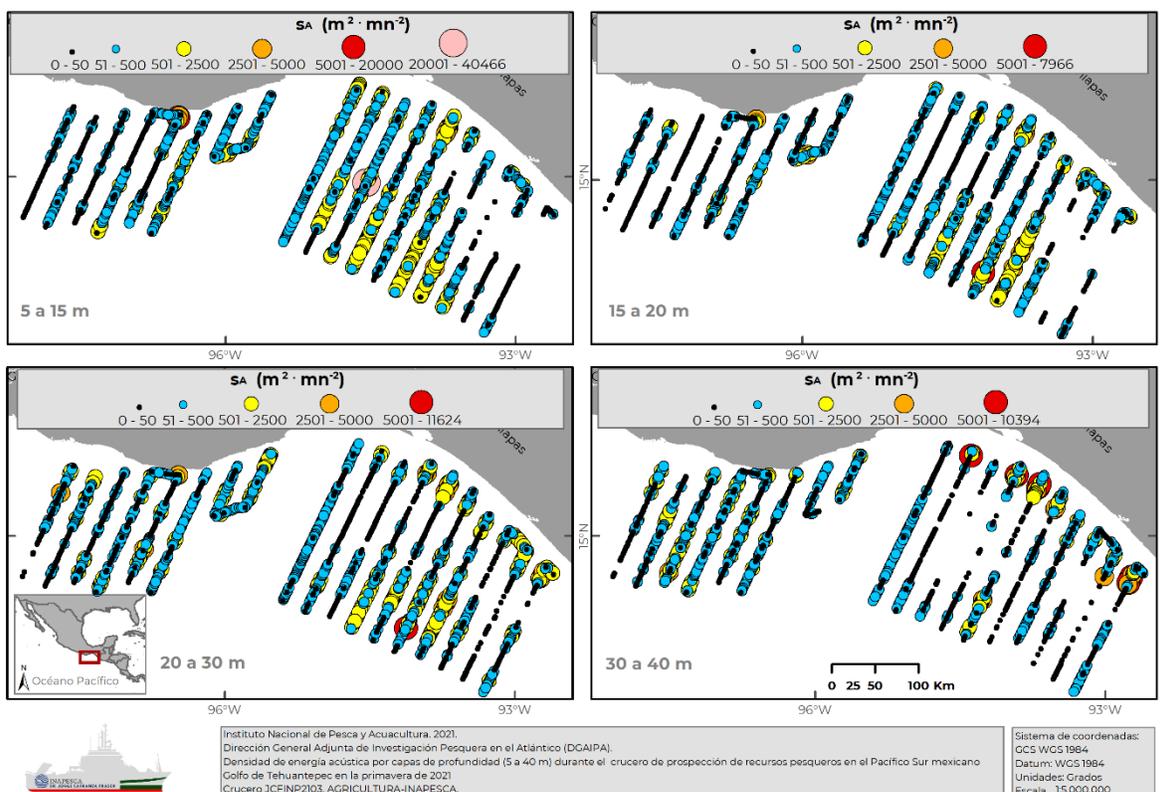


Figura 20. Distribución espacial del coeficiente de retrodispersión integrado por estratos de profundidad 5-15 m, 15-20 m, 20-30 m y 30-40 m a partir de la frecuencia de 38 kHz para peces (s_A , $m^2 \cdot mn^{-2}$).

A mayor profundidad aumentó la actividad entre Mazunte y Huatulco, Oaxaca por tratarse de una zona de plataforma continental estrecha a excepción de la costa chiapaneca. En la capa de 40 a 50 m, en las cercanías a la costa de Chiapas se mostraron zonas puntuales con densidades superiores a $5,000 m^2 \cdot mn^{-2}$ (Figura 21). En la capa de 50 a 100 metros los valores altos ($>5,000 m^2 \cdot mn^{-2}$) se encontraron tanto cerca de la costa como en mar abierto de Oaxaca y en la parte central del transecto 14. En el estrato mayor a 100 m se observaron densidades importantes de peces, principalmente en la costa de Oaxaca ($>5,000 m^2 \cdot mn^{-2}$).

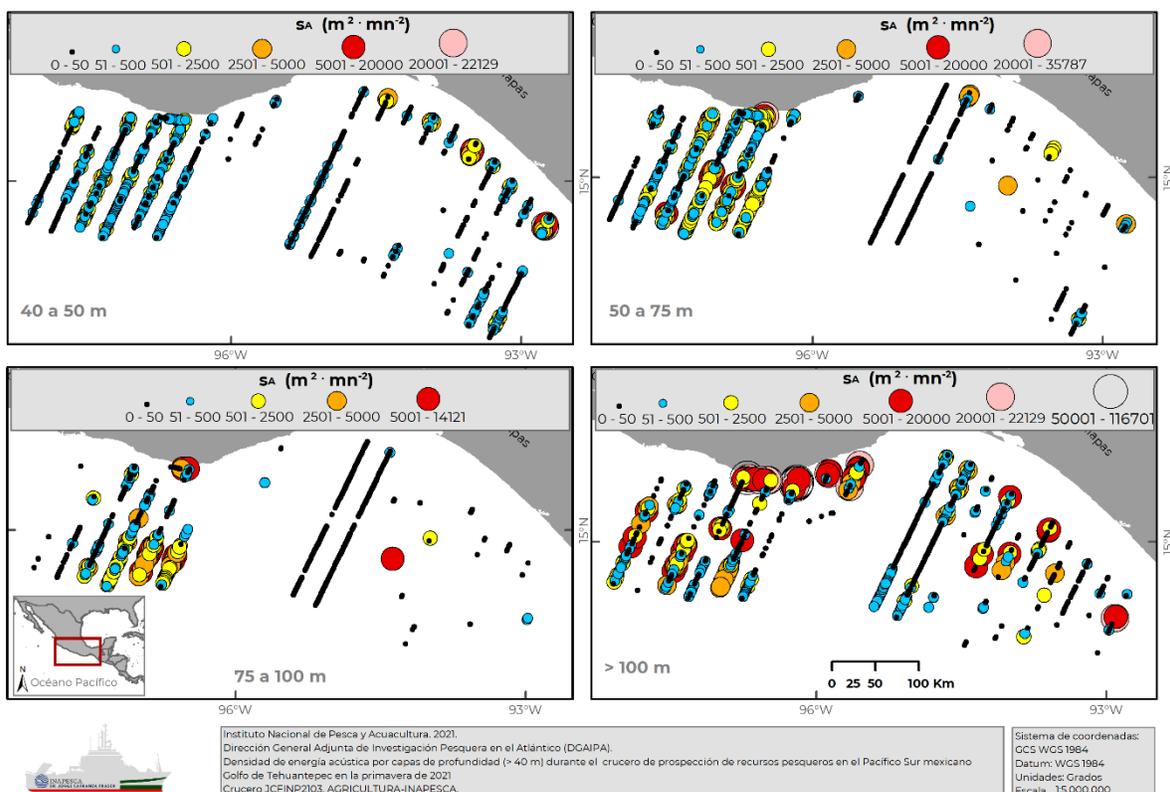


Figura 21. Distribución espacial del coeficiente de retrodispersión integrado por estratos de profundidad 40-50 m, 50-75 m, 75-100 m y 100-200 m a partir de la frecuencia de 38 kHz para peces (s_A , $m^2 \cdot mn^{-2}$).

7.1.12 Distribución vertical del NASC

Durante el crucero la distribución clasificada para peces se detectó hasta cerca de 400 metros de profundidad. Los valores superiores a $10,000 m^2 \cdot mn^{-2}$ se distribuyeron entre 7.4 y 67.5 m de profundidad durante el tiempo nocturno mientras que entre 192 y 292 m en el diurno. El s_A más alto ($26,483.02 m^2 \cdot mn^{-2}$) se registró en el horario nocturno y ocurrió a una profundidad de 12.48 m, la segunda detección más importante ($21,970.051 m^2 \cdot mn^{-2}$) se detectó a 287 m en el horario diurno. En general, las mayores cantidades de detecciones se aprecian en dos capas, la primera entre 5 y 150 m y la segunda entre 150 y 400 m. La mayor cantidad de detecciones observadas en la primera capa dominan las que se presentan en el horario nocturno mientras que las registradas en la segunda en el diurno (Figura 22). Este comportamiento se produce debido a la migración vertical de los organismos.

La distribución separada entre etapas del muestreo, mostró que en la primera la partición entre el horario diurno y nocturno fue más marcada que en la segunda. En esta última etapa, las detecciones superiores a $5,000 m^2 \cdot mn^{-2}$ se detectaron en la parte

superficial en el horario diurno cerca de la costa (Figura 22) donde la profundidad total es menor a 100 metros (fondo marino).

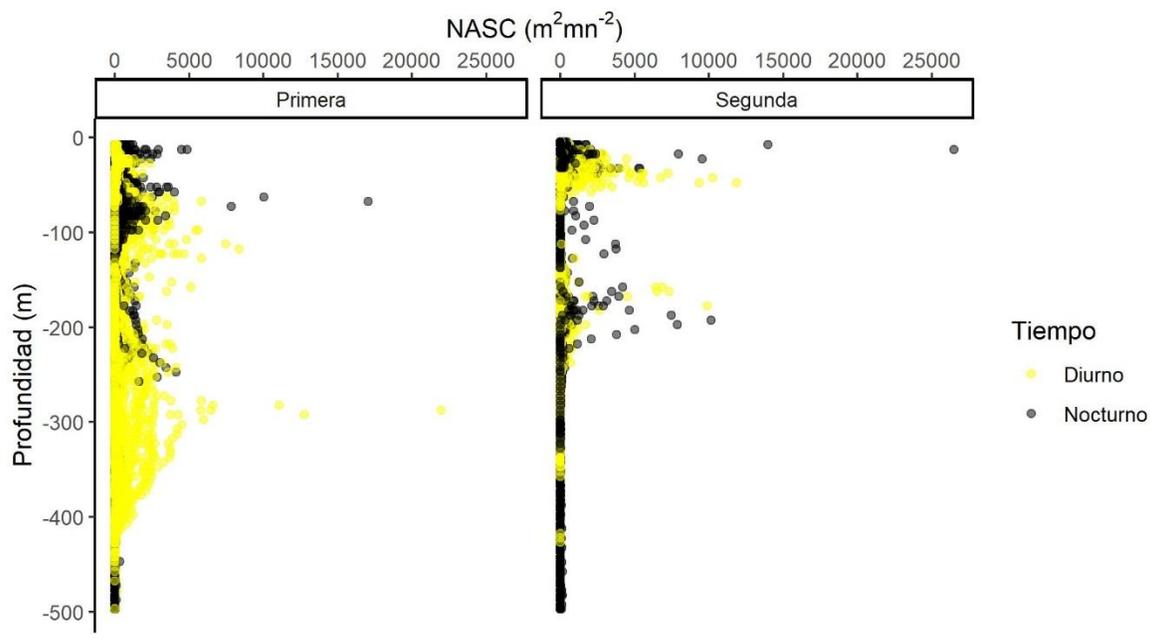


Figura 22. Distribución vertical del coeficiente de retrodispersión integrado por milla náutica de la frecuencia de 38 kHz para peces (s_A , m²mn²) separado por etapas.

7.1.13 Eointegración y variables bióticas y abióticas

Para explicar la distribución geográfica del NASC en toda el área de estudio como indicador de la abundancia de peces se aplicó el modelo RF. Se ajustaron los hiperparámetros mediante la validación cruzada espacial con el objetivo de implementar un modelo más preciso, se realizaron 10 iteraciones de este proceso. Los valores de *n*tree oscilaron entre 150 y 456 árboles. El *nodesize* fluctuó entre 1 y 8. Los *maxnodes* variaron entre 5 y 21. En el caso del *mtry* se probaron diferentes combinaciones de covariables predictoras, como se mencionó anteriormente; los valores de *mtry* oscilaron entre 1 y 12. El RMSE fluctuó entre 5,987.77 y 6,825.35. Para elegir el modelo RF de regresión se utilizó el error cuadrático medio (MSE por sus siglas en inglés) y la raíz cuadrada del RMSE (por sus siglas en inglés) debido a que está en la misma escala que la variable respuesta y es más interpretable (Rhys 2020). Los hiperparámetros que mostraron los rendimientos más precisos fueron *n*tree con 163 árboles, *mtry* con 10 variables predictoras, *nodesize* de uno, *maxnodes* de 8 y un RMSE de 5,987.77.

Las variables abióticas (temperatura superficial marina, salinidad, pH y oxígeno), bióticas (clorofila-a) y geográficas (coordenadas latitud, longitud y oblicuas) que se utilizaron en el modelo RF se muestran en la siguiente grafica (Figura 23) desde la más importante hasta la menos importante, en términos de los resultados del modelo. Mediante el modelo RF espacial se identificó la relación entre la clorofila-a (*chl*a) y la variable respuesta NASC (frecuencia de 38 kHz). La clorofila-a fue la variable más importante seguida por la distancia a la costa, latitud (*pi*0.50) y las coordenadas con un ángulo de 60 grados (*pi*0.33), posteriormente el oxígeno (*oxige*) y la salinidad (*sal*).

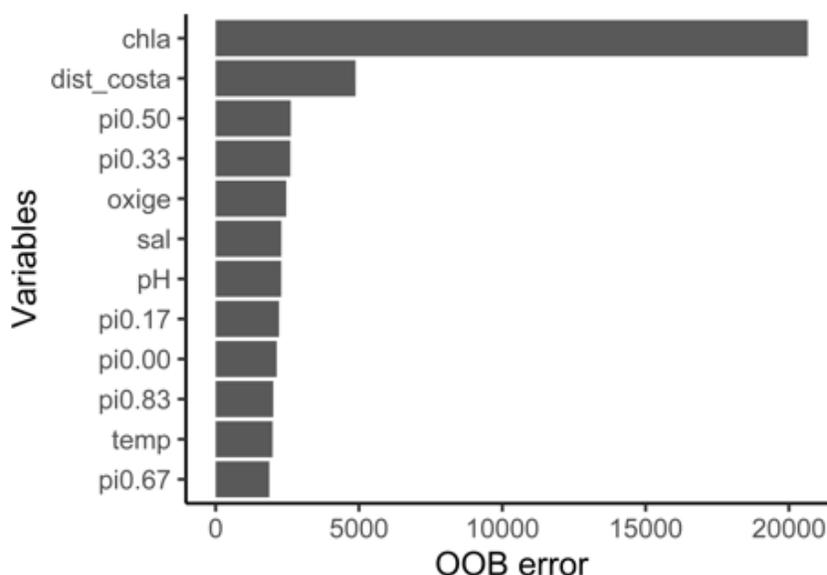


Figura 23. Importancia de las variables para la predicción espacial del NASC. Incremento medio del error entre los árboles del bosque. OOB error fue dividido entre 1000000. Clorofila-a (*chl*a) latitud (*pi*0.50), las coordenadas con un ángulo de 60 grados (*pi*0.33), oxígeno (*oxige*) y la salinidad (*sal*).

El modelo RF espacial mostró la relación existente entre el NASC, las variables bióticas, abióticas y geográficas en el área de estudio. La interacción entre estas variables, en especial la clorofila-a y distancia costa permitió generar predicciones de peces en el área de investigación. La predicción espacial del modelo mostró que las mayores densidades de peces se encuentran desde la parte este de Mazunte hasta el sur de Salina Cruz, así como en mar adentro del estado de Oaxaca. En el caso del estado de Chiapas, las predicciones más elevadas de NASC se observaron desde Puerto Arista hasta el sur de Pijijiapan, además al sur de El Arenal (Figura 24).

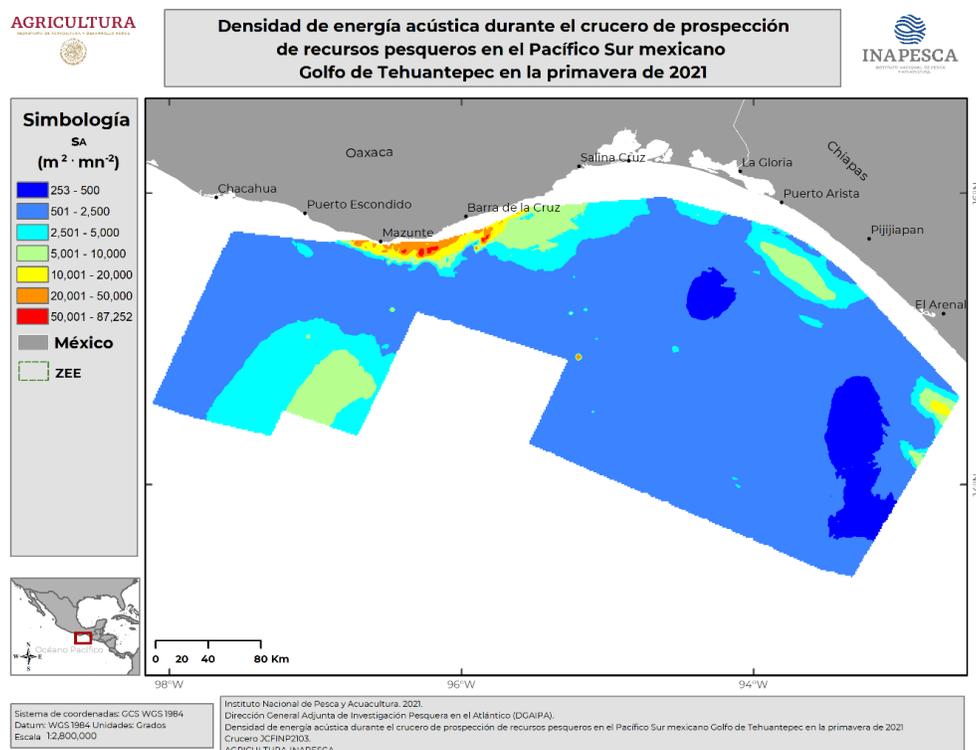


Figura 24. Predicción de distribución de energía acústica de acuerdo con el modelo Random Forest implementado con las diferentes variables ambientales.

7.1.14 Ecointegración y variables ambientales

7.1.14.1 Clorofila-a

En la descripción de esta variable se tomó la clasificación de Bricaud *et al.* (2004); cantidad de chl_a mg/m³ (estado trófico dominante): 0.039-0.236 (oligotrófico), 0.254-1.44 (mesotrófico); > 1.44 (eutrófico). La distribución superficial de la clorofila-a obtenida de imágenes satelitales mostró que a partir del comienzo del cuarto transecto hacia el centro del Golfo de Tehuantepec hubo valores superiores a 0.5 mg/m³ (mesotrófico). En la parte suroeste del golfo, las condiciones fueron eutróficas (parte central del transecto 11 y 12). Por el contrario, en las inmediaciones del transecto 1 y 2 así como en la parte central de los transectos 19 y 20 las condiciones fueron oligotróficas. La clorofila-a varió entre 0.15 y 8.36 mg/m³ con un promedio de 0.67 y mediana de 0.47 mg/m³. En la zona

donde se presentó el máximo valor de chl_a (8.36 mg/m^3) la ecointegración fue de $42314.7 \text{ m}^2 \cdot \text{mn}^2$ localizado al este de Puerto Ángel, Oaxaca. Por otro lado, en el sitio (entre Mazunte y Barra de la Cruz) donde se registró el valor más alto de s_A ($117210.9 \text{ m}^2 \cdot \text{mn}^2$) la clorofila fue de 7.75 mg/m^3 .

7.1.14.2 Temperatura superficial marina

La distribución de la temperatura superficial marina obtenida a partir de imágenes satelitales durante el periodo de estudio mostró una surgencia ($<27.5^\circ\text{C}$) provocada por los tehuanos. En la parte este y oeste del golfo las temperaturas superficiales fueron superiores a 29°C (Figura 25). En el recorrido de la prospección la temperatura varió entre 26.78 y 29.87°C , con un promedio de 28.59°C y mediana de 28.85°C . En la zona donde se registró el valor más elevado del s_A ($117,210.91 \text{ m}^2 \cdot \text{mn}^2$) la temperatura superficial fue de 28.47°C .

7.1.14.3 Anomalía de la temperatura superficial marina

En mar abierto se detectaron condiciones templadas (menor a -0.5°C) respecto al promedio de los años 2003-2021. Por el contrario, en los inicios de los transectos uno al cuatro, así como en una lengüeta que parte de la localidad Santa Gertrudis rumbo al sureste se detectaron condiciones ligeramente cálidas ($>0.5^\circ\text{C}$) mientras que en el resto de la zona de estudio las características fueron normales (Figura 25).

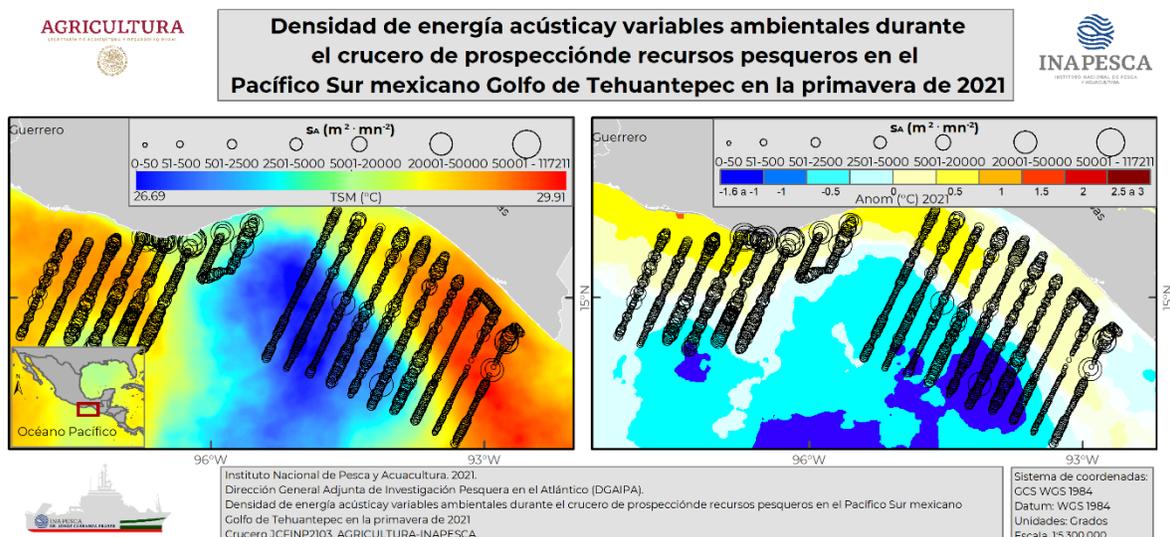


Figura 25. Densidad de energía acústica, temperatura y anomalía de la temperatura superficial marina.

7.1.14.4 Índices climáticos

Durante el periodo de estudio (primavera de 2021) las características ambientales y marinas en el Pacífico tropical (región Niño 3.4) correspondieron a un evento La Niña debido a que la temperatura estuvo por debajo del promedio (-0.82°C marzo, -0.75°C abril) como lo indica el índice ONI, así como el valor del índice MEI (-0.8 marzo, -1 abril).

7.2 Oceanografía pesquera

Durante el crucero se obtuvieron 67 mediciones con CTD y 61 arrastres con red Bongo, el número diferente fue debido a la cancelación de 17 lances de red a causa de un evento de vientos tehuanos y condiciones adversas de marejada. También se obtuvieron 92/111 muestras CUFES (83%) de las cuales se contabilizaron más de 98 mil individuos. Alternativamente se generaron 14 archivos de texto del termosalinómetro; un archivo de texto de la estación meteorológica por día dentro del periodo del crucero y cuatro archivos por estación oceanográfica, generados con el perfilador de corrientes marinas.

7.2.1 Densidad de muestreo oceanográfico pesquero

En total se realizaron 67 estaciones oceanográficas (EO) durante el crucero. La densidad de muestreo fue distribuida en todos los ambientes submarinos, prácticamente en un 25% desde costa a planicie abisal, considerando plataforma continental y talud. El fenómeno atmosférico predominante fueron los vientos tehuanos, principalmente al final de la primera parte. Se observaron panoramas distintos en la primera parte en donde los remolinos influyeron en la distribución de zooplancton. En la segunda parte, los eventos a mesoescala influyeron en la distribución de propiedades de la columna de agua y distribución de zooplancton, solamente en la zona cercana al “túnel de vientos tehuanos” frente al puerto de Salina Cruz, el cual influyó en la superficie de la región más profunda. Enseguida se describen los perfiles y secciones verticales, las superficies y diagramas T-S correspondientes. Debido a las diferencias observadas entre ambas etapas del crucero, éstas fueron separadas entre sí, con el fin de evitar problemas de interpolación entre etapas. Los resultados se complementan con un análisis exploratorio de datos para zooplancton y análisis de componentes principales. También se incluye un análisis exploratorio de datos para las muestras donde fue identificado fitoplancton. Por último, se agregan mapas de satélite para clorofila, topografía dinámica y profundidad de capa de mezcla obtenida del Servicio Marino Copernicus (Programa de observación de la Tierra de la Unión Europea): <https://resources.marine.copernicus.eu/>

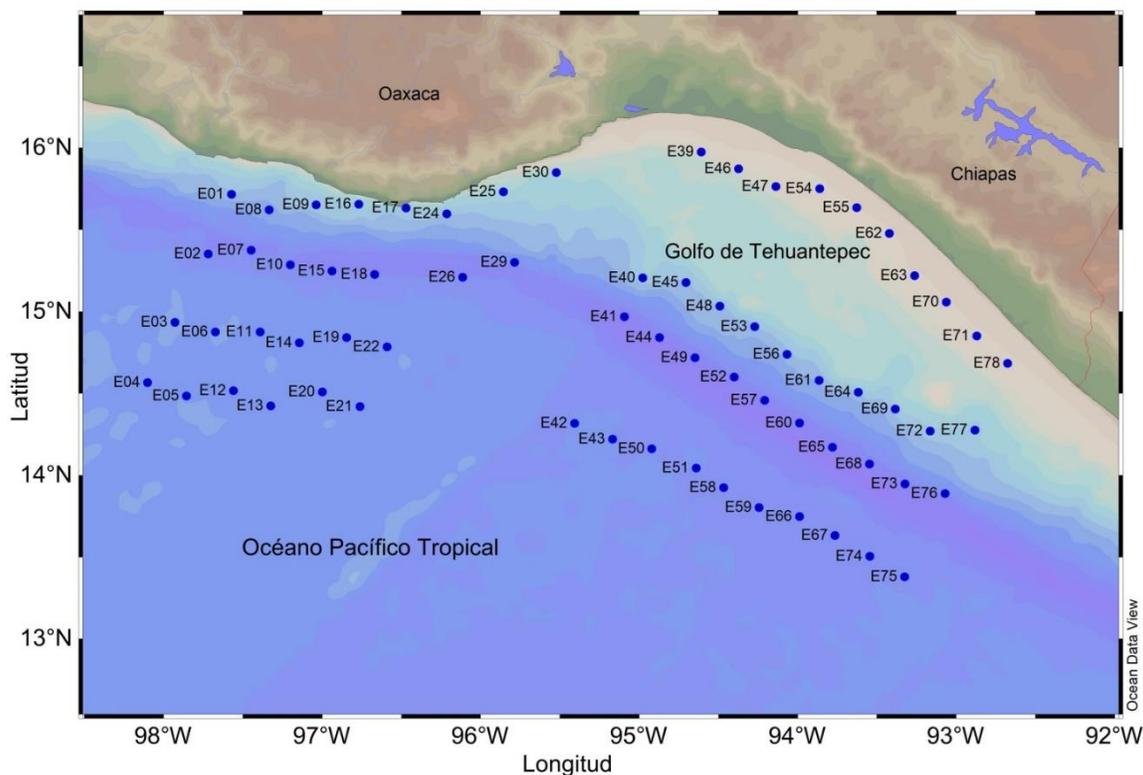


Figura 26. Densidad de muestreo en el crucero JCFINP/21-03 Pacífico sur mexicano. Estaciones de oceanografía (puntos).

7.2.2 Perfilador CTD

7.2.2.1 Perfiles verticales Primera y Segunda etapas.

En la primera etapa se identificaron regiones con gradiente termohalino contrastante. La primera región estuvo ubicada al oeste de Oaxaca sobre los transectos #1 y 2, donde el gradiente termohalino tiene fuerza intermedia de T en el intervalo 30 a 15°C de la superficie y 100 m de profundidad. La salinidad aumenta en esta capa de 100 metros de espesor, de 34.48 a 34.57 UPS. La segunda región fue observada en la zona oceánica de los transectos #3 a 5. Ahí disminuyó la fuerza del mismo gradiente termohalino pero hasta una profundidad de 150 metros desde la superficie. Esta región fue identificada en las estaciones #12 a 14 y 19 a 22. En esta zona oceánica la salinidad disminuyó 0.3 UPS, de 34.8 a 34.5 UPS entre la superficie y 50 metros de profundidad, pero aumentó hasta 34.56 UPS en la capa inferior de agua de 100 metros de espesor, llegando hasta 150 metros de profundidad. La tercera región fue costera, específicamente registrada en la costa desde Puerto Ángel hasta Salina Cruz, Oaxaca. Esta zona la conformaron las estaciones 16, 24, 25 y 30, con un gradiente termohalino muy fuerte, disminuyendo la temperatura de 24 a 13°C en una delgada capa de 50 metros a partir de la superficie y con un aumento de salinidad de 34 a 34.7 UPS, de esta forma, se observó que en la zona costera señalada la salinidad cambió de una salinidad mínima general a una salinidad máxima regional.

Respecto al oxígeno disuelto (OD) en el agua de mar y a la clorofila, en la primera región al oeste del área de estudio, el gradiente de la oxiclina fue intermedio bajando a condiciones subóxicas y anóxicas a menos de 100 metros de profundidad. En la segunda región el OD mostró también un gradiente de la oxiclina más fuerte pero las condiciones subóxicas y anóxicas sumergieron la oxiclina hasta 150 metros de profundidad de la zona oceánica. En la tercera región el gradiente fortalece la oxiclina disminuyendo los niveles de OD al mínimo subóxico y anóxico en menos de 50 metros de profundidad.

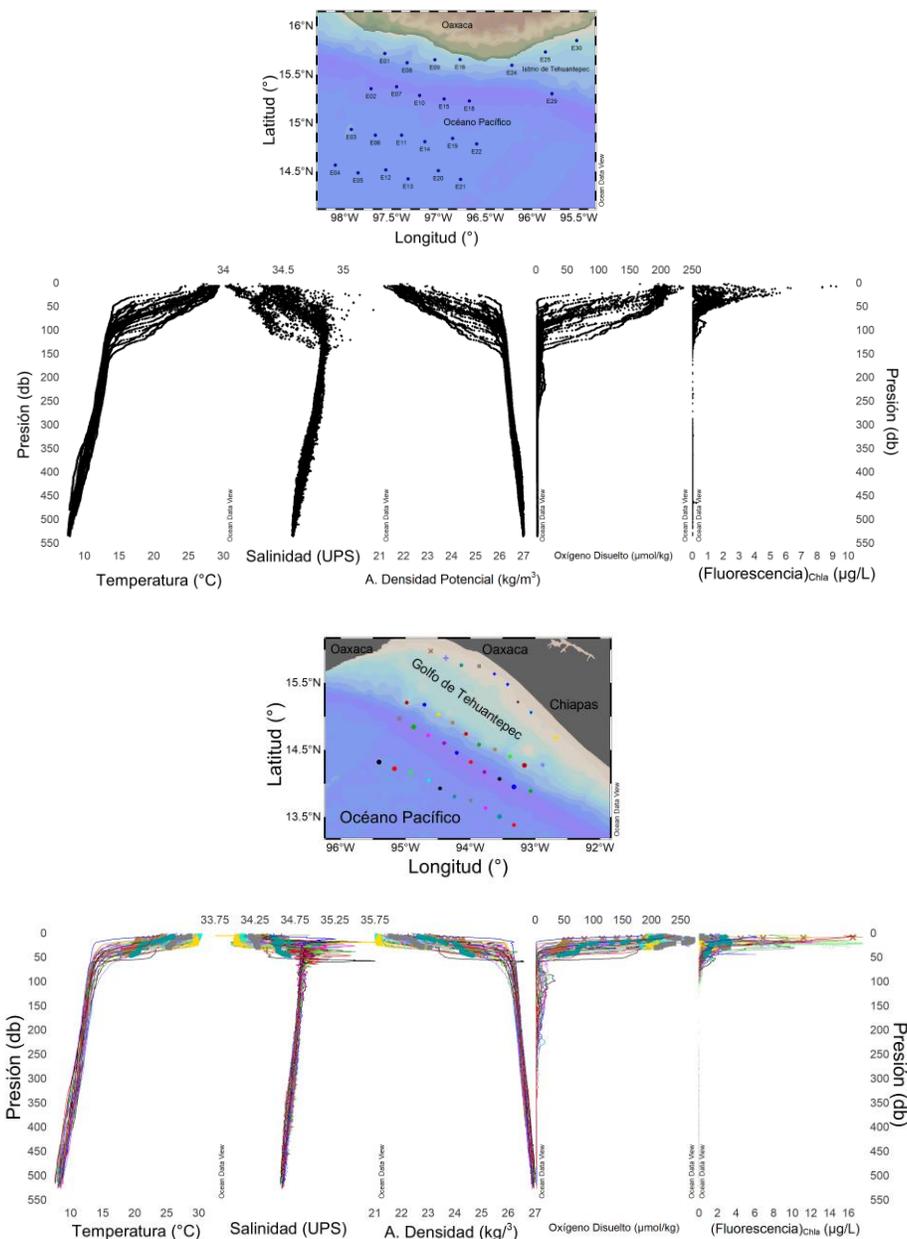


Figura 27. Perfiles verticales del crucero JCFINP/21-03 Pacífico sur mexicano. Primera (superior) y segunda (inferior) etapas. Estaciones de oceanografía (puntos).

En la segunda etapa se observó un contraste evidente en la geometría del perfil de salinidad respecto al primer periodo que influye en la distribución vertical de densidad, oxígeno y clorofila. Los cambios más drásticos ocurrieron a 50 metros en la costa y hasta 125 metros de profundidad conforme creció la distancia a la costa hasta la zona oceánica. La costa de la región de la segunda etapa mostró una salinidad relativamente mayor en Oaxaca que en Chiapas donde los valores fueron más bajos en un intervalo regional entre 34 a 34.75 UPS. En la zona marina de la plataforma justo al inicio de la pendiente continental la salinidad tendió a aumentar a valores “promedio” de 35 UPS, con una tendencia similar a la observada en la costa de Oaxaca, donde la salinidad fue relativamente mayor, mientras en Chiapas fue la menor desde 34 a 35 UPS pero, conforme se avanzó de norte a sur en la pendiente se presentaron picos extremos hacia salinidades mayores de 35 UPS, ocurriendo valores hasta de 35.75 UPS. Esta tendencia se mantuvo en los puntos paralelos a la costa de las zonas de la base del talud continental y abisal. El mayor valor de salinidad ocurrió en dos máximos de salinidad, el primero en la estación #42 ubicada en la zona abisal, a una profundidad de 125 metros de profundidad y en la EO#48 ubicada en el quiebre de la plataforma continental. En estas estaciones se observaron niveles máximos de oxígeno disuelto y mayores de clorofila. En general, la distribución vertical de OD presentó un fuerte gradiente que reducía los niveles de oxígeno a condiciones subóxicas y anóxicas incluso, en los primeros 50 metros de profundidad, dentro de un intervalo de 250 a 10 micromoles por kilogramo. Esta distribución contrasta con la observada en la primera etapa. En cuanto al perfil de clorofila, superó hasta en cinco unidades más al distinguido en la primera etapa, llegando hasta 16 microgramos por litro de fluorescencia. La costa oaxaqueña mostró los valores más altos a diferencia de la chiapaneca. Aunque la distribución de la clorofila mostró un comportamiento regular de mayores concentraciones en la costa y mucho menores en el océano, la distribución en la zona de estudio de la segunda etapa fue anómala en donde los máximos de clorofila se encontraron en las estaciones ubicadas en la pendiente y hasta en la zona abisal. Esta distribución se observó en los primeros tres transectos de la segunda etapa, correspondiendo a los transectos 12 a 14 establecidos en el plan de crucero. Otra característica es que en la zona costera de estos transectos, los valores fluctuaban intermitentemente entre bajos y altos, aparentemente como pulsos.

7.2.2.2 Perfil vertical OD-Especiación

En la *Figura 28* se muestra la dispersión de oxígeno disuelto y especiación para caracterizar a qué masas de agua se asocian los niveles de OD. Sin embargo, también este gráfico es útil para distinguir la distribución de las masas de agua en las dos etapas del crucero JCFINP21-03. Los rasgos contrastantes entre ambas etapas se hacen evidentes en los gráficos mostrando que bajo la termoclina más alta especiación se correlaciona con más bajo OD, con un gradiente más fuerte en la segunda etapa que en la primera.

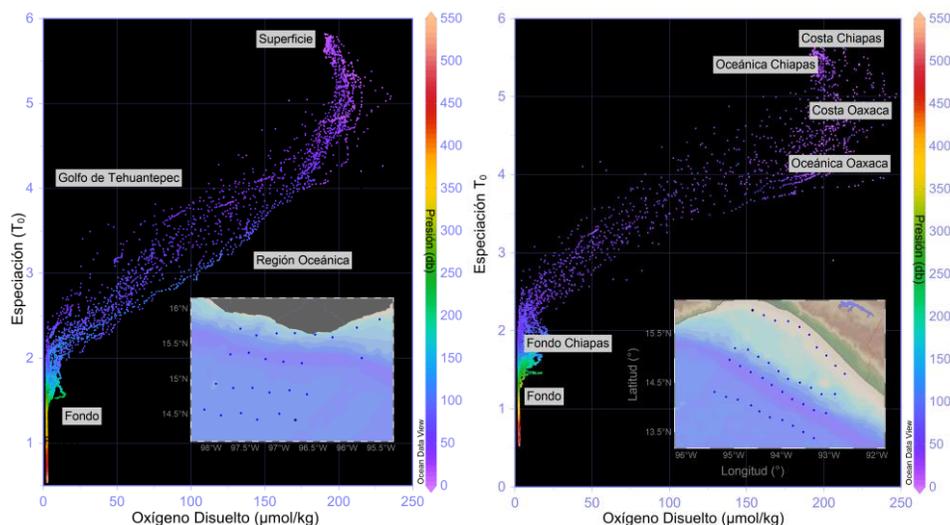


Figura 28. Comparación de dispersión de OD vs. especiación entre la primera (izquierda) y segunda (derecha) etapas. Estaciones de oceanografía (puntos).

7.2.2.3 Diagramas T-S-+

En los diagramas T-S-OD se muestra la distribución de tres masas de agua principales: Agua Ecuatorial Superficial –AES–; Agua SubTropical Subsuperficial –ASTSs– y Agua Intermedia del Pacífico (no señalada).

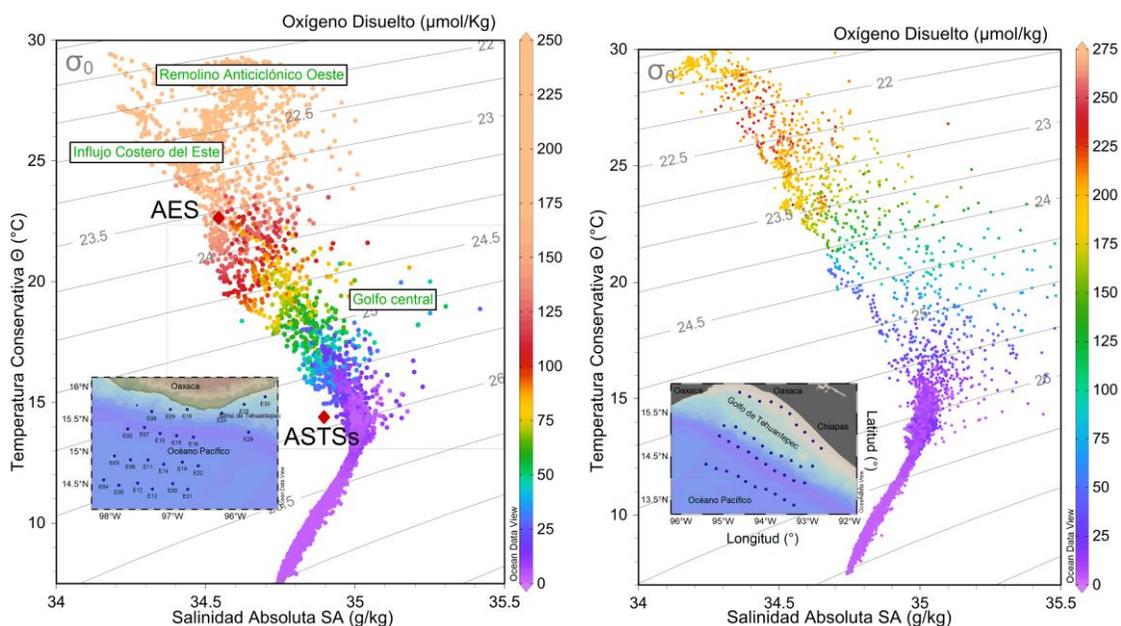


Figura 29. Diagramas T-S-OD entre la primera (izquierda) y segunda (derecha) etapas. Estaciones de oceanografía (puntos).

Además, los diagramas T-S-OD fueron útiles para observar la diferente distribución de las capas de agua superficiales, principalmente en la primera etapa, donde se puede

distinguir entre el influjo costero del Este y la influencia de un remolino anticiclónico. En la sección de imágenes de satélite correspondiente a la topografía dinámica, fue posible observar la ubicación de los procesos a mesoescala que influyeron en el periodo de la primera etapa.

7.2.2.4 Superficies de distribución

En la distribución superficial de las variables ambientales en ambas etapas también son contrastantes entre sí mostrando una transición específica y particular en la zona marina frente a Salina Cruz, Oaxaca. En la primera etapa los cambios de distribución fueron paralelos a la costa, mientras que en la segunda fueron perpendiculares a la costa. La temperatura de las áreas previa y posterior a la zona frente al Puerto de Salina Cruz, Oaxaca es mayor e incluso con dos máximos de 30°C, uno costero de Puerto Ángel y otro oceánico en la EO#4 del primer transecto, mientras que en la región central del Istmo (frente a Salina Cruz), la temperatura presentó mínimos entre 23 y 24°C respecto a cada etapa. La superficie con temperatura mínima se extendió hacia mar abierto en dirección suroeste en la primera etapa y mostró una lengüeta de temperatura intermedia de ~27°C. Mientras que en la segunda etapa, la temperatura se extendió en dirección norte a sur, perpendicular a la costa, desde la costa hasta mar abierto, prácticamente en la zona oaxaqueña y aumentando hacia la zona chiapaneca hasta casi 30°C.

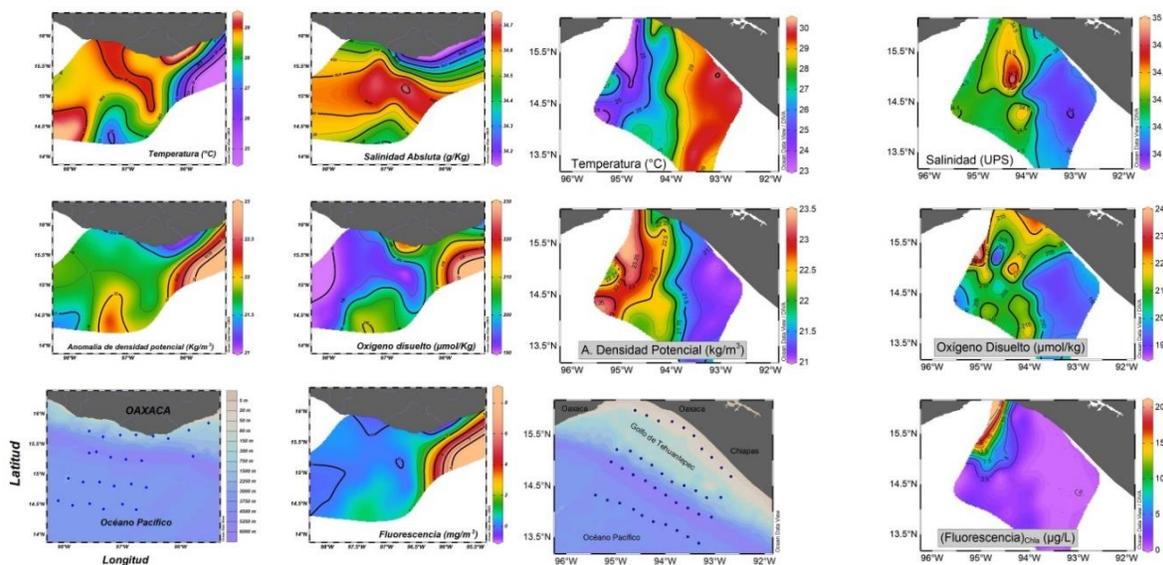


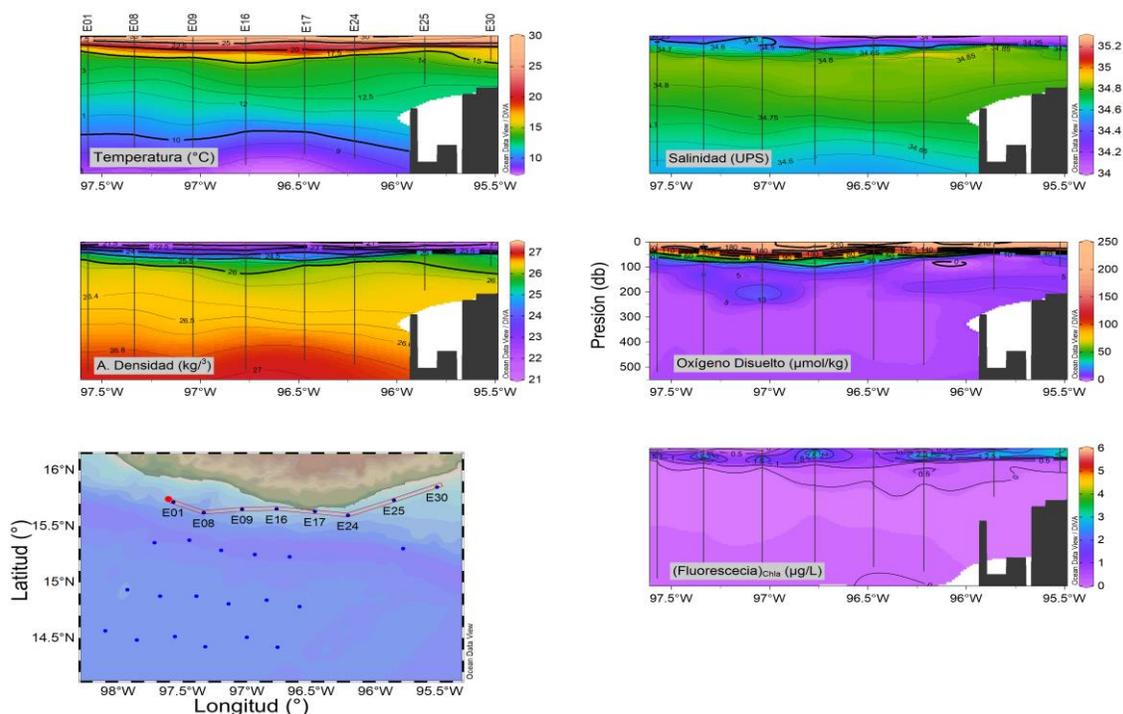
Figura 30. Distribución superficial de variables ambientales de la primera (izquierda) y segunda (derecha) etapas. Estaciones de oceanografía (puntos).

Respecto a la distribución de la salinidad en la primera etapa el gradiente aumenta de la costa del Golfo de Tehuantepec, haciendo frontera costera al norte de Puerto Escondido, Oaxaca. De ahí la salinidad aumenta hasta 0.3 UPS entre la zona del quiebre de la pendiente y la base del talud continental, para después disminuir nuevamente 1.5 UPS. En la segunda etapa la distribución es distinta, disminuye hasta 1 UPS, de 34 a 35

UPS, desde el Istmo de Tehuantepec a Chiapas, perpendicularmente a la costa, con un lente máximo en el quiebre de la plataforma continental entre el segundo y tercer transecto. En ambas etapas la densidad se comportó en base a la distribución de la temperatura superficial. El oxígeno disuelto en la primera etapa aumenta hacia el Golfo de Tehuantepec, mientras que en la segunda etapa disminuye hacia Chiapas. Se observó una lengüeta de OD de concentraciones intermedias mayores a $190 \mu\text{mol/kg}$, asociado a baja temperatura (27°C) y salinidad entre 34.4 y 34.5 UPS. Los máximos de OD ocurrieron en la zona frente al Puerto de Salina Cruz, Oaxaca en ambas etapas. En la segunda etapa se observaron dos núcleos pequeños de OD, uno en la costa oaxaqueña entre el segundo y tercer transecto y en la zona entre el quiebre de la plataforma continental y el talud. El comportamiento de distribución de la fluorescencia es muy similar al del OD, aunque mucho más determinado a la franja perpendicular frente al Puerto Salina Cruz, Oaxaca.

7.2.2.5 Secciones verticales

Costera



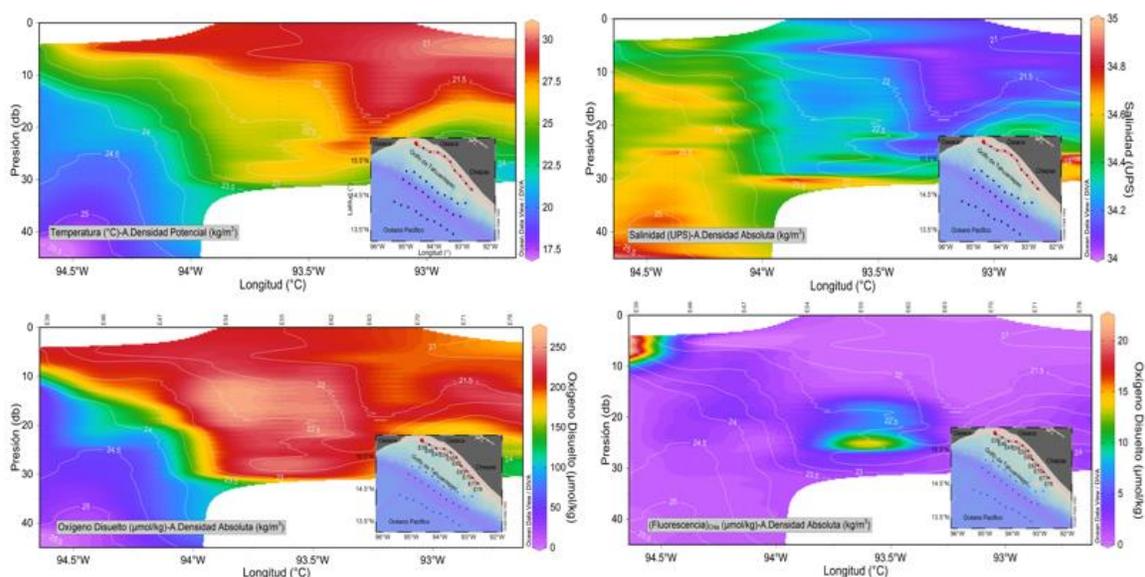


Figura 31. Secciones verticales de la costa, de variables ambientales de la primera (superior) y segunda (inferior) etapas. Estaciones de oceanografía (puntos).

Las secciones verticales de las variables ambientales de ambas etapas también son contrastantes. En la primera etapa, la temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y fluorescencia mostraron estratificación, mientras que en la segunda etapa, la T, S y OD, mostraron una distribución con fronteras casi verticales entre concentraciones y determinadas por una capa de masa de agua con densidad 24 kg/m^3 . Los intervalos fueron relativamente similares entre ambas etapas: T (17 – 30°C); S (34-35 UPS) y OD (0-250 $\mu\text{mol/kg}$). El OD tuvo una distribución muy similar a la temperatura. No así la fluorescencia, misma que en la primera etapa ocurre intermitentemente en una estación costera si, en otra no, en concentraciones relativamente bajas, entre 2 a 3 $\mu\text{g/L}$ pero en la segunda etapa, ocurrió un máximo general mayor a 20 $\mu\text{g/L}$ en la superficie de la EO#39, muy cercana a la costa y después de la influencia de una racha fuerte de vientos tehuanos. Otro máximo mayor a 10 $\mu\text{g/L}$ se observó a 25 metros de profundidad en la EO#55

Talud

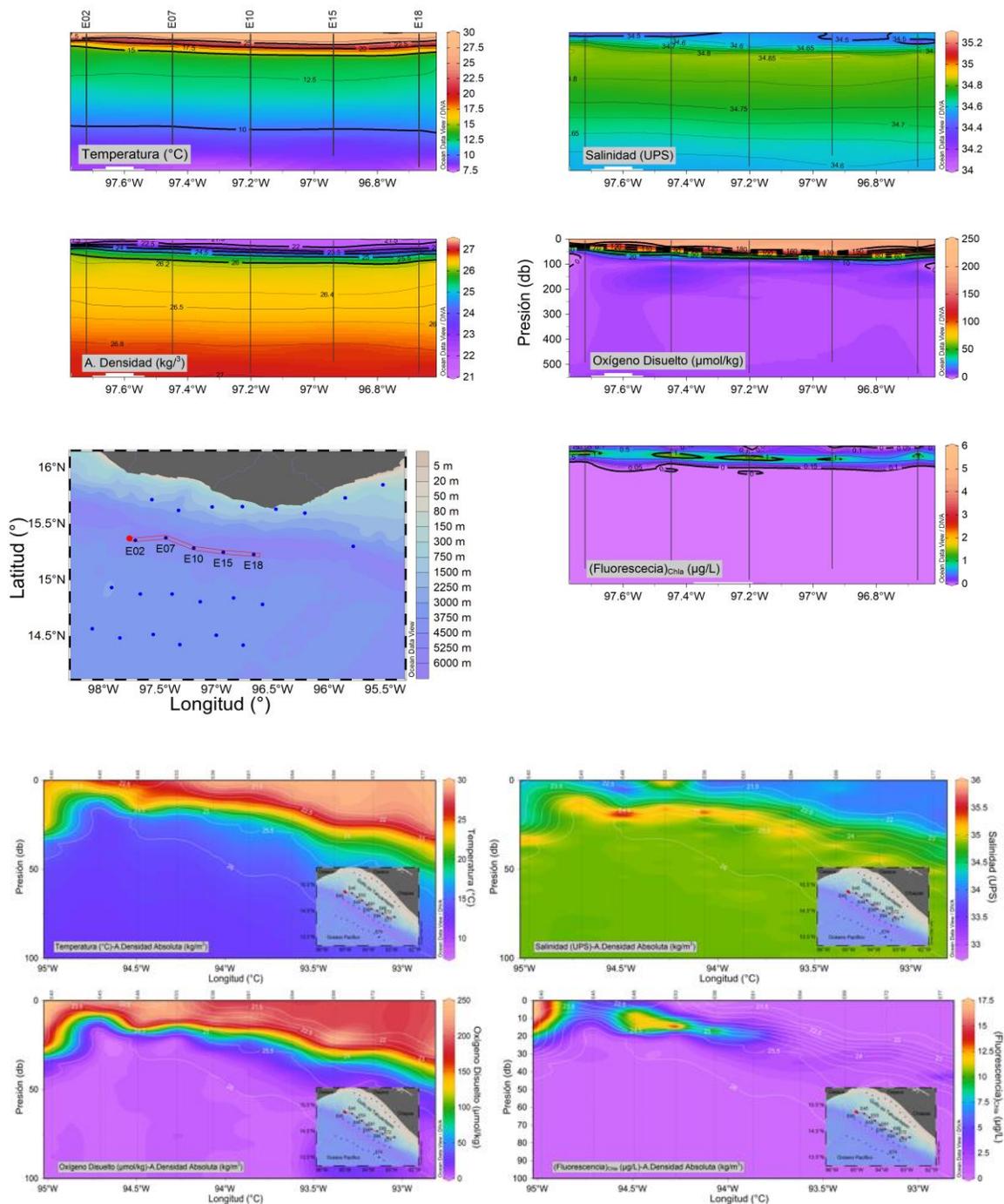


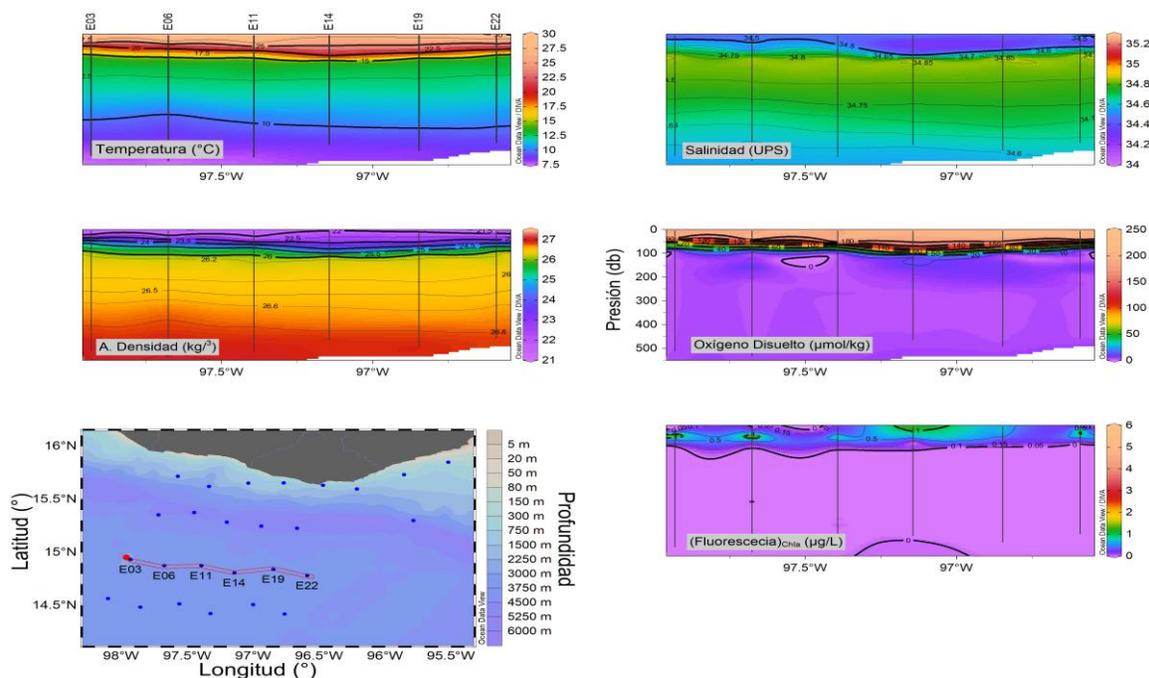
Figura 32. Secciones verticales del talud continental de variables ambientales de la primera (superior) y segunda (inferior) etapas. Estaciones de oceanografía (puntos).

La sección del talud continental fue similar al descrito para la costa en cuanto a la estratificación de los parámetros en la superficie y hasta 50 metros de profundidad en la

primera etapa pero, en la segunda etapa la distribución vertical de los gradientes se mostró con una tendencia a la estratificación, con los gradientes de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fluorescencia más fuertes en la zona cercana al Puerto de Salina Cruz y más debilitados hacia Chiapas. Los gradientes en general fueron observados esencialmente a 25 metros de profundidad en Oaxaca y a 50 metros en Chiapas. Las secciones marinas y oceánicas fueron solo graficadas hasta 100 metros para enfatizar sobre los procesos superficiales, en donde se observaron los cambios bruscos de los parámetros. La fluorescencia fue el único parámetro con una distribución peculiar en la segunda etapa sobre todo. En esta sección del talud también se observó un máximo superficial (17.5 $\mu\text{g/L}$) enfrente del Puerto de Salina Cruz en la EO#40 y un lente de concentración mayor a 10 $\mu\text{g/L}$.

Marina

La distribución vertical en la sección marina (zona inferior del talud continental) fue relativamente similar a lo descrito anteriormente para ambas etapas: estratificación superficial en la primera etapa y tendencia al restablecimiento de la estratificación en la segunda etapa respecto a la T, S y OD, con un comportamiento peculiar de la fluorescencia con núcleos o lentes “hundidos” entre 10 y 30 metros con aparente influencia de la temperatura y la salinidad, en la capa de densidad de 25 kg/cm^3 . La característica de los lentes es la alta concentración de fluorescencia. En este caso, la EO#41 con 10 $\mu\text{g/L}$ a 20 metros de profundidad; en la EO#44 también con 10 $\mu\text{g/L}$, a 10 metros y en la EO#65 con 15 $\mu\text{g/L}$ a 20 metros de profundidad.



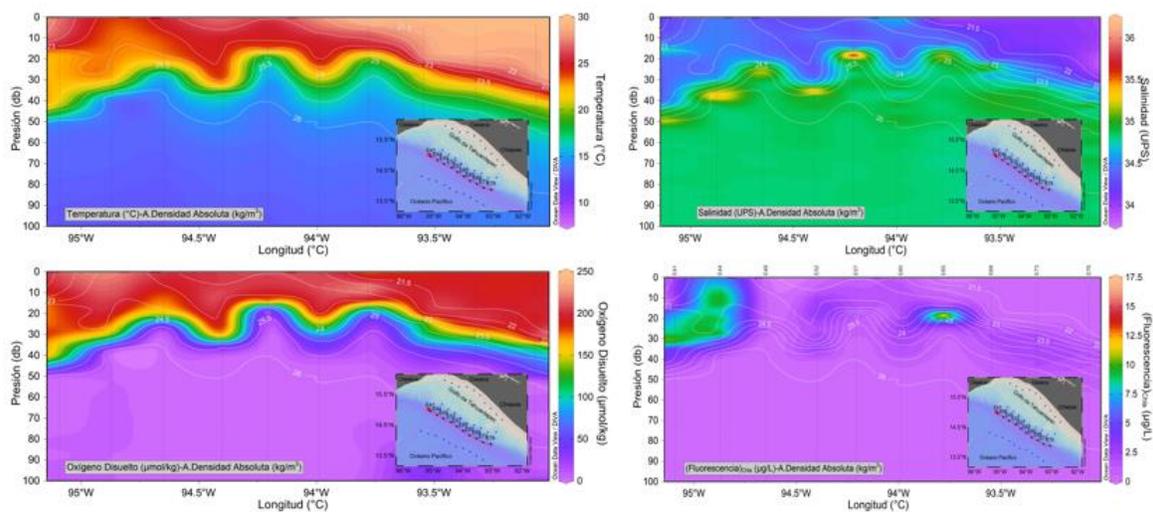


Figura 33. Secciones verticales marinas de variables ambientales de la primera (superior) y segunda (inferior) etapas. Estaciones de oceanografía (puntos).

Oceánicas

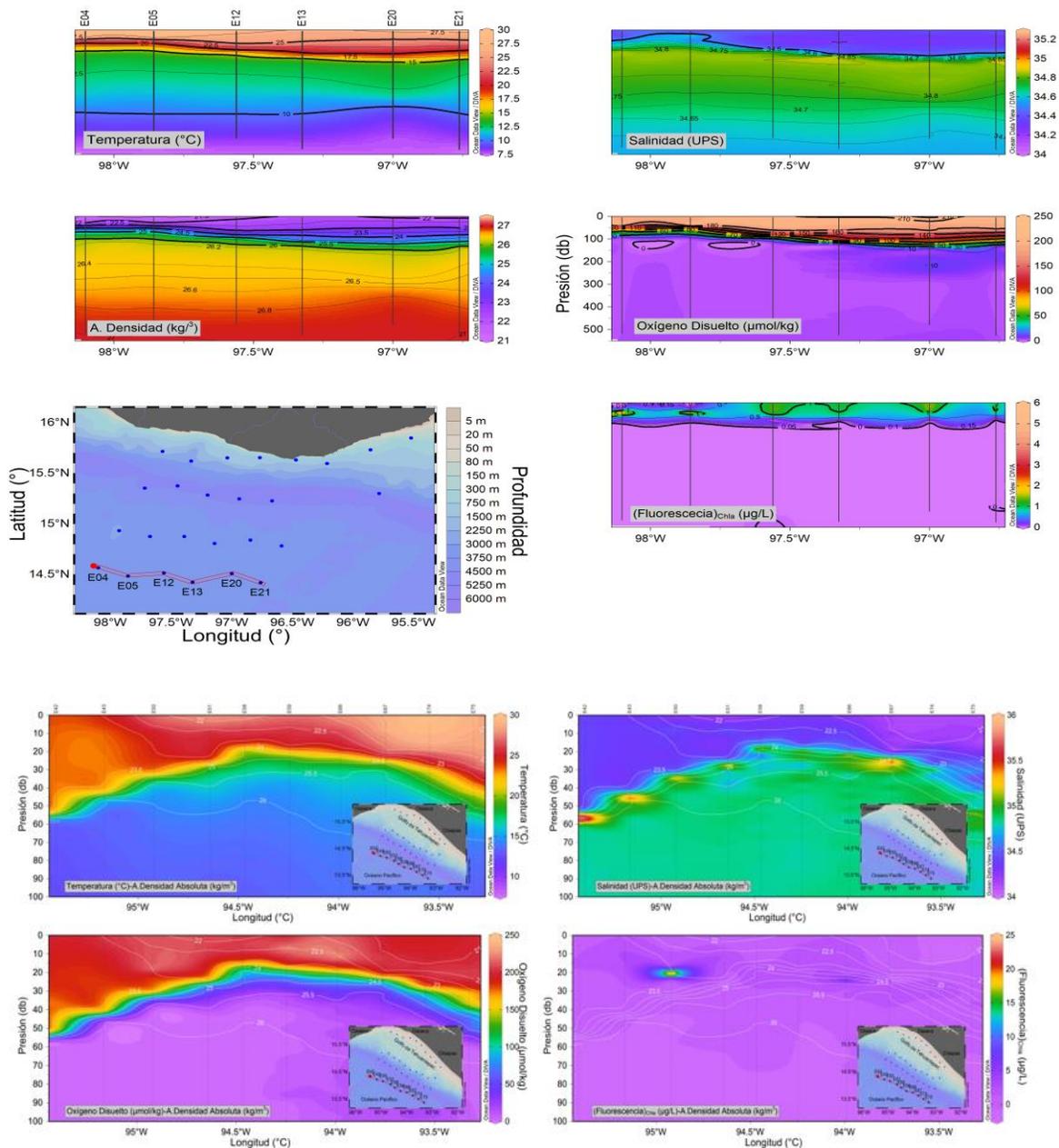


Figura 34. Secciones verticales oceánicas de variables ambientales de la primera (superior) y segunda (inferior) etapas. Estaciones de oceanografía (puntos).

La distribución de los parámetros ambientales en la región oceánica mostró un patrón de comportamiento similar a lo descrito en las secciones anteriores, tanto en la primera como en la segunda etapa. La particularidad en la región oceánica consistió en que el espesor de la capa superficial se ubicó desde 25 hasta 50 metros de profundidad, donde se observó la correlación entre las distribuciones de T, S y OD, básicamente



determinada por la capa de 24 kg/m^3 de densidad. En esta zona, también la fluorescencia se distribuyó en lentes, solo se observó un lente de concentración mayor a $15 \mu\text{g/L}$ en la EO#50. Específicamente en esta sección oceánica, la salinidad también se distribuyó con lentes de mayor salinidad ($>35.5 \text{ UPS}$) en las EO# 42-43, 50-51 y 58, con mayor profundidad (60 metros) las primeras dos y en aumento hasta un umbral ubicado a 20 metros de profundidad. Y un último lente de 35.5 UPS en la estación #67 a 30 metros de profundidad.

7.2.3 Termosalinómetro

La distribución superficial de los parámetros ambientales obtenidos a través de muestreo con CTD a una densidad de muestreo menor al muestreo de alta densidad logrado con el termosalinómetro, aunque es similar, con los registros discretos de CTD, no fue posible observar la estructura obtenida con la alta resolución del termosalinómetro. Enseguida se describe el comportamiento superficial de la temperatura, salinidad, densidad y fluorescencia, separando primera y segunda etapas.

El gradiente de temperatura observado en la zona continental antes del Golfo de Tehuantepec, disminuye de costa a océano, en la última parte del séptimo transecto, ya dentro del Golfo de Tehuantepec y en dirección Este, frente a Salina Cruz, Oaxaca, la temperatura disminuyó a 24°C . Aunque este comportamiento es un tanto similar al de la distribución superficial de la salinidad, el gradiente halino mostró dos lengüetas de baja salinidad relativa. El primero y de menor fuerza, fue el oceánico, con la misma geometría mostrada por la temperatura, aunque abarcando una mayor área, entre los nodos de los transectos 4, 5 y 6. La segunda estructura fue costera empezando desde antes de Puerto Ángel, y extendiendo su parte más ancha, hacia toda la costa hasta Salina Cruz. Una distinción más de la salinidad es una pequeña porción de salinidad máxima relativa, fuera de costa pero ya dentro del Golfo de Tehuantepec. La densidad, también mostró una distribución similar a la de la salinidad. En cuanto a la fluorescencia fue posible puntualizar dos máximos de clorofila y un mínimo general. Los máximos de fluorescencia ocurrieron en la misma zona de los máximos de temperatura y salinidad en la región oceánica. Básicamente en los nodos del tercer y cuarto transecto y sobre el intertransecto que conectó estos recorridos. El otro máximo se dispersó en una amplia zona del medio del sexto transecto. La región con nula concentración de fluorescencia ocurrió desde el nodo costero del sexto transecto, el intertransecto y todo el séptimo transecto, abarcando la zona frente al Puerto de Salina Cruz, Oaxaca.

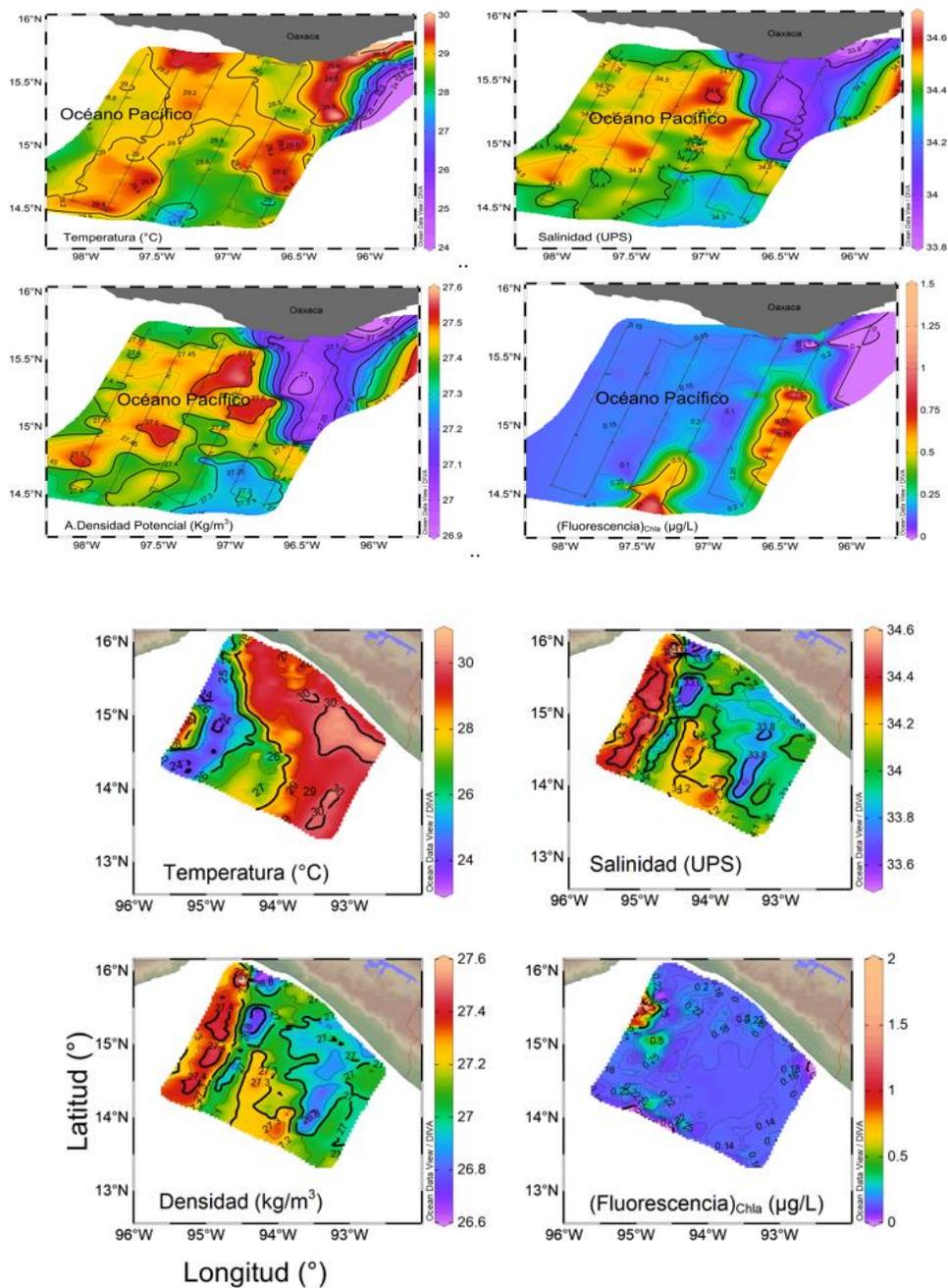


Figura 35. Superficies de distribución de variables ambientales obtenidas con termosal, de la primera (superior) y segunda (inferior) etapas. Estaciones de oceanografía (puntos).



7.2.4 Zooplancton

7.2.4.1 CUFES

Se identificaron 22 grupos de zooplancton, 6 conforman más de 95% de los grupos más abundantes, 10 grupos casi 4% y el resto estuvo conformado con grupos raros que aparecieron ocasionalmente bajo ciertas condiciones ambientales.

La abundancia y diversidad del grupo mayoritario (95% - Figura 36) mostró una dominancia de copépodos, prácticamente en toda la primera y segunda etapa, excepto en las muestras 33 y 34 de la primera etapa, donde los eufáusidos se presentaron en mayor porcentaje que los copépodos. Una pequeña proporción estuvo conformada por quetognatos, radiolarios, isópodos y huevos de peces. Los eufáusidos ocurrieron únicamente y en mayor proporción en estas estaciones en donde las condiciones de vientos tehuanos empezaron a manifestarse en el primer periodo del crucero. En la segunda etapa, también aparecieron discrecionalmente en casi todas las estaciones, aumentando su proporción dentro del ensamble de grupos, desde la muestra 52 hasta la 100. Específicamente, en las muestras 61, 68, 71 a 73 y 96 su proporción fue incluso mayor a los copépodos. Otros dos grupos que ocurrieron en ambas etapas fueron los quetognatos e isópodos, al parecer, en condiciones en las que los vientos no influyeron en la distribución. Los radiolarios y los huevos de peces estuvieron presentes en las primeras muestras de la primera etapa, en algunas de la segunda etapa, incluso con un máximo de huevos de peces en la muestra 110. Las muestras con mayor abundancia en la primera etapa fueron las 33 y 34, mientras que en la segunda etapa hubo máximas de muestras casi exclusivamente de copépodos, específicamente la 74 con cerca de 6,000 individuos. Se observaron ensambles con alta biodiversidad incluyendo los seis grupos dominantes, aunque en abundancia menor a 1,000 individuos en conjunto en ambas etapas, en las muestras de la 8 a la 32 (primera etapa) antes de que influyeran los vientos tehuanos en la distribución. Los ensambles de mayor biodiversidad en la segunda etapa, prácticamente estuvieron ubicadas en los últimos transectos, donde la influencia de los vientos tehuanos no tuvo incidencia.

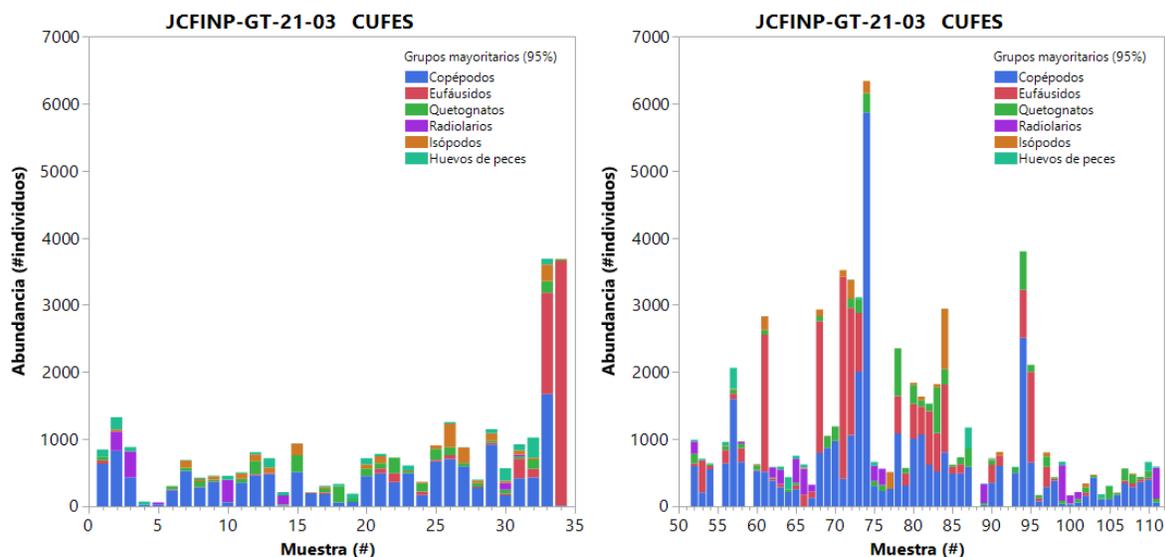


Figura 36. Abundancia y diversidad de zooplancton, grupos mayoritarios (95%) en muestras de cufes 1ra etapa (izquierda) y 2da etapa (derecha).

Respecto al grupo minoritario (Figura 37), conformado por decápodos, pterópodos, sifonóforos, pterópodos 2, stomatóforos, paralarvas de cefalópodos, apendicularia, diólidos, larvas y tunicados, los más abundantes fueron los decápodos y pterópodos, los primeros ocurrieron en ambas etapas, aunque no en todas las muestras, los segundos ocurrieron en las primeras muestras, desde la primera hasta la 22, donde tuvieron la mayor abundancia junto con los decápodos. Disminuyeron los pterópodos en adelante y los copépodos hicieron ensamble con los demás grupos desde la estación 28 hasta la 34, de hecho fueron las muestras más biodiversas de la primera etapa. Hubo una disminución drástica de individuos de estos grupos minoritarios entre las muestras 24 a 27. En la segunda etapa, las muestras más biodiversas fueron las cercanas a Salina Cruz, donde influyeron más fuertemente los vientos tehuanos. En las muestras desde la 52 hasta la 79 dominaron los copépodos, especialmente en las muestras 66, 74 y 78, a partir de ahí los pterópodos dominaron las muestras, aunque con abundancia menor a 100 organismos.

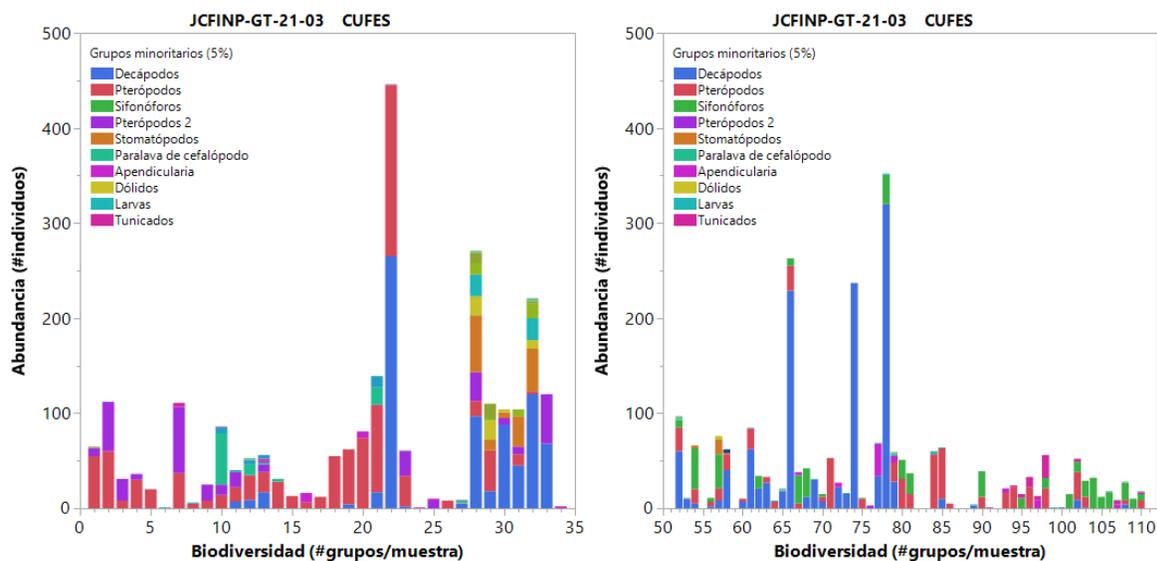


Figura 37. Abundancia y diversidad de zooplancton, grupos minoritarios (5%) en muestras de cufes 1ra y 2da etapas.

De los otros grupos, las paralarvas de cefalópodos dominaron en las muestras 10, 21, 28 y 32. En las muestras más biodiversas de la primera etapa (muestras 28 a 32), los estomatópodos, dióolidos, apendicularia y larvas ocurrieron en ensamble con decápodos, pterópodos del mismo grupo minoritario, junto con los seis grupos mayoritarios descritos arriba. En la segunda etapa, los sifonóforos empezaron a ocurrir en casi todas las muestras. De la 54 a la 69 en la mayoría dominaron los ensambles y en las muestras a partir de la 101 a la 110 prácticamente dominaron. Formaron ensambles con los tunicados y apendicularia, con abundancias menores de 50 individuos de sifonóforos.

Para analizar la distribución de los grupos mayoritarios respecto a la temperatura y salinidad, los gráficos de abundancia y biodiversidad por muestra fueron relacionados con la temperatura y la salinidad (Figura 38 y 39) para inferir alguna relación con la distribución de dichos grupos respecto a estas variables ambientales, de las cuales fue posible observar las variaciones de T y S en ambas etapas. En la primera etapa la temperatura varió de niveles intermedios y cálidos a un nivel más fresco. Las temperaturas entre 27° y 28°C dominaron junto con las de 29° a 30°C prácticamente en toda la primera etapa hasta la muestra 30. En las últimas tres muestras la temperatura donde dominaron los sifonóforos, fue relativamente más fresca (25°-26°C). De la misma forma, la salinidad prácticamente osciló en concentraciones de 34.4-34.5 UPS desde la muestra 1 hasta la 19. A partir de ahí la salinidad fluctuó de 34 a 34.2 UPS. Entre las estaciones 28 a 34, la salinidad cambió de 34.4 a 34.2 UPS.

En la segunda etapa se observaron diferencias entre la distribución de los grupos mayoritarios, respecto a la temperatura y la salinidad. En este periodo la temperatura fue más fresca en las muestras cercanas a Salina Cruz, Oaxaca, mientras que las cálidas fueron intermitentes en esta área, pero a partir de la muestra 89, aumentó de 29° a 30°C.

Aunque en ambos grupos la temperatura aumentó desde Oaxaca hacia Chiapas, sobre todo desde la muestra 90 y la salinidad fue mínima. Hubo intermitencia entre temperaturas frescas, intermedias y altas relativas, en un intervalo de 24° a 31°C y de salinidad entre 33.6 a 34.6 UPS. Donde los grupos mayoritarios ocurrieron en mayor abundancia fue en temperatura entre 26 y 27°C dentro de la zona influida por los vientos tehuanos y entre 28 y 29 fuera o en la periferia de influencia de los tehuanos. Las salinidades correspondientes a dichas muestras abundantes, estuvieron entre 34 y 34.3 UPS. La muestra 61 de abundancia relativamente alta (casi 3 mil individuos) tuvo temperatura mínima relativa entre 24 y 25°C y salinidad entre 34.2 y 34.4 UPS.

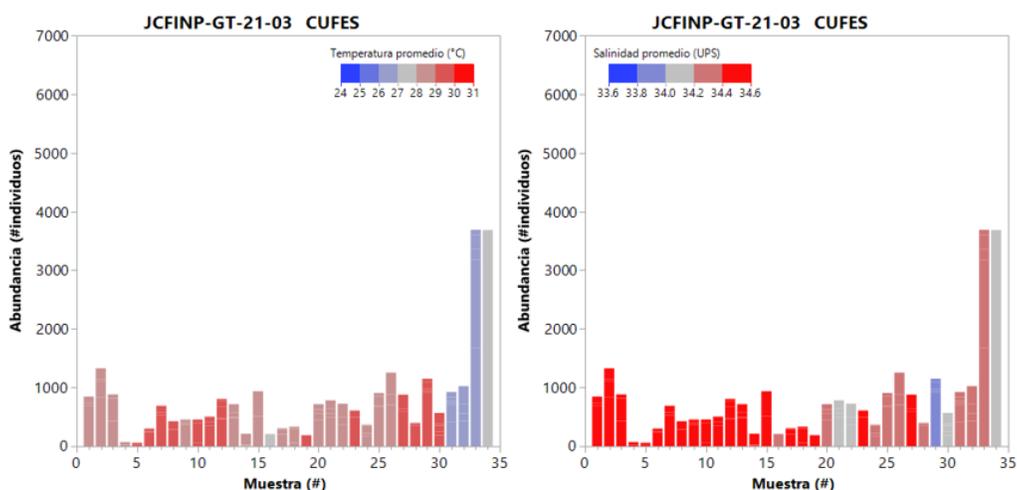


Figura 38. Abundancia de zooplancton (grupos mayoritarios 95%) en muestras CUFES en la primera etapa del crucero y su distribución respecto a la temperatura (izquierda) y salinidad (derecha).

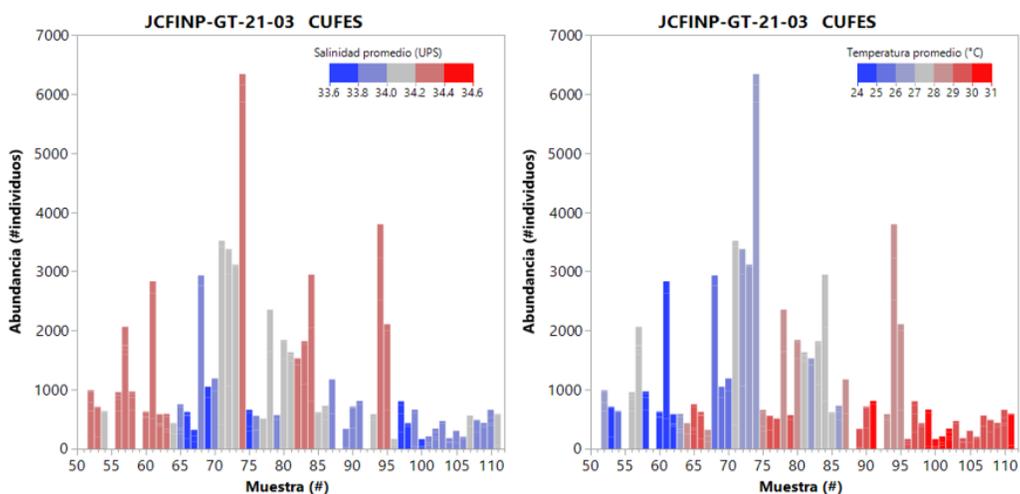


Figura 39. Abundancia de zooplancton (grupos mayoritarios 95%) en muestras CUFES en la segunda etapa del crucero y su distribución respecto a la temperatura (izquierda) y salinidad (derecha).

7.2.4.2 Distribución geográfica de zooplancton

La distribución más amplia de zooplancton fue la de huevos de peces, mismos que se distribuyeron con alta proporción a lo largo de la región frente a las costas de Oaxaca y Chiapas estudiada, no obstante, en el litoral frente a Oaxaca la mayor abundancia ocurrió en muestreos cercanos a la costa, pero desaparecieron prácticamente en la zona frente a Salina Cruz. En la costa frente a Chiapas, hubo un contrastante máximo en la zona oceánica del primer transecto de esta sección. Además, prácticamente desaparecieron desde la plataforma hasta la zona oceánica en todos los transectos (Figura 40).

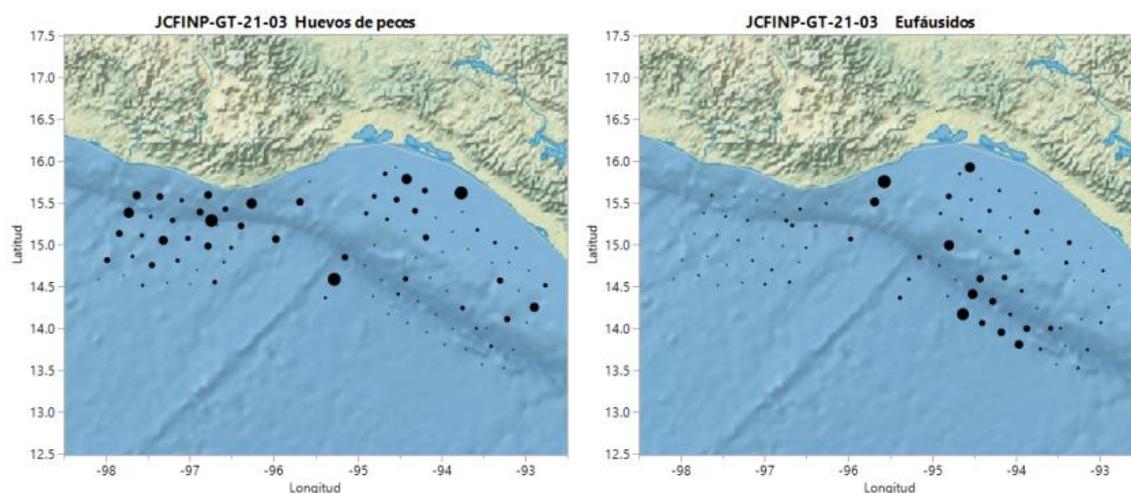


Figura 40. Abundancia y diversidad de grupos de zooplancton: huevos de peces (izquierda) y eufáusidos).

Los eufáusidos fueron otro grupo con distribución característica, asociada a procesos físicos. Principalmente fueron abundantes en la última parte de la primera etapa cuando los vientos tehuanos empezaron a influir en la superficie del mar. En la segunda etapa fueron dominantes en la región oceánica, a partir del cuarto transecto y dominantes en cuatro transectos más. Algunas muestras costeras y de plataforma marcaron ocurrencia considerable de este grupo en la costa del primer transecto y en el quiebre de la plataforma continental del segundo. En la región chiapaneca, prácticamente no apareció este grupo (Figura 41).

La distribución geográfica de algunos grupos minoritarios (5%), como decápodos, ctenóforos, sifonóforos y *Auxis* sp., se generó principalmente en las zonas influidas por los vientos tehuanos de ambas etapas del crucero, con máximos en la segunda etapa, específicamente en la plataforma continental recorrida en el tercer, cuarto y quinto transecto de esta sección. De la misma forma, los pterópodos también fueron identificados como grupo ampliamente distribuido con poca abundancia, con máximos de ocurrencia en la zona costera frente a Puerto Ángel y en la zona oceánica de la segunda etapa, principalmente en los transectos 6 a 8. En el caso de los sifonóforos y *Auxis* sp, ambos tuvieron una distribución peculiar en la primera o segunda etapas, pero no en ambas. Los sifonóforos fueron abundantes en la segunda etapa en la zona influida

por el paso de una racha de vientos tehuanos y con una aparente ocurrencia paralelos a la costa, aunque también verticalmente se distribuyeron en los transectos 5, 9 y 10 de la segunda etapa. En contraste, *Auxis* sp. únicamente ocurre en la zona de la pendiente o talud continental de los transectos frente a Puerto Ángel, Oaxaca en la primera parte del crucero (Figura 42 y Figura 43).

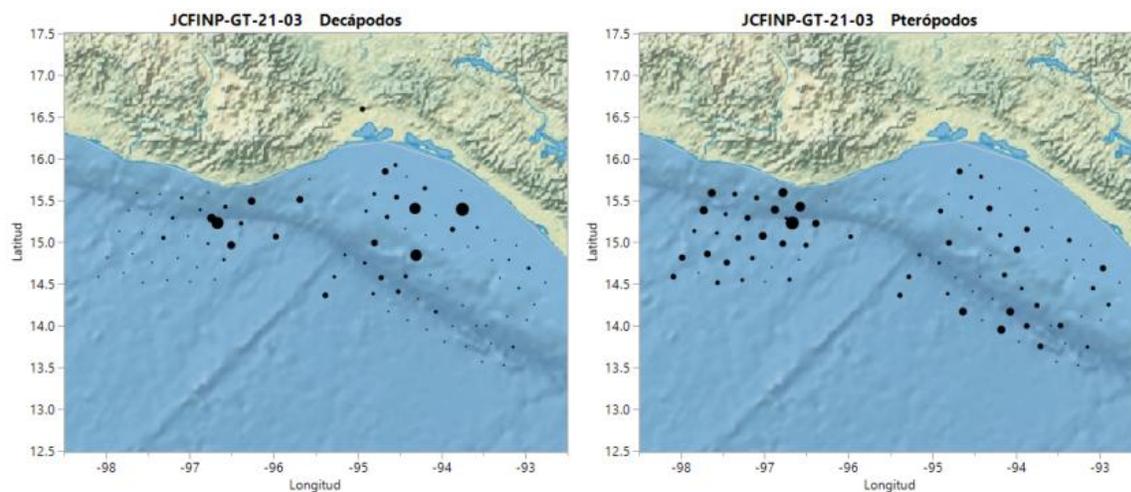


Figura 41. Abundancia y diversidad de grupos de zooplancton del crucero JCFINP21-03.

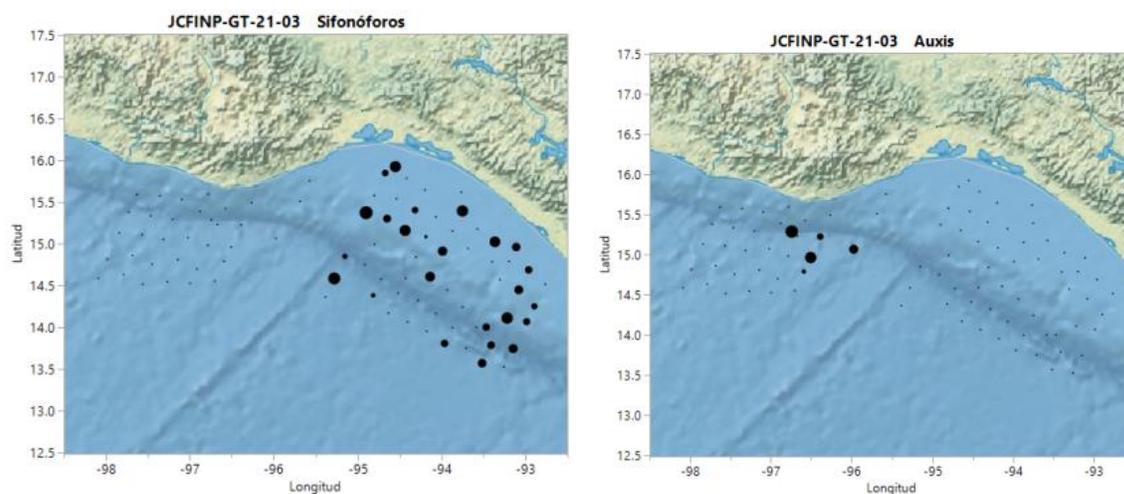


Figura 42. Abundancia y diversidad de grupos de zooplancton del crucero JCFINP21-03.

Algunos grupos del 1% restante de zooplancton fueron de importancia comercial y la ubicación de ocurrencia es más relevante que su abundancia. Entre estos grupos se encuentran larvas de pelágicos mayores como marlín y dorado (Figura 43).

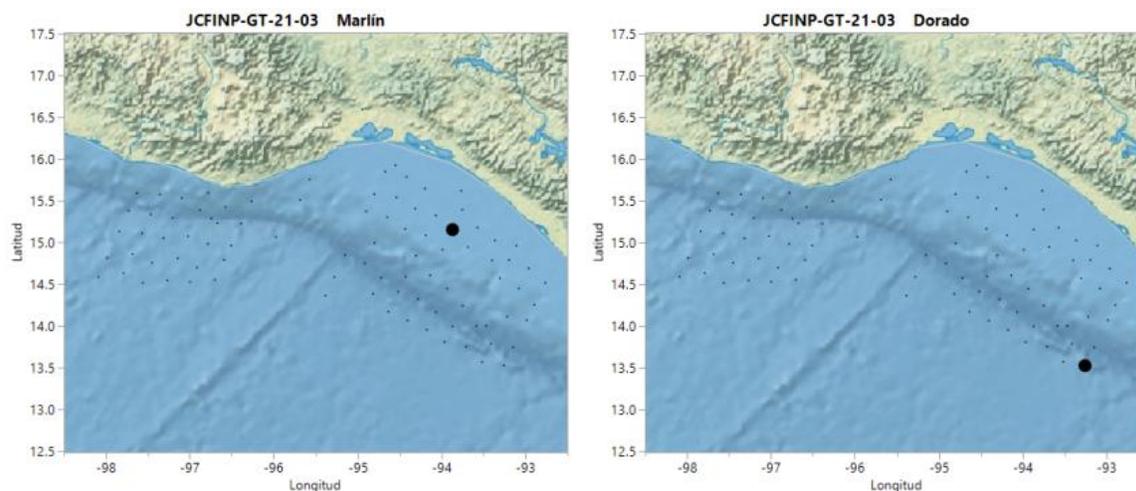


Figura 43. Abundancia y diversidad de grupos minoría (1%) de zooplancton del crucero JCFINP21-03.

7.2.4.3 Análisis de componentes principales

Se aplicó un análisis de componentes principales al grupo mayoritario de zooplancton con el fin de relacionarlo con la temperatura y la salinidad. Se observa en un biplot que copépodos, isópodos, eufausidos y quetognatos relacionan su distribución en base a la salinidad, mientras que los radiolarios con respecto a la temperatura. La distribución de los huevos de peces mostró un equilibrio de correlación con ambos parámetros ambientales (Figura 44).

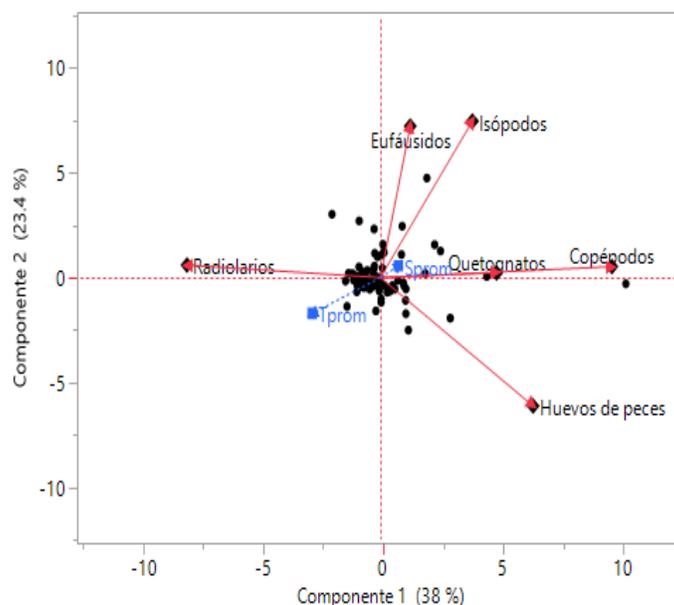


Figura 44. Biplot de grupos zooplanctónicos y variables ambientales del crucero JCFINP21-03.

7.2.5 Oceanografía satelital

7.2.5.1 Topografía dinámica: Geostrofia y altura sobre el nivel del mar

En el periodo de la primera etapa se distinguen tres giros ciclónicos en la región oceánica. El giro ciclónico ubicado entre 12 a 14° N y 99 a 100° W sobre la región oceánica forma un meandro que corre por la costa hacia el norte, a partir de Puerto Ángel, Oaxaca y forma un núcleo incipiente de giro anticiclónico entre otro pequeño giro ciclónico muy cercano a la costa pero de mayor velocidad relativa, que alcanza a influir la entrada occidental al Golfo de Tehuantepec. En la parte central del GT el meandro continúa su traslado hacia el sur. En la frontera con Chiapas se identificó un giro anticiclónico que afecta el centro y costa del golfo abarcando casi toda la plataforma chiapaneca y frontera con Guatemala (Figura 46).

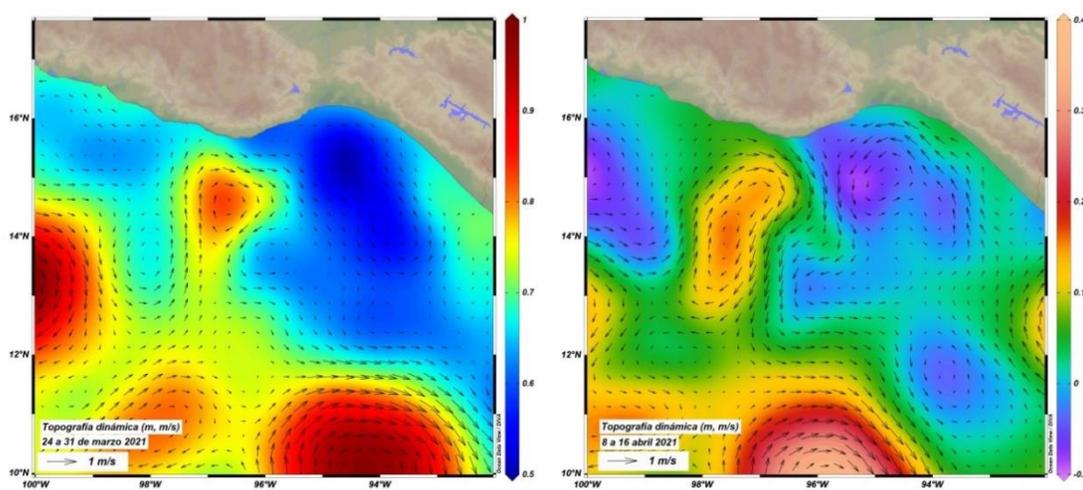


Figura 46. Topografía dinámica para el área de estudio en los periodos de ambas partes del crucero JCFINP21-03.

Para la segunda etapa, la topografía dinámica forma un dipolo incipiente. En núcleo occidental se presentó frente a Salina Cruz con velocidades altas y máximas en dirección hacia mar abierto frente al puerto mencionado. La conexión con el núcleo oriental, mostró velocidades menores a 1 m/s enfrente de la costa chiapaneca, con un fuerte componente de velocidad en dirección noroeste sobre la costa fronteriza entre Oaxaca y Chiapas. La zona central del dipolo ubicada en la periferia del Golfo de Tehuantepec, en la zona oceánica, es débil con direcciones noreste en el núcleo occidental y sureste en el núcleo oriental del dipolo.

7.2.5.2 Profundidad de capa de mezcla

La profundidad de la capa de mezcla en los dos periodos en los que se realizaron ambas etapas del crucero contrastaron, siendo mayor en la primera etapa que en la segunda. Otra característica fue que en la primera etapa se formó una lengüeta que hundió la profundidad de la capa de mezcla hasta 25 metros, en la misma zona donde ocurrió el núcleo del meandro costero. La base de dicha estructura triangular abarcó desde el

norte de Puerto Ángel hasta las proximidades del Puerto de Salina Cruz, Oaxaca y una extensión con vértice de cuatro grados latitud, desde 12.5 a 16°N latitud, entre 95 y 97.5° W. Hay otra región central del Golfo de Tehuantepec, la cual es muy amplia y con profundidad de 11 metros. Esta amplia zona crea un gradiente de profundidad en la frontera con la lengüeta occidental descrita arriba. El gradiente aumenta su fuerza en el área frente a Salina Cruz, aumentando la profundidad de la capa de mezcla hasta 20 metros. Por otro lado, la profundidad de mezcla en el periodo de la segunda etapa es relativamente somera, en promedio ubicada a 11 metros de profundidad, en toda la zona de estudio de la segunda etapa (Figura 47).

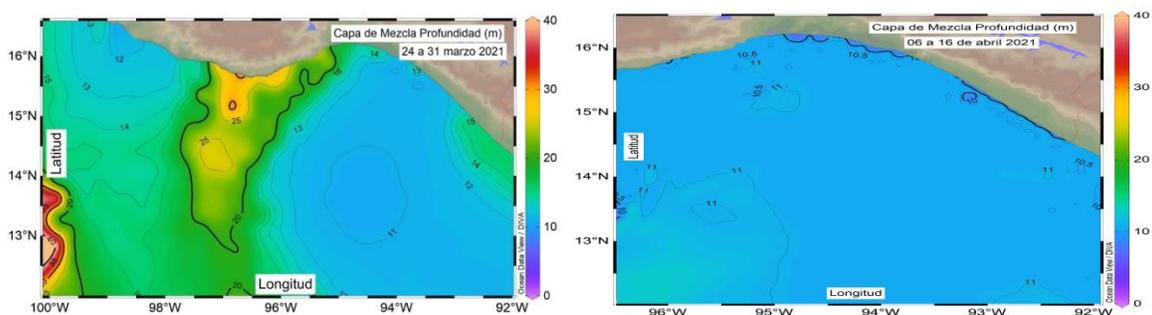


Figura 47. Profundidad de la capa de mezcla para el área de estudio en los periodos de ambas partes del crucero JCFINP21-03.

7.2.6 Ecogramas – Perfil de Oxígeno Disuelto.

Se comparó el perfil de oxígeno disuelto en agua de mar con perfiles de ecogramas obtenidos al momento de la realización del muestreo oceanográfico. Enseguida se describen los perfiles acústicos e hidrológicos, con base a la comparación del comportamiento de densidad acústica del ecosonda EK60 en la frecuencia de 38 kHz, con el perfil obtenido con el sensor de oxígeno, accesorio al CTD, en donde se observaron detecciones acústicas (organismos) en el sitio con concentraciones altas de OD. En el perfil presentado se observa una densa capa azul con franjas amarillas e incluso manchones rojos (en ascenso por coincidencia con la migración vertical de organismos demersales). En el perfil de OD se observa que hay un leve aumento en los primeros 30 metros de profundidad lo que corresponde con el ecograma, con la parte superior de una capa amarilla dentro de la capa azul más extensa. Posteriormente, empieza la oxiclina con un gradiente fuerte que se prolonga hasta 90 metros donde las condiciones son anóxicas, pero aproximadamente a 50 metros de profundidad el perfil interrumpe su descenso mostrando un leve aumento de OD, este comportamiento intermedio corresponde en el ecograma con una fracción de la franja roja “en ascenso”. El espesor acústico de la oxiclina se observa entre 75 y 90 metros considerando que el ecograma es continuo a diferencia del perfil con el CTD que es discreto. El perfil de CTD muestra una oxiclina que finaliza en los 90 metros (Figura 48).

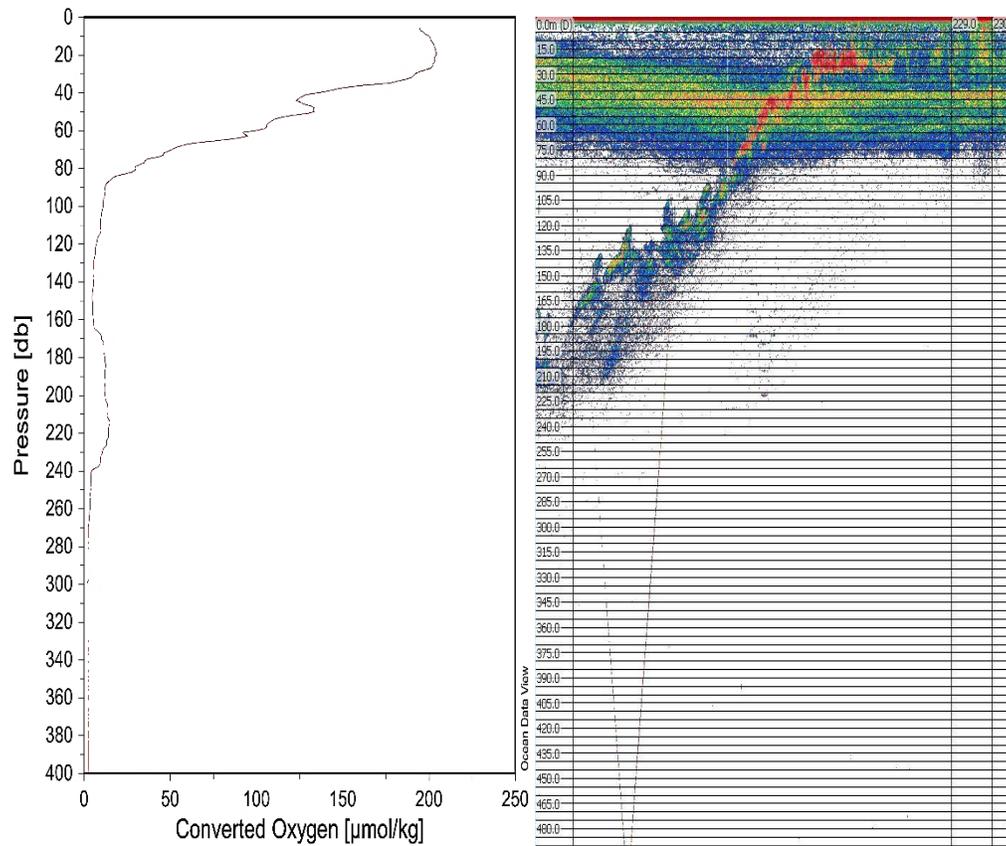


Figura 48. Izquierda perfil de oxígeno disuelto, derecha ecograma frecuencia de 38 kHz.



8 Discusión

La dinámica del Golfo de Tehuantepec es compleja y determina las propiedades abióticas y bióticas en la zona. La distribución de recursos marinos de importancia comercial y ecológica encontrada en la primavera del presente crucero JCFINP21-03 en el Golfo de Tehuantepec, fue determinada por forzamientos físicos, derivados de vientos Tehuanos. Dos eventos de viento ocurrieron en la zona de estudio en el periodo de investigación; uno previo al inicio de la campaña que dejó dos estructuras a mesoescala (surgencia costera y giro ciclónico) y otro entre la primera y segunda fases del crucero. En el transcurso de la primera fase del crucero la surgencia costera y el giro anticiclónico oceánico frente a Mazunte, fueron las condiciones oceanográficas que favorecieron la presencia de recursos masivos como pelágicos menores (observado en los lances de mayor volumen de captura y zonas de alta densidad de energía acústica). En la costa en el lance cinco se obtuvieron algunas especies de peces y crustáceos mesopelágicos y algunos otros demersales como la chabelita (*Peprilus snyderi*) y en los lances seis y 21, la captura fue dominada por calamar gigante en la periferia oriental del giro anticiclónico oceánico, donde la abundancia de eufásidos también se presentó con mayor riqueza. Esta distribución de procesos a mesoescala y de zooplancton ha sido observada anteriormente, determinando la zonificación occidental, centro y oriental, tanto de giros oceánicos y surgencias (Trasviña *et al.* 1995, 2003, Santiago-García *et al.* 2019), transporte litoral (Flores-Vidal *et al.* 2011) y zonificación de zooplancton (Färber-Lorda *et al.* 2004). Esta complejidad de forzamientos físicos derivados de “Nortes” que determinan la distribución de zooplancton, también se ha estudiado como estresores en el sistema de CO₂ oceánico de la zona (Chapa-Balcorta *et al.* 2015).

De esta forma, en el presente documento se informa la situación previa al Tehuano en la zona occidental del canal de viento, influido por un evento de surgencia costera y giro ciclónico oceánico. La diversidad de las capturas y la oceanografía posterior al Tehuano, en la zona oriental del canal de viento, ubicado en la porción central del Golfo de Tehuantepec, frente al Puerto de Salina Cruz, Oaxaca. A través de la observación de ecogramas acústicos, producción de lances de pesca y riqueza y abundancia de zooplancton se confirma que el principal forzamiento físico fue el Tehuano registrado entre 31 de marzo al 6 de abril, el cual generó dos remolinos a ambos lados del canal de viento, detectado en imágenes de satélite para ambos periodos. En la fase del crucero frente a Chiapas persistió la distribución de calamar gigante (*Dosidicus gigas*), ahora en la región oceánica de Chiapas. La detección de sardina crinuda (*Opisthonema spp.*) desde Punta Arista hasta Puerto Madero, Chiapas fue un hallazgo sobresaliente debido a la importancia de la pesquería en el país. La obtención de este recurso en el litoral chiapaneco ocurrió bajo condiciones oceanográficas en donde la influencia del giro ciclónico oriental generado posterior al Norte o Tehuano, se debilitaba en dirección suroeste y en donde la influencia de Corriente Costera de Costa Rica fluía en dirección al polo con propiedades fisicoquímicas de la masa de Agua Ecuatorial Superficial.

La modelación del hábitat de recursos pesqueros en el Pacífico Sur mexicano es una herramienta analítica robusta que permitió la ubicación de las zonas en donde se obtuvieron las mayores densidades de energía acústica y en donde el forzamiento físico determinó la mayor abundancia de peces en el Golfo de Tehuantepec.



La riqueza de especies registrada durante el presente estudio en el Golfo de Tehuantepec fue de 91 especies, cifra mucho menor a la reportada en diversos estudios para el área (Acal y Arias 1990, Bianchi 1991, Martínez 2012, Núñez-Orozco *et al.* 2013, Cerdenares-Ladrón de Guevara *et al.* 2014, Del Moral *et al.* 2017). Cabe mencionar que tales estudios se enfocan principalmente en la pesca ribereña y bentónica o demersal, mientras que en este estudio los lances fueron dirigidos a especies pelágicas, salvo un lance que fue para especies bentónicas y demersales. Lo que otorga relevancia a este estudio porque pocos trabajos en esta región han sido dirigidos a este tipo de comunidades.

El 50% de las especies fueron del grupo raras, es decir, sus valores de densidad y de frecuencia de ocurrencia fueron menores a la media, eran principalmente de ambientes mesopelágicos, otros más eran estadios juveniles. Mientras que el grupo de las dominantes estuvo representado por el 25% del total, en donde se encontraron especies con altos valores de biomasa, abundancia y frecuencia de ocurrencia, como *Chloroscombrus orqueta*, *Vinciguerria lucetia*, *Portunus* sp., Myctophidae, *Peprilus snyderi*, *Dosidicus gigas*, *Opisthonema* spp. entre otras.

Las especies comerciales representaron el 17.5% de la diversidad de especies capturadas y sumaron el 82% de la captura total, entre las que destacan *C. orqueta*, *P. snyderi*, *Opisthonema* spp. *D. gigas*, *D. macrosoma*, *S. crumenophthalmus* y *S. peruviana* y el resto de las especies con uno o dos individuos.

De manera general se observó que su presencia se limitó a zonas cercanas a la costa, de poca profundidad y con una temperatura semejante a las documentadas por Acal y Corro (1993) para el Golfo de Tehuantepec, los autores mencionan que en marzo (finales de la época fría) el recurso mostró una tendencia a desplazarse hacia el sureste del Golfo de Tehuantepec, situación semejante a la que se observó en el presente estudio. Sus hábitos pelágicos costeros (Nevárez-Martínez *et al.* 2014), se relacionan con las mayores abundancias en la parte cercana a la costa, entre 12 y 17 mn de Puerto Arista y Puerto Madero, Chiapas. Las tallas más pequeñas estuvieron relacionadas con un ligero incremento de la clorofila (0.562 mg/m^3) en el lance 19, mientras que las tallas mayores se capturaron donde la clorofila era de 0.42 mg/m^3 , lo que hace suponer que por sus hábitos alimenticios de fitoplancton los juveniles se encuentren en esta zona (Ortega *et al.* 2000). En este estudio se aportan datos de la amplia variedad de tallas y de la presencia de la sardina crinuda en el Golfo de Tehuantepec. Vallarta-Zárate *et al.* (2021), generaron la evaluación de biomasa por métodos acústicos en el polígono donde fue observado este recurso en el mismo crucero que originó el presente estudio.

El calamar *Dosidicus gigas* merece especial atención, ya que se capturaron juveniles y adultos en la zona nerítica, frente a la costa de Mazunte, mientras que solo adultos en la parte oceánica, particularmente en el límite de la plataforma continental, lo que hace suponer que completan su ciclo de vida en el golfo (Alejo Plata *et al.* 2014.) Las tallas de los adultos de este estudio se encuentran entre las chicas y medianas para la especie de acuerdo con Nigmatullin *et al.* (2001). Se corrobora la dominancia de las hembras sobre los machos, puesto que se colectaron 17 hembras y ningún macho, incluso es mayor a (4 H: 1 M), documentada en Markaida y Sosa-Nishizaki (2001) para el Golfo de California. Aun cuando fueron pocos los calamares de talla mediana de acuerdo con Nigmatullin



et al. (2001), éstos se encuentran considerados dentro de la talla comercial en los mercados locales de Oaxaca y Chiapas, los calamares de talla pequeña son vendidos como carnada para otras pesquerías y son considerados recursos potenciales no explotados (Alejo-Plata *et al.* 2014). Cabe mencionar que en el 87% de las maniobras de pesca con poteras se registraron avistamientos de calamares, desde uno hasta varias decenas por estación, lo que corrobora su amplia distribución. Un estudio realizado por Arreguín y Arcos (2011), menciona que poco más de 57% de las pesquerías están deterioradas en el Golfo de Tehuantepec; por lo que es probable que la poca representatividad de especies comerciales se deba a esta situación.

9 Conclusiones

- Algunas especies de peces de interés potencial para la pesca ribereña -sector considerado vulnerable- pueden ser chabelita (*Peprilus snyderi*) o el jurel orqueta (*Chloroscombrus orqueta*) o el ojetón (*Selar crumenophthalmus*).
- El calamar gigante (*Dosidicus gigas*) y la sardina crinuda (*Opisthonema spp.*) podrían ser aprovechadas a mayor escala, pero se recomiendan monitoreo y evaluación pesquera.
- La sardina crinuda (*Opisthonema spp.*) fue la especie de pelágicos menores más frecuente, con una distribución en los litorales de Chiapas hacia la frontera sur del país. Al igual que en el Golfo de California el jurel orqueta (*Chloroscombrus orqueta*) es una especie que aparece frecuentemente en las capturas acompañando a la sardina crinuda, formando grandes cardúmenes y podría figurar como especie de aprovechamiento potencial.
- La Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de algunas especies de interés potencial que se incluyen en el presente documento, representan información independiente a la pesca, de gran valor desde el punto de vista científico para los programas de manejo regionales.
- Las estructuras oceanográficas observadas (como la mezcla vertical y surgencias) producen cambios importantes en las propiedades físicas y químicas de la columna de agua, siendo más profunda en la zona occidental y más somera en la oriental, determinando la distribución heterogénea de recursos pesqueros desde sus estados iniciales de desarrollo hasta adultos, tanto en la costa, como en el océano.

10 Recomendaciones

Se recomienda continuar con el monitoreo de las poblaciones de especies de interés potencial, dando continuidad también a las investigaciones biológicas y oceanográficas en la región.

Con base en la información recopilada por el INAPESCA durante el 2019 - 2021 a través de los muestreos realizados a bordo del B/I Dr. Jorge Carranza Fraser, se recomienda realizar cruceros específicos para la evaluación de calamar gigante en el Golfo de Tehuantepec, para conocer más información acerca de su distribución y abundancia en la región.



Desde el 2019 el buque de investigación Dr. Jorge Carranza Fraser ha desarrollado campañas de investigación en el Pacífico mexicano, que han servido para generar bases de datos de diversas líneas del conocimiento, fundamentales para entender los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas marinos en territorio nacional. El análisis de series de tiempo permitirá entender las fluctuaciones y dinámicas de los recursos marinos ante distintos escenarios climáticos.



11 Literatura citada

- Abdi H. and L.J. Williams. 2010. Principal component analysis. *WIREs Comp Stats* 2(4): 433-59.
- Acal D.E. y Arias A. 1990. Evaluación de los recursos demerso-pelágicos vulnerables a redes de arrastre de fondo en el sur del Pacífico de México. Evaluation of the demersopelagic resources available to bottom trawl nets in the South of Pacific Mexico. *Ciencias Marinas* 16(3): 93-129.
- Acal D.E. y D. Corro E. 1993. Reproducción y distribución de peces clupeidos en el sur del Golfo de California y Golfo de Tehuantepec, México. *Rev. BioL Trop.* 42(1/2): 239-261.
- Alejo-Plata M.C., I. Salgado-Ugarte, J. Herrera-Galindo y J. Meraz-Hernando. 2014. Biodiversidad de cefalópodos del Golfo de Tehuantepec, México, determinada a partir de muestreos directos y del análisis de la dieta de peces pelágicos grandes. *Hidrobiológica* 24(1): 57-68.
- Almeda-De-La-Mora. 1980. Sistemática y distribución de los copépodos (Crustácea) del Golfo de Tehuantepec, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 280 p.
- Aguirre Gómez R. 2002. *Los mares mexicanos a través de la percepción remota*. Instituto de Geografía UNAM. Primera edición. 95 pp.
- Araico-González C.I. 2012. Hidrografía y circulación geostrofica del Golfo de Tehuantepec en condiciones de verano. Tesis de Licenciatura en Oceanología. Facultad de Oceanología. Universidad del Mar, Puerto Ángel. 66 pp.
- Armstrong M. 1998. *Basic Linear Geostatistics*. Springer. Berlín, Germany Springer-Verlag.
- Arreguín-Sánchez F. y E. Arcos Huitrón. 2011. La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. *Hidrobiológica* 21(3): 431-462.
- Ayala-Duval E., M.C. Maldonado-Monroy, J.A. Becerril-Martínez, D.T. García-Tamayo, D.T. Juárez-Ortíz, C. Blas-Cabrera, V. Barrios-Orozco, J.A. Huerta-González y A. Almaráz-Gómez. 1998. Distribución de algunos componentes del ictioplancton y su relación con la biomasa zooplanctónica. En: M. Tapia-García (ed.). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. Pp: 93 – 203.
- Bastida-Zavala J.R., M. del S. García-Madriral, E.F. Rosas-Alquicira, R.A. López-Pérez, F. Benítez-Villalobos, J.F. Meraz-Hernando, A.M. Torres-Huerta, A. Montoya-Márquez and N.A. Barrientos-Luján. 2013. Marine and coastal biodiversity of Oaxaca, Mexico. *Check List* 9(2): 329–390.
- Bianchi G. 1991. Demersal assemblages of the continental shelf and slope edge between the Gulf of Tehuantepec (Mexico) and the Gulf of Papagayo (Costa Rica). *Marine Ecology Progress series* 73: 121-140.



- Bischi B., M. Lang, L. Kotthoff, J. Schiffner, J. Richter, E. Studerus, G. Casalicchio and Z.M. Jones. 2016. "Mlr: Machine Learning in R." *Journal of Machine Learning Research* 17 (170): 1–5.
- Bivand R.S., E. Pebesma and V. Gómez-Rubio. 2013. *Applied Spatial Data Analysis with R* (2ed). New York, United States of America: Springer.
- Breiman L., J.H. Friedman, R.A. Olshen and C.J. Stone. 1984. *Classification and Regression Trees*. Chapman & Hall.
- Breiman L. 2001. Random forests. *Machine learning* 45(1) 5-32.
- Brenning A. 2012. Spatial cross-validation and bootstrap for the assessment of prediction rules in remote sensing: The R package sperrorst. *In: 2012 IEEE international geoscience and remote sensing symposium*. Pp: 5372-5375). IEEE.
- Bricaud A., H. Claustre, J. Ras and K. Oubelkheir. 2004. Natural variability of phytoplanktonic absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109, C11010, doi: 10.1029/2004JC002419, 2004.
- Brower J.E. and J.H. Zar. 1977. Brown comp. *Field and laboratory methods for general ecology*. 185p.
- Castillo P.R., S. Peraltilla, A. Aliaga, M. Flores, M. Ballón, J. Calderón y M. Gutiérrez. 2009. Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano. Versión 2009. *Instituto del Mar del Perú* 36: 1-2.
- Cerdenares-Ladrón de Guevara G., E. Ramírez-Antonio, S. Ramos-Carrillo, G. González-Medina, V. Anislado-Tolentino, D. López-Herrera y S. Karam-Martínez. 2014. Impacto de la actividad pesquera sobre la diversidad biológica: Revisión para el Pacífico sur de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1(1): 95-114.
- Chin, T. M., J. Vazquez-Cuervo y E.M. Armstrong. 2017. A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature. *Remote Sensing of Environment*. (200): 154-169.
- Chapa-Carrara X., C. Enríquez, V. Paploi, I. Mariño-Tapia and C. Reyes-Hernández. 2019. Pacific Coast of Mexico. Chapter 28. En: *World Seas: An Environmental Evaluation*. Second Edition, Volume One: Europe, The Americas and West Africa. Charles Sheppard Ed. Academic Press. Pp: 655-671. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04330-1>.
- Chao A. 1984. Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics* 11: 256-270.
- CONAPESCA. 2017. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017 de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. 288p.



- Cottam G. and J.T. Curtis. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology* 37: 451- 460.
- Del Moral-Flores L.F., V. Anislado-Tolentino, E. Martínez-Ramírez, G. Pérez-Ponce de León, E. Ramírez-Antonio y G. González-Medina. 2017. Ictiofauna marina de Oaxaca, México: listado sistemático y afinidades zoogeográficas. *Acta Universitaria* 27(1): 3-25. doi: 10.15174/ au.2016.1069.
- Demer D.A., L. Berger, M. Bernasconi, E. Bethke, K.M. Boswell, D. Chu, R. Domokos, A. Dunford, S. Fässler, S. Gauthier, L.T. Hufnagle, J.M. Jech, N. Bouffant, A. Lebourges-Dhaussy, X. Lurton, G. J. Macaulay, Y. Perrot, T. Ryan, S. Parker-Stetter, S. Stienessen, T. Webern and N. Williamson. 2015. Calibration of acoustic instruments. *ICES Cooperative Research Report* 26(32): 133.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2020. Programa Institucional 2020-2024 del Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura. *Diario Oficial de la Federación*, México. 28 de septiembre del 2020.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2017. ACUERDO por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, México. 6 de noviembre de 2018
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2019. ACUERDO por el que se establecen las tallas mínimas de captura y porcentajes máximos permitidos por debajo de la talla mínima de captura de las diferentes especies de peces pelágicos menores que se capturan con embarcaciones de cerco, en aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. *Diario Oficial de la Federación*, México. 18 de octubre de 2019.
- Espino B.E., Á. González Vega, H. Santana Hernández y H. González Vega. 2008. *Manual de biología pesquera*. Instituto Nacional de la Pesca-Universidad Autónoma de Nayarit. 131 p.
- Färber-Lorda J., M.F. Lavín and M.A. Guerrero-Ruíz MA. 2004. Effects of wind forcing on the trophic conditions, zooplankton biomass and krill biochemical composition in the Gulf of Tehuantepec. *Deep-Sea Research II* 51: 601 -614.
- Fernandes P.G. 2009. Classification trees for species identification of fish-school echotraces. *ICES J. Marine Sci.* 66: 1073-1080.
- Fernández-Álamo M.A., L. Sanvicente-Añorve and G. Alameda-De-la-Mora. 2000. Copepod Assemblages in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Crustaceana* 73(9): 1139-1153.
- Flores-Vidal X., R. Durazo, C. Chavanne and P. Flament. 2011. Coastal circulation in the absence of wind in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: High-Frequency radar observations. *Ciencias Marinas* 37(4A): 493-512.



- Foote K.G. 1983. Maintaining precision calibrations with optimal copper spheres. *Journal of the Acoustical Society of America* 73(3): 1054-1063.
- Foote K.G., H.P. Knudsen, G. Vestnes, D.N. MacLennan and E.J. Simmonds. 1987. *Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide*. Cooperative Research Report, International Council for the Exploration of the Sea, No. 144, 57p.
- Gallegos-García A. y J. Barberán-Falcón. 1998. Surgencia eólica. En: M. Tapia-García (ed.). *El Golfo de Tehuantepec: El ecosistema y sus recursos*. UAM-Iztapalapa, México. Pp: 27-34.
- Genuer R. and J.M. Poggi. 2020. *Random Forests with R*. Springer. South San Francisco, USA. 98 p.
- Genuer R., Poggi, J.M. and C. Tuleau. 2008. Random Forests: some methodological insights. *arXiv preprint arXiv:0811.3619*.
- Gutiérrez Z.R.M. y E. Cabrera Mancilla. 2019. *Especies marinas de valor comercial en el Estado de Guerrero*. INAPESCA. 198p.
- Hendrickx M.E. 1996. *Los camarones Penaeoidea bentónicos (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata) del Pacífico Mexicano*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. 148 p.
- Hendrickx M.E. y D. Serrano. 2010. Impacto de la zona de mínimo de oxígeno sobre los corredores pesqueros en el Pacífico Mexicano. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América* 35(1): 12-18.
- Hengl T., M. Nussbaum, M.N. Wright, G.B. Heuvelink and B. Gräler. 2018. Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *PeerJ* 6: e5518.
- INECC 2007. *Diversidad ecológica y biológica de México*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/2/int.html>
- Instituto Nacional de la Pesca. 1999-2000. *Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo*. INP-SEMARNAT, 1043p.
- Isaaks E.H. and R.M. Srivastava. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford Univ. Press, New York, USA.
- Jung Y. and J. Hu. 2015. A k-fold averaging crossvalidation procedure. *Journal of Nonparametric Statistics* 27(2): 167-179. <http://dx.doi.org/10.1080/10485252.2015.1010532>.
- Lara-Lara J.R., V. Arenas Fuentes, C. Bazán Guzmán, V. Díaz Castañeda, E. Escobar Briones, M. de la Cruz García Abad, G. Gaxiola Castro, G. Robles Jarero, R. Sosa Ávalos, L.A. Soto González, M. Tapia García y J.E. Valdez-Holguín. 2008. Los

- ecosistemas marinos. *En: Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México. Pp: 135-159.
- Lara-Lara R. y C. Bazán-Guzmán. 2005. Distribución de clorofila y producción primaria por clases de tamaño en la costa del Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas*. 31(1A): 11-21.
- Lavin M.F., J.M. Robles, M.L. Argote, E.D. Barton, R. Smith, J. Brown, M. Kosro, A. Trasviña, H. S. Vélez y J. García. 1992. *El Golfo de Tehuantepec*. CICESE. México. 26 p.
- López-Chávez O., G. Aceves-Medina, R.J. Saldierna-Martínez, S.P. Jiménez-Rosenberg, J.P. Murad-Serrano, A. Marín-Gutiérrez y O. Hernández-Hernández. 2012. Changes in species composition and abundance of fish larvae from the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *CICIMAR Océánides* 27(2): 1 – 11.
- Lovelace R., J. Nowosad and J. Muenchow. 2019. *Geocomputation with R*. CRC Press. 334 p.
- Margalef R. 1995. *Ecología*. España: Ediciones Omega.
- Martínez-Arroyo A., S. Manzanilla-Naim and J. Zavala-Hidalgo. 2011. Vulnerability to climate change of marine and coastal fisheries in Mexico. *Atmósfera* 24(1): 101-123.
- Martínez M.M.A. 2012. Estructura y distribución de la comunidad íctica acompañante en la pesca de camarón (Golfo de Tehuantepec. Pacífico Oriental, México). Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, Facultad de Biología. 604 p.
- Møller A.B. 2019. *OGC: Generation of oblique geographic coordinates as covariates for spatial prediction*. R package version 1.0.1.
- Møller A.B., A.M. Beucher, N. Pouladi and M.H. Greve. 2020. Oblique geographic coordinates as covariates for digital soil mapping. *Soil* 6(2): 269-289. <https://doi.org/10.5194/soil-6-269-2020>.
- Monreal-Gómez M.A. and D.A. Salas de León. 1998. Dinámica y estructura termohalina. *En: M. Tapia-García (ed.). El Golfo de Tehuantepec: El ecosistema y sus recursos*. UAM-Iztapalapa, México. Pp: 13-26.
- Moral F. 2004. Aplicaciones de la Geoestadística en las ciencias ambientales. *En: Ecosistemas: Asociación Española de Ecología Terrestre*, enero 2004, 13(1): 78-86.
- Moreno C.E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&TManuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza. 84 p.
- Moulin-Ruiz J. 1979. Estudio de la productividad primaria en el Golfo de Tehuantepec, México. Tesis profesional, U.N.A.M., México. 1-32 p.
- Müller-Karger F.E. and C. Fuentes-Yaco. 2000. Characteristics of wind-generated rings in the eastern tropical Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research* 105: 1271-1284.
- Nets Systems. 2016a. Plano técnico de red: Mesh Wing Trawl 25/25. DWG No. 252MWT04i, copyright by Net Systems Inc.



Nets Systems. 2016b. Plano técnico de red: Bering Sea Combination 79/107. DWG No. 079BSC06i, copyright by Net Systems Inc.

Nevárez-Martínez M.O. M.A. Martínez-Zavala, M.L. Jacob-Cervantes, C.E. Coteró-Altamirano, J.P. Santos-Molina y A. Valdéz-Pelayo. 2014. Peces pelágicos menores (*Sardinops sagax*, *Opisthonema* spp., *Scomber japonicus*, *Engraulis mordax*, *Cetengraulis mysticetus*, *Etrumeus teres*, *Trachurus symmetricus*, *Oligoplites* spp.). 2014. En: L.F.J. Beléndez-Moreno, E. Espino-Barr, G. Galindo-Cortés, M.T. Gaspar-Dillanes, L. Huidobro-Campos y E. Morales-Bojórquez (eds). *Sustentabilidad y pesca responsable en México. Evaluación y manejo*. SAGARPA-INAPESCA. México. ISBN: 978-607-8274-11-6. Pp: 85-141.

Nigmatullin C.H.M, K.N. Nesis and A.I. Arkhipkin. 2001. A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Omamastrephidae). *Fish. Res.* 54(1): 9-19.

Núñez-Orozco A.L., A. Labastida-Che y JA Oviedo-Piamonte. 2013. Composición y abundancia de la ictiofauna en la franja sublitoral del Golfo de Tehuantepec, Oaxaca/Chiapas, México. *Ciencia Pesquera* 21(2): 29-40.

Nussbaum M., K. Spiess, A. Baltensweiler, U. Grob, A. Keller, L. Greiner, M.E. Schaepman and A. Papritz. 2018. Evaluation of digital soil mapping approaches with large sets of environmental covariates. *Soil* 4: 1-22. <https://doi.org/10.5194/soil-4-1-2018>.

Ordóñez M. de J. y P. Rodríguez Hernández. 2008. Oaxaca, el estado con mayor diversidad biológica y cultura de México, y sus productores rurales. *Ciencias* 91 julio-septiembre: 54-64. [En línea].

Ortega-García S., J.A. Trigueros Salmeron, S.E. Lluch-Cota y H. Villalobos Ortiz. 2000. El Golfo de Tehuantepec como un centro de actividad biológica y su importancia en las pesquerías. En: S. Ortega-García (ed.). *BAC: centros de actividad biológica del Pacífico mexicano*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S México.

Pebesma E.J. 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences* 30: 683-691.

Pérez-Sampablo L.M. 2013. Descripción espacio temporal de la temperatura superficial del mar en el Pacífico sur mexicano de 1996-2009. Tesis de Licenciatura en Oceanología. Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca. 56 p.

Pérez-Planells L., J. Delegido Gómez, J.P. Rivera-Caicedo y J. Verrelst. 2015. Análisis de métodos de validación cruzada para la obtención robusta de parámetros biofísicos. *Revista Española de Teledetección* 44: 55-65.

Pielou E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.* 13: 131-144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)

Picard R.R. and R.D. Cook. 1984. Cross-validation of regression models. *Journal of the American Statistical Association* 79(387): 575-583.

Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. 2019. 63p. <https://lopezobrador.org.mx/wp-content/uploads/2019/05/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2019-2024.pdf>

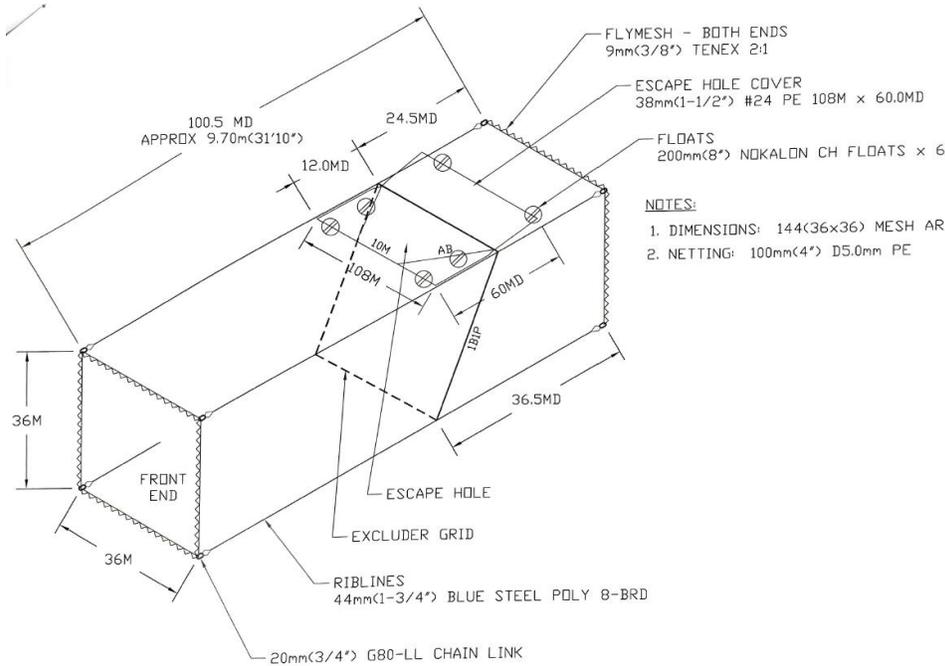


- QGIS.org. 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reyes-Hernández C., M.A. Ahumada-Sampoal y R. Durazo. 2015 The Costa Rica Coastal Current, and wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, Southern Mexican Pacific. *Continental Shelf Research* 114: 1–15.
- Rhys H. 2020. Machine Learning with R, the tidyverse and mlr. United States of America, Manning Publications Co. 511p
- Rivoirard J., J. Simmonds, K.G. Foote, P. Fernandes and N. Bez. 2000. *Geostatistics for estimating fish abundance*. Blackwell Science Ltd
- Roberts D.R., V. Bahn, S. Ciuti, M.S. Boyce, J. Elith, G. Guillera-Arroita and C.F. Dormann. 2017. Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography* 40(8): 913-929.
- Robles-Jarero E.G. y R. Lara-Lara. 1993. Phytoplankton biomass and primary productivity by size classes in the Gulf of Tehuantepec, México. *Journal of Plankton Research* 15(12): 1341–1358.
- Rodríguez-Marcos E. 2006. Distribución y abundancia vertical (0.5 y 30 m) y horizontal del microseston en el Pacífico sur mexicano (Punta Maldonado, Guerrero, hasta Puerto Madero, Chiapas-Puerto Chiapas), durante el crucero oceanográfico TEHMAL. Tesis de Licenciatura, UMAR, Oaxaca, México.
- Romero-Berny E.I., J.J. Schmitter-Soto, E. Velázquez-Velázquez and A.E. Gómez-González. 2021. Local and regional patterns of fish assemblages in coastal lagoons surrounded by mangroves, Gulf of Tehuantepec in the south Pacific of Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research* 49(1): 60–74.. DOI: 10.3856/VOL49-ISSUE1-FULLTEXT-2488
- Salomón Hernández A.B. 2013. Distribución de pigmentos fotosintéticos y su relación con las condiciones hidrográficas del Golfo de Tehuantepec en junio de 2010. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar. Puerto Ángel, Oaxaca. 47 p.
- Santiago-García M.W., A.F. Parés-Sierra and A. Trasviña. 2019. Dipole-wind interactions under gap wind jet conditions in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: A surface drifter and satellite database analysis. *PLoS ONE* 14(12): e0226366. <https://doi.org/10.371/journal.pone.0226366>
- Serrano D. 2012. La zona del mínimo de oxígeno en el Pacífico mexicano. En: P. Zamorano, M.E. Hendrickx y M. Caso (eds.). *Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). Pp: 105-119.



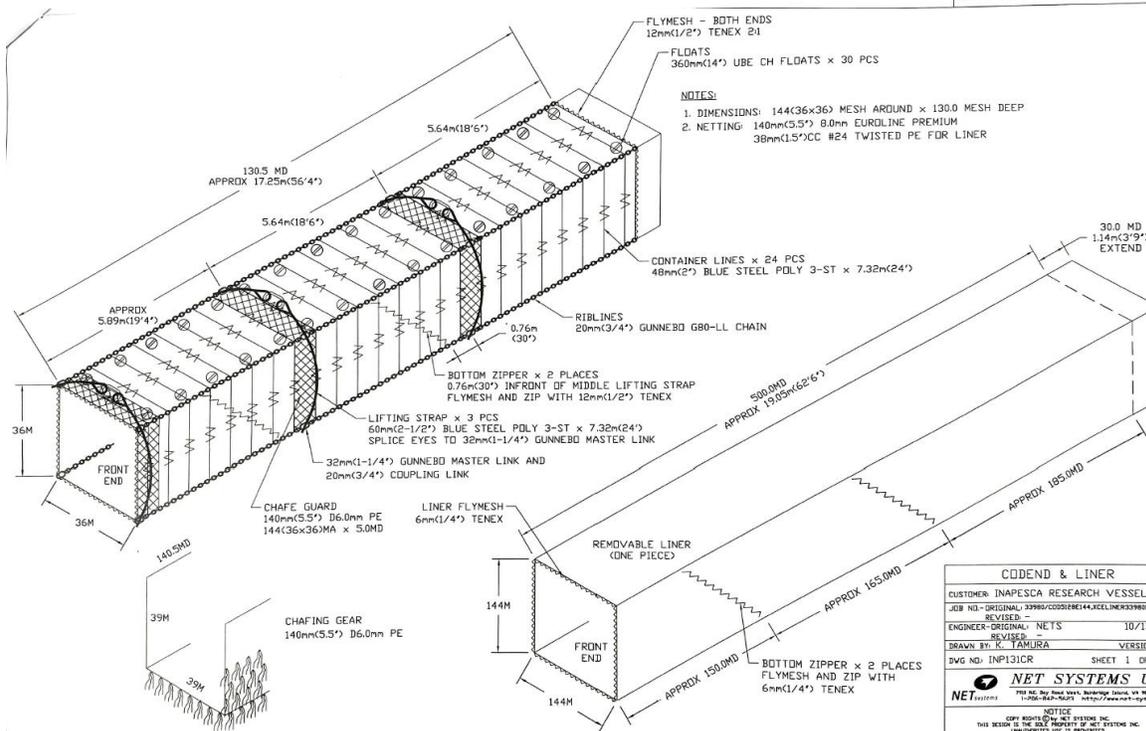
- Schratz P., J. Muenchow, E. Iturritxa, J. Richter and A. Brenning. 2019. Hyperparameter tuning and performance assessment of statistical and machine-learning algorithms using spatial data. *Ecological Modelling* 406: 109-120.
- Shannon E.C. and W. Wiener. 1963. *The mathematical theory of communication*. EE. UU.: University of Illinois.
- Simpson E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
- Simmonds E.J. and D.N. McLennan. 2005. *Fisheries Acoustics*. Theory and practice. 2nd edition. Blackwell, Oxford.
- Sokal R.R. and J.A. Rohlf. 1979. *Biometria*. Madrid: H. Blume.
- Sokal R.R. y F.J. Rohlf. 1981. *Biometría: Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Blume, Madrid. 829 p.
- Stumpf H.G. and R.V. Legeckis. 1977. Satellite Observations of Mesoscale Eddy Dynamics in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Journal of Physical Oceanography* 7: 648-658.
- Tapia-García M., M.C. García-Abad, A. Carranza-Edwards y F. Vázquez-Gutiérrez. 2007. Environmental characterization of the continental shelf of the gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geofísica Internacional* 46(4): 249-260.
- Tapia M. 1998. *El Golfo de Tehuantepec. El Ecosistema y sus Recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 239 p.
- Trasviña A., E.D. Barton, H.S. Velez, P.M. Kosro and R.L. Smith. 1995. Offshore wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: The asymmetric circulation. *J GeophysRes* 100(C10): 20649-20663. <http://dx.doi.org/10.1029/95JC01283>
- Trasviña A. y D. Barton. 1997. Los Nortes del Golfo de Tehuantepec: Dinámica del Océano Costero. En: M.F. Lavín (ed.). *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. Pp: 25-46.
- Trasviña A., E.D. Barton, H.S. Velez, J. Brown. 2003. Frontal subduction of a cool surface water mass in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geofísica Internacional* 42(1): 101-114.
- Valavi R., J. Elith, J.J. Lahoz-Monfort and G. Guillera-Aroita. 2018. block CV: An r package for generating spatially or environmentally separated folds for k-fold cross-validation of species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution* 10(2): 225-232.
- Vallarta-Zárata J.R.F., L. Huidobro-Campos, V.H. Martínez-Magaña, M.L. Jacob-Cervantes, M. Vásquez-Ortiz, L. Altamirano-López, D. Hernández-Cruz, E.V. Pérez-Flores y R.I. Rojas-González. 2020. Evaluación acústica de peces pelágicos menores en el sur del Golfo de California durante el otoño del 2020. Campaña Océano Pacífico 2020, B/I Dr. Jorge Carranza Fraser. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Dirección General Adjunta de Investigación Pesquera en el Atlántico. Diciembre, 2020. Informe Técnico No. 10. 98 pp.

- Vallarta-Zárate J.R.F., A. López-Serrano, M.L. Jacob-Cervantes, M. Vásquez-Ortiz, E. Pérez-Flores, L. Altamirano-López, V.H. Martínez-Magaña, P.R. Arenas-Fuentes y R.I. Rojas-González. 2021. Evaluación acústica de sardina crinuda (*Opisthonema* spp.) en la plataforma continental de Chiapas durante la primavera del 2021: Golfo de Tehuantepec. Campaña Océano Pacífico 2021, B/I Dr. Jorge Carranza Fraser. Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura, Dirección General Adjunta de Investigación Pesquera en el Atlántico. Diciembre, 2021. Informe Técnico No. 12. 47 pp.
- Wilkinson T.A.C., E. Wiken, J. Bezaury Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan y M. Padilla. 2009. 16. Middle American Pacific. Marine Ecoregions of North America. Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Canada. 200 p.
- Wright M.N. and A. Ziegler A. 2017. ranger: A Fast Implementation of Random Forests for High Dimensional Data in C++ and R. *Journal of Statistical Software* 77(1): 1-17. doi:10.18637/jss.v077.i01.
- Wyrtki K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean.
- Yang Y. and S. Huang. 2014. Suitability of five cross validation methods for performance evaluation of nonlinear mixed-effects forest models – a case study. *Forestry*, 87, 654-662. <http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpu025>.



- NOTES:**
1. DIMENSIONS: 144(36x36) MESH AROUND x 100.5 MESH DEEP
 2. NETTING: 100mm(4") D5.0mm PE

MARINE MAMMAL EXCLUSION INTERMEDIATE	
CUSTOMER: INAPESCA RESEARCH VESSEL	
JOB NO.-ORIGINAL: 33980/INTS1000S156/6126	REVISED: -
ENGINEER-ORIGINAL: K. TAMURA	10/13/13
DRAWN BY: K. TAMURA	VERSION 1.0
DWG NO: INP1311M	SHEET 1 OF 1
NET SYSTEMS USA	
<small>7810 NE Bay View Blvd, Beaverton, OR 97008 USA TEL: 503-646-2563 FAX: 503-646-2562 http://www.net-systems.com</small>	
<small>NOTICE COPY RIGHTS © NET SYSTEMS, INC. THIS DESIGN IS THE SOLE PROPERTY OF NET SYSTEMS, INC. UNAUTHORIZED USE IS PROHIBITED.</small>	

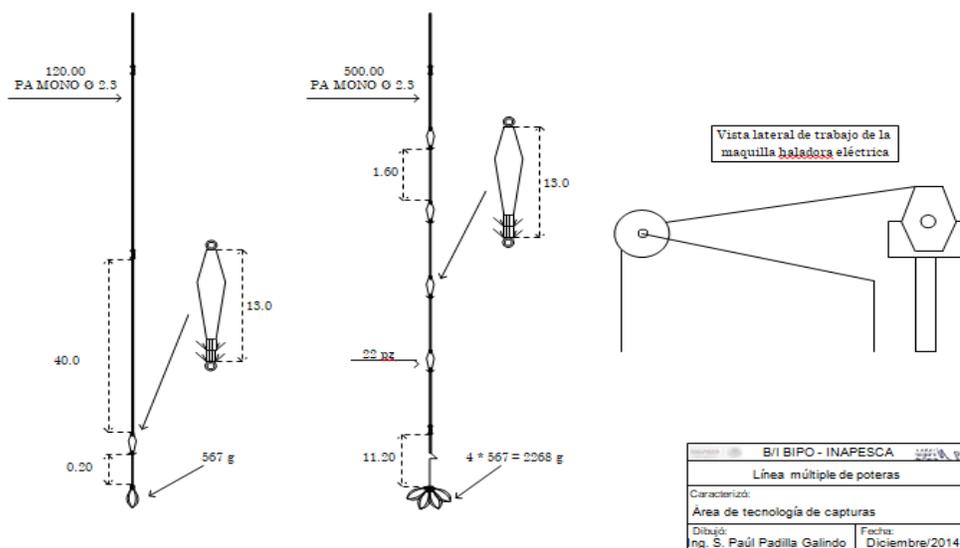


- NOTES:**
1. DIMENSIONS: 144(36x36) MESH AROUND x 130.0 MESH DEEP
 2. NETTING: 140mm(5.5") 8.0mm EURQLINE PREMIUM
38mm(1.5")CC #24 TWISTED PE FOR LINER

CODEND & LINER	
CUSTOMER: INAPESCA RESEARCH VESSEL	
JOB NO.-ORIGINAL: 33980/CODS1000E144/KELLINEK33980/6122	REVISED: -
ENGINEER-ORIGINAL: NETS	10/13/13
DRAWN BY: K. TAMURA	VERSION 1.0
DWG NO: INP1313C	SHEET 1 OF 1
NET SYSTEMS USA	
<small>7810 NE Bay View Blvd, Beaverton, OR 97008 USA TEL: 503-646-2563 FAX: 503-646-2562 http://www.net-systems.com</small>	
<small>NOTICE COPY RIGHTS © NET SYSTEMS, INC. THIS DESIGN IS THE SOLE PROPERTY OF NET SYSTEMS, INC. UNAUTHORIZED USE IS PROHIBITED.</small>	



12.3 Anexo III. Esquema técnico de las líneas (manual y múltiple) de poteras



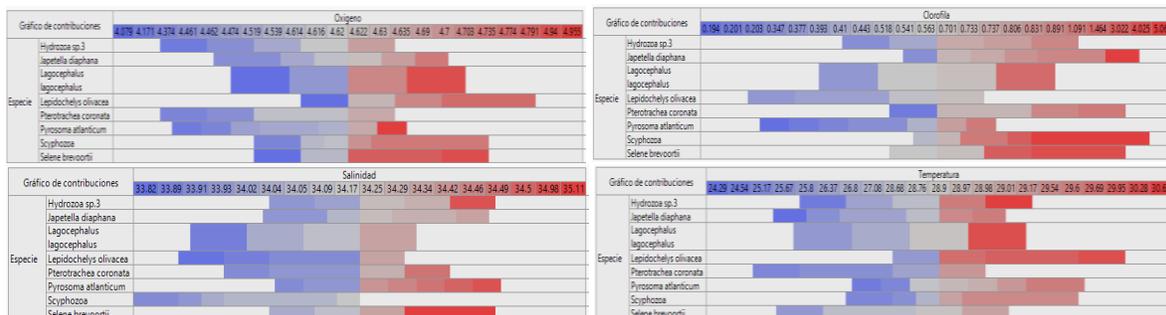


12.4 Anexo IV. Relación de las variables (O₂, clorofila, UPS y °C) por especie en los grupos obtenidos mediante el análisis Olmstead-Tukey. Se observa cual es el intervalo de las diferentes variables donde se encontró cada una de las especies.

Especies dominantes



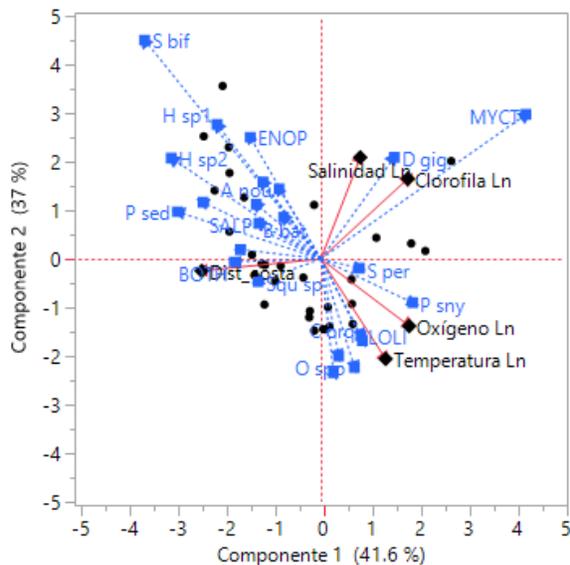
Especies abundantes



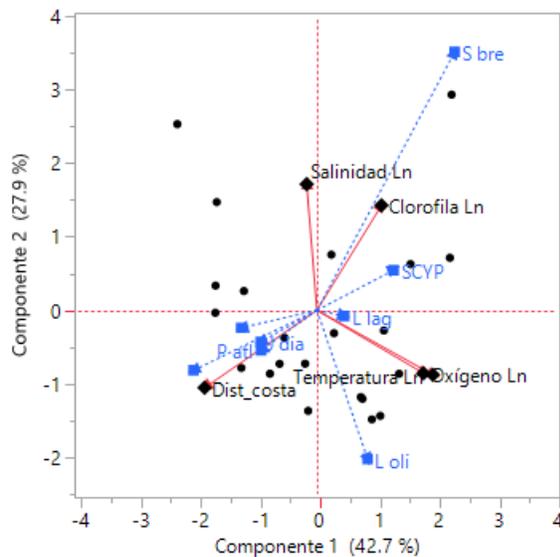


12.5 Anexo V. Gráficos Biplot, resultado del análisis de componentes principales (PCA) de las variables ambientales por grupos.

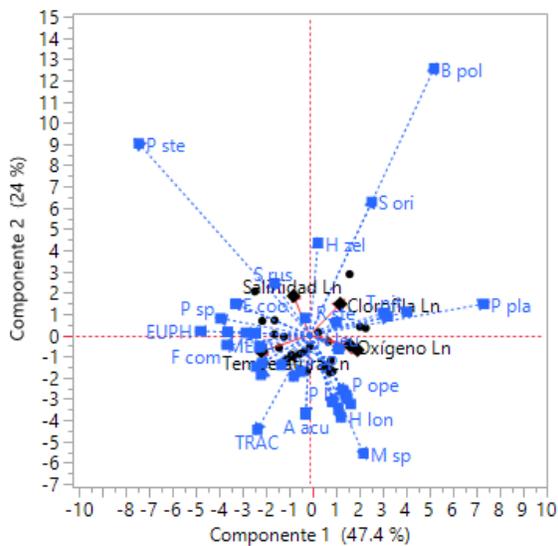
Especies dominantes



Especies abundantes



Especies raras





12.6 Anexo VI. Lista de participantes del crucero de investigación JCFINP/20-03 a bordo del B/I Dr. Jorge Carranza Fraser.

No.	Nombre	Área	CRIAP
1	Víctor Hugo Martínez Magaña	Jefe de Campaña/Oceanografía	CRIAP Manzanillo
2	Leslie Altamirano López	Acústica	DGAIPA
3	Mario Vásquez Ortiz	Acústica	DGAIPA
4	Antonio López Serrano	Acústica	Universidad del Mar
5	Yuth Arely Avendaño Peláez	Acústica	Universidad del Mar
6	Fabián Segismundo Bejarano Acuña	Acústica/Biología	FACIMAR-UAS
7	Leticia Huidobro Campos	Biología	DGAIPA
8	Daniel Hernández Cruz	Biología	DGAIPA
9	Ana Alejandra Lizárraga Rodríguez	Biología	CRIAP Salina Cruz
10	Edgar Emmanuel Aguilar Jiménez	Biología	Universidad del Mar
11	Estefany Jacqueline Campiran Martínez	Biología	Universidad del Mar
12	Efrén Antonio Félix Rosales	Biología	FACIMAR-UAS
13	Selene del Carmen Morales Gutiérrez	Oceanografía	CRIAP Puerto Morelos
14	Asbel Itahí de la Cruz Ruiz	Oceanografía	CIIDIR Sinaloa
15	Yahir Enrique López Osorio	Oceanografía	FACIMAR-UAS
16	María Luisa Leal Acosta	Oceanografía	Universidad del Mar
17	Montserrat Flores Ramírez	Oceanografía	Universidad del Mar
18	Nazaria Lizbeth Guzmán Santos	Oceanografía	CIIDIR Sinaloa
19	Sergio Paul Padilla Galindo	Tec. De Capturas	CRIAP Mazatlán
20	Víctor Ismael Carrillo Nolasco	Tec. De Capturas	CRIAP Lerma

Este informe se presenta con el fin de difundir algunos de los resultados de las campañas del INAPESCA en el Golfo de Tehuantepec. El análisis integral de la información obtenida se realiza acorde con los estándares de la investigación científica de este tipo, en colaboración con instituciones relacionadas con investigaciones en materia pesquera y los resultados serán publicados próximamente.

Si desea información más detallada, favor de comunicarse al INAPESCA por medio de su portal www.inapesca.gob



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



INAPESCA
INSTITUTO NACIONAL DE PESCA
Y ACUACULTURA



INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUACULTURA

2021



**GOBIERNO DE
MÉXICO**

AGRICULTURA

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



INAPESCA

INSTITUTO NACIONAL DE PESCA
Y ACUICULTURA