

**Efectos de la luz y la temperatura en la fotosíntesis y la productividad primaria en ecosistemas marinos.
Effects of light and temperature on photosynthesis and primary productivity in marine ecosystems.**

Guido Enrique Kuffo García, Jostyn Piguave Bailón, Jordy Mendoza Cherez, Jaren Ricardo Bazurto Alvia, José Ricardo Macías Barberán,

**CIENCIA E INNOVACIÓN EN
DIVERSAS DISCIPLINAS****CIENTÍFICAS.**

**Julio - Diciembre, V°5-
N°2; 2024**

- ✓ **Recibido:** 01/08/2024
- ✓ **Aceptado:** 12/08/2024
- ✓ **Publicado:** 31/12/2024

PAIS

- Ecuador.
- Ecuador.
- Ecuador.
- Ecuador.
- Ecuador.

INSTITUCIÓN:

- Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí

CORREO:

- ✉ gekuffo@pucesm.edu.ec
- ✉ jpiguvave@pucesm.edu.ec
- ✉ jlmendoza@pucesm.edu.ec
- ✉ jrbazurto@pucesm.edu.ec
- ✉ jose.macias@utm.edu.ec

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0009-0006-7427-1307>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0005-0917-9611>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0007-0462-125X>
- 🌐 <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0007-6022-8487>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0002-2857-6867>

FORMATO DE CITA APA.

Kuffo, G. Piguave, J. Mendoza, J. Bazurto, R. Macías, J. (2024). *Efectos de la luz y la temperatura en la fotosíntesis y la productividad primaria en ecosistemas marinos*. G-ner@ndo, V°5 (N°2), 388 – 417.

Resumen

Fotosíntesis marina, productividad primaria, luz solar, temperatura del agua, fitoplancton, fotozona, cambio climático, ecosistema marino. La fotosíntesis y la productividad primaria en los ecosistemas marinos se ven significativamente afectadas por la luz y la temperatura. Estos factores determinan la distribución y el crecimiento de organismos fotosintéticos como el fitoplancton, que son esenciales para el equilibrio ecológico y la cadena alimentaria marina. La luz del sol es la principal fuente de energía para la fotosíntesis. La intensidad y la calidad de la luz disminuyen con la profundidad, afectando la fotozona donde es posible la fotosíntesis. En esta área, los organismos fotosintéticos, especialmente el fitoplancton, convierten la energía solar en energía química y producen oxígeno y materia orgánica para sustentar otras formas de vida marina. La disponibilidad de luz se ve afectada por factores como la turbidez del agua y la estacionalidad, que pueden provocar cambios en la productividad primaria. La temperatura del agua también juega un papel fundamental en la fotosíntesis y la productividad primaria. La tasa metabólica de los organismos marinos aumenta con la temperatura hasta alcanzar un límite óptimo. En aguas cálidas se acelera el crecimiento y reproducción del fitoplancton, aumentando la productividad primaria. Sin embargo, las temperaturas extremadamente altas pueden limitar el crecimiento de estos organismos, provocando estrés térmico y reduciendo la eficiencia fotosintética. Además, la temperatura afecta la estratificación de los cuerpos de agua, lo que afecta la distribución de nutrientes esenciales en el fitoplancton. El cambio climático está alterando las temperaturas de los océanos y los patrones de luz, afectando significativamente la fotosíntesis y la productividad primaria. El calentamiento global provocará cambios en la zona eufótica y la distribución del fitoplancton, afectando a la biodiversidad y al funcionamiento de los ecosistemas marinos. En definitiva, la luz y la temperatura son los determinantes de la fotosíntesis y la productividad primaria.

Palabras Claves: Fotosíntesis marina, Productividad primaria, Fitoplancton Fotozona Cambio climático

Abstract

Marine photosynthesis, primary productivity, sunlight, water temperature, phytoplankton, photozone, climate change, marine ecosystem. Photosynthesis and primary productivity in marine ecosystems are significantly affected by light and temperature. These factors determine the distribution and growth of photosynthetic organisms such as phytoplankton, which are essential for ecological balance and the marine food chain. Sunlight is the main source of energy for photosynthesis. The intensity and quality of light decrease with depth, affecting the photozone where photosynthesis is possible. In this area, photosynthetic organisms, especially phytoplankton, convert solar energy into chemical energy and produce oxygen and organic matter to support other forms of marine life. Light availability is affected by factors such as water turbidity and seasonality, which can cause changes in primary productivity. Water temperature also plays a fundamental role in photosynthesis and primary productivity. The metabolic rate of marine organisms increases with temperature until reaching an optimal limit. In warm waters, the growth and reproduction of phytoplankton accelerates, increasing primary productivity. However, extremely high temperatures can limit the growth of these organisms, causing thermal stress and reducing photosynthetic efficiency. Additionally, temperature affects the stratification of water bodies, which affects the distribution of essential nutrients in phytoplankton. Climate change is altering ocean temperatures and light patterns, significantly affecting photosynthesis and primary productivity. Global warming will cause changes in the euphotic zone and the distribution of phytoplankton, affecting biodiversity and the functioning of marine ecosystems. In short, light and temperature are the determinants of photosynthesis and primary productivity.

Keywords: Marine photosynthesis, Primary productivity, Phytoplankton Photozone Climate change.

Introducción

La fotosíntesis es un proceso vital para la vida en la Tierra, ya que convierte la energía solar en compuestos orgánicos que forman la base de las cadenas alimentarias. En los ecosistemas marinos, este proceso es llevado a cabo principalmente por fitoplancton, algas y algunas bacterias fotosintéticas. La productividad primaria en estos ecosistemas, es decir, la tasa a la cual estos organismos se convierte en el dióxido de carbono y otros nutrientes en el bioma. La luz del sol es esencial para la fotosíntesis porque proporciona la energía necesaria para la reacción química que convierte el dióxido de carbono en azúcar.

Pero la intensidad y calidad de la luz que llega al mar depende de la profundidad, la turbidez del agua y la presencia de partículas en suspensión. En las zonas costeras y aguas arriba la luz penetra más fácilmente. La temperatura también juega un papel crítico en la fotosíntesis y la productividad primaria. Los organismos fotosintéticos tienen un rango de temperatura óptimo en el que su fotosíntesis es máxima. Las temperaturas demasiado altas o demasiado bajas limitarán la eficiencia del proceso de fotosíntesis, afectando así la productividad primaria. Además, la temperatura del agua afecta la solubilidad de gases como el dióxido de carbono, un sustrato importante para la fotosíntesis, la fotosíntesis oxigénica apareció evolutivamente con la sino bacterias antepasadas, durante casi 2 mil millones de años hasta el desarrollo de las plantas terrestres la fotosíntesis estuvo prácticamente restringida en los mares

Estos microorganismos viven en la parte superior del océano y absorben dióxido de carbono realizando la fotosíntesis son capaces de convertir la materia inorgánica en orgánica absorben dióxido de carbono y producen oxígeno el fitoplancton se queda con el carbono como es uno de los elementos más pequeños de la cadena alimenticia poco a poco los demás animales lo va comiendo hasta llegar a los seres humanos y a que todos estamos compuestos por carbono, no todo es bueno con él también puede ser responsable de algunos problemas

ecológicos cuando se desarrollan demasiados en una situación de exceso de nutrientes y temperatura favorable estos organismos pueden multiplicarse rápidamente formando.

Se suele llamar florecimiento o también mareas rojas en esta situación el agua se vuelve de color verdoso pero rápidamente en uno o 2 días se vuelve a amarronada cuando él plantón agota los nutrientes comienza a morir a esa altura la descomposición más o menos es rápida de los organismos muertos puede llevar al agotamiento del oxígeno en el agua y como consecuencia a la muerte masiva de peces y otros organismos, el fitoplancton presenta una gran biodiversidad encontrándose diversas especies en función de la condiciones naturales de lugar a estos microorganismos los podemos agrupar en diatomeas.

Dino-flagelados, coanocitos o algas verdeazuladas, algas pardas y cocolitofóridos, las más abundantes son las diatomeas y los Dino flaueados, esas diminutas plantas marinas tienen un rol vital en la formación de nubes la humedad que se evapora del océano se condensa alrededor de pequeñas partículas creadas por el fitoplancton esas gotas se convierten para convertirse en colosales nubes puede elevarse hasta 20 kilómetros hacia la atmósfera estas nubes oceánicas reflejan la energía del sol de vuelta al espacio ayudando a evitar que la tierra eleve su temperatura los océanos no solo producen la mitad del oxígeno que respiramos, también controlan el clima llevando agua dulce a todo el mundo, así que no importa dónde vivamos debemos agradecer a esas diminutas plantas por cada inhalación del aire que respiramos. (Zermeño Gonzalez, 2020)

Método y materiales

El fundamento metodológico para esta investigación fue documental, basado en razonamientos metódicos de trabajos y publicaciones científicas físicas y electrónicas como Google académico, Scopus, Scielo, Redalyc y Doaj, con el fin de establecer los constructos, generando información veraz y precisa comparable con otras fuentes científicas actualizadas

(Guevara *et al.*, 2020). La revisión se desarrolló en las siguientes fases. Se seleccionó los temas sobre **los** efectos de la luz y la temperatura en la fotosíntesis y la productividad primaria en ecosistemas marinos **como** tema central, realizando una investigación en junio de 2023 en bases de datos indexadas para artículos científicos.

Se utilizó para la búsqueda documental Google académico, Scopus, Scielo, Redalyc, Doaj, entre otras fuentes en línea. Establecimiento de los referentes documentales para el período de estudio, llegando a la contextualización del tema enfocado en la importancia, aplicación y desarrollo de **los** efectos de la luz y la temperatura en la fotosíntesis y la productividad primaria en ecosistemas marinos como aporte al conocimiento científico para entender la realidad de los nichos marinos. Comprendió la compilación, clasificación y registro de la información extraída de los documentos revisados. Para ello se utilizó la categorización manual empleando el software Mendeley.

Selección: se organizó el material seleccionado en tablas, presentado con características comunes de los documentos como autor, año de publicación, título, descripción del trabajo según el énfasis de clasificación y el propósito del estudio. A partir del análisis de antecedentes se identificaron aspectos en común y distanciamientos entre los artículos para hacer las comparaciones que permitieron construir las argumentaciones de las tendencias científicas emergentes, redacción del documento final para darlo a conocer en la comunidad científica nacional e internacional.

El enfoque de la investigación será cuantitativo y experimental, buscando establecer relaciones causa-efecto entre la intensidad de la luz y la temperatura con la fotosíntesis y productividad primaria en organismos marinos. Se utilizarán mediciones directas de las variables biológicas y físicas para realizar un análisis estadístico riguroso (González, 2018).

La población de estudio estará constituida por fitoplancton y macroalgas marinas presentes en distintos ecosistemas marinos. Se seleccionarán especies representativas que

sean claves para la productividad primaria del ecosistema, como *Thalassiosira*, *Phaeocystis*, *Synechococcus*, *Macrocytis pyrifera*, y *Ulva Lactuca* (Anderson, 2017).

Resultado y Discusión

La fotosíntesis es un proceso fundamental en los ecosistemas marinos, ya que constituye la base de la cadena alimentaria y es crucial para el sostenimiento de la vida oceánica. Este proceso es realizado principalmente por organismos fotosintéticos como el fitoplancton, macroalgas y cianobacterias, que convierten la energía solar en energía química a través de la producción de materia orgánica (Behrenfeld, 2019). La fotosíntesis no solo sustenta a los organismos marinos autotróficos, sino que también provee de oxígeno al medio ambiente, siendo los océanos responsables de aproximadamente el 50% del oxígeno atmosférico.

La productividad primaria generada por la fotosíntesis en los ecosistemas marinos influye directamente en la biodiversidad y la biomasa de estos ecosistemas (Boyce, 2021). Un alto nivel de productividad primaria puede sostener una mayor diversidad de organismos marinos, incluyendo peces, crustáceos y otros consumidores secundarios. Además, la fotosíntesis marina desempeña un papel esencial en el ciclo global del carbono, ayudando a regular los niveles de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera. Este proceso de sequestro de carbono es crucial para mitigar los efectos del cambio climático.

La variabilidad en la fotosíntesis y la productividad primaria puede tener implicaciones significativas en la salud de los ecosistemas marinos y en los servicios ecosistémicos que estos proporcionan, tales como la pesca y el turismo (Henson S. A., 2022). Por lo tanto, comprender los factores que afectan la fotosíntesis en los océanos es vital para la gestión y conservación de los recursos marinos y para la protección del clima global.

Principios básicos de la fotosíntesis en organismos marinos

La fotosíntesis en organismos marinos es un proceso bioquímico crucial para la producción de materia orgánica a partir de dióxido de carbono (CO_2) y agua, utilizando la energía solar. Este proceso es fundamental para la supervivencia de fitoplancton, macroalgas y cianobacterias, los cuales son los principales productores primarios en los ecosistemas marinos. Los pigmentos fotosintéticos, como la clorofila a, son esenciales en la captura de la luz solar, permitiendo que estos organismos conviertan la energía luminosa en energía química a través de reacciones en la membrana tilacoide de los cloroplastos (Raven, 2021).

La fotosíntesis se divide en dos fases principales: la fase luminosa y la fase oscura. En la fase luminosa, la energía solar es capturada por los pigmentos y utilizada para producir ATP y NADPH, mientras que el agua se descompone, liberando oxígeno como subproducto. En la fase oscura, también conocida como ciclo de Calvin, el CO_2 es fijado en compuestos orgánicos utilizando la energía proporcionada por el ATP y el NADPH generados en la fase luminosa (Matsuda, 2019).

La eficiencia fotosintética en los organismos marinos está influenciada por factores ambientales como la intensidad y calidad de la luz, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura del agua. La adaptación a distintas condiciones de luz y nutrientes permite a los organismos marinos optimizar la fotosíntesis en diversos hábitats, desde zonas eufóricas superficiales hasta áreas más profundas donde la luz es limitada (Behrenfeld, 2019).

Factores Ambientales que Afectan la Fotosíntesis

La fotosíntesis en organismos marinos es altamente influenciada por varios factores ambientales, siendo la luz y la temperatura dos de los más significativos. La intensidad y calidad de la luz afectan directamente la tasa de fotosíntesis, ya que la luz solar es la fuente primaria de energía para este proceso. En la zona eufótica del océano, donde la luz penetra, la

disponibilidad de luz puede variar con la profundidad, la turbidez del agua y las condiciones climáticas, impactando la eficiencia fotosintética de los organismos marinos (Behrenfeld, 2019).

La temperatura del agua también juega un papel crucial en la fotosíntesis. Las enzimas involucradas en el proceso fotosintético tienen una temperatura óptima a la que funcionan más eficientemente. Variaciones en la temperatura pueden afectar la actividad enzimática, alterando las tasas de fotosíntesis. Además, la temperatura influye en la solubilidad del CO₂ en el agua, afectando su disponibilidad para la fijación de carbono en el ciclo de Calvin (Boyce, 2021).

Otros factores importantes incluyen la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y hierro, que son esenciales para la síntesis de pigmentos fotosintéticos y otras moléculas clave (Moore, 2022). La limitación de estos nutrientes puede restringir la productividad fotosintética, especialmente en regiones oceánicas oligotróficas.

La salinidad y el pH del agua también afectan la fotosíntesis, aunque de manera más indirecta, influenciando la osmolaridad celular y el equilibrio de iones en los organismos fotosintéticos (Rost, 2021). Comprender cómo estos factores interactúan para afectar la fotosíntesis es crucial para predecir las respuestas de los ecosistemas marinos a los cambios ambientales y climáticos futuros.

Papel de la luz en la fotosíntesis marina

La luz es un factor determinante en la fotosíntesis marina, ya que proporciona la energía necesaria para que los organismos fotosintéticos, como el fitoplancton, macroalgas y cianobacterias, conviertan el dióxido de carbono (CO₂) y el agua en compuestos orgánicos y oxígeno. La intensidad y calidad de la luz solar que penetra en la columna de agua varían con la profundidad, afectando la capacidad de estos organismos para realizar la fotosíntesis (Behrenfeld, 2019).

En la zona eufótica, donde la luz es suficiente para la fotosíntesis, los organismos marinos tienen adaptaciones específicas para optimizar la captura de luz. La clorofila a, el principal pigmento fotosintético, juega un papel clave en la absorción de luz, especialmente en las longitudes de onda roja y azul. Además, muchos organismos fotosintéticos marinos poseen pigmentos accesorios como las ficobiliproteínas y los carotenoides, que amplían el espectro de luz que pueden utilizar (Suggett, 2020).

La penetración de la luz en el agua también depende de factores como la turbidez y la presencia de materia orgánica y sedimentos. En aguas claras, la luz puede penetrar más profundamente, permitiendo la fotosíntesis a mayores profundidades, mientras que, en aguas turbias, la penetración de la luz es limitada, restringiendo la zona eufótica (Falkowski, 2020).

La cantidad de luz disponible para la fotosíntesis también varía diurnamente y estacionalmente, lo que afecta las tasas de fotosíntesis y la productividad primaria. Los organismos marinos han desarrollado mecanismos de adaptación para hacer frente a estas variaciones, como la regulación de los niveles de pigmentos fotosintéticos y cambios en la eficiencia fotosintética.

Influencia de la temperatura en la fotosíntesis

La temperatura es un factor crucial que influye en la fotosíntesis en los ecosistemas marinos, ya que afecta directamente las tasas metabólicas y la eficiencia de las enzimas fotosintéticas. Las enzimas involucradas en la fotosíntesis, como la ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa-oxigenasa (Rubisco), tienen una temperatura óptima en la que su actividad es máxima. Cuando la temperatura se desvía de este óptimo, la eficiencia de la fotosíntesis puede disminuir, afectando la producción de materia orgánica y la liberación de oxígeno.

El aumento de la temperatura del agua puede acelerar las reacciones bioquímicas hasta un punto, pero temperaturas excesivamente altas pueden desnaturalizar las enzimas

fotosintéticas y dañar las estructuras celulares. Por otro lado, temperaturas más bajas pueden ralentizar las reacciones enzimáticas, reduciendo la tasa de fotosíntesis y la productividad primaria (Smith, 2022).

La temperatura también influye en la solubilidad del CO₂ en el agua. A temperaturas más bajas, el CO₂ es más soluble, lo que puede facilitar su disponibilidad para los organismos fotosintéticos. Sin embargo, a temperaturas más altas, la solubilidad del CO₂ disminuye, lo que puede limitar la fotosíntesis (Henson S. A., 2022).

Los cambios en la temperatura del agua, como los inducidos por el cambio climático, pueden tener efectos significativos en la distribución y la productividad de los organismos fotosintéticos marinos. El calentamiento global está llevando a un aumento de la temperatura del océano, lo que puede alterar los patrones de fotosíntesis y afectar la salud de los ecosistemas marinos.

Efectos de la Luz en la Fotosíntesis Marina

La luz es un componente esencial para la fotosíntesis marina, ya que proporciona la energía necesaria para que los organismos fotosintéticos conviertan el dióxido de carbono y el agua en materia orgánica y oxígeno. La intensidad y calidad de la luz solar varían considerablemente en la columna de agua, afectando las tasas de fotosíntesis en diferentes profundidades. En la zona eufótica, donde la luz es suficiente para la fotosíntesis, los organismos marinos, como el fitoplancton, las macroalgas y las cianobacterias, están adaptados para maximizar la captación de luz (Behrenfeld, 2019).

La penetración de la luz en el agua se ve afectada por factores como la turbidez y la presencia de partículas y materia orgánica disuelta. En aguas claras, la luz puede penetrar más profundamente, permitiendo la fotosíntesis a mayores profundidades, mientras que, en aguas turbias, la penetración de la luz es limitada, restringiendo la zona eufótica. Además, la calidad

de la luz, determinada por su espectro, también influye en la fotosíntesis. Los pigmentos fotosintéticos, como la clorofila a, absorben principalmente las longitudes de onda roja y azul, y muchos organismos marinos poseen pigmentos accesorios que les permiten utilizar eficientemente diferentes longitudes de onda de la luz (Suggett, 2020).

Las variaciones diurnas y estacionales en la disponibilidad de luz también impactan la fotosíntesis. Durante el día, la intensidad de la luz cambia, afectando las tasas de fotosíntesis, mientras que los cambios estacionales influyen en la duración y calidad de la luz disponibles. Los organismos marinos han desarrollado diversos mecanismos de adaptación para optimizar la fotosíntesis bajo estas condiciones cambiantes, como la regulación de los niveles de pigmentos fotosintéticos y la modificación de su eficiencia fotosintética (Smith, 2022).

Intensidad de la luz y su impacto en la tasa de fotosíntesis

La intensidad de la luz es un factor crítico que influye en la tasa de fotosíntesis en los ecosistemas marinos. La fotosíntesis es un proceso que convierte la energía luminosa en energía química, permitiendo a los organismos fotosintéticos como el fitoplancton y las macroalgas producir materia orgánica y oxígeno (Behrenfeld, 2019). La relación entre la intensidad de la luz y la tasa de fotosíntesis sigue un patrón que puede describirse mediante una curva de respuesta a la luz, donde la tasa de fotosíntesis aumenta con la intensidad de la luz hasta alcanzar un punto de saturación.

En ambientes marinos, la intensidad de la luz disminuye con la profundidad debido a la absorción y dispersión de la luz por el agua y las partículas en suspensión. En la zona eufótica, donde la luz es suficiente para la fotosíntesis, los organismos fotosintéticos están adaptados para maximizar su captura de luz. La saturación de la luz ocurre cuando la intensidad alcanza un nivel en el que los pigmentos fotosintéticos están completamente saturados, y cualquier incremento adicional en la luz no conduce a un aumento adicional en la tasa de fotosíntesis (Hughes T. P., 2021).

La capacidad de adaptación a diferentes intensidades de luz varía entre especies. Algunos organismos marinos pueden ajustar sus niveles de pigmentos fotosintéticos o cambiar su orientación para optimizar la captación de luz bajo condiciones variadas. Además, las fluctuaciones diarias en la intensidad de la luz pueden influir en la dinámica de la fotosíntesis, afectando la productividad primaria y el equilibrio ecológico de los ecosistemas marinos (Smith, 2022).

Longitudes de onda específicas y eficiencia fotosintética

Las longitudes de onda específicas de la luz juegan un papel crucial en la eficiencia fotosintética de los organismos marinos. La fotosíntesis en estos organismos, como fitoplancton y macroalgas, depende de la capacidad para absorber luz a distintas longitudes de onda, lo cual varía según los pigmentos fotosintéticos presentes. Los pigmentos principales, como la clorofila *a*, tienen picos de absorción en las longitudes de onda azul y roja, mientras que otros pigmentos accesorios, como los carotenoides y las ficobiliproteínas, capturan luz en longitudes de onda adicionales (Falkowski, 2020).

La eficiencia fotosintética está directamente relacionada con la capacidad de los organismos para utilizar las longitudes de onda disponibles en su entorno. En ambientes marinos, la luz que penetra en el agua cambia de calidad y cantidad con la profundidad, reduciendo la proporción de luz roja y aumentando la proporción de luz azul y verde. Organismos marinos han evolucionado para optimizar la captura de estas longitudes de onda específicas, con pigmentos accesorios que extienden el rango de absorción de luz y mejoran la eficiencia fotosintética en diferentes condiciones de luz (Moore, 2022).

La adaptación a diferentes espectros de luz permite a los organismos marinos mantener altas tasas de fotosíntesis en condiciones variadas. Esta capacidad de adaptación es crucial para la productividad primaria en los ecosistemas marinos, que a su vez sostiene la cadena

alimentaria oceánica y contribuye al ciclo global de carbono (Smith, 2022). Las fluctuaciones en la disponibilidad de diferentes longitudes de onda pueden afectar la distribución y la productividad de estos organismos en el océano.

Adaptaciones de organismos marinos a la disponibilidad de luz

Los organismos marinos han desarrollado diversas adaptaciones para optimizar la captación de luz en respuesta a su disponibilidad variable en el entorno acuático. La intensidad y la calidad de la luz que penetra en el agua son fundamentales para la fotosíntesis, y estas condiciones cambian con la profundidad y la turbidez del agua (Behrenfeld, 2019). Para maximizar la eficiencia fotosintética, los organismos han evolucionado mecanismos que les permiten adaptarse a estas fluctuaciones.

Una de las principales adaptaciones es la presencia de pigmentos fotosintéticos especializados. La clorofila *a* es el pigmento principal en la mayoría de los organismos fotosintéticos, pero muchos de ellos también contienen pigmentos accesorios como carotenoides y ficobiliproteínas que permiten la captura de longitudes de onda adicionales (Falkowski, 2020). Estos pigmentos ayudan a ampliar el rango de luz utilizable, especialmente en ambientes donde las longitudes de onda rojas se absorben rápidamente y la luz azul es más abundante.

Los fitopláctones, por ejemplo, pueden ajustar sus niveles de pigmentos fotosintéticos en respuesta a la intensidad de la luz. En condiciones de alta luminosidad, aumentan la producción de pigmentos accesorios para protegerse del daño por luz excesiva, mientras que, en condiciones de baja luz, incrementan la cantidad de clorofila para maximizar la captura de luz. Además, algunas especies de algas y fitoplancton tienen la capacidad de migrar verticalmente para ajustar su exposición a la luz, maximizando así su fotosíntesis diaria (Smith, 2022).

Estas adaptaciones son cruciales para mantener la productividad primaria y el equilibrio ecológico en los ecosistemas marinos, especialmente en un contexto de cambio climático que puede alterar la disponibilidad de luz en el océano (Moore, 2022)

Efectos de la Temperatura en la Fotosíntesis Marina

La temperatura tiene un impacto significativo en la fotosíntesis marina, afectando tanto la actividad enzimática como la eficiencia general del proceso fotosintético. La fotosíntesis, realizada por organismos como fitoplancton, macroalgas y cianobacterias, depende en gran medida de la temperatura, ya que las enzimas clave involucradas, como la ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa-oxigenasa (Rubisco), tienen un rango óptimo de temperatura para su funcionamiento.

A temperaturas dentro de este rango óptimo, las tasas de fotosíntesis aumentan debido a una mayor actividad enzimática. Sin embargo, temperaturas excesivamente altas pueden desnaturalizar las enzimas, reduciendo la eficiencia fotosintética y provocando daños en la estructura celular (Hughes T. P., 2021). A temperaturas más bajas, la actividad enzimática y la velocidad de las reacciones fotosintéticas disminuyen, lo que lleva a una reducción en la tasa de fotosíntesis. Este efecto se debe a la disminución en la velocidad de las reacciones bioquímicas y a la reducción en la solubilidad del CO₂, que limita la disponibilidad de este sustrato para la fotosíntesis (Boyce, 2021).

El cambio climático está provocando un aumento en las temperaturas oceánicas, lo que puede tener efectos adversos sobre la fotosíntesis marina. Este calentamiento puede alterar la distribución y productividad de los organismos fotosintéticos marinos, afectando la estructura y funcionamiento de los ecosistemas marinos (Gattuso, 2021). Adaptaciones y mecanismos de ajuste son necesarios para mitigar estos impactos y mantener la salud de los ecosistemas marinos en un clima cambiante.

Relación entre temperatura y actividad enzimática

La relación entre temperatura y actividad enzimática es fundamental en el contexto de la fotosíntesis marina, ya que la temperatura influye directamente en la eficiencia de las reacciones enzimáticas involucradas en este proceso. Las enzimas fotosintéticas, como la ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa-oxigenasa (Rubisco), tienen una temperatura óptima a la cual su actividad es máxima. Fuera de este rango óptimo, la actividad enzimática puede disminuir significativamente.

A temperaturas bajas, la actividad enzimática se reduce debido a una disminución en la velocidad de las reacciones bioquímicas. Las moléculas reaccionan más lentamente, lo que lleva a una menor eficiencia en la conversión de dióxido de carbono y agua en compuestos orgánicos y oxígeno. Por otro lado, a temperaturas elevadas, aunque la velocidad de las reacciones aumenta inicialmente, las enzimas pueden desnaturalizarse si las temperaturas son excesivamente altas, lo que resulta en una pérdida de actividad y una disminución de la eficiencia fotosintética (Smith, 2022).

El equilibrio entre estos efectos es crucial para los organismos fotosintéticos en ambientes marinos. Un aumento en la temperatura debido al cambio climático puede desestabilizar este equilibrio, afectando negativamente la productividad primaria y la salud de los ecosistemas marinos (Boyce, 2021). Por lo tanto, entender cómo la temperatura afecta la actividad enzimática es esencial para predecir y mitigar los impactos del calentamiento global en la fotosíntesis marina.

Efectos de variaciones estacionales y climáticas en la fotosíntesis

Las variaciones estacionales y climáticas tienen efectos profundos en la fotosíntesis, afectando tanto la productividad primaria como la salud de los ecosistemas marinos. Las estaciones del año influyen en la disponibilidad de luz y temperatura, dos factores clave que regulan la fotosíntesis. Durante la primavera y el verano, la intensidad de la luz y las

temperaturas más altas generalmente favorecen las tasas de fotosíntesis, aumentando la producción de materia orgánica y oxígeno en los ecosistemas marinos (Behrenfeld, 2019). En contraste, durante el otoño e invierno, las reducciones en la intensidad de la luz y las temperaturas más bajas tienden a disminuir las tasas de fotosíntesis, reduciendo la productividad primaria.

El cambio climático añade una capa adicional de complejidad. El aumento de las temperaturas globales está alterando los patrones estacionales, provocando un adelanto de la primavera y una extensión de las estaciones cálidas, lo que puede afectar la sincronización de los ciclos biológicos y la productividad (Hughes T. P., 2021). Las alteraciones en la temperatura y la disponibilidad de nutrientes también pueden modificar la composición de las comunidades fotosintéticas, afectando la estructura y función de los ecosistemas marinos.

Además, eventos climáticos extremos como olas de calor marinas pueden causar estrés en los organismos fotosintéticos, reduciendo su capacidad para realizar fotosíntesis y afectando la salud general del ecosistema (Boyce, 2021). Estos cambios subrayan la importancia de entender cómo las variaciones estacionales y climáticas afectan la fotosíntesis para gestionar y proteger los ecosistemas marinos en un clima cambiante.

Tolerancia térmica y adaptaciones de organismos marinos

La tolerancia térmica y las adaptaciones de los organismos marinos son cruciales para su supervivencia en un entorno oceánico que experimenta fluctuaciones de temperatura. Los organismos marinos deben gestionar las variaciones térmicas para mantener la homeostasis y asegurar la función enzimática adecuada, crucial para procesos metabólicos como la fotosíntesis y la respiración. La tolerancia térmica se refiere al rango de temperaturas dentro del cual un organismo puede sobrevivir y reproducirse. Fuera de este rango, el estrés térmico puede alterar la estructura y función celular, afectando la capacidad del organismo para realizar procesos vitales (Baker, 2021)

Para hacer frente a estas variaciones, los organismos marinos han desarrollado varias adaptaciones. Entre estas se incluyen la producción de proteínas de choque térmico, que ayudan a proteger las estructuras celulares y enzimáticas del daño por temperaturas extremas. Además, algunas especies marinas muestran plasticidad fenotípica, ajustando su metabolismo y fisiología para adaptarse a las condiciones térmicas cambiantes (Somero, 2020).

Por ejemplo, los corales que viven en arrecifes tropicales tienen mecanismos para tolerar el estrés térmico, como la simbiosis con algas que pueden ajustar su fotosíntesis en respuesta a cambios de temperatura. Estas adaptaciones son esenciales para la resiliencia de los ecosistemas marinos, especialmente en el contexto del cambio climático y el calentamiento global, que están exacerbando las condiciones térmicas extremas en los océanos (Hughes T. P., 2021).

Interacción entre Luz y Temperatura en la Fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso físico-químico por el cual plantas, algas, bacterias fotosintéticas y algunos protistas como diatomeas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos. Se trata de un proceso fundamental para la vida sobre la tierra y tiene un profundo impacto sobre la atmósfera y el clima terrestres: cada año los organismos con capacidad fotosintética convierten en carbohidratos más del 10% del dióxido de carbono atmosférico. El conocimiento básico de este proceso es esencial para entender las relaciones entre los seres vivos y la atmósfera, así como el balance de la vida sobre la tierra

Todos los organismos vivos se agrupan en tres grandes grupos o dominios: Archaea, Bacteria y Eucarya, teniendo todos ellos un antecesor común. Cuando hablamos de fotosíntesis hablamos de los organismos que realizan este proceso, es decir, organismos fotosintetizadores, pertenecen al dominio Bacteria son las bacterias fotosintéticas y al dominio Eucarya algas, plantas y algunos protistas. Si nos fijamos en ellos, comprobamos que la aparición y el desarrollo de la fotosíntesis está íntimamente ligado al desarrollo de la vida sobre la tierra

Que la característica principal de la atmósfera durante el Arqueozoico que duró hasta hace 2500 millones de años, era que el aire apenas contenía trazas de oxígeno. Pero hubo vida antes. Y hay acuerdo en que el aire que respiramos actualmente, con un 21% de oxígeno, es producto de la actividad biológica de la tierra y muy diferente a como debió ser la atmósfera de la tierra primitiva. Si aceptamos como verdaderos los microfósiles de cianobacterias encontrados en rocas australianas de hace unos 3500 millones de años, esto indicaría que desde ese momento había organismos, cianobacterias, liberando oxígeno a la atmósfera mediante fotosíntesis, aunque según las evidencias no se produjo un aumento apreciable del mismo hasta hace unos 2500 millones de años (Marrón Ramos, 2022).

Definición y medición de la productividad primaria

Las diatomeas, el principal grupo del plancton silíceo, contribuyen con más del 40% de la producción primaria marina y dominan las comunidades del plancton en el Océano del Sur, Pacífico Norte y regiones de surgencias del Pacífico tropical y ecuatorial. La razón $\text{Si}(\text{OH})_4/\text{NO}_3 > 1.0$ en aguas subsuperficiales del margen suroccidental de Baja California (MSO-BC), sugiere que las diatomeas crecen en condiciones óptimas de nutrientes y alcanzan valor $\text{Si}(\text{OH})_4/\text{NO}_3 < 3$ en condiciones cercanas al límite por deficiencia de Fe o P. Estos valores son más altos que la razón $\text{Si}:\text{N} < 1$ para muchos de los océanos. Por lo tanto, si la productividad primaria es dominada por diatomeas en el último milenio, la razón $\text{Si}:\text{N}$ deberá ser < 3 . Para dar respuesta a esta pregunta, se colectó un multinúcleo a 700 m de profundidad en el MSO-BC. Las muestras seccionadas cada centímetro fueron liofilizadas y homogenizadas para cuantificar el contenido de ópalo biogénico (OB) y nitrógeno total (NT), a partir de los cuales se calculó la razón $\text{Si}:\text{N}$ y el fósforo orgánico.

El contenido de OB y NT se incrementó de manera constante y la razón $\text{Si}:\text{N}$ tuvo un promedio y desviación estándar de 2.8 ± 0.1 mientras que el Porg $1.1 \pm 0.9 \text{ mg kg}^{-1}$. Los resultados sugieren que, en el último milenio, la productividad primaria ha estado dominada por diatomeas

producto del ácido silícico exportado del Golfo de California hacia el margen de Magdalena, hipótesis que tiene que ser validada, bajo un océano limitado por Fe, y no por nitratos y ortofosfatos (Johnston-González, 2024).

Factores que afectan la productividad primaria en el océano

Se estudiaron las variaciones de la biomasa y productividad Fito planctónicas en la región de la boca del golfo de California. Esta zona tiene una gran importancia comercial y pesquera, sin embargo, se requiere complementar los estudios sobre la región. Esto supone un problema en cuanto al conocimiento y manejo de la zona. Los datos generados por sensores orbitando en satélites han revolucionado la oceanografía biológica permitiendo muestreos amplios en el sentido espacio- temporal. Los muestreos de este trabajo se realizaron en tres transectos, los cuales atraviesan el golfo de la costa oeste a la costa este. El primero se ubicó de Punta Coyote, BCS, hasta Topolobampo, Sinaloa; el segundo de Cabo Pulmo, BCS, hasta El Dorado, Sinaloa y el tercero de Cabo San Lucas, BCS, hasta Cabo Corrientes, Jalisco. Se descargaron composiciones mensuales de temperatura superficial del mar (TSM) y de concentración de clorofila a (Chl sat) obtenidas por el sensor Aqua-MODIS de Julio de 2002 a diciembre de 2017. Los datos de productividad Fito planctónica (PP) se obtuvieron del sitio "Ocean Productivity" de Oregon State University, para las mismas fechas. El procesamiento de los datos se realizó mediante la programática "SeaDAS v. 7.4" facilitado por la NASA.

Los años promedio muestran una clara variación estacional entre "veranos" e "inviernos" y los diagramas Hovmoller y las series de tiempo muestran una clara variación entre los periodos Normales, los eventos cálidos de El Niño y "El Blob" y los eventos de La Niña en los tres transectos y sus respectivas zonas costeras. Los valores más altos de TSM se registraron en la costa de Topolobampo durante el traslape de los eventos de El Niño EP 2015 y "El Blob" hasta 33°C mientras que los más bajos se presentaron en la misma costa durante el evento de La Niña en 2008 hasta 16°C. Los valores más altos de Chl sat se presentaron durante el evento

de La Niña en 2011 hasta 22.6 mg m^{-3} en la costa de Cabo Corrientes, Jalisco. Mientras que los valores más bajos se presentaron durante el traslape de los eventos de El Niño 2015 y "El Blob" en los tres transectos hasta 0.1 mg m^{-3} . Un comportamiento similar se observó en la PP ya que el valor más elevado se registró en la costa de Cabo Corrientes, Jalisco hasta $10.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Cardoso, 2019).

Efectos de la Luz en la Productividad Primaria Marina

Primaria y una serie de factores relacionados con los efectos de la luz en la Ciénaga Grande de Santa Marta. La Ciénaga es una laguna costera de 423 km^2 de área y de 1.6 m de profundidad media, situada en la costa caribeña de Colombia y sometida a una fluctuación fuerte de salinidad. Se trata de un sistema acuático con una alta concentración de seston y una gran productividad primaria. La concentración de clorofila "a" fluctuó entre 5.6 y 181 ug l^{-1} , el promedio anual fue la productividad primaria marina. de proteínas osciló entre 0.9 y 9.5 mg l^{-1} , el promedio anual fue de 4.2 mg l^{-1} . La productividad primaria bruta anual en la parte central de la Ciénaga fue de $1690 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$.

Los valores extremos en todo el sistema fueron 1.40 y $16.3 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ por día. La variación temporal y espacial de la productividad primaria en la Ciénaga está causada sobre todo por la entrada de aguas continentales, la productividad es más alta cuando la salinidad es baja. La productividad está también controlada por turbidez del agua y la disponibilidad de nutrientes. La capa fotosintética está restringida a menos de 1.5 m por la alta concentración de partículas. La proporción N:P, inorgánico, es en promedio 4:1 indicando que los compuestos nitrogenados son factores limitantes en el sistema lagunar. La alta productividad primaria de la Ciénaga Grande sostiene una importante pesquería artesanal. Los excedentes de la productividad son exportados al mar adyacente donde subsidian una extensa zona costera. (Braulio, 2020)

Influencia de la estratificación de la columna de agua

El presente estudio de investigación tiene como propósito realizar una evaluación y diagnóstico el sistema de agua potable actual en la zona de la ca- pilla, según la evaluación realizada se pudo verificar que la zona de estudio carece de un servicio eficiente, el diagnóstico realizado consiste en evaluar las condiciones actuales de la zona de estudio realizándose 03 sectorizaciones, en cada uno de ellos se calculó la presión y la continuidad, determinándose los siguientes datos: en el sector n 01 se tiene una presión promedio de 0.7 metros de columna de agua y una continuidad promedio de 4.79 horas de servicio; en el sector n° 02 se tiene una presión promedio de 0.50 metros de columna de agua y una continuidad de 3.18 horas de servicio; el sector n° 03 se tiene una presión promedio de 0.55 metros de columna de agua y una continuidad promedio de 0.83 horas de servicio, siendo esta la zona más crítica.

Para el mejoramiento de la presión y la continuidad se plantea el diseño de una línea de aducción, cuyo reporte indica que la presión alcanzada en el último punto es de 3.87 metros de columna de agua y la continuidad aumentara en un 40.00%, incrementando la dotación con esto se puede deducir que la línea de aducción planteada mejorara de manera eficiente el servicio de agua potable, el resultado final la presión calculada no cumple la presión indicada en la normativa pero mejora las condiciones actuales de la zona de estudio, considerándose positiva. Se recomienda realizar un catastro y sectorización de las redes, rediseñándose el caudal en las válvulas de control. Evaluación de la pérdida de carga continua en la línea de impulsión del sector de abastecimiento del reservorio D de la Ciudad de Juliaca (Zapana, 2024)

Papel de la luz en la distribución de fitoplancton

La luz desempeña un papel fundamental en la distribución y abundancia del fitoplancton en los ecosistemas marinos. Este grupo de organismos fotosintéticos depende de la disponibilidad de luz para llevar a cabo la fotosíntesis, proceso esencial para la producción

primaria en los océanos. La intensidad y calidad de la luz disminuyen con la profundidad debido a la absorción y dispersión de los rayos solares por el agua y las partículas suspendidas en ella (Chase, 2021).

La zona fótica, que se extiende desde la superficie hasta donde la luz es insuficiente para la fotosíntesis, es donde se concentra la mayor parte del fitoplancton. La penetración de la luz varía según factores como la turbidez del agua y la presencia de materiales disueltos y partículas, afectando la distribución vertical de estas comunidades. En aguas claras, la luz puede penetrar hasta mayores profundidades, permitiendo la existencia de fitoplancton a niveles más profundos. En contraste, en aguas turbias, la luz se atenúa rápidamente, limitando la zona fótica y concentrando el fitoplancton en las capas superficiales (Falkowski, 2020).

Además, el espectro de luz disponible cambia con la profundidad, con longitudes de onda azules y verdes penetrando más profundamente que las rojas. Esta distribución espectral favorece a las especies de fitoplancton que poseen pigmentos capaces de absorber eficientemente estas longitudes de onda. Los cambios estacionales y climáticos que alteran la intensidad y penetración de la luz también pueden modificar la distribución del fitoplancton, con implicaciones significativas para las redes tróficas marinas y el ciclo global del carbono (Sathyendranath, 2021).

Efectos de la Temperatura en la Productividad Primaria Marina

La temperatura juega un papel crucial en la productividad primaria marina, influenciando tanto la fisiología de los organismos fotosintéticos como la disponibilidad de nutrientes. El fitoplancton, principal responsable de la productividad primaria en los océanos, es particularmente sensible a los cambios de temperatura, ya que esta afecta directamente la tasa de fotosíntesis y la eficiencia del uso de los nutrientes (Browning, 2021).

A temperaturas óptimas, la actividad enzimática aumenta, lo que incrementa la tasa de fotosíntesis y, por ende, la productividad primaria. Sin embargo, temperaturas extremadamente altas pueden causar estrés térmico, desnaturalizando las enzimas fotosintéticas y reduciendo la eficiencia de la fotosíntesis. Además, el calentamiento de los océanos puede alterar los patrones de estratificación, disminuyendo la mezcla vertical de nutrientes y limitando su disponibilidad en la zona fótica, donde ocurre la fotosíntesis (Gittings, 2021).

El cambio climático ha llevado a un aumento en la temperatura de los océanos, lo que puede tener efectos a largo plazo en la productividad primaria marina. Por ejemplo, estudios recientes indican que el calentamiento global podría disminuir la productividad en las regiones tropicales y subtropicales debido a una mayor estratificación y una menor disponibilidad de nutrientes. En contraste, algunas áreas polares podrían experimentar aumentos en la productividad debido a una mayor extensión de la temporada de crecimiento y una reducción del hielo marino (Behrenfeld, 2019).

Estos cambios en la productividad primaria tienen implicaciones significativas para las redes tróficas marinas y el ciclo global del carbono, subrayando la necesidad de una comprensión más profunda de los efectos de la temperatura en los ecosistemas marinos.

Impacto de la temperatura en la distribución y abundancia de fitoplancton

La temperatura es un factor crucial que influye en la distribución y abundancia del fitoplancton en los ecosistemas marinos. Los organismos fotosintéticos marinos, como el fitoplancton, dependen en gran medida de la temperatura para regular su metabolismo y la eficiencia de sus procesos fotosintéticos. Las variaciones de temperatura afectan tanto la tasa de crecimiento del fitoplancton como su distribución geográfica (Sosik, 2020).

En regiones más cálidas, el fitoplancton tiende a tener tasas de crecimiento más altas debido a la aceleración de las reacciones bioquímicas, lo que puede llevar a una mayor

abundancia en estas áreas. Sin embargo, en ambientes extremadamente cálidos, el estrés térmico puede reducir la eficiencia fotosintética y, en casos extremos, causar la muerte celular, disminuyendo la abundancia de fitoplancton (Boyce, 2021).

El cambio climático global está modificando los patrones de temperatura en los océanos, lo que a su vez está afectando la distribución del fitoplancton. Se ha observado que las comunidades de fitoplancton están migrando hacia latitudes más altas en respuesta al aumento de las temperaturas en las regiones ecuatoriales y tropicales. Esta redistribución puede alterar las dinámicas de los ecosistemas marinos, ya que el fitoplancton es la base de la cadena alimentaria y su abundancia y distribución tienen implicaciones directas para los niveles tróficos superiores (Flombaum, 2020).

Además, el calentamiento de los océanos puede intensificar la estratificación de la columna de agua, limitando el suministro de nutrientes a la superficie, lo que podría reducir la productividad del fitoplancton en ciertas áreas. Estos cambios subrayan la importancia de comprender cómo la temperatura influye en la ecología del fitoplancton para prever las consecuencias del cambio climático en los ecosistemas marinos (Browning, 2021).

Relación entre productividad primaria y ciclos estacionales de temperatura

La relación entre la productividad primaria y los ciclos estacionales de temperatura es un factor crítico en la dinámica de los ecosistemas marinos. La productividad primaria, dominada por el fitoplancton, varía estacionalmente en respuesta a los cambios en la temperatura del agua, la disponibilidad de luz y los nutrientes. Durante la primavera y el verano, el aumento de la temperatura y la mayor irradiación solar promueven el crecimiento del fitoplancton, resultando en altas tasas de productividad primaria (Saba, 2019).

En estas estaciones, la estratificación térmica de la columna de agua es más pronunciada, lo que puede limitar la mezcla vertical de nutrientes desde las capas más

profundas hacia la superficie. No obstante, en algunas regiones, como las zonas de surgencia, los nutrientes se enriquecen en la superficie, impulsando aún más la productividad. Durante el otoño y el invierno, las temperaturas más bajas y la menor disponibilidad de luz reducen las tasas de fotosíntesis y la productividad primaria. Sin embargo, la mezcla vertical aumenta, reponiendo los nutrientes en la zona fótica y preparando el ambiente para un nuevo ciclo de alta productividad en la primavera siguiente (Chavez, 2021).

El cambio climático está alterando estos patrones estacionales, afectando la sincronización de los ciclos de temperatura y la disponibilidad de nutrientes, lo que podría tener consecuencias significativas para la productividad primaria y la estructura de los ecosistemas marinos. La comprensión de estas relaciones es esencial para predecir cómo los ecosistemas marinos responderán a las variaciones climáticas y para la gestión sostenible de los recursos marinos (Henson S. A., 2022).

Impacto del Cambio Climático en la Fotosíntesis y Productividad Primaria

El cambio climático está teniendo efectos profundos y variados en la fotosíntesis y la productividad primaria en los ecosistemas marinos. Uno de los principales impactos es el aumento de la temperatura del océano, que influye directamente en la tasa de fotosíntesis de los organismos Fito planctónicos. A medida que las temperaturas del agua suben, las enzimas involucradas en la fotosíntesis operan de manera más eficiente hasta un punto óptimo; sin embargo, temperaturas excesivamente altas pueden causar estrés térmico, inhibiendo la fotosíntesis y reduciendo la productividad primaria (Behrenfeld, 2019).

El calentamiento global también está modificando los patrones de estratificación de la columna de agua, afectando la disponibilidad de nutrientes esenciales para el fitoplancton. La mayor estratificación dificulta la mezcla vertical que lleva nutrientes desde las profundidades hasta la zona fótica, limitando así la productividad primaria en muchas áreas oceánicas. Además, la acidificación del océano, otra consecuencia del cambio climático, puede afectar

negativamente la calcificación de ciertos grupos de fitoplancton como las cocolitofóridas, lo cual tiene implicaciones adicionales para la fotosíntesis y la productividad global (Riebesell, 2021).

El cambio en la distribución de especies de fitoplancton es otro efecto importante. Algunas especies pueden migrar hacia latitudes más altas en respuesta al calentamiento, alterando las dinámicas ecológicas y la estructura de las redes tróficas marinas. Estas redistribuciones pueden afectar la capacidad de los ecosistemas marinos para capturar y almacenar carbono, un proceso vital en la mitigación del cambio climático (Polovina, 2020).

Conclusiones

Los Efectos de la luz sobre la fotosíntesis y la productividad primaria, La luz solar es esencial para la fotosíntesis oceánica porque proporciona a los organismos fotosintéticos como el fitoplancton la energía que necesitan para producir oxígeno y materia orgánica. La intensidad y disponibilidad de la luz disminuyen con la profundidad y pueden verse afectadas por la turbidez del agua y los cambios estacionales que determinan la eficiencia de la fotosíntesis y la distribución del fitoplancton en los ecosistemas marinos. Los cambios en la luz solar afectan directamente la productividad primaria, las cadenas alimentarias y el equilibrio ecológico marino.

El Efecto de la temperatura sobre el metabolismo y la productividad Efectos de la temperatura del agua. Mejora significativamente la tasa metabólica de los organismos fotosintéticos marinos. A temperaturas óptimas, el crecimiento y la reproducción del fitoplancton se aceleran, aumentando la productividad primaria. Sin embargo, las temperaturas extremas pueden provocar estrés térmico y reducir la eficiencia de la fotosíntesis, limitando el desarrollo de estos organismos. Además, la temperatura afecta la estratificación del agua, lo que afecta la disponibilidad de nutrientes esenciales para el fitoplancton, cambiando así la productividad de las diferentes capas del océano.

Los Efectos del cambio climático en la fotosíntesis y la productividad de los océanos El cambio climático altera las temperaturas de los océanos y los patrones de luz, lo que afecta significativamente la fotosíntesis y la productividad primaria. El calentamiento global provocará cambios en la zona eufótica, alterará la distribución del fitoplancton y afectará a la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas marinos. Estos cambios pueden afectar las redes alimentarias marinas y la capacidad del océano para absorber dióxido de carbono, exacerbando los efectos del cambio climático global.

Bibliografía bibliográfica

- Anderson, P. (2017). *Marine Photosynthesis and Algae Productivity*. Marine Ecology Journal.
- Baker, A. C. (2021). *Coral reefs and climate change*. Science.
- Behrenfeld, M. J. (2019). *Global satellite-observed daily vertical migrations of ocean animals*. Nature. Recuperado el 27 de 07 de 2024
- Boyce, D. G. (2021). *Future ocean biomass losses may widen socioeconomic equity gaps*. Nature Communications. Recuperado el 27 de 07 de 2024
- Braulio, H. R. (2020). *Treatment of lumbar spinal stenosis with the HQ (Hernández and Quintana) interbody screw, with minimally invasive technique*. International Journal of Spine Research.
- Browning, T. J. (2021). *Nutrient co-limitation at the boundary of an oceanic gyre*. Nature Communications.
- Cardoso, L. &. (2019). *Dossiê: I Encontro Paranaense de Estudos sobre Heidegger*. International Journal of Phenomenology, Hermeneutics and Metaphysics.
- Chase, A. P. (2021). *Efficiency of carbon export in the ocean*. Nature Geoscience.
- Chavez, F. P. (2021). *A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems*. Progress in Oceanography.
- Falkowski, P. G. (2020). *Aquatic photosynthesis (2nd ed.)*. Princeton University Press.
- Flombaum, P. G. (2020). *Present and future global distributions of the marine Cyanobacteria Prochlorococcus and Synechococcus*. Proceedings of the National Academy of Sciences.
- Gattuso, J. P. (2021). *Ocean solutions to address climate change and its effects on marine ecosystems*. Frontiers in Marine Science.
- Gittings, J. A. (2021). *Impacts of warming on phytoplankton abundance and phenology in a typical tropical marine ecosystem*. Scientific Reports.
-

- González, J. R. (2018). *Experimental Approaches to Marine Biology*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.
- Henson, S. A. (2021). *Observing climate change trends in ocean biogeochemistry: When and where*. Global Change Biology.
- Henson, S. A. (2022). *Marine primary production and climate change: quantifying the uncertainties*. Global Change Biology.
- Hernández, C- A-. Gocke, K. (2020). *Efectos de la Luz en la Productividad Primaria Marina*.
- Hughes, T. P. (2021). *Global warming and recurrent mass bleaching of corals*. Nature Climate Change.
- Hughes, T. P. (2021). *Global warming transforms coral reef assemblages*. Nature.
- Johnston-González, R. A.-V. (2024). *Artificial intelligence for beach monitoring: An experimental study of beach attendance at El Rodadero*. Cali: Ocean & Coastal Management.
- Jones, L. &. (2020). *Field and Laboratory Experiments in Marine Biology*. Marine Research Journal.
- Kumar, S. P. (2022). *Descriptive and Comparative Analysis in Marine Ecology*. Ecological Research.
- Marrón Ramos, D. N. (2022). *Evaluación de la deserción a nivel superior: dimensiones que inciden en carreras universitarias*. RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo.
- Martínez, A. &. (2022). *Data Processing in Marine Biology: A Software Approach*. Marine Data Journal.
- Matsuda, Y. K. (2019). *Regulation of the CO₂-concentrating mechanism in marine diatoms*. Annual Review of Marine Science.
- Moore, C. M. (2022). *Photophysiology and primary production in marine phytoplankton*. Annual Review of Marine Science.
- Pérez, L. &. (2016). *Stratified Sampling in Marine Ecosystems*. Journal of Marine Ecology.
-

- Polovina, J. J. (2020). *Ocean's shifting balance: Variability and trends in primary production and chlorophyll*. *Frontiers in Marine Science*.
- Raven, J. A. (2021). *Energy costs of carbon dioxide concentrating mechanisms in aquatic organisms*. *Photosynthesis Research*.
- Riebesell, U. e. (2021). *Ocean acidification: The new kid on the block*. *Annual Review of Marine Science*.
- Rodríguez, H. G. (2019). *Environmental Monitoring Techniques in Marine Biology*. *Journal of Oceanography*.
- Rost, B. Z.-G. (2021). *Sensitivity of phytoplankton to future changes in ocean carbonate chemistry: Current knowledge, contradictions and research directions*. *Marine Ecology Progress Series*.
- Ruiz, C. &. (2021). *Statistical Robustness in Experimental Marine Research*. *Ocean and Coastal Research*.
- Saba, G. K. (2019). *An evaluation of ocean color model estimates of marine primary productivity in coastal and pelagic regions across the globe*. *Biogeosciences*.
- Sathyendranath, S. B. (2021). *Ocean colour remote sensing of phytoplankton functional types*. *Remote Sensing of Environment*.
- Smith, S. L. (2022). *Phytoplankton adaptation to changing climate*. *Nature Climate Change*.
- Somero, G. N. (2020). *The physiology of climate change: how potentials for acclimatization and adaptation can determine organismal responses*. *Journal of Experimental Biology*.
- Sosik, H. M. (2020). *Automated submersible flow cytometry for analyzing pico- and nanophytoplankton: FlowCytobot*. *Limnology and Oceanography: Methods*.
- Suggett, D. J. (2020). *Interpretation of fast repetition rate (FRR) fluorescence: signatures of phytoplankton community structure versus physiological state*. *Marine Ecology Progress Series*.
-

Zapana, E. A. (2024). *In-person and hybrid learning in the training of professionals in higher education. An ict-centric approach*. Revista de Gestão Social e Ambiental.

Zermeño Gonzalez, A. L. (2020). *Extracto de alga marina y su relación con fotosíntesis y rendimiento de una plantación de vida*. Revista mexicana de ciencias agrícolas.