



Expedición Pacífico Sostenible

una investigación sin precedentes

En septiembre de 2024 el buque ARC “Simón Bolívar” de la Dirección General Marítima de Colombia (Dimar), zarpó con un grupo de investigadores e investigadoras desde el municipio de Tumaco (Nariño) hacia las aguas de las áreas protegidas oceánicas Yuruparí-Malpelo, Colinas y Lomas Submarinas de la Cuenca Pacífico Norte, y el Santuario de Fauna y Flora Malpelo, pasando también por el Parque Nacional Natural Gorgona; para recopilar información sobre la fijación de dióxido de carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero que ocasiona el calentamiento global.



UN CRUCERO DE INVESTIGACIÓN MULTIPROPÓSITO

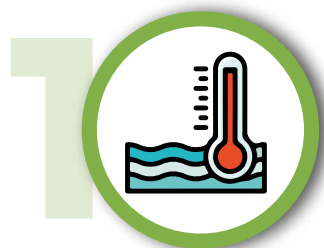
Anualmente, la Dimar a través de su Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CIOH), realiza a bordo de este buque el Crucero Regional de Investigación Conjunta ERFEN - 27/64 (Estudio Regional del Fenómeno de El Niño). Teniendo en cuenta la influencia de fenómenos como estos en las condiciones oceanográficas y climáticas, se gestionó la articulación con la Dimar y otras organizaciones e instituciones, para responder en sinergia las preguntas de investigación relacionadas con el fenómeno del Niño y la fijación de carbono en ecosistemas marinos.

LA SINERGIA

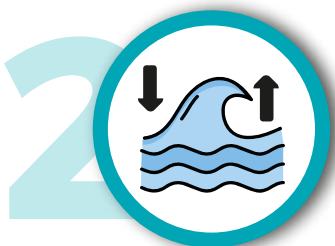
Instituciones: Parques Nacionales Naturales de Colombia, Dirección General Marítima y su Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico y la Universidad del Valle.

Socios: Programa Herencia Colombia, Patrimonio Natural, Fondo Acción, Re:Wild y Bezos Earth Fund

LOS RESULTADOS



Análisis regional del fenómeno de El Niño.



Producción Primaria Neta.

Cantidad de carbono almacenado en las áreas protegidas oceánicas.

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS DE LA CUENCA DEL PACÍFICO COLOMBIANO

La “Expedición Pacífico Sostenible” se realizó en el marco del Estudio Regional del Fenómeno de El Niño (ERFEN- 27/64) el cual hace parte de un acuerdo pactado en 1974 por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), que involucra a los países de Colombia, Chile, Ecuador y Perú, y tiene como propósito monitorear y comprender el fenómeno de El Niño en el sudeste del Pacífico. Desde ese tiempo, Colombia ha liderado más de 60 expediciones en su cuenca oceánica, contribuyendo al conocimiento científico del océano y la atmósfera.

En el Estudio Regional del Fenómeno de El Niño (ERFEN- 27/64) se analizan las condiciones físicas, químicas, biológicas y meteorológicas del Pacífico colombiano, para monitorear eventos relacionados con el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual es un evento climático natural que puede afectar a todo el planeta y que se caracteriza por los cambios en la temperatura del mar y la presión atmosférica en el Pacífico tropical.

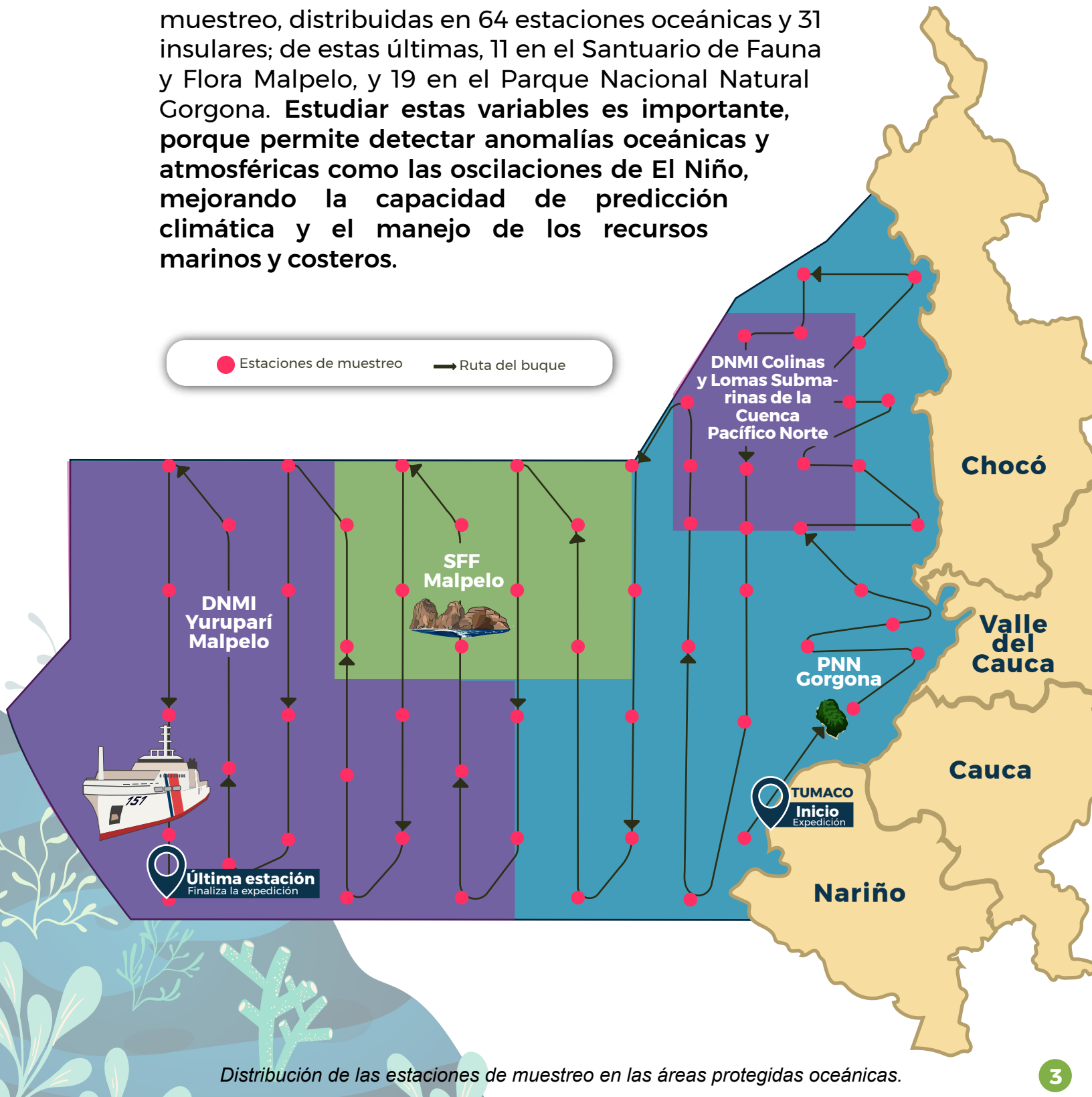
Algunas de las variables que se analizaron en el ERFEN – 27/64 fueron las siguientes:



Mapa del sudeste del Pacífico.

- La temperatura, la salinidad y la densidad del agua.
- El oxígeno disuelto, la productividad biológica y la Producción Primaria Neta (fitoplancton, zooplancton e ictioplancton).
- Y las condiciones meteorológicas para el pronóstico climático.

En ese sentido, se tomaron datos y muestras relacionadas con estas variables en **95 estaciones** de muestreo, distribuidas en 64 estaciones oceánicas y 31 insulares; de estas últimas, 11 en el Santuario de Fauna y Flora Malpelo, y 19 en el Parque Nacional Natural Gorgona. Estudiar estas variables es importante, porque permite detectar anomalías oceánicas y atmosféricas como las oscilaciones de El Niño, mejorando la capacidad de predicción climática y el manejo de los recursos marinos y costeros.



Caracterización física de la cuenca del Pacífico colombiano

La estratificación del océano es la formación de capas en el agua debido a diferencias en densidad, temperatura y salinidad, afectando la circulación oceánica y el transporte de nutrientes. Teniendo en cuenta las características de las principales capas del océano en los trópicos se encontró lo siguiente:

Capas principales del océano en los trópicos

Capa de Mezcla (Superficial)

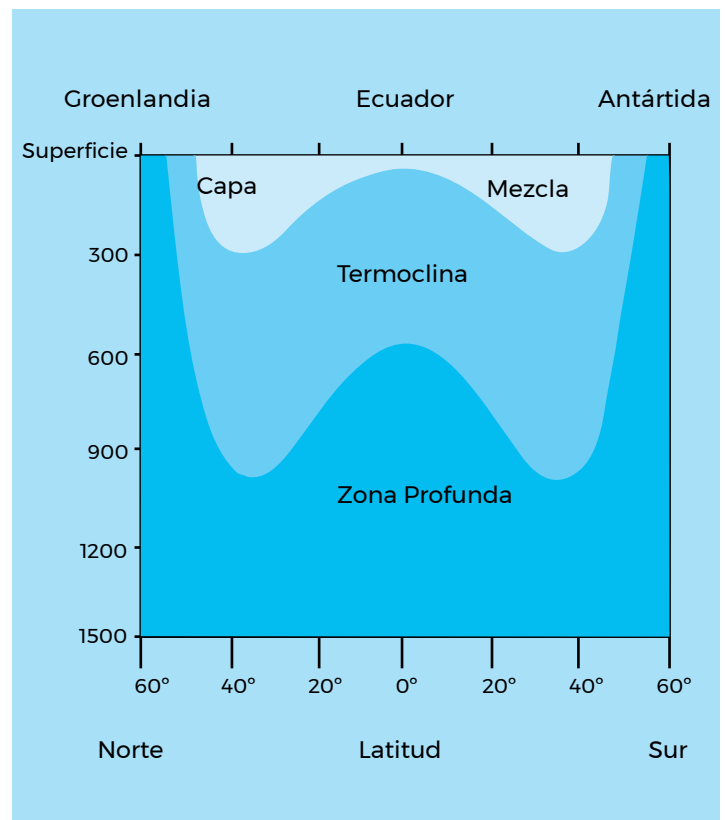
- Profundidad: 0 - 50/100 m
- Agua cálida, bien iluminada y en constante movimiento.
- Importancia: Principal zona de fotosíntesis y producción primaria.

Termoclina (Capa de Transición)

- Profundidad: 100 - 500 m
- Rápida disminución de la temperatura.
- Importancia: Regula la mezcla de nutrientes y oxígeno entre capas.

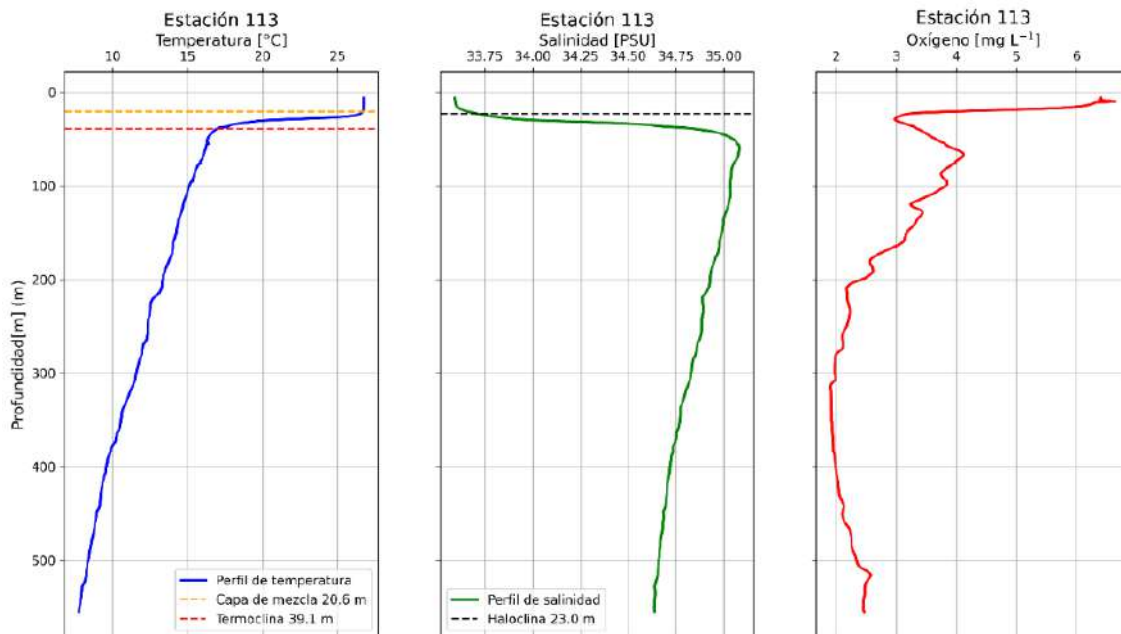
Capa Profunda

- Profundidad: 500 m hasta el fondo oceánico.
- Agua fría ($\sim 4^{\circ}\text{C}$), alta presión y bajo oxígeno.
- Importancia: Alberga especies adaptadas a condiciones extremas y regula la circulación global.



Estructura de la columna del agua del océano

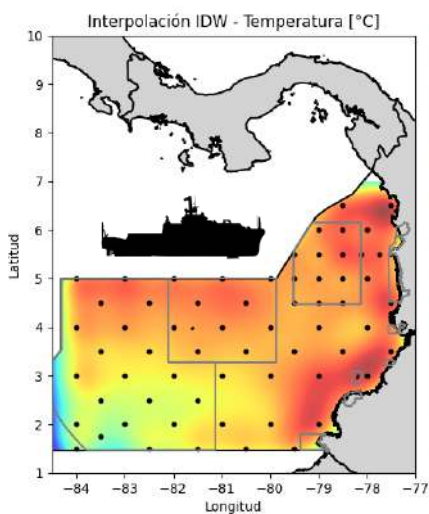
El siguiente diagrama refleja una fuerte estratificación oceánica con aguas cálidas y menos salinas en la superficie, y aguas profundas frías y más salinas, siguiendo las curvas de densidad potencial (isopícnas - σ_θ).



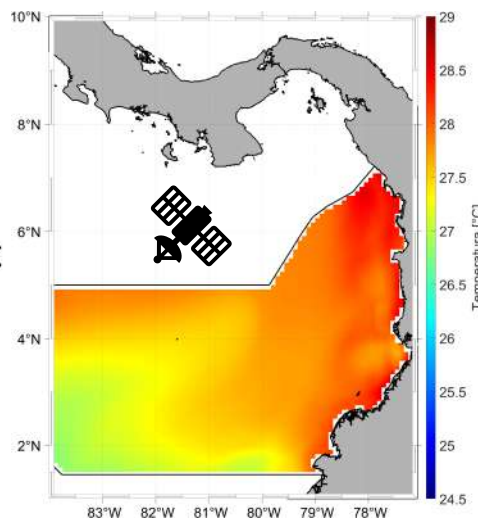
Perfiles de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto marcando la profundidad de la capa de mezcla y la termoclina en la estación 113, una de las estaciones más externas de la cuenca pacífica colombiana. (2°00'00" N 84°00'00" W).

Resultados del análisis de temperatura y salinidad

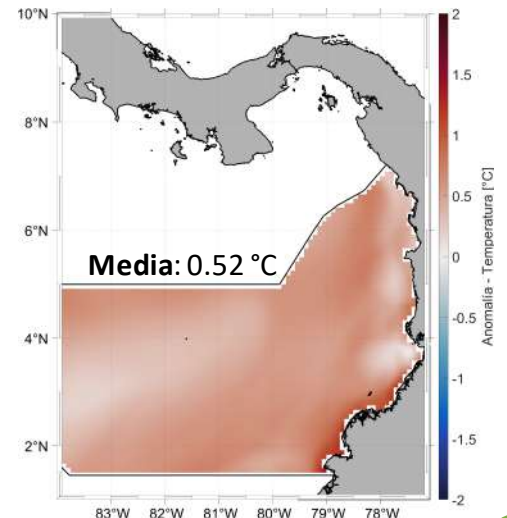
TEMPERATURA REGISTRADA EN EL
CRUCERO - SEP



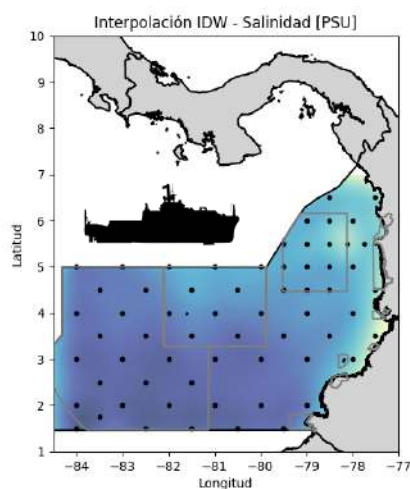
TEMPERATURA COPERNICUS - SEP



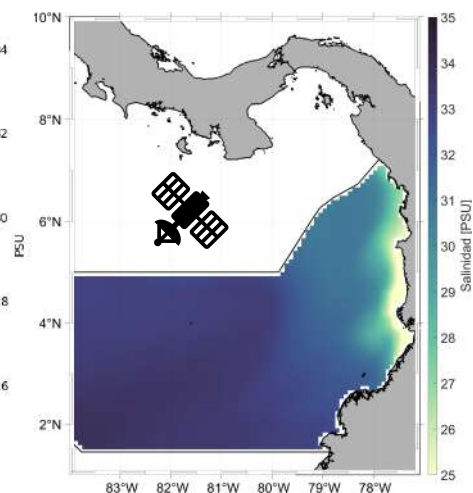
ANOMALÍAS TEMPERATURA
COPERNICUS - SEP



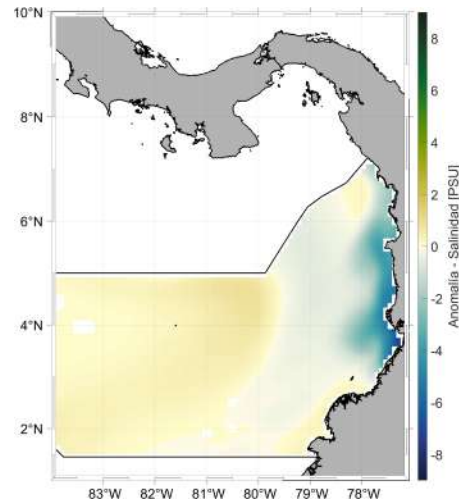
**SALINIDAD REGISTRADA EN EL
CRUCERO - SEP**



SALINIDAD COPERNICUS - SEP



**ANOMALÍAS SALINIDAD COPE
RNICUS - SEP**



De acuerdo con el análisis de las variables temperatura y salinidad para el periodo septiembre 2024, se determina que se presentan condiciones neutras para el Pacífico colombiano, lo cual coincide con lo reportado globalmente; esto quiere decir que no hay anomalía positiva o negativa de El Niño.

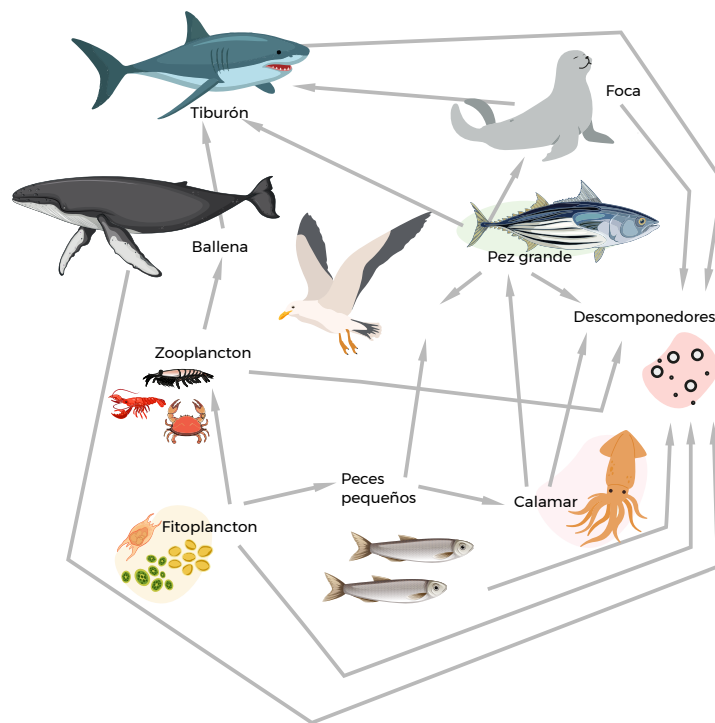
Resultado 2

PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA

Cantidad de carbono almacenado en las áreas protegidas oceánicas

La Producción Primaria Neta (PPN) en el océano es la cantidad de carbono fijado por los organismos fotosintetizadores, que son aquellos que crean su propio cuerpo y su propio alimento con la energía solar (autótrofos), y están ubicados en el primer escalafón de la red trófica marina (plantas, algas, fitoplancton, etc.). La fijación de carbono que hacen estos organismos inicia con la absorción del dióxido de carbono que está en la atmósfera, el cual transforman en compuestos orgánicos a través de la fotosíntesis. Estos compuestos son sustancias químicas o materia orgánica que contiene carbono, oxígeno, hidrógeno, fósforo, entre otros elementos; que son sustento de la vida de los otros seres vivos que les siguen en la red trófica (zooplancton, peces, mamíferos marinos, etc.), porque son aprovechados como alimento.

La comprensión de la fijación de carbono como base de la red trófica marina, permite dimensionar la dinámica de los ecosistemas marinos y la importancia de protegerlos para mitigar los impactos del cambio climático, ocasionados por la emisión de gases de efecto invernadero en actividades humanas como la deforestación y el uso de combustibles fósiles en la industria. A continuación, algunos detalles de la Producción Primaria Neta para comprender en profundidad su importancia:



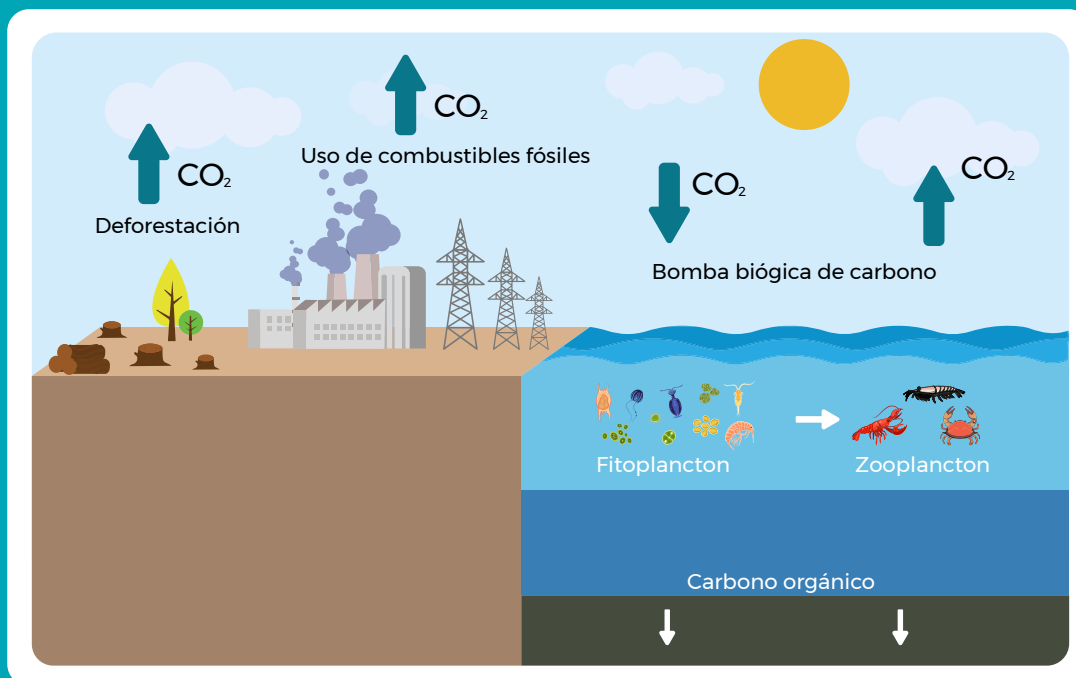
Red trófica marina

Ciclo del carbono y Cambio Climático:

Los océanos desempeñan un papel clave en la fijación de carbono atmosférico. La medición de la Producción Primaria Neta es un indicador indirecto de cuánto carbono es fijado por el fitoplancton y cuánto puede ser transportado a las profundidades oceánicas a través de la bomba biológica de carbono. Cambios en la temperatura del agua, acidificación oceánica o variaciones en la circulación oceánica pueden alterar la producción primaria. Medir la Producción Primaria Neta permite detectar y comprender cómo estos factores afectan la funcionalidad de las áreas protegidas oceánicas.

La Bomba biológica de carbono

Es la fotosíntesis que hace el fitoplancton en la superficie del océano, transformando el dióxido de carbono en materia orgánica (carbono orgánico) que se hunde lentamente hacia las profundidades en donde, después de haberse descompuesto en el camino, una fracción de carbono queda secuestrado o fijado en el suelo submarino.



Descripción gráfica de la Bomba biológica de carbono

Evaluación de la salud de los ecosistemas marinos: Un aumento o disminución significativa en la Producción Primaria Neta de un área puede indicar cambios en la calidad del hábitat, la disponibilidad de nutrientes o la presencia de impactos externos asociados a las acciones humanas como la sobrepesca y la contaminación que puede causar la eutrofización, que es el incremento de la Producción Primaria por exceso de nutrientes, lo que genera un desbalance en los ecosistemas marinos.

Estos cambios también pueden ser ocasionados por factores como los fenómenos de El Niño y La Niña o el cambio climático.

Gestión de Recursos Pesqueros: Las pesquerías dependen de la Producción Primaria Neta, pues su disminución puede afectar a las poblaciones de peces que son comercializados y, por ende, a la economía pesquera. La Producción Primaria Neta es un indicador temprano de la disponibilidad de alimento para

especies comerciales. Las áreas con alta Producción Primaria Neta son zonas de alta productividad pesquera, por lo que su monitoreo puede guiar estrategias de manejo adaptativo, es decir, estrategias de conservación que se ajustan a lo detectado en las investigaciones y el monitoreo.

Modelación biogeoquímica y climática:

La Producción Primaria Neta es un parámetro clave en modelos que buscan predecir la respuesta del océano al cambio climático y su capacidad de almacenamiento de carbono.

Estimación de la Producción Primaria Neta a través de experimentos *in situ* y sensores satelitales

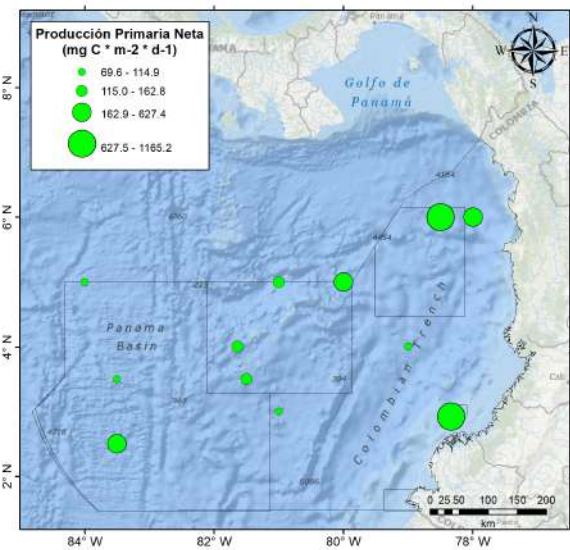
Durante el crucero de investigación “Expedición Pacífico Sostenible”, que se llevó a cabo en el marco del Estudio Regional del Fenómeno de El Niño (ERFEN- 27/64), se realizaron 12 experimentos con incubadores que permitieron estimar la Producción Primaria Neta en las áreas protegidas DNMI Yuruparí-Malpelo, DNMI Colinas y Lomas Submarinas de la Cuenca del Pacífico Norte, y el Santuario de Fauna y Flora Malpelo.

Como resultado, se encontró que la Producción Primaria Neta durante el periodo de la investigación (septiembre 2024) fue mayor en el DNMI Colinas y Lomas Submarinas de la Cuenca del Pacífico Norte y en el Parque Nacional Natural Gorgona en comparación con las demás áreas protegidas. Sin embargo, los datos históricos (1998-2023) generados con sensores satelitales indican que en el DNMI Yuruparí-Malpelo hay mayor Producción Primaria Neta, seguido del Santuario de Fauna y Flora Malpelo, y el DNMI Colinas y Lomas Submarinas de la Cuenca del Pacífico Norte.

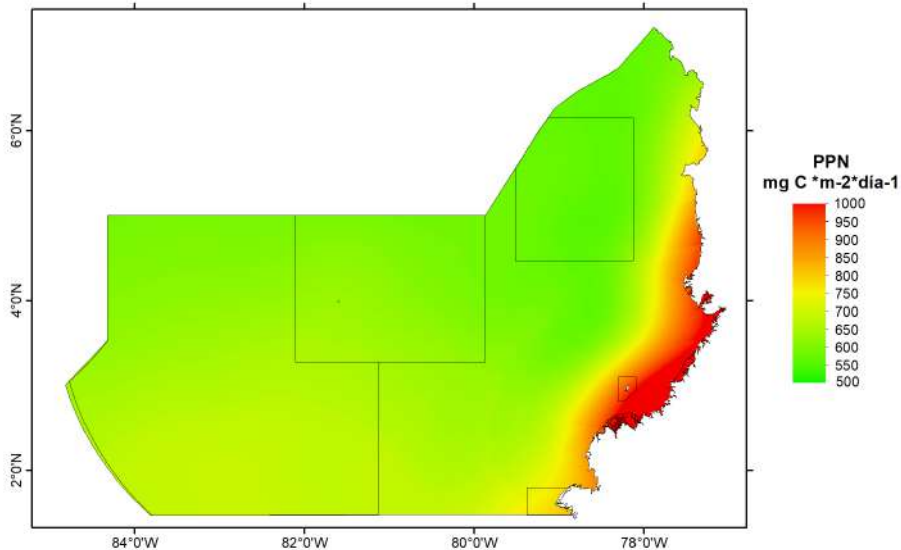


¹Distrito Nacional de Manejo Integrado – DNMI.

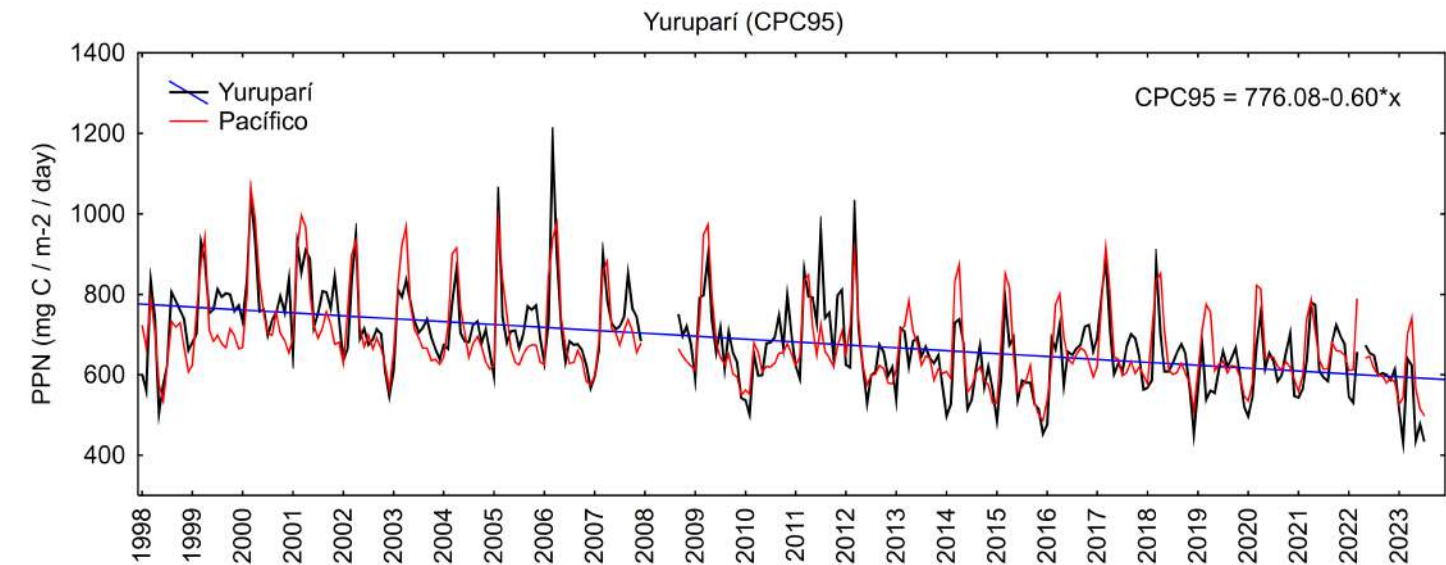
Si bien, durante esta investigación se calculó la Producción Primaria Neta con métodos *in situ* y satelitales, es necesario destacar que en el análisis histórico con sensores satelitales se detectó una tendencia generalizada a la disminución de la Producción Primaria Neta en el Pacífico colombiano.



Producción Primaria Neta *in situ* septiembre 2024.



Resultado del análisis histórico (1998-2023) de Producción Primaria Neta a través de sensores satelitales.



Disminución de la Producción Primaria Neta en el Pacífico colombiano.

CONCLUSIONES

- Los resultados del Estudio Regional del Fenómeno de El Niño (ERFEN 27/64) revelaron que las anomalías de temperatura superficial del océano estuvieron dentro de los valores normales según el Índice Multivariado de Tumaco, lo cual indica condiciones neutrales. En otras palabras, no se registró calentamiento ni enfriamiento del océano Pacífico colombiano.
- El comportamiento de los vientos alisios del suroeste incrementó levemente la temperatura superficial del mar, generando mayor disponibilidad de humedad que favorece el incremento de las precipitaciones en el Pacífico colombiano. Los resultados obtenidos permiten identificar los posibles impactos en términos de lluvias y afectaciones en la pesca como la migración de especies hacia aguas más frías en las profundidades o en las costas.
- En cuanto al análisis de la Producción Primaria Neta se destaca que además de la variabilidad estacional (épocas lluviosas y secas), la Producción Primaria Neta presenta una fuerte variabilidad interanual.
- De acuerdo con el análisis histórico de 1998 - 2023 y los datos recolectados en el periodo septiembre 2024, se determinó que en el Pacífico colombiano se fija en



promedio 65.19 millones de toneladas de carbono por mes, proceso que inicia con los organismos que componen los primeros enlaces de la red trófica marina.

- En el análisis histórico se detectó una tendencia generalizada a la disminución de la Producción Primaria Neta en el Pacífico colombiano, lo que indica una alteración de los procesos físicos, químicos y biológicos del océano, que afecta la estabilidad de los ecosistemas y los servicios o beneficios derivados, específicamente los asociados a la fijación de dióxido de carbono y la provisión de alimento.
- Es necesario realizar otros muestreos durante el primer trimestre del año (enero - febrero - marzo), debido a que el Pacífico colombiano durante ese período presenta unas condiciones contrastantes a las encontradas en el periodo de estudio (septiembre). Así mismo, es necesario realizar un número mayor de experimentos en cruceros de investigación de este tipo, que permita comprender mejor la variabilidad espacial de la Producción Primaria Neta.





PARQUES NACIONALES
NATURALES DE COLOMBIA

Ministerio de Defensa Nacional



Dirección General Marítima
Autoridad Marítima Colombiana

