

Dinámica temporal y estructura de la comunidad de microalgas (Diatomeas, Dinoflagelados, Cianofitas y Clorofitas) en aguas costeras de Las Peñitas

Temporal Dynamics and Structure of the Microalgae Community (Diatoms, Dinoflagellates, Cyanophytes, and Chlorophytes) in Coastal Waters of Las Peñitas

Perez Z. F.¹, Palacios-Sánchez K. M.², Santamaría-Balmaceda F. J.³, Hernández-Espinoza K. M.³, Aguilar A. J.^{2*}



Perez Z. F.
zperez@ct.unan.edu.ni



Palacios-Sánchez K. M.
karen.palacios@ct.unanleon.edu.ni



Santamaría-Balmaceda F. J.
francisco.santamaria@ev.unanleon.edu.ni



Hernández-Espinoza K. M.
karelia.hernandez@ct.unanleon.edu.ni



Aguilar A. J.
arielaguilar@ev.unanleon.edu.ni

*Autor de correspondencia: arielaguilar@ev.unanleon.edu.ni

¹Estudiante del Programa de Maestría en Salud de los Cuerpos de Agua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Nicaragua.

²Programa de Maestría en Salud de los Cuerpos de Agua, Área de Conocimiento de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Nicaragua.

³Área de Conocimiento de Ciencias Agrarias y Veterinarias, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Nicaragua.

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático
ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral

vol.11, núm.21, 2025

ribcc@ev.unanleon.edu.ni

Recepción: 27 Junio, 2025

Aprobación: 19 Enero 2026

URL: https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REB_ICAMCLI/article/view/1200

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v11i21.22151>

Copyright © 2025 Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua León (UNAN-León), Área de Conocimiento de Ciencias Agrarias y Veterinarias/ Dirección Específica de Agroecología y Agronegocios /Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Veterinarias. Dirección Académica. Departamento de Investigación. Unidad de publicaciones y eventos científicos.



Esta obra está bajo una licencia internacional
[Creative Commons Atribución-NonComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resumen

Antecedentes: Microfitoplancton es un componente esencial de los ecosistemas acuáticos, sostiene la productividad primaria global y modifica las condiciones ambientales de las aguas costeras. El objetivo del presente estudio fue determinar la dinámica temporal y la estructura de la comunidad de microalgas (diatomeas, dinoflagelados, cianofitas y clorofitas) en aguas costeras de Las Peñitas. **Materiales y método:** Se recolectó muestra de agua oceánica durante un año (enero-diciembre, 2021) y se caracterizó taxonómicamente el Microfitoplancton usando microscopía con cámaras de Neubauer y Sedgewick-Rafter, con apoyo de manuales fotográficos. **Resultados:** Se registraron 55 géneros distribuidos en 38 familias: diatomeas 35 géneros y 26 familias, dinoflagelados 14 y 7, cianofitas 4 y 3, y clorofitas 2 y 2. En términos porcentuales, las diatomeas representaron el 61% de los géneros, los dinoflagelados el 28 %, las cianofitas el 7 % y las clorofitas el 4 %. La mayoría de los géneros de diatomeas aparecieron durante los 12 meses, destacando *Nitzschia* spp., *Chaetoceros* spp. y *Skeletonema* spp., mientras que los dinoflagelados mostraron variaciones estacionales, con mayor diversidad en los meses de estratificación térmica. Entre las cianofitas, *Aphanocapsa* spp. presentó ocurrencia continua, indicando integración estable al fitoplancton costero, mientras que *Merismopedia* spp. y las clorofitas (*Coelastrum* spp., *Ankistrodesmus* spp.) mostraron presencia estacional asociada a aportes continentales y descensos temporales de salinidad. **Conclusión:** Se registraron 55 géneros en 38 familias: diatomeas (61 %), dinoflagelados (28 %), cianofitas (7 %) y clorofitas (4 %). Las diatomeas dominaron todo el año, mientras dinoflagelados, cianofitas y clorofitas mostraron variaciones estacionales ligadas a nutrientes y salinidad.

Palabras claves: Dinámica, Comunidad, Microalgas, Neubauer, Marino.

Abstract

Background: Microphytoplankton is an essential component of aquatic ecosystems, sustaining overall primary productivity and modifying the environmental conditions of coastal waters. The objective of this study was to determine the temporal dynamics and structure of the microalgal community (diatoms, dinoflagellates, cyanobacteria, and chlorophytes) in the coastal waters of Las Peñitas. **Materials and methods:** Ocean water samples were collected over one year (January–December 2021), and the microphytoplankton was taxonomically characterized using Neubauer and Sedgewick-Rafter camera microscopy, with the support of photographic manuals. **Results:** Fifty-five genera distributed among 38 families were recorded: diatoms (35 genera and 26 families), dinoflagellates (14 genera and 7 families), cyanobacteria (4 genera and 3 families), and chlorophytes (2 genera and 2 families). In percentage terms, diatoms represented 61% of the genera, dinoflagellates 28%, cyanobacteria 7%, and chlorophytes 4%. Most diatom genera appeared throughout the 12 months, notably *Nitzschia* spp., *Chaetoceros* spp., and *Skeletonema* spp., while dinoflagellates showed seasonal variations, with greater diversity during months of thermal stratification. Among the cyanobacteria, *Aphanocapsa* spp. was continuously present, indicating stable integration into the coastal phytoplankton, while *Merismopedia* spp. Chlorophytes (*Coelastrum* spp., *Ankistrodesmus* spp.) showed seasonal presence associated with continental runoff and temporary decreases in salinity. **Conclusion:** Fifty-five genera were recorded in 38 families: diatoms (61%), dinoflagellates (28%), cyanobacteria (7%), and chlorophytes (4%). Diatoms were dominant year-round, while dinoflagellates, cyanobacteria, and chlorophytes showed seasonal variations linked to nutrients and salinity.

Keywords: Dynamics, Community, Microalgae, Neubauer, Marine.

Introducción

El micro fitoplancton es transportado por la corriente, presenta amplia distribución (Dalu et al., 2020), convierte la materia inorgánica en compuestos orgánicos que alimentan a los organismos subsecuentes de la cadena trófica y es responsable de aproximadamente la mitad de la producción primaria global, la cual varía según la disponibilidad de luz, nutrientes y temperatura (Field et al., 1998; Mitra & Zaman, 2016). Asimismo, por su capacidad de transformar elementos inorgánicos en formas orgánicas constituye un componente clave del ecosistema debido a que genera cambios en los cuerpos de agua costeros, como el agotamiento de nutrientes, la sobresaturación de oxígeno entre otros (Gómez, 2007; Mitra & Zaman, 2016; Varona-Cordero & Gutiérrez-Mendieta, 2006).

Por otro lado, diversos estudios muestran evidencias de que la porción oriental del océano Pacífico presenta una intensa actividad costera frontal, impulsada principalmente por los vientos alisios. Por lo tanto, el desplazamiento de las masas de aire en dirección al ecuador induce procesos de surgencia que provocan la disminución de la temperatura superficial del agua (Shelton et al., 2000) y favorece el florecimiento del micro fitoplancton debido al ascenso de aguas profundas ricas en nutrientes (Wang et al., 2021). En las zonas del Océano Pacífico oriental de México y Centroamérica, estos procesos se ven reforzados por una dinámica hidrológica compleja, asociada a la presencia de tres chorros de viento regionales localizados en los golfos de Tehuantepec, Papagayo y Panamá (Frankenfield, 1917; Chapel, 1927; Hurd, 1929). Bajo ese contexto, en las zonas sur de Nicaragua y norte de Costa Rica, el chorro de viento de Papagayo propicia surgencia durante el período de noviembre a mayo (Shelton et al., 2000), empujando las aguas superficiales mar adentro y facilitando el afloramiento de aguas frías y ricas en nutrientes. Este proceso puede incrementar la productividad primaria en la plataforma continental de Nicaragua y Costa Rica, de manera similar a lo reportado en otros estudios (Fiedler, 2002; Álvarez-Borrego, 2004; Ramírez-Barón et al., 2010; Calvo-Vargas et al., 2014; Calvo-Vargas et al., 2016).

No obstante, a pesar de la importancia ecológica y pesquera de la costa del Océano Pacífico de Nicaragua, existen limitaciones en el conocimiento detallado sobre la sucesión taxonómica mensual del micro fitoplancton que integre simultáneamente el probable efecto de la surgencia, la resuspensión, la lluvia y escorrentía fluvial. Las informaciones existentes se centran a menudo en eventos de floración de microalgas tóxicas o nociva, o en la caracterización general de la productividad (Band-Schmidt, et al., 2011; Callejas et al., 2015; El 19 digital, 2018; Argeñal y López, 2018; Díaz et al., 2018; Rojo et al., 2021). Por lo tanto, este estudio contribuye a llenar este vacío, ofreciendo un análisis exhaustivo del ciclo anual completo de la composición de la comunidad micro fitoplanctónica en aguas costeras de Las Peñitas, en el periodo enero-diciembre, 2021. La agrupación taxonómica de 55 géneros en cuatro clases principales establece una base para diferenciar los taxones localmente adaptados y potencialmente endémicos de los conjuntos alóctonos introducidos a través de procesos ambientales externos (Marañón et al., 2001).

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio

El área de estudio se localiza en la costa de Las Peñitas, frente al Laboratorio de Investigaciones Marinas y Acuícolas (LIMA) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), municipio de León, Nicaragua. La zona fue georreferenciada utilizando el sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), zona 16 Norte, con datum WGS 84. El punto principal de muestreo se ubicó en las coordenadas 496 354.7 m E y 1 367 161.4 m N. (Figura 1).



Figura 1. Ubicación del área de estudio y zona de muestreo de microfitoplancton en la costa de Las Peñitas, León, Nicaragua

Nota. La figura muestra la localización del Laboratorio de Investigaciones Marinas y Acuícolas (LIMA) y la zona de muestreo en el área costera adyacente. El mapa fue elaborado en QGIS utilizando imágenes de Google Satellite y el sistema de coordenadas WGS 84 / UTM zona 16N.

Toma y análisis de muestra

De enero a diciembre de 2021 se colectaron muestras diariamente para determinar la presencia de los grupos diatomeas, clorofitas, cianofitas y dinoflagelados en el agua costera del LIMA. Se tomó un litro de agua marina a 50 metros de la línea costera en una botella plástica, se adicionó Lugol, se etiquetó con fecha, día y hora, y se dejó en oscuridad durante 24 horas para su sedimentación. Posteriormente, se extrajeron 100 ml del fondo de la muestra y se colocaron en un beaker para su análisis. La identificación de microalgas mayores a 20 μm se realizó utilizando el método propuesto por [McAlice \(1971\)](#) en cámara Sedgwick-Rafter (S/R) a una magnificación de 10 X con un microscopio óptico convencional. El recorrido se efectuó siguiendo un patrón en “S” y los individuos se identificaron por género y grupo en cada cuadrante ([Van, 2006](#)). Los géneros se agruparon por familia para determinar presencia mensual y anual. En el caso de microalgas menores a 20 μm , el conteo se realizó utilizando una cámara de Neubauer a una magnificación de 40 $\times$ (Aujero, s.f.).

Análisis estadístico

Se elaboró una base de datos en Microsoft EXCEL 2013 para el almacenamiento, ordenamiento agrupación de los géneros de microalgas en grupos (diatomeas, dinoflagelados, cianofitas y clorofitas) y familia. Se determinó la presencia y riqueza mensual y anual de individuos de cada grupo, en el periodo de enero-diciembre 2021.

Resultados y discusión

Se registraron 55 géneros de microalgas distribuidos en 38 familias, correspondientes a los grupos de diatomeas, dinoflagelados, cianofitas y clorofitas, en aguas costeras de Las Peñitas ([Tabla 1](#)). Esta riqueza genérica resulta superior a la documentada en otros estudios regionales, como el realizado por [Ramírez y Giraldo \(2007\)](#) en el Pacífico colombiano. No obstante, a pesar de las diferencias en el número total de géneros y en el ámbito espacial de los muestreos, los resultados del presente estudio coinciden en gran medida con lo reportado por [Ramírez y Giraldo \(2007\)](#) en cuanto a la estructura taxonómica de la comunidad fitoplanctónica, donde se observa una clara dominancia de las diatomeas, seguidas por los dinoflagelados, lo que puede indicar patrones consistentes de composición fitoplanctónica en el Pacífico oriental tropical, tanto en zonas oceánicas como costeras.

Bajo este contexto, la estructura taxonómica de microalgas de la comunidad Las Peñitas se caracterizó por una marcada riqueza genérica y familiar del grupo diatomeas, que concentró el 63.64 % de los géneros y el 68.42 % de las familias. Los dinoflagelados representaron el segundo grupo en importancia taxonómica, con 25.45 % de los géneros y 18.42 % de las familias. En contraste, las cianofitas y clorofitas mostraron menor riqueza taxonómica, con 4 géneros (7.89 %) y 3 familias (7.27 %) y 2 géneros (5.26 %) y 2 familias (3.64 %), respectivamente. Este patrón de mayor riqueza taxonómica de diatomeas y dinoflagelados, junto con una representación reducida de cianofitas y clorofitas, es característico de ambientes marinos tropicales con elevada productividad ([Marañón et al., 2001](#); [Gómez, 2007](#); [Marañón, 2015](#); [López et al., 2019](#)) ([Tabla 1](#)). Es más, la coincidencia de la alta riqueza de diatomeas, en los 12 meses de estudio, podría ser un indicador clásico de fenómenos de probabilidad frontal ([Wang et al., 2021](#)) debido a que en los meses de verano la Surgencia de Papagayo, fenómeno estacional impulsado por los vientos Alisios, transporta aguas frías y ricas en nutrientes desde el fondo del océano hacia la superficie, estimulando la productividad primaria ([Ramírez-Barón et al., 2010](#); [Cupul-Velázquez et al., 2025](#)) y, por otro lado, en invierno las escorrentías podrían estar acarreando nutrientes del continente hacia los cuerpos de agua costeros.

La proporción de dinoflagelados, también es relevante, pues muchos géneros encontrados en nuestro estudio son responsables de las floraciones algales y han sido reportados históricamente en algunas regiones del Pacífico tropical, tales como México ([Gómez, 1998](#)) y el Golfo de Nicoya en Costa Rica ([Calvo-Vargas et al., 2016](#)). Aunque el Golfo de Nicoya no está directamente en el área central de la surgencia de Papagayo, experimenta variaciones fisicoquímicas influenciadas por patrones climáticos regionales como El Niño y La Niña que propician el florecimiento de microalgas ([Calvo-Vargas et al., 2014](#)). Por otro lado, las cianofitas y clorofitas, aunque menos abundantes, señalan posibles influencias de la escorrentía fluvial de los esteros de Poneloya y Salinas Grandes ([Argeñal y López, 2018](#); [Rojo et al., 2021](#)) debido a que estos grupos suelen proliferar en ambientes costeros con menor salinidad y mayor aporte orgánico ([Mitra & Zaman, 2016](#)) ([Tabla 1](#)).

Tabla 1. Riqueza de la comunidad de microalgas (diatomeas, dinoflagelados, cianofitas y clorofitas)

Grupos	Géneros	Familias%	Familias	% Géneros
Diatomeas	35	26	63.64	68.42
Dinoflagelados	14	7	25.45	18.42
Cianofitas	4	3	7.27	7.89
Clorofitas	2	2	3.64	5.26
Total	55	38	100	100

La riqueza de géneros fitoplanctónicos (Tabla 2) evidenció una variación temporal marcada a lo largo del año, con un máximo en marzo (36 géneros) y valores elevados en junio a noviembre, patrón característico de comunidades fitoplanctónicas sujetas a forzantes ambientales estacionales (Marañón et al., 2001; Dalu et al., 2020; Ramírez y Giraldo, 2007). Las diatomeas dominaron de manera consistente la riqueza mensual, alcanzando su mayor valor en marzo (25 géneros) y manteniéndose altas en febrero y junio (24 géneros), lo que confirma su papel estructural en la comunidad costera. Los dinoflagelados presentaron picos de riqueza en marzo y octubre (8 géneros), reflejando una variabilidad temporal más pronunciada. Las cianofitas alcanzaron su mayor riqueza en noviembre (4 géneros), mientras que las clorofitas mostraron una presencia restringida durante el año, con un máximo de dos géneros en agosto y septiembre. El mínimo de riqueza total se registró en diciembre (23 géneros), asociado a una disminución general en todos los grupos, probablemente debido al agotamiento de los nutrientes al final de la época lluviosa y etapa inicial de los fenómenos de surgencia.

Tabla 2. Riqueza mensual de géneros de microalgas registrados en aguas costeras del LIMA durante 2021

Mes	Diatomeas	Dinoflagelados	Cianofitas	Clorofitas	Riqueza total
E	21	5	1	0	27
F	24	3	2	0	29
M	25	8	3	0	36
A	19	4	2	0	25
M1	18	4	2	0	24
J	24	6	2	0	32
J1	22	6	2	1	31
A1	21	5	2	2	30
S	21	7	2	2	32
O	21	8	2	0	31
N	19	7	4	0	30
D	19	3	1	0	23

Nota. E=Enero, F=Febrero, M=Marzo, A=Abril, M1=Mayo, J=Junio, J1=Julio, A1=Agosto, S=Septiembre, O=Octubre, N=Noviembre, D=Diciembre.

Diatomeas

Al analizar la riqueza Fitoplanctónica de los cuatro grupos de estudio (Tabla 3), se evidencia mayor cantidad de géneros de diatomeas (35), lo cual es consistente con comunidades costero-marinas altamente productivas y sujetas a forzantes físicos dominantes (Dalu et al., 2020; Cupul-Velázquez et al., 2025). Por lo tanto, esta estructura taxonómica sugiere que los principales procesos ecológicos que modelan la comunidad fitoplanctónica en las aguas costeras de Las Peñitas, podrían ser: 1) la entrada de agua continental con altos contenidos de nutrientes, 2) la dinámica de mezcla provocada por las olas y 3) el afloramiento de aguas frías y ricas en nutrientes propiciada por los vientos Alisios, principalmente en la zona de la Surgencia de Papagayo (Shelton et al., 2000).

En ese sentido, la alta presencia de los géneros holoplanctónicos, como: *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Skeletonema*, *Cyclotella*, *Guinardia*, *Rhizosolenia*, *Thalassionema* y *Odontella* fortalece la hipótesis del probable aprovechamiento de los nutrientes por las escorrentías, dado que estos géneros son típicos de masas de agua marinas enriquecidas y relativamente estables dentro de la columna de agua (Dalu et al., 2020; Cupul-Velázquez et al., 2025; Siqueiros et al., 2025; Bonacic et al., 2025). Asimismo, la presencia de los géneros bentónicos como *Nitzschia*, *Navicula*, *Pleurosigma*, *Biddulphia*, *Guinardia* y *Rhizosolenia* sugiere condiciones de enriquecimiento recurrente, fuerte influencia de procesos de mezcla y resuspensión de microalgas y de sedimentos costeros probablemente por las olas y afloraciones de agua ricas en nutrientes que también abastecen a las diatomeas holoplanctónicas (Ramírez-Barón et al., 2010; Torrez-V et al., 2021; Escoto-Murillo y Alfaro, 2021; Siqueiros et al., 2025; Bonacic et al., 2025), fenómenos ya descritos para sistemas similares (Margalef, 1978; Álvarez-Borrego, 2004; Martínez-López et al., 2004; Cupul-Velázquez et al., 2025).

Bajo este contexto, la presencia constante de estos géneros de microalgas, durante los 12 meses de muestreo, sugiere que estos taxa pueden considerarse autóctonos y altamente adaptados a la dinámica hidrológica, marcada por las estaciones lluviosa y seca y por el fenómeno frontal que propicia aceleración de los vientos en esta zona costera del Pacífico nicaragüense (Wang et al., 2021).

En contraste, la detección de familias y géneros típicamente asociados a ambientes dulceacuícolas o estuarinos como Eunotiaceae (*Eunotia* spp.) y (*Diatoma* spp.) (Montoya-Moreno et al., 2013), aunque con una contribución limitada a la riqueza total, evidencia pulsos periódicos de aporte alóctono.

Este patrón, particularmente marcado durante la estación lluviosa, sugiere un efecto combinado de escorrentía continental y resuspensión de sedimentos, lo que resulta en una contaminación temporal de la comunidad marina con organismos no marinos, debido a la desembocadura de aguas salobres provenientes de los esteros cercanos (Argeñal y López, 2018; Díaz et al., 2018). De manera similar, a los fenómenos costero-marino reportados en otros sitios similares a nuestra área de estudio (Taylor et al., 2024).

Por otro lado, la presencia del género *Thalassiothrix* durante los meses más secos del año puede asociarse con la intensificación de la Surgencia de Papagayo, dado que este género corresponde a diatomeas holoplanctónicas típicamente registradas en aguas oceánicas frías y ricas en nutrientes. De forma complementaria, la ocurrencia de *Thalassiosira* a lo largo de un período más amplio del año, incluyendo tanto meses secos como de transición, sugiere una mayor tolerancia a variaciones estacionales en la columna de agua (Álvarez-Borrego, 2004; Lobban y Tharngan, 2025; Xu et al., 2025), aunque su presencia en los primeros meses del año coincide igualmente con condiciones favorecidas por la surgencia estacional en el Pacífico centroamericano (Shelton et al., 2000) (Tabla 3).

Tabla 3. Composición y variación temporal de diatomeas en el cuerpo de agua costero del Laboratorio de Investigaciones Marinas y Acuícolas de la UNAN-León, Las Peñitas.

N	Diatomeas	Familia	E	F	M	A	M1	J	J1	A1	S	O	N	D
1	<i>Aulacodiscus</i> spp.	Aulacodiscaceae			√	√	√	√	√	√	√	√		
2	<i>Nitzschia</i> spp.	Bacillariaceae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	Bacillariaceae			√			√		√	√		√	√
4	<i>Bacillaria</i> spp.	Bacillariaceae			√			√	√	√	√	√	√	√
5	<i>Biddulphia</i> spp.	Biddulphiaceae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
6	<i>Bacteriastrum</i> spp.	Chaetocerotaceae						√						
7	<i>Chaetoceros</i> spp.	Chaetocerotaceae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
8	<i>Coscinodiscus</i> spp.	Coscinodiscaceae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
9	<i>Diploneis</i> spp.	Diploneidaceae		√	√			√	√	√	√	√	√	√
10	<i>Entomoneis</i> spp.	Entomoneidaceae			√	√		√						
11	<i>Eunotia</i> spp.	Eunotiaceae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
12	<i>Diatoma</i> spp.	Fragilariaceae	√	√			√	√				√	√	√
13	<i>Asterionella</i> spp.	Fragilariaceae	√	√										
14	<i>Fragilaria</i> spp.	Fragilariaceae			√									
15	<i>Gossleriella</i> spp.	Gossleriellaceae		√										
16	<i>Hemiaulus</i> spp.	Hemiaulaceae	√											
17	<i>Dytilum</i> spp.	Lithodesmiaceae			√	√							√	√
18	<i>Melosira</i> spp.	Melosiraceae	√	√	√	√	√				√	√	√	√
19	<i>Navicula</i> spp.	Naviculaceae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
20	<i>Pinnularia</i> spp.	Pinnulariaceae			√	√	√	√	√	√	√	√		

N	Diatomeas	Familia	E	F	M	A	M1	J	J1	A1	S	O	N	D
21	<i>Pleurosigma</i> spp.	Pleurosigmataceae	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	<i>Gyrosigma</i> spp.	Pleurosigmataceae	✓	✓	✓						✓			
23	<i>Guinardia</i> spp.	Rhizosoleniaceae	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
24	<i>Rhizosolenia</i> spp.	Rhizosoleniaceae	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
25	<i>Pyxidicula</i> spp.	Rhopalodiaceae	✓	✓										
26	<i>Epithemia</i> spp.	Rhopalodiaceae			✓						✓			
27	<i>Skeletonema</i> spp.	Skeletonemataceae	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
28	<i>Cyclotella</i> spp.	Stephanodisceae	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
29	<i>Stephanopyxis</i> spp.	Stephanopyxidaceae											✓	
30	<i>Grammatophora</i> spp.	Striatellaceae									✓	✓	✓	✓
31	<i>Surirella</i> spp.	Surirellaceae					✓			✓	✓		✓	✓
32	<i>Thalassionema</i> spp.	Thalassionemataceae	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
33	<i>Thalassiothrix</i> spp.	Thalassionemataceae	✓	✓	✓					✓				✓
34	<i>Thalassiosira</i> spp.	Thalassiosiraceae	✓	✓	✓	✓	✓	✓						✓
35	<i>Odontella</i> spp.	Triceratiaceae	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Nota. ✓=encontrado. E=Enero, F=Febrero, M=Marzo, A=Abril, M1=Mayo, J=Junio, J1=Julio, A1=Agosto, S=Septiembre, O=Octubre, N=Noviembre, D=Diciembre.

Dinoflagelados

Nuestros resultados muestran presencia de siete familias de dinoflagelados, siendo Ceratiaceae, Prorocentraceae y Protoperidiniaceae las que presentan mayor frecuencia temporal a lo largo del año. Dentro de la familia Ceratiaceae, *Tripus fusus* y *Tripus furca* muestran una amplia distribución temporal, con registros recurrentes desde finales de la estación seca y durante gran parte de la estación lluviosa, lo que indica una presencia casi continua, similar a lo reportado por otros investigadores en el estero de Salinas Grandes (Argeñal y López, 2018). En contraste, *Ceratium* spp. y *Tripus dens* presentan una aparición más restringida, limitada principalmente a los primeros meses del año.

La familia Prorocentraceae, representada por *Prorocentrum* spp., evidencia una presencia sostenida a lo largo de la mayor parte del ciclo anual, con registros desde los primeros meses hasta el cierre del año, lo que sugiere una alta tolerancia a la variabilidad ambiental. De forma similar, Protoperidiniaceae, representada por *Protoperidinium* spp., muestra una ocurrencia frecuente pero no continua, con mayor presencia durante los meses intermedios y finales del año. En cuanto a la familia Dinophysaceae, los géneros *Dinophysis* y *Ornithocercus* presentan una distribución temporal discontinua, con apariciones puntuales en meses específicos, lo que podría indicar una respuesta a condiciones ambientales particulares. La familia Gonyaulacaceae, representada por *Gonyaulax* spp., muestra una presencia esporádica, registrada únicamente en algunos meses del año. Todos estos géneros de dinoflagelados han sido reportados para el Pacífico mexicano (Okolodkov y Gárate, 2006) y el estero de Salinas Grandes (Argeñal y López, 2018; Díaz et al., 2018). Por su parte, la familia Gymnodiniaceae exhibe una variabilidad temporal marcada. *Gymnodinium* spp. aparece de forma intermitente a lo largo del año, mientras que *Margalefidinium polykrikoides* se registra exclusivamente en un período consecutivo de varios meses, lo que sugiere una aparición estacional bien definida. *Akashiwo sanguinea* presenta una ocurrencia puntual, limitada a un solo mes de muestreo. Finalmente, Pyrophacaceae, representada por *Pyrophacus* spp., muestra presencia ocasional.

Estos patrones temporales concuerdan con estudios realizados en distintas zonas del Pacífico oriental de México. Gómez (1998) reportó la presencia de los géneros *Protoperidinium*, *Gonyaulax*, *Gymnodinium* y *Prorocentrum*, mientras que Maciel-Baltazar y Hernández-Becerril (2013) documentaron al género *Margalefidinium polykrikoides*. Todos estos géneros fueron igualmente registrados en el presente estudio.

A escala regional, Calvo-Varga et al. (2016) reportaron en el Golfo de Nicoya (Costa Rica) una variación temporal y espacial significativa de los dinoflagelados durante un período de tres años, incluyendo eventos de El Niño y La Niña, con presencia de *Margalefidinium polykrikoides*, *Prorocentrum*, *Alexandrium*, *Gymnodinium*, *Tripus furca* y *Tripus fusus*. Asimismo, Calvo-Vargas et al. (2014) señalaron que las floraciones de dinoflagelados se concentraron principalmente durante la época lluviosa, probablemente asociadas al incremento del aporte de nutrientes provenientes de los sistemas estuarinos. En Nicaragua, estudios previos en el estero de Salinas Grandes (Argeñal & López, 2018; Díaz et al., 2018) reportaron la presencia de *Alexandrium*, *Dictyocha*, *Gymnodinium*, *Protoperidinium*, *Prorocentrum*, *Gonyaulax*, *Tripus furca*, *Tripus fusus* y *Cochlodinium* (actualmente *Margalefidinium*), lo que refuerza la consistencia regional de los géneros observados y destaca la variabilidad temporal como un rasgo clave en la estructura del dinoflagelado planctónico en sistemas estuarinos del Pacífico centroamericano (Tabla 4).

Tabla 4 Composición y variación temporal de dinoflagelados en el cuerpo de agua costero del Laboratorio de Investigaciones Marinas y Acuícolas de la UNAN-León, Las Peñitas (2021)

N	Dinoflagelados	Familia	E	F	M	A	M1	J	J1	A1	S	O	N	D
1	<i>Tripos fusus</i>	Ceratiacea				√	√	√		√	√	√	√	√
2	<i>Tripos furca</i>	Ceratiaceae			√	√	√	√	√	√	√	√		√
3	<i>Ceratium</i> spp.	Ceratiaceae	√	√	√	√	√	√						
4	<i>Tripos dens</i>	Ceratiaceae	√											
5	<i>Dinophysis</i> spp.	Dinophysaceae			√				√		√			
6	<i>Ornithocercus</i> spp.	Dinophysaceae							√					
7	<i>Dinofysis caudata</i>	Dinophysaceae										√	√	
8	<i>Gonyaulax</i> spp.	Gonyaulacaceae					√			√				√
9	<i>Gymnodinium</i> spp.	Gymnodiniaceae		√	√		√						√	
10	<i>Margalefidinium polykrikoides</i>	Gymnodiniaceae							√	√	√	√	√	
11	<i>Akashiwo sanguíneo</i>	Gymnodiniaceae											√	
12	<i>Prorocentrum</i> spp.	Prorocentraceae		√	√	√				√	√	√	√	√
13	<i>Protoperidinium</i> spp.	Protoperidiniaceae		√	√	√	√	√			√	√	√	√
14	<i>Pyrophacus</i> spp.	Pyrophacaceae			√				√				√	√

Nota. √=encontrado. E=Enero, F=Febrero, M=Marzo, A=Abril, M1=Mayo, J=Junio, J1=Julio, A1=Agosto, S=Septiembre, O=Octubre, N=Noviembre, D=Diciembre.

Cianofitas

Las cianobacterias constituyen un componente clave de la ecología acuática debido a que contribuyen de forma significativa a la producción primaria y representan una fuente de alimento para el zooplankton y otros niveles tróficos en ecosistemas acuáticos. Sin embargo, bajo determinadas condiciones ambientales, algunas especies pueden producir cianotoxinas, las cuales representan un riesgo para la salud animal y humana, debido a su asociación con enfermedades que producen efectos hepatotóxicos, neurotóxicos y dermatotóxicos tras la exposición a agua o biota contaminada (Chorus & Bartram, 1999; Puyana y Prato, 2013). Desde un punto de vista ecológico, las cianobacterias pueden clasificarse en formas planctónicas, que habitan suspendidas en la columna de agua, y formas bentónicas, que crecen asociadas al fondo o a diferentes sustratos. En el presente estudio se identificaron dos géneros planctónicos (*Aphanocapsa* spp. y *Merismopedia* spp.) y dos géneros bentónicos (*Leptolyngbya* spp. y *Oscillatoria* spp.), lo que evidencia la coexistencia de ambos modos de vida en las aguas costeras del sector de Las Peñitas. La presencia y distribución de estas cianobacterias podría estar relacionada con su tolerancia a variaciones fisicoquímicas y a cambios en la disponibilidad de nutrientes, así como con la influencia combinada de procesos hidrológicos continentales y forzantes físico-oceanográficos característicos del Pacífico tropical oriental (Shelton et al., 2000; Lavín et al., 2006; Escoto-Murillo & Alfaro, 2021). Este patrón es comparable a lo descrito para sistemas lenticos (Li et al., 2025) y de surgencia, como el de la Corriente de California, donde el afloramiento de aguas ricas en nutrientes favorece el desarrollo y la dispersión de comunidades fitoplanctónicas (Álvarez-Borrego, 2004).

Aphanocapsa spp., un género típicamente planctónico, presentó una ocurrencia continua durante los doce meses del año, lo cual sugiere una elevada plasticidad ecológica y una buena adaptación a las condiciones relativamente estables de la zona costera. Este patrón concuerda con lo descrito para cianobacterias pico y nanoplanctónicas en ambientes tropicales, donde la estacionalidad térmica es baja y la disponibilidad de nutrientes puede variar de forma moderada a lo largo del año (Bonilla, 2009; Puyana et al., 2015). Por lo tanto, la persistencia de este género podría estar asociada a aportes difusos y constantes de nutrientes provenientes de fuentes continentales cercanas, de manera similar a lo reportado por Jewel et al. (2002) en sistemas costeros influenciados por descargas terrestres.

Es más, *Merismopedia* spp., también considerada un género planctónico, mostró una mayor frecuencia durante la estación lluviosa (mayo–octubre), cuando la escorrentía continental aporta agua dulce, materia orgánica y nutrientes hacia la franja costera; sin embargo, en sistemas tropicales estos aportes no siempre se traducen en una fertilización efectiva de la columna de agua debido a la marcada estratificación superficial (Fiedler & Talley, 2006). Por consiguiente, la mayor abundancia de *Merismopedia* durante la época lluviosa sugiere afinidad por ambientes con salinidad reducida y enriquecimiento orgánico, condiciones que favorecen el desarrollo de cianobacterias planctónicas coloniales.

En contraste, *Leptolyngbya* spp. y *Oscillatoria* spp., ambos géneros predominantemente bentónicos, presentaron una distribución temporal restringida, con registros al inicio del año y en noviembre, lo que indica una respuesta a pulsos ambientales específicos más que a un enriquecimiento sostenido asociado a las lluvias (Shelton et al., 2000; Lavín et al., 2006; Escoto-Murillo & Alfaro, 2021). La detección de estos géneros en el plancton sugiere que, bajo determinadas condiciones físicas, las cianobacterias bentónicas pueden ser resuspendidas desde el fondo hacia la columna de agua, especialmente durante eventos de mayor turbulencia. La presencia de *Oscillatoria* spp. en febrero y marzo coincide con la intensificación de los vientos alisios del noreste y con eventos de surgencia asociados a la surgencia de Papagayo que incrementa temporalmente la disponibilidad de nutrientes en la zona fótica y favorece la mezcla vertical (Kessler, 2006), facilitando la incorporación transitoria de formas bentónicas al plancton. En contraste, durante la estación lluviosa, la disminución de la intensidad de los alisios reduce la mezcla vertical, limitando el aporte de nutrientes proveniente de aguas profundas pese al aumento de la escorrentía continental (Fiedler & Talley, 2006). Por lo tanto, la ocurrencia puntual de *Oscillatoria* spp. resulta ecológicamente relevante, dado que algunas especies han sido asociadas a la formación de biopelículas sobre organismos bentónicos, incluidas gorgonias, con potencial impacto negativo sobre su tejido vivo (Abeytia et al., 2013; Puyana y Prato, 2013; Puyana et al., 2015).

En conjunto, estos resultados sugieren que la estructura temporal de las cianofitas en las aguas costeras de Las Peñitas está regulada principalmente por la interacción entre la estratificación tropical, los aportes continentales y los eventos de surgencia inducidos por los vientos alisios, más que por la estacionalidad pluviométrica considerada de manera aislada (ver tabla 5).

Tabla 5. Composición y variación temporal de cianofitas en el cuerpo de agua costero del Laboratorio de Investigaciones Marinas y Acuícolas de la UNAN-León, Las Peñitas (2021)

N	Cianofitas	Familia	E	F	M	A	M1	J	J1	A1	S	O	N	D
1	<i>Leptolyngbya</i> spp.	Leptolyngbyaceae			√								√	
2	<i>Aphanocapsa</i> spp.	Merismopediaceae	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	<i>Merismopedia</i> spp.	Merismopediaceae				√	√	√	√	√	√	√	√	
4	<i>Oscillatoria</i> spp.	Oscillatoriaceae		√	√									√

Nota: √=encontrado. E=Enero, F=Febrero, M=Marzo, A=Abril, M1=Mayo, J=Junio, J1=Julio, A1=Agosto, S=Septiembre, O=Octubre, N=Noviembre, D=Diciembre.

Clorofitas

Las clorofitas registradas en la costa pacífica de Las Peñitas presentaron una ocurrencia temporal limitada, con *Ankistrodesmus* spp. presente entre julio y septiembre y *Coelastrum* spp. restringido entre agosto y septiembre (ver tabla 6). Este patrón indica que estos géneros responden a condiciones ambientales transitorias más que a una presencia continua en el sistema costero. Por consiguiente, son componentes secundarios del fitoplancton marino y su abundancia suele incrementarse en ambientes costeros influenciados por aportes de agua dulce, reducción de salinidad y aumento de nutrientes, condiciones típicas de la estación lluviosa en el Pacífico de Nicaragua (Fiedler & Talley, 2006). La aparición de *Ankistrodesmus* spp. durante el periodo central del invierno sugiere afinidad por ambientes con influencia continental, ya que este género es característico de sistemas dulceacuícolas y puede incorporarse temporalmente al plancton costero mediante escorrentía fluvial. Asimismo, *Coelastrum* spp. podría estar asociado a pulsos de enriquecimiento nutricional y a condiciones de menor competencia antes del retorno a un régimen más marino y estratificado. Ambos géneros suelen proliferar en ambientes con alta disponibilidad de nutrientes, pero muestran menor competitividad frente a diatomeas y cianobacterias en aguas marinas estables.

Tabla 6. Composición y variación temporal de clorofitas en el cuerpo de agua costero del Laboratorio de Investigaciones Marinas y Acuícolas de la UNAN-León, Las Peñitas (2021)

N	Clorofitas	Familia	E	F	M	A	M1	J	J1	A1	S	O	N	D
1	<i>Coelastrum</i> spp.	Scenedesmaceae								√	√			
2	<i>Ankistrodesmus</i> spp.	Selenastraceae						√	√	√				

Nota: √=encontrado. E=Enero, F=Febrero, M=Marzo, A=Abril, M1=Mayo, J=Junio, J1=Julio, A1=Agosto, S=Septiembre, O=Octubre, N=Noviembre, D=Diciembre.

Conclusiones

El análisis anual de la comunidad fitoplanctónica en las aguas costeras de Las Peñitas durante 2021 evidencia un ecosistema altamente dinámico, caracterizado por una elevada riqueza taxonómica (55 géneros y 38 familias) y una variación temporal marcada, regulada por la interacción entre forzantes físico-oceanográficos y aportes continentales. La dominancia persistente de las diatomeas, tanto en riqueza genérica como en distribución mensual, confirma su papel estructural dentro de la comunidad fitoplanctónica y su estrecha relación con condiciones de alta productividad primaria, mezcla vertical y enriquecimiento nutricional recurrente en la zona costera.

La variación mensual de la riqueza total, con un máximo en marzo y valores elevados de junio a noviembre, sugiere una respuesta directa de la comunidad fitoplanctónica a la estacionalidad climática regional, particularmente a la intensificación de los vientos alisios y a la influencia de la Surgencia de Papagayo durante la estación seca. La ocurrencia continua de géneros holoplanctónicos dominantes, junto con la presencia estacional de taxones de origen bentónico asociados a aguas frías y ricas en nutrientes, respalda la relevancia de este fenómeno como uno de los principales forzantes del sistema.

Los dinoflagelados mostraron una riqueza y distribución temporal más variable, con géneros de presencia casi continua y otros de ocurrencia estacional o puntual, lo que refleja una respuesta diferenciada a las condiciones ambientales entre la estación seca y la lluviosa. Este patrón concuerda con observaciones regionales del Pacífico tropical oriental y resalta el potencial de este grupo como indicador de cambios ambientales y eventos de floraciones algales.

Las cianofitas y clorofitas, aunque con menor riqueza relativa, aportan información clave sobre la influencia continental y los procesos locales de mezcla y resuspensión. La persistencia anual de géneros planctónicos como *Aphanocapsa* spp. sugiere una alta plasticidad ecológica y adaptación a condiciones relativamente estables, mientras que la aparición episódica de formas bentónicas y de clorofitas indica pulsos ambientales específicos asociados a escorrentía, turbulencia y surgencia.

En conjunto, los resultados confirman que la estructura y variación temporal del fitoplancton en Las Peñitas están reguladas por la convergencia de procesos oceánicos (surgencia, afloramiento y mezcla), aportes continentales y dinámica estacional, dando lugar a comunidades mayoritariamente autóctonas, bien adaptadas a la hidrología costera del Pacífico nicaragüense. Este estudio constituye una línea base sólida para el monitoreo ecológico de la zona, particularmente frente a escenarios de variabilidad climática, intensificación de floraciones algales y cambios en el uso del territorio costero.

Declaraciones

Fondos: Este estudio fue financiado.

Conflicto de intereses: No revelaron conflictos de intereses.

Cumplimiento de estándares éticos: No se realizó ningún experimento con animales mayores o personas.

Contribuciones de Autores: ZFP: Conceptualización, Metodología, Redacción, análisis de datos, Borrador Original. KMPS: Conceptualización, Metodología, toma de datos y Redacción de Borrador Original. FJSB: Conceptualización, Metodología, toma de datos y Redacción de Borrador Original. KMSE y AJA: Conceptualización, Metodología, toma de datos y Redacción de Borrador Original, Redacción, Revisión y Edición.

Disponibilidad de datos: Los conjuntos de datos están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento al Gobierno de la República de Nicaragua que, bajo la conducción del Copresidente Cmdte. Daniel Ortega Saavedra y la Copresidenta Cra. Rosario Murillo Zambrana, gestionó los recursos financieros destinados a la ejecución del Proyecto Pargo a nivel nacional. Dicho proyecto fue dirigido por el Instituto Nicaragüense de la Pesca y Acuicultura (INPESCA) y contó con la colaboración de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), en el marco de un convenio específico orientado al desarrollo de investigaciones sobre la reproducción del pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) en el Laboratorio de Investigaciones Marinas y Acuicultura (LIMA-UNAN-León), así como a la evaluación de la salud de los cuerpos de agua costeros, línea de trabajo de la cual se deriva el presente estudio. Agradecemos finalmente el acompañamiento institucional brindado por INPESCA y el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), cuyo apoyo contribuyó al fortalecimiento de la infraestructura, la adquisición de equipos y materiales, y la adecuada ejecución de las actividades de investigación y muestreo.

Referencias bibliográficas

- Abeytia, R., Guzmán, H. M., & Breedy, O. (2013). Species composition and bathymetric distribution of gorgonians (Anthozoa: Octocorallia) on the southern Mexican Pacific coast. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1157–1166. <https://doi.org/10.15517/rbt.v61i3.11910>
- Álvarez-Borrego, S. (2004). Nutrient and phytoplankton dynamics in a coastal lagoon strongly affected by coastal upwelling. *Ciencias Marinas*, 30(1A), 1–19. <https://doi.org/10.7773/cm.v30i1A.2510>
- Argeñal Fabilena, M. A., & López Montalván, D. D. (2018). *Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos cianofitas, clorofitas, diatomeas y dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos en las aguas del Estero Salinas Grandes, período junio–noviembre de 2017*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León]. Repositorio Institucional UNAN-León.
- Aujero, E. (1981). Use of the hemacytometer for counting phytoplankton. En Report of the training course on growing food organisms for fish hatcheries (SCS/GFO/81/PE-4). FAO. <https://www.fao.org/4/ab768e/AB768E04.htm>
- Band-Schmidt, C. J., Bustillos-Guzmán, J. J., López-Cortés, D. J., Núñez-Vázquez, E., & Hernández-Sandoval, F. E. (2011). El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica*, 21(3), 381–413.

- Bonačić, T., Arapov, J., Bušelić, I., Lepen Pleić, I., Milić Roje, B., Tomašević, T., Bužančić, M., Mladinić, M., Casabianca, S., Penna, A., Skejić, S., & Ninčević Gladan, Ž. (2025). Advancing the taxonomy of the diatom *Pseudo-nitzschia* through an integrative study conducted in the central and southeastern Adriatic Sea. *Plants*, 14(2), 245. <https://doi.org/10.3390/plants14020245>
- Bonilla, S. (Ed.). (2009). *Cianobacterias planctónicas del Uruguay: Manual para la identificación y medidas de gestión* (PHI-VII Documento Técnico N.º 16). UNESCO; DINAMA; Universidad de la República; OSE.
- Callejas, L., Meléndez Darce, A. C., Amador, J. J., Conklin, L., Gaffga, N., Schurz Rogers, H., DeGrasse, S., Hall, S., Earley, M., Mei, J., Rubin, C., Aldighieri, S., Backer, L. C., & Azziz-Baumgartner, E. (2015). Paralytic shellfish poisonings resulting from an algal bloom in Nicaragua. *BMC Research Notes*, 8, 74. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1012-4>
- Calvo Vargas, E., Boza Abarca, J., & Berrocal Artavia, K. (2014). Efectos de El Niño y La Niña sobre el comportamiento del micro fitoplancton marino y las variables fisicoquímicas durante 2008–2010 en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 6, 115–133. <https://doi.org/10.15359/revmar.6.8>
- Calvo Vargas, E., Boza Abarca, J., & Berrocal Artavia, K. (2016). Efectos de El Niño y La Niña sobre el comportamiento del micro fitoplancton marino y las variables fisicoquímicas durante 2008–2010 en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Mar y Costas*, 6, 115–133. <https://doi.org/10.15359/revmar.6.8>
- Chapel, L. T. (1927). Winds and storms on the Isthmus of Panama. *Monthly Weather Review*, 55, 519–530.
- Chorus, I., & Bartram, J. (1999). *Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. World Health Organization.
- Cupul-Velázquez, A. M., Vega-Villasante, F., Cortés-Lara, M. del C., Fuentes-Arreazola, M., Guerrero-Galván, S. R., & Cupul-Magaña, A. L. (2025). Phytoplankton community composition in Bahía de Banderas, Jalisco–Nayarit, Mexico, during the dry season. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 53(3), 450–472. <https://doi.org/10.3856/vol53-issue3-fulltext-3370>
- Dalu, T., Lemley, D. A., Snow, G. C., & Wu, N. (2020). Linking phytoplankton community structure to aquatic ecosystem functioning: A mini-review. En *Handbook of algal science, technology and medicine* (pp. 291–302). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818305-2.00018-8>
- Díaz Reyes, E. R., Sandoval García, M. L., & Aragón Fúnez, E. J. (2018). *Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos cianofitas, clorofitas, diatomeas y dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos en las aguas del Estero Salinas Grandes, período junio–noviembre de 2017*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León]. Repositorio Institucional UNAN-León.
- El 19 Digital. (2018, noviembre 12). *Marea roja se moviliza y probablemente de aquí al viernes salga del país*. <https://www.el19digital.com/articulos/ver/83844-marea-roja-se-moviliza-y-probablemente-de-aqui-al-viernes-salga-del-pais>
- Escoto-Murillo, A., & Alfaro, E. J. (2021). Análisis de eventos fríos y cálidos por medio de datos de buceo: Un enfoque de ciencia ciudadana en el Golfo de Papagayo, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 69(Suppl. 2), S94–S104. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69iS2.48309>
- Fiedler, P. C. (2002). The annual cycle and interannual variability of the chlorophyll maximum in the eastern tropical Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 243, 19–25.
- Fiedler, P. C., & Talley, L. D. (2006). Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 143–180. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.008>
- Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281(5374), 237–240.
- Frankenfield, H. C. (1917). “Northers” of the Canal Zone. *Monthly Weather Review*, 45, 546–550.
- Gómez Luna, L. M. (2007). Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*, 19(2), 3–20. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44354370001>
- Gómez, A. (1998). Red tide occurrences record in Mexico from 1980 to 1992. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología*, 69(1), 13–22.
- Hurd, W. E. (1929). Northers of the Gulf of Tehuantepec. *Monthly Weather Review*, 57, 192–194.
- Jewel, M. A. S., Haque, M. M., Haq, M. S., & Khan, S. (2002). Seasonal dynamics of phytoplankton in relation to environmental factors in the Maheshkhali Channel, Cox’s Bazar, Bangladesh. *Bangladesh Journal of Fisheries Research*, 6(2), 173–181.

- Kessler, W. S. (2006). The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 181–217. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.009>
- Lavín, M. F., Fiedler, P. C., Amador, J. A., Ballance, L. T., Färber-Lorda, J., & Mestas-Núñez, A. M. (2006). A review of eastern tropical Pacific oceanography: Summary. *Progress in Oceanography*, 69, 391–398. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.005>
- Li, Y., Tang, S., Ni, Z., Zhu, J., Li, Z., & Yang, J. R. (2025). Response of phytoplankton communities to hydrological pulses and nutrient changes induced by heavy summer rainfall in a shallow eutrophic lake. *Plants*, 14(21), 3395. <https://doi.org/10.3390/plants14213395>
- Lobban, C. S., & Tharngan, B. G. (2025). Benthic marine diatom flora (*Bacillariophyta*) of Yap, Micronesia: Preliminary annotated list, with some new mangrove species. *Diversity*, 17(1), 34. <https://doi.org/10.3390/d17010034>
- López-Cortés, D. J., Núñez-Vázquez, E. J., Dorantes-Aranda, J. J., Band-Schmidt, C. J., Hernández-Sandoval, F. E., Bustillos-Guzmán, J. J., Leyva-Valencia, I., & Fernández-Herrera, L. J. (2019). The state of knowledge of harmful algal blooms of *Margalefidinium polykrikoides* in Latin America. *Frontiers in Marine Science*, 6, Article 463. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00463>
- Maciel-Baltazar, E., & Hernández-Becerril, D. U. (2013). *Especies de dinoflagelados atecados (Dinophyta) de la costa de Chiapas, sur del Pacífico mexicano*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(2), 245–259. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572013000200005>
- Marañón, E. (2015). Cell size, metabolic rates and the ecology of marine phytoplankton. *Progress in Oceanography*, 135, 71–91.
- Marañón, E., Holligan, P. M., Barciela, R., González, N., Mouriño, B., Pazó, M. J., & Varela, M. (2001). *Patterns of phytoplankton size structure and productivity in contrasting open-ocean environments*. *Marine Ecology Progress Series*, 216, 43–56.
- Margalef, R. (1978). *Perspectives in ecological theory*. The University of Chicago Press.
- Martínez-López, A., Siqueiros-Beltrones, D. A., & Silverberg, N. (2004). Transport of benthic diatoms across the continental shelf off southern Baja California Peninsula. *Ciencias Marinas*, 30(4), 503–513.
- McAlice, B. J. (1971). Phytoplankton sampling with the Sedgwick-Rafter cell. *Limnology and Oceanography*, 16(1), 19–28. <https://doi.org/10.4319/lo.1971.16.1.0019>
- Mitra, A., & Zaman, S. (2016). *Basics of marine and estuarine ecology*. Springer India. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2707-6>
- Montoya-Moreno, Y., Sala, S., Vouilloud, A., Aguirre, N y Plata-Díaz, Y. (2013). Lista de las diatomeas de ambientes continentales de Colombia. *Biota Colombiana* 14 (2). <https://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/282>
- Okolodkov, Y., & Gárate, L. (2006). An annotated checklist of dinoflagellates (Dinophyceae) from the Mexican Pacific. *Acta Botánica Mexicana*, 1–154. <https://doi.org/10.21829/abm74.2006.1008>
- Puyana, M., & Prato, J. (2013). *Overgrowth of reef organisms by benthic cyanobacteria in the Colombian Caribbean*. *Revista Mutis*, 3(2), 58–60. <https://doi.org/10.21789/22561498.885>
- Puyana, M., Acosta, A., Bernal-Sotelo, K., Velásquez-Rodríguez, T., & Ramos, F. (2015). *Spatial scale of cyanobacterial blooms in Old Providence Island, Colombian Caribbean*. *Universitas Scientiarum*, 20(1), 83–105. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC20-1.sscb>
- Ramírez-Barón, J. S., Franco-Herrera, A., García-Hoyos, L. M., & López, D. A. (2010). *La comunidad fitoplanctónica durante eventos de surgencia y no surgencia, en la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano*. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 39(2). <https://doi.org/10.25268/bimc.invenmar.2010.39.2.150>
- Ramírez, D. G., & Giraldo, Á. (2007). *Estructura comunitaria del fitoplancton de la cuenca Pacífica colombiana durante la campaña oceanográfica PACÍFICO XXXIV–ERFEN XXXVII*. *Boletín Científico CCCP*, (13), 65–84. https://doi.org/10.26640/01213423.13.65_84
- Rojo, C., Lumbi, D., Aguilar, A., Palacios, K., Osorio, K., & Ruiz, P. (2021). The river influence controls water quality and spatio-temporal microalgal distribution in Pacific estuaries (Padre Ramos and Salinas Grandes) of Nicaragua. *Water*, 13(12), 1712. <https://doi.org/10.3390/w13121712>

- Shelton, D. B., Freilich, M. H., & Esbensen, S. K. (2000). *Satellite observations of the wind jets off the Pacific coast of Central America. Part II: Regional relationships and dynamical considerations*. *Journal of Climate*, 13(13), 2450–2473.
- Siqueiros Beltrones, D. A., Echevarría Herrera, E., López-Fuerte, F. O., & Martínez, Y. J. (2025). *Species diversity of benthic marine diatoms from a natural protected area in Cuba*. *Diversity*, 17(3), 181. <https://doi.org/10.3390/d17030181>
- Taylor, J. C., Cocquyt, C., & Walsh, G. (2024). Tropical African diatoms from the *Eunotia asterionelloides* (Bacillariophyta) species complex, with descriptions of new species. *Plant Ecology and Evolution*, 157(1), 88-99. <https://doi.org/10.5091/plecevo.106779>
- Torres-V, M. J., Henao-Castro, A., & Contreras-Vega, L. (2021). *Variación temporal de la composición y abundancia del fitoplancton en Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia*. *Intropica*, 16(2), 168–179. <https://doi.org/10.21676/23897864.4065>
- Van Vuuren, S., Taylor, J., Gerber, A., & Van Ginkel, C. (2006). *Easy identification of the most common freshwater algae: A guide for the identification of microscopic algae in South African freshwaters*. Department of Water Affairs and Forestry. Recuperado de https://www.dws.gov.za/iwqs/eutrophication/NEMP/Janse_van_Vuuren_2006_Easy_identification_of_the_most_common_freshwater_algae.pdf.
- Varona-Cordero, F., & Gutiérrez-Mendieta, F. J. (2006). Composición estacional del fitoplancton de dos lagunas costeras del Pacífico tropical. *Hidrobiológica*, 16(2), 159–174.
- Wang, Y., Liu, J., Liu, H., Lin, P., Yuan, Y., & Chai, F. (2021). Seasonal and interannual variability in the sea surface temperature front in the eastern Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126, e2020JC016356. <https://doi.org/10.1029/2020JC016356>
- Xu, M., Zhao, Q., Xu, Y., Wang, S., Yu, Y., Zhang, H., Wang, Y., Shen, J., Yang, L., Zhang, Y., Otaki, T., Komatsu, T., & Xu, K. (2025). Spatiotemporal Variations in Phytoplankton Community Structure and Diversity: A Case Study for a Macroalgae–Oyster Reef Ecosystem. *Diversity*, 17(1), 52. <https://doi.org/10.3390/d17010052>.