

Cianobacterias en la bioindicación del estado de salud de los corales

Cyanobacteria in the bioindication of coral health status

Liliana Gomez Luna ¹, Leira Delgado Pérez ^{2*}

¹ Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente/ Santiago de Cuba/ Cuba; lilia-nag@uo.edu.cu. ORCID 0000-0002-1282-3392

² Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO)/ Santiago de Cuba/ Cuba; leiradp@gmail.com. ORCID 0000-0003-4250-1404

* Correspondencia: leiradp99@gmail.com

DOI: 10.70373/RB/2024.09.04.8

Resumen

Los arrecifes de coral son ecosistemas clave que sustentan una gran biodiversidad y proveen importantes servicios ecosistémicos. Sin embargo, el cambio climático y las actividades humanas los han expuesto a múltiples amenazas, como enfermedades y blanqueamiento, que comprometen su salud. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de las cianobacterias como bioindicadoras del estado de salud de los corales en dos biotopos de la costa suroriental de Cuba: plano rocoso y camellones, expuestos a diferentes presiones antrópicas. Durante 2022, se analizaron 17 indicadores de estructura, función y condicionadores de cambio en corales muestreados en períodos climáticos lluvioso y poco lluvioso. El biotopo plano rocoso mostró mejor estado de salud, con mayor diversidad de corales (14 vs. 10 especies) y menor incidencia de enfermedades y blanqueamiento que los camellones, donde las condiciones están más comprometidas por la contaminación y macrobasura. Se identificaron 22 especies de cianobacterias, de las cuales *Anabaena torulosa*, *Lyngbya majuscula* y *Pseudoscillatoria coralii* se asociaron a corales enfermos y/o muertos, mientras que *Aphanotece clathrata* y *Cyanosarcina sp.* se encontraron en corales sanos. Los resultados indican que las cianobacterias son sensibles a la calidad ambiental, mostrando diferencias espaciales y temporales en los biotopos. Estas evidencias resaltan su potencial como herramientas para monitorear la salud coralina y apoyar la gestión y conservación de estos ecosistemas en el Caribe, especialmente ante los desafíos del cambio climático y las actividades humanas.

Palabras clave cianobacterias; biotopes de arrecife; sistemas arrecifales.

Summary

Coral reefs are key ecosystems that support great biodiversity and provide important ecosystem services. However, climate change and human activities have exposed them to multiple threats, such as diseases and bleaching, that compromise their health. This study aimed to evaluate the potential of cyanobacteria as bioindicators of the health status of corals in two biotopes of the southeastern coast of Cuba: rocky plain and ridges, exposed to different anthropogenic pressures. During 2022, 17 indicators of structure, function and change conditioners were analyzed in corals sampled in rainy and dry climate periods. The flat rocky biotope showed a better state of health, with greater diversity of corals (14 vs. 10 species) and a lower incidence of diseases and bleaching than the ridges, where conditions are more compromised by pollution and macrogarbage, 22 species of cyanobacteria were identified, of which *Anabaena torulosa*, *Lyngbya majuscula* and *Pseudoscillatoria corallii* were associated with diseased and/or dead corals, while *Aphanotece clathrata* and *Cyanosarcina* sp. were found in healthy corals. The results indicate that cyanobacteria are sensitive to environmental quality, showing spatial and temporal differences in biotopes. This evidence highlights their potential as tools to monitor coral health and support the management and conservation of these ecosystems in the Caribbean, especially in the face of the challenges of climate change and human activities.

Keywords: cyanobacteria; reef biotopes; reef systems

Introducción

Un arrecife de coral saludable es un sistema estrechamente relacionado que destaca por la captura y reciclaje de nutrientes en aguas oligotróficas, respaldando una extraordinaria biodiversidad y productividad.¹ Sustentan alrededor del 25% de las especies marinas conocidas, y proporcionan bienes y servicios a más de 500 millones de seres humanos en diferentes países, fundamentalmente a través de la pesca y el turismo. Se desarrollan en aguas tropicales y subtropicales, presentando gran complejidad estructural y topográfica.² En un ecosistema de arrecifal viven simbióticamente algas, virus, bacterias, arqueas y protistas distribuidos en patrones espacialmente diversos para funcionar como holobiontes, es decir, como un conjunto complejo de organismos multicelulares con todos los microorganismos asociados. Siendo dominantes las zooxantelas.²

En los estudios sobre la microbiota de arrecifes de coral son relevantes aquellos sobre microorganismos fotosintetizadores.³ Se han realizado investigaciones sobre cianobacterias en diferentes regiones tropicales, constituyendo un tema polémico e interesante el aumento de especies tóxicas en los corales como resultado del impacto del cambio climático.^{4, 5} Es importante destacar la sensibilidad de estos microorganismos a los cambios del clima, además de su relevancia para los arrecifes de coral.^{4, 5}

Por otra parte, se ha explicado que cuando los corales presentan estrés, ya sea por factores naturales o antrópicos, las cianobacterias pueden ser patógenas.^{6, 7} Estas se han asociado a enfermedades de diferentes especies de coral, tanto en el Atlántico como en el Pacífico⁸⁻¹⁰ tema que aún se encuentra en la mira de la ciencia. Sin embargo, aún son limitadas las evidencias científicas que relacionan las cianobacterias con el estado de salud de los corales.

A nivel global existen estudios sobre el estado de salud y conservación de los arrecifes de coral,¹¹ siendo unas regiones más privilegiadas que otras. En las costas de Cuba existen antecedentes de investigaciones al respecto;¹²⁻¹⁴ sin embargo, se identifican vacíos del conocimiento en relación con las especies de cianobacterias presentes en diferentes especies de corales y los nexos con su estado de salud. El objetivo de este trabajo es evaluar el potencial de las cianobacterias en la bioindicación del estado de salud de los corales y la influencia de las condiciones ambientales sobre la presencia de especies bioindicadoras en biotopos de la costa suroriental de Cuba.

Materiales y Métodos

Se desarrolla una investigación exploratoria, descriptiva y correlacional para evaluar el potencial de las cianobacterias como bioindicador del estado de salud de los corales en la costa suroriental de Cuba. Se establecen dos localidades de muestreo: 1) Aguadores (biotopo plano rocoso) y 2) Playa Siboney (biotopo camellón) (Figura 1), considerando la heterogeneidad de estas en cuanto a los biotopos y las presiones antrópicas.

Para determinar el estado de salud en los biotopos se consideró como referente metodológico la guía de referencia rápida de indicadores de salud del arrecife de McField y Kramer,¹⁵ modificada (Figura 2).



Figura 1. Mapa de las localidades de estudio. Elaboración propia: SAS Planet y QGIS.

La modificación consistió primeramente en seleccionar 10 de los 46 indicadores de función, estructura y condicionadores de cambio; insertando indicadores según intereses de la investigación y modificando los 10 seleccionados en función de su viabilidad. Se incluye la presencia de cianobacterias (microbiota), como parte de los indicadores de función del ecosistema, considerando reportes previos de floraciones de estos microorganismos en la zona costera del suroriente de Cuba, donde se realiza este estudio; ¹⁶⁻¹⁹ se incluye además la presencia de especies tóxicas y diazótrofes. Se sustituye la abundancia de *Diadema*, por su presencia en los indicadores de función, específicamente en herbivoría.

Entre los elementos abióticos se inserta el cálculo del índice trófico a partir de la clorofila *a* en cada localidad según; ²⁰ así como la presencia de macrobasura en el agua entre los indicadores desarrollo turístico y costero, y la diversidad de especies de interés pesquero en el acápice de pesca, sustituyendo las pesquerías certificadas. Se trabaja en total con 17 indicadores. La determinación de la diversidad de corales, peces y erizos se realizó *in situ*, a través del recuento del número de especies de corales, por inspección visual. ^{3, 21-23} La nomenclatura taxonómica de las especies se actualizó a partir de la base WoRMS.

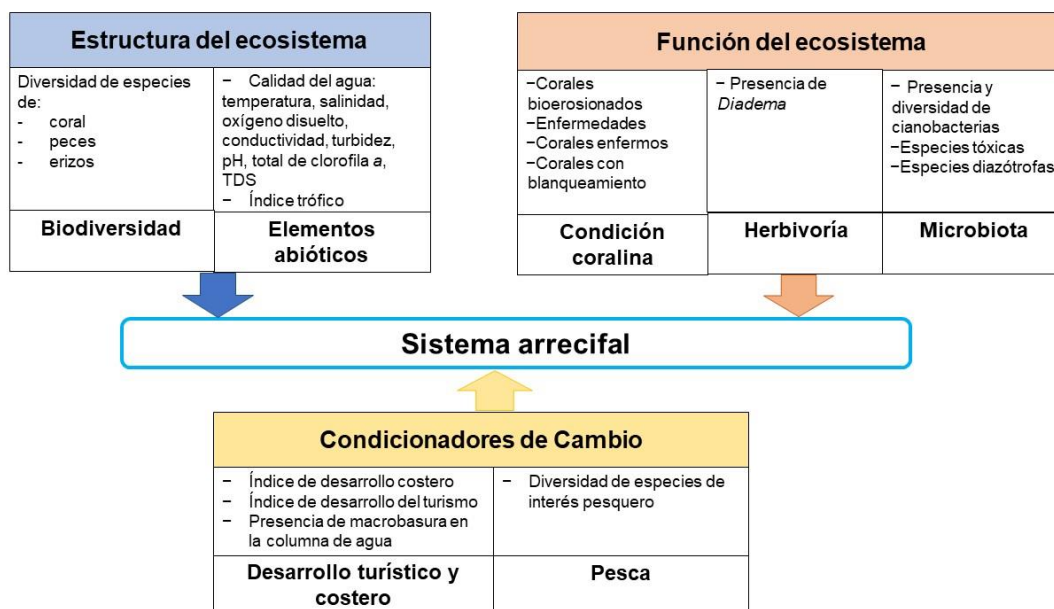


Figura 2. Indicadores de salud del arrecife; basado en de McField y Kramer ¹⁵ modificado.

En el caso de la calidad del agua se miden las siguientes variables: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, conductividad, turbidez, pH, y total de sólidos disueltos (TDS) medidos con una sonda multiparamétrica YSI ProDSS. La clorofila *a*, se midió con un fluorómetro AlgaTorch (Holanda), al igual que los cianopigmentos. Se utiliza para obtener los valores de clorofila *a* *in vivo* el factor de

corrección específico equivalente a 6,9.²⁴ En el caso de las muestras de agua, se recolectaron muestras integradas de 50 cm de la columna de agua, en cada biotopo, en zonas cercanas a los corales analizados, utilizando recipientes de polietileno de boca ancha con tapa de rosca (250 mL). Estos fueron transportados al laboratorio en completa oscuridad para la realización de los análisis ambientales y la identificación de cianobacterias en agua.²⁵⁻²⁷ Se tomaron tres muestras por localidad en cada muestreo.

Para determinar los indicadores condicionadores de cambio seleccionados se delimitó previamente la zona costera, considerando los criterios establecidos por el Decreto Ley 2-12, para el ecosistema playa, con un límite hacia tierra (aproximadamente 40 m). En el caso de Siboney (biotopo de camellones) fue considerado el vial como límite físico.²⁸ El índice de desarrollo costero y el de desarrollo del turismo se calcularon mediante el porcentaje de ocupación de la zona y el porcentaje relativo de ocupación de infraestructura para el turismo, respectivamente. Los cálculos se realizaron mediante el uso de la base de datos SAS Planet y el Sistema de Información Geográfica (QGIS).

El grado de contaminación por macrobasuras se determinó en la columna de agua por recuento del número de ítems en volúmenes de 1 m³. Se analizaron y promediaron los resultados de al menos 10 volúmenes, cuidando de colocar al menos el 30% encima de los biotopos analizados. Para la identificación de ítems se siguió la metodología europea, insertando plásticos, vidrio, metal, madera y otros residuos.²⁹ Los muestreos se realizaron en ambos períodos climáticos; durante los meses de enero, marzo (poco lluvioso); junio y octubre (lluvioso) de 2022.³⁰ Debido a la poca profundidad del área de estudio, estos se realizaron mediante buceo autónomo³¹ por raspado y succión con jeringas plásticas, en un área aproximada de 1 cm² por muestra, por triplicado, en al menos dos zonas seleccionadas de cada especie de coral. Las muestras se conservaron en fresco, transfiriéndolas a viales debidamente rotulados. Las anotaciones se efectuaron en tablillas apropiadas para la escritura bajo el agua, seleccionado diferentes especies de coral en cada biotopo, y anotando debidamente las características observadas.

Para la identificación de las especies de cianobacterias se realizan observaciones por microscopía óptica. Se realizó la identificación hasta especie siempre que fue posible, utilizando varios criterios taxonómicos;³²⁻³⁶ clasificándolas en tóxicas y diazótrofes, para lo que se consultaron varios autores.³⁷⁻³⁹ Se realizaron mediciones, con un ocular calibrado y una reglilla micrométrica, utilizando de forma complementaria el programa Imagen J, además de un registro fotográfico de las muestras observadas.

Con el fin de determinar las especies bioindicadoras se realiza un análisis de conglomerado utilizando la similitud de Bray-Curtis que arrojó una matriz de similaridad a partir de la que se construyó un

fonograma, considerando la presencia de cianobacterias por especies de coral y su estado de salud. Para el análisis y procesamiento de los datos, se empleó el programa PRIMER V6, visualizando gráficamente las similitudes entre las especies de cianobacterias presentes para cada especie de coral, a partir de lo que se realiza la selección de especies bioindicadoras.

Resultados

Se evaluaron 17 indicadores según la metodología previamente descrita; 5 de estructura del arrecife, 8 correspondientes a la función y 4 a los condicionadores de cambios ¹⁵ (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen comparativo de los indicadores que determinan la salud de los biotopos.

Indicadores de Estructura	Biotopo de Camellones	Biotopo Plano rocoso
Diversidad de corales (No. de especies)	10	14
Diversidad de peces (No. de especies)	10	10
Diversidad de erizos (No. de especies)	1	5
Calidad del agua		
Temperatura (°C)	25,09±2,00	26,01±2,00
Salinidad (psu)	33,00 ±0,09	35,40±0,10
Oxígeno disuelto (mgL ⁻¹)	5,40±0,03	6,54 ±0,02
Conductividad (µScm ⁻¹)	133,00 ±1,00	55,40 ±0,10
Turbidez (FTU)	409,60 ±12,00	417,60±2,00
pH	7,96±0,02	7,86±0,01
Total de clorofila <i>a</i> (µgL ⁻¹)	0,10 ±0,01	0,30 µgL ⁻¹ ±0,02
Cianopigmentos (µgL ⁻¹)	0,001±0,01	0,000±0,00
TDS (mgL ⁻¹)	665,00 ±11,01	27,70 ±5,10
Índice trófico	18,79±1,31	8,01±2,70
Condicionadores de cambio		
Índice de desarrollo costero (% ocupación)	76	39
Índice de desarrollo de turismo (% ocupación)	40	28
Grado de contaminación x macrobasura en la columna de agua (No. ítems.m ⁻³)	8	0
Diversidad de especies de interés pesquero	5	3
Indicadores de Función		
Enfermedades	banda blanca, banda negra	banda blanca
No. de individuos con enfermedades (banda blanca, banda negra)	12	2
No. de individuos con blanqueamiento	16	4
No. de corales bioerosionados	1	1
Cianobacterias (No. especies)	19	13

Se identificaron en total 14 especies de corales, de ellas dos pertenecen a la clase Hydrozoa (*M. cervicornis* y *M. complanata*) y el resto a la clase Anthozoa; dentro de esta última, 9 especies pertenecen a la subclase Hexacoralia y tres a la subclase Octocoralia. De estas especies 10 se observaron en camellones y las 14 en el plano rocoso (Tabla 2). El biotopo de tipo camellón se

encuentra perpendicular a la costa, a una profundidad variable de 50 cm a 10 m. en él se identifican los géneros *Agaricia*, *Diploria*, *Faviia*, *Millepora*, *Monstrastrea*, *Porites* y *Pseudodiploria*; mientras que en Aguadores (biotopo plano rocoso), además de los géneros antes mencionados, se observan: *Plexaura* y *Siderastrea*.

Tabla 2. Lista de especies de corales en las localidades de estudio.

		Corales	Biotopo de camellones	Biotopo plano-rocoso	
		Hydrozoa			
		<i>Millepora complanata</i>	x	x	
		<i>Millepora cervicornis</i>	x	x	
		Anthozoa			
Respecto a la listado de las presenta en la tabla 3. especies de peces en 6 especies comunes. poblaciones de peces comercial de las Haemulidae, Ostraciidae,		<i>Acropora cervicornis</i>	x	x	ictiofauna, el
		<i>Acropora palmata</i>	x	x	especies se
		<i>Agaricia agaricites</i>	x	x	Se identificaron 10
		<i>Diploria labyrinthiformis</i>	x	x	cada localidad, con
		<i>Gorgonia flavellum</i>	x	x	Existen
		<i>Montastrea cavernosa</i>		x	de interés
		<i>Montastrea annularis</i>	x	x	familias
		<i>Plexaura flexuosa</i>		x	Gerriidae,
		<i>Plexaura homomala</i>		x	Scaridae,
		<i>Porites atreoides</i>	x	x	
		<i>Porites porites</i>	x	x	
		<i>Siderastrea siderea</i>		x	

Serranidae, que representan el 50% de las especies identificadas, siendo una común para ambas localidades (*Sparisoma viridis*).

Tabla 3. Lista de especies de peces por localidades.

Peces	Biotopo de camellones	Biotopo plano-rocoso
<i>Abudefdux saxatilis</i> (Pomacentridae)	x	x
<i>Abudefdux taurux</i> (Pomacentridae)		x
<i>Acanthurus bahianus</i> (Acanthuridae)	x	
<i>Acanthurus coeruleus</i> (Acanthuridae)	x	
<i>Chromis cynea</i> (Pomacentridae)	x	
<i>Epinephelus guttatus</i> (Serranidae)*	x	
<i>Gerres cinereus</i> (Gerrenidae)*		x
<i>Haemulon flavolinatum</i> (Haemulidae)*		x
<i>Laptophrys trigonus</i> (Ostraciidae)*		x
<i>Pomacanthus arcuatus</i> (Pomacanthidae)	x	x
<i>Pomacanthus paru</i> (Pomacentidae)	x	x
<i>Sparisoma viridis</i> (Scaridae)*	x	x
<i>Stegastes partitus</i> (Pomacentidae)	x	x
<i>Thalassoma bifasciatum</i> (Labridae)	x	x

(*) Peces de interés comercial.

En relación con los equinodermos se hace énfasis en los erizos, debido a su papel en la herbivoría, como controladores biológicos. El listado de las especies de erizos se presenta en la tabla 4. En biotopo plano rocoso se observó, además, de la presencia *E. lucunter*, *E. viridis*, *Arbacia punctulata*, *Eucidaris tribuloides*, y *D. antillarum*,

Tabla 4. Lista de especies de erizos por localidades de muestreo.

Erizos	Biotopo de camellones	Biotopo plano-rocoso
<i>Diadema antillarum</i>	x	x
<i>Echinometra lucunter</i>		x
<i>Echinometra viridis</i>		x
<i>Arbacia punctulata</i>		x
<i>Eucidaris tribuloides</i>		x

Respecto a los análisis de calidad del agua la temperatura promedio fue de $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$, sin que existieran variaciones significativas para este parámetro entre las localidades ($p < 0,05$). La salinidad en el plano rocoso fue superior a la de camellones ($35,40 \pm 0,10$ vs $33,00 \pm 0,09$ psu). Sin embargo, los valores de conductividad fueron mayores en el camellón respecto al plano rocoso ($133 \pm 1,00$ vs $55,40 \pm 0,10$ μScm^{-1}). El oxígeno disuelto varió de $5,40 \pm 0,03$ mgL^{-1} en la localidad de camellones a $6,54 \pm 0,02$ mgL^{-1} en el plano rocoso. En cuanto a la turbidez se obtuvieron valores discretamente mayores en el plano rocoso ($417,60 \pm 2,00$ FTU) respecto al camellón ($409,60 \pm 12,00$ FTU). El pH fue de $7,96 \pm 0,002$ en los camellones, mientras que en el plano rocoso fue de $7,86 \pm 0,001$, valores prácticamente similares. Por último, se determinaron los valores de sólidos totales disueltos (TSD, por sus siglas en inglés) con valores de $665,00 \pm 11,01$ mgL^{-1} para el biotopo de camellón y $27,70 \text{ mgL}^{-1} \pm 5,10$ para el plano rocoso. El índice trófico en el plano rocoso fue de $8,01 \pm 2,70$, mientras que en el camellón fue 2,25 veces mayor ($18,79 \pm 1,31$).

Es importante considerar que la zona donde se ubica el biotopo de camellón tiene un 76% de desarrollo costero, con una importante presión de uso. En el plano rocoso este porcentaje es 1,95 veces menor (39%) que, en el camellón. En cuanto al índice de desarrollo del turismo este fue de 40% y 28% para el camellón y el plano rocoso, respectivamente. Respecto al grado de contaminación por macrobasura, en el biotopo de camellón se contaron en promedio 8 ítems por cuadrante muestreado; con presencia mayoritaria (90%) de plásticos (bolsas de plásticos, fragmentos, recipientes varios); además de madera, tela, envases metálicos, fibras y vidrio (10%).

Por último, se analizan los indicadores de función. En ambas localidades se identifican enfermedades de los corales. En el camellón la banda blanca (12 individuos) y la banda negra (1 individuo) y en el plano rocoso solo la banda blanca (2 individuos). La condición coralina; por tanto, está más afectada

en el biotopo de camelones, donde, además, se identifica mortalidad reciente en *P. astreoides*. El número de individuos enfermos fue mayor en el camellón respecto al plano rocoso (12 vs 2) así como aquellos con blanqueamiento (16 vs 4). La bioerosión se comportó de igual manera; solo se encontró un individuo en cada biotopo.

Se muestrearon en total 39 corales; 19 en el camellón (49%) (10 en periodo poco lluvioso y 9 en periodo lluvioso) y 20 en el plano rocoso (51%) (10 en cada periodo). Del total, 24 corales estaban sanos (62%); muestreándose 12 en cada biotopo (50%, respectivamente). La banda blanca se encontró en 4 de los corales muestreados (10%); muestreándose 2 en cada localidad. Los corales bioerosionados representaron en 5% (2) muestreándose 1 en cada localidad. El 20% corresponde a corales con blanqueamiento (8), muestreándose 4 en cada localidad. Sólo se muestrea 1 coral muerto (3%) que corresponde al biotopo camellón, al no identificarse corales muertos en el plano rocoso.

De los corales muestreados se observó la banda blanca (BB) sobre *D. labyrinthiformis* y *P. astreoides* en el camellón, mientras que en el plano rocoso esta enfermedad se encontró en *A. palmata* y *S. siderea*. La banda negra (BN) fue identificada solamente en el camellón sobre *D. labyrinthiformis*, que al encontrarse en la base de este no se consideró entre los corales muestreados. Las enfermedades emergentes como la BN y BB han sido frecuentes en corales del género *Acropora*, *Diploria* y *Millepora* lo que se asocia fundamentalmente al estrés ambiental.

En el caso del blanqueamiento, en el camellón se detectó en *A. agaricites*, *D. labyrinthiformis* y *M. annularis*. En el plano rocoso se observó en *D. labyrinthiformis*, *Millepora complanata* y *Montastraea annularis*. Por otra parte, los corales bioerosionados fueron *A. complanata* y *D. labyrinthiformis*, en el biotopo plano rocoso y en el de camellón, respectivamente.

Para el análisis de cianobacterias, en el camellón se muestrearon 19 individuos de las especies *A. agaricites*, *A. cervicornis*, *A. palmata*, *D. labyrinthiformis*, *Montastraea annularis*, *Millepora complanata*, *P. astreoides* y *P. porites*. En el plano rocoso, se muestrearon 20 individuos de estas especies, incluidas, además, *Montastraea cavernosa* y *S. siderea*. En total se identificaron sobre estas especies de coral en ambos periodos climáticos y en ambos biotopos 22 especies de cianobacterias perteneciente a 19 géneros (Tabla 5); de ellas 15 tóxicas y 10 diazótrofes; solo 8 (36%) tienen ambas condiciones.

En el camellón se identifican 19 especies (86%) de cianobacterias, pertenecientes a 17 géneros, 14 de ellas tóxicas y 9 diazótrofes; 7 (37%) con ambas condiciones. En el plano rocoso se identifican 13 especies (59%), pertenecientes a 12 géneros; de ellas 7 tóxicas y 2 diazótrofes, siendo todas las diazótrofes tóxicas (15%). La mayor diversidad de cianobacterias se encontró en los géneros de

Diploria, *Montrastrea* y *Porites*, siendo la especie *D. labyrinthiformis* la que permitió identificar la mayor cantidad de cianobacterias.

Tabla 5. Especies de cianobacterias identificadas en los diferentes géneros de corales muestreados.

Cianobacterias	<i>Acropora</i>	<i>Agaricia</i>	<i>Diploria</i>	<i>Millepora</i>	<i>Porites</i>	<i>Montastraea</i>	<i>Siderastrea</i>
	Biotopo de camellones						
	n= 3	n= 1	n= 4	n= 3	n= 5	n= 3	
	Biotopo plano rocoso						
	n= 4	n= 2	n= 3	n= 4	n= 1	n= 4	n= 2
<i>Anabaena torulosa</i> ^{t,d}					x		
<i>Aphanocapsa marina</i> ^t		x				x	x
<i>Aphanotace clarthrata</i> ^t			x				
<i>Aphanotece minutissima</i> ^t	x		x	x		x	x
<i>Chroococcus limneticus</i> ^t			x	x	x	x	
<i>Cyanosarcina</i> sp.			x	x	x	x	
<i>Diplococcus</i> sp.		x				x	X
<i>Hormogonium</i> sp.			x				
<i>Leptolyngbya</i> sp. ^{t,d}						x	
<i>Lyngbya majuscula</i> ^{t,d}			x		x		
<i>Lyngbya</i> sp. ^{t,d}		x					
<i>Microcystis</i> sp. ^t							X
<i>Oscillatoria limosa</i> ^{t,d}			x		x		
<i>Oscillatoria agardhii</i> ^{t,d}					x		
<i>Pseudoscillatoria coralli</i> ^{t,d}	x				x	x	
<i>Phormidium</i> sp. ^t		x					
<i>Radiocystis</i> sp. ^t	x		x				
<i>Romeria simplex</i>				x			
<i>Roseofilum reptotaenium</i> ^{t,d}	x						
<i>Synechococcus</i> sp. ^t	x	x	x	x		x	X
<i>Synechocystis</i> sp. ^t	x	x	x	x	x	x	X
<i>Tolypothrix</i> sp. ^d					x		
Total de cianobacterias	6	6	10	6	9	9	6

t: especies tóxicas, d: diazótrofes

El listado de especies por localidades y periodos climáticos se muestra en la tabla 6. La presencia de las especies de cianobacterias *A. minutissima*, *Chroococcus* sp., *Synechococcus* sp. y *Synechocystis* sp. fue estable espacial y temporalmente, con un 100% de frecuencia.

Aphanocapsa sp. y *Diplococcus* sp. se encontraron en ambos bioropos en el periodo lluvioso, y *Cyanosarcina* sp. en el periodo poco lluvioso. Se encontraron solo en el camellón *A. torulosa*, *A. clarthrata*, *Leptolyngbya* sp., *O. limosa*, *Pseudoscillatoria coralli*, *Radiocystis* sp. y *R. reptotaenium*, mientras que *Microcystis* sp. aparece solo en el plano rocoso.

Tabla 6. Especies de cianobacterias por localidades y periodo lluvioso.

Cianobacterias	Biotopos			
	Camellones		Plano rocoso	
	Corales n=19		Corales n= 20	
	Lluvioso	Poco Lluvioso	Lluvioso	Poco Lluvioso

	n=10	n=9	n=10	n=10
<i>Anabaena torulosa</i> ^{t,d}		x		
<i>Aphanocapsa marina</i> ^t	x		x	
<i>Aphanotace clarthrata</i> ^t	x			
<i>Aphanotece minutissima</i> ^t	x	x	x	x
<i>Chroococcus limneticus</i> ^t	x	x	x	x
<i>Cyanosarcina</i> sp.		x		x
<i>Diplococcus</i> sp.	x		x	
<i>Hormogonium</i> sp.	x			
<i>Leptolyngbya</i> sp. ^{t,d}		x		
<i>Lyngbya majuscula</i> ^{t,d}				x
<i>Lyngbya</i> sp. ^{t,d}	x		x	x
<i>Microcystis</i> sp. ^t				x
<i>Oscillatoria limosa</i> ^{t,d}	x	x		
<i>Oscillatoria agardhii</i> ^{t,d}		x	x	
<i>Pseudoscillatoria coralii</i> ^{t,d}		x		
<i>Phormidium</i> sp. ^t	x		x	x
<i>Radiocystis</i> sp. ^t				x
<i>Romeria simplex</i>	x			
<i>Roseofilum reptotaenium</i> ^{t,d}		x		
<i>Synechococcus</i> sp. ^t	x	x	x	x
<i>Synechocystis</i> sp. ^t	x	x	x	x
<i>Tolypothrix</i> sp. ^d	x			
Total de cianobacterias	13	11	9	10

t: especies tóxicas, d: diazótrofes

En la tabla 7 se muestran las especies de cianobacterias según la condición de salud de los corales. La mayor diversidad de cianobacterias se encontró en corales blanqueados (11) y sanos (10) mientras que los corales muertos (6) y bioerosionados (6) se encontró la menor cantidad de especies.

En especies de corales sanos se encontraron *A. clarthrata*, *Cyanosarcina* sp., *Radiocystis* sp., *R. reptotaenium* y *Tolypothrix* sp.; especies que no se encuentran en corales enfermos ni muertos. En los corales muertos se encontraron las especies *Pseudoscillatoria coralii* y *A. torulosa*; mientras que en corales blanqueados están presente *Leptolyngbya* sp. y *R. simplex*, y en los bioerosionados *L. majuscula*; especies que no están presentes en corales con otras patologías. En corales muertos o enfermos es frecuente encontrar *O. limosa*, *Oscillatoria agardhii* y *Phormidium* sp. *Aphanotece minutissima* no parece ser específica para una condición de salud puesto que se identifica tanto en corales sanos como enfermos, bioerosionados, o con blanqueamiento. *Synechococcus* sp. se identificó solamente en corales sanos y bioerosionados.

Tabla 7. Distribución de las especies de cianobacteria de acuerdo con la condición de los corales.

Cianobacterias	Estado de los corales				
	Sanos n=24	BB n=4	Muertos n=2	Bioerosionados n=2	Blanqueamiento n=8
<i>Anabaena torulosa</i> ^{t,d}			x		
<i>Aphanocapsa marina</i> ^t		x			X
<i>Aphanotace clarthrata</i> ^t	x				
<i>Aphanotece minutissima</i> ^t	x	x	x	x	X

<i>Chroococcus limneticus</i> ^t	x	x		x	X
<i>Cyanosarcina</i> sp.	x				
<i>Diplococcus</i> sp.	x	x			X
<i>Hormogonium</i> sp.		x			
<i>Leptolyngbya</i> sp. ^{t,d}					X
<i>Lyngbya majuscula</i> ^{t,d}				x	
<i>Lyngbya</i> sp. ^{t,d}				x	X
<i>Microcystis</i> sp. ^t		x			
<i>Oscillatoria limosa</i> ^{t,d}			x	x	
<i>Oscillatoria agardhii</i> ^{t,d}			x		X
<i>Pseudoscillatoria coralii</i> ^{t,d}			x		
<i>Phormidium</i> sp. ^t			x		X
<i>Radiocystis</i> sp. ^t	x				
<i>Romeria simplex</i>					X
<i>Roseofilum reptotaenium</i> ^{t,d}	x				
<i>Synechococcus</i> sp. ^t	x	x		x	X
<i>Synechocystis</i> sp. ^t	x	x			X
<i>Tolypothrix</i> sp. ^d	x				
Total	10	8	6	6	11

t: especies tóxicas, d: diazótrofes

En corales muertos se encuentra *Phormidium* sp. también presente en algunos bioerosionados, resultando esta una especie con potencial para la bioindicación de la condición de muerte en estos organismos. En especímenes sanos del coral *Porites atreoides* se encontró *Cyanosarcina* sp.; mientras que en los enfermos o muertos se identifican los géneros de cianobacterias filamentosas *Anabaena*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Pseudoscillatoria* y *Phormidium*.

En los especímenes sanos de *A. agaricites*, se identifican *L. majuscula*, *Radiocystis* sp. y *Synechococcus* sp. En uno de estos especímenes sanos no se encontraron cianobacterias; lo que también sucedió en uno de los especímenes de *A. palmata* mientras que en el otro se identificó la presencia de *R. reptotaenium*. En *D. labyrinthiformis* con blanqueamiento aparece solo *Aphanothece minutissima*. En los corales enfermos con banda blanca se suman los géneros *Chroococcus* y *Cyanosarcina*.

Se realizó un análisis de conglomerado para determinar el grado de asociación de las cianobacterias basado en la similitud Bray Curtis, con el propósito de confirmar la presencia de especies bioindicadoras (Figura 3). Este grupo se asocia con un 80 % de similitud al formado por *R. simplex* y *Leptolyngbya* sp. especies presentes en corales blanqueados. Sobresale un primer clado con cianobacterias estacionalmente estables, con un 100% de similitud (*Cyanosarcina* sp., *A. clathrata*, *Tolipothrix* sp., *R. reptotaenium* y *Radiocystis* sp.). Estas especies se presentan en corales tanto enfermos como sanos, por lo que no se consideran indicadores biológicos del estado de la condición coralina.

Existe otro grupo con más del 50 % de similitud: *A. torulosa*, *Hormogonium* sp., *Leptolyngbya* sp., *Lyngbya* sp., *L. majuscula*, *Microcystis* sp., *Phormidium* sp., *O. limosa*, *Oscillatoria agardhii*, *Pseudoscillatoria coralii* y *R. simplex*; estas destacan como especies bioindicadoras de corales enfermos. Excepto *R. simplex*, el resto son consideradas tóxicas. Respecto a la fijación del nitrógeno excepto *Microcystis* sp., *Phormidium* sp., y *R. simplex*, el resto son diazótrofes. En el caso de *A. torulosa* y *Pseudoscillatoria coralii* existe un 100% de similitud, estas especies parecen ser indicadoras de corales muertos.

Otro grupo estuvo formado por *Oscillatoria agardhii* y *Phormidium* sp. (100% de similitud) especies presentes en corales enfermos. Al respecto existen antecedentes que demuestran la presencia *Phormidium corallyticum* en consorcios microbianos asociados a la BB en el Caribe; ⁴⁰ explicándose que la enfermedad podría provocar el posterior blanqueamiento por pérdida de zooxantellas, y la muerte. El 51% de las especies de cianobacterias identificadas tienen potencial para la bioindicación, siendo las bioindicadoras de especies enfermas las que presentan mayor diversidad. Las cianobacterias presentes en corales bioerosionados, blanqueados y muerto representan el 41%. El patrón de cianobacterias es diferente para cada localidad y período climático, si bien algunas especies son espacial o estacionalmente estables (Tabla 8).

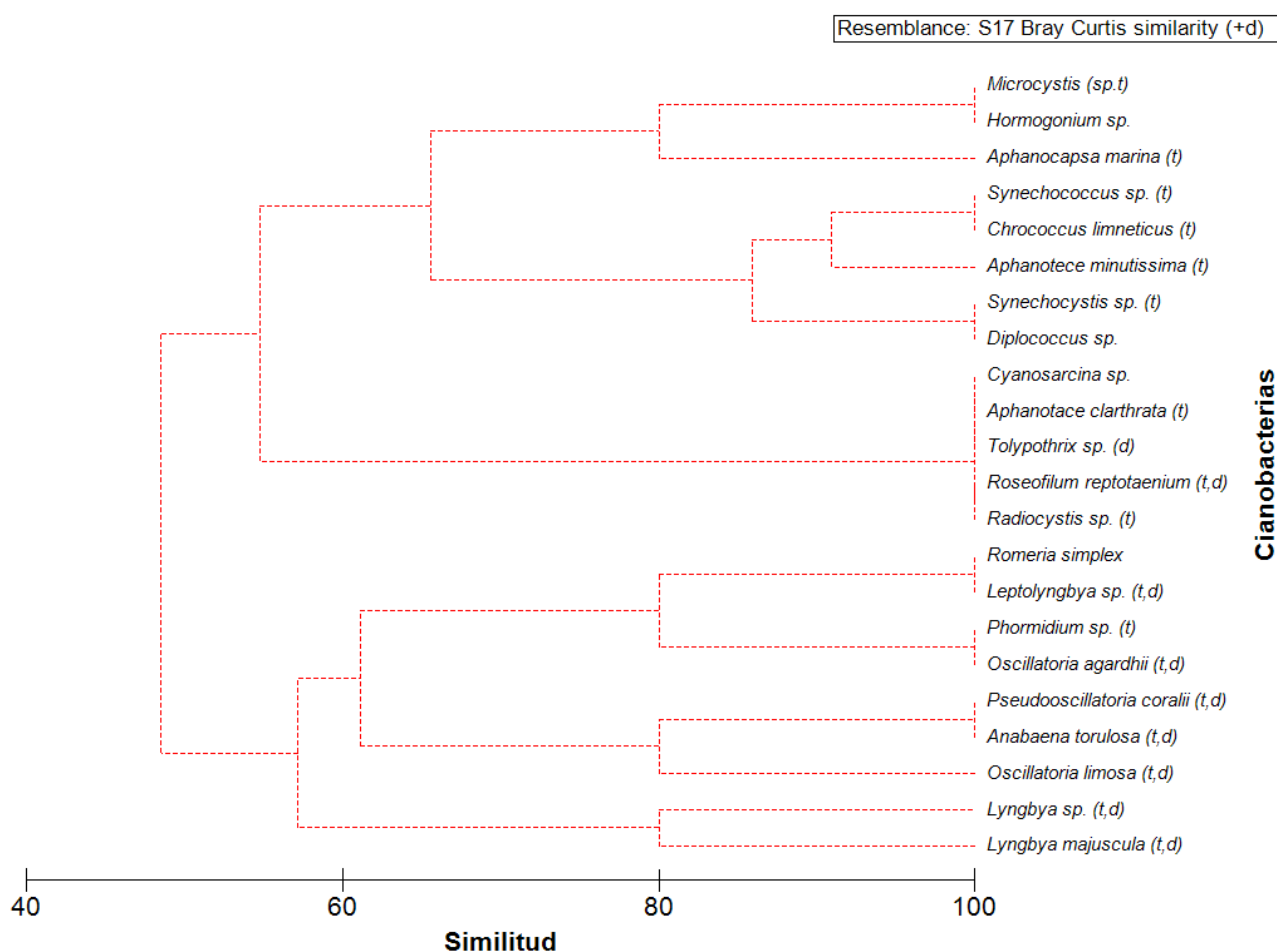


Figura 3. Análisis de conglomerado basado en la similitud de Bray Curtis de las especies de cianobacterias presentes, en relación con la condición coralina.

Tabla 8. Especies de cianobacterias bioindicadoras de enfermedades y/o muerte por período climático y localidad y cianobacterias bioindicadoras de corales sanos.

Cianobacterias	Biotopos			
	camellones		plano-rocoso	
	Lluvioso	Poco Lluvioso	Lluvioso	Poco Lluvioso
<i>Anabaena torulosa</i>		x		
<i>Leptolyngbya</i> sp.		x		
<i>Lyngbya majuscula</i>				x
<i>Lyngbya</i> sp.	x		x	x
<i>Oscillatoria limosa</i>	x	x		
<i>Oscillatoria agardhii</i>		x	x	
<i>Pseudoscillatoria coralii</i>		x		
<i>Phormidium</i> sp.	x		x	x
<i>Romeria simplex</i>	x			
Total	4	5	3	3
Tóxicas	3	5	3	3
Diazótrofas	2	5	2	3
Total	8		4	

Cianobacterias	Biotopos			
	camellones		camellones	
	Lluvioso	Poco Lluvioso	Lluvioso	Poco Lluvioso
<i>Aphanotace clathrata</i>	x			
<i>Cyanosarcina</i> sp.		x		x
<i>Radiocystis</i> sp.				x
<i>Tolypothrix</i> sp.	x			
Total	2	1	0	2
Tóxicas	1	0	0	0
Diazótrofas	1	0	0	1

Discusión

Los resultados demuestran la heterogeneidad de los biotopos seleccionados, siendo mayor la diversidad de corales en el plano rocoso. Existen diferencias en la diversidad de especies identificadas para ambos periodos climáticos en los dos biotopos, siendo mayor la diversidad en el periodo lluvioso en el camellón, y en el poco lluvioso para el plano rocoso. Es importante considerar que en los océanos de todo el mundo prevalece *Synechococcus* sp. y se estima que tiene una abundancia máxima de 40

000 células mL⁻¹ en el Océano Pacífico. La expansión de esta especie durante la última década se ha atribuido a su importante variación genética, siendo notorio que no se identifique en corales blanqueados o enfermos por lo que parece ser un bioindicador de corales sanos que puede estar presente también en corales bioerosionados.

Phormidium sp. resultó una especie con potencial para la bioindicación de la condición de muerte en estos organismos. Esta cianobacteria produce formidolida, compuesto que tiene actividad inhibidora de proteínas ⁴¹. *Anabaena* es considerada un bioindicador; se ha encontrado en especies muertas o enfermas de corales en el Pacífico Sur. Por otra parte, la presencia de *L. majuscula* puede ser un indicador enfermedad o muerte; las floraciones de esta cianobacterias pueden crear tapetes que cubren el sustrato donde crecen, creando un efecto de cobertura dañino que incluso puede crear condiciones anóxicas, ⁴² de lo que se infiere que el coral donde esta especie está presente podría estar en riesgo de enfermarse.

La especie *R. reptotaenium* ha sido asociada en el Caribe a especies enfermas con banda negra. ³⁶ Cabe destacar que cercano al área de muestreo en Siboney (biotopo de camellones) se visualizaron especies de coral con banda negra, lo que pudiera ser un indicador de que el individuo de *A. palmata*, en el cual se encontró la cianobacteria, podría estar transitando hacia esta enfermedad. Las evidencias indican que las cianobacterias filamentosas podrían ser bioindicadores potenciales para estimar la salud de los corales. Las evidencias indican que la mayoría de las especies bioindicadoras de una condición de salud coralina comprometida son tóxicas y/o diazótrofes.

Los resultados obtenidos con *A. torulosa* y *Pseudoscillatoria coralii* coinciden con resultados previos que asocian el género *Anabaena* con la propagación de enfermedades en *Millepora* considerándolo un patógeno para estas especies. ⁴³ Por otra parte, se ha asociado el género *Anabaena* a especies con blanqueamiento de *Montastraea* y *Acropora* en el Caribe; ⁴⁴ patogenicidad que puede estar relacionada con valores relativamente bajos de pH (pH = 7,3), estrés térmico y a la presencia de algas coralinas incrustantes. ⁴⁵

El comportamiento en las diferentes localidades que puede estar relacionado con las presiones antrópicas y la calidad ambiental. La diversidad de cianobacterias puede estar relacionada con la contaminación. Estudios realizados con antelación por otros autores han revelado que la conductividad se correlacionó positivamente con taxones productores de microcistina, como *Microcystis aeruginosa*. La conductividad se considera una de las variables más influyentes en la composición de las especies de cianobacterias; algunos factores solo se vuelven relevantes a baja temperatura del agua y alta conductividad, lo que sugiere la importancia de este parámetro en los análisis de la concentración de cianobacterias, y la producción de cianotoxinas. Algunos estudios han

demostrado influencia de este parámetro, combinado con menor precipitación y mayor temperatura del agua, en el crecimiento y composición de cianobacterias, principalmente *Microcystis* sp.⁴⁶

Las cianobacterias están entre los microorganismos más utilizados en la bioindicación, debido a su amplia distribución y por ser responsables de gran parte de la biomasa, productividad y ciclo de nutrientes en los sistemas acuáticos. Estas tienen la capacidad de responder fácilmente a cualquier tipo de perturbación ambiental, así como a cambios físicos, químicos y bióticos que puedan presentarse.⁴⁷ Sus poblaciones presentan cualidades propias de un indicador biológico y pueden no solo ser empleadas en la bioindicación de la calidad del agua, sino también de ciertas características tales como estratificación, turbulencia, presencia de determinados iones, entre otros, factores fácilmente detectados a través del uso de especies adaptadas a tales condiciones.⁴⁸

Algunos géneros de cianobacterias están mejor distribuidos que otros. *Lyngbya*, *Microcystis* y *Synechococcus* son algunos géneros de cianobacterias que colonizan ambientes con mayor facilidad, por su fácil dispersión. Especies como *L. majuscula* y *L. wollei* son cada vez más reportadas como colonizadores agresivos de nuevos entornos.^{49, 50} Recientemente se ha reportado una expansión geográfica global de la cianobacteria tóxica *Microcystis* sp., con floraciones en más de 108 países.⁵¹ Deben considerarse entonces aspectos relacionados con el monitoreo y la vigilancia de estos microorganismos⁵² en los ecosistemas acuáticos.

Microcystis al igual que *Anabaena*, *Synechococcus* y *Leptolyngbya* son géneros de cianobacterias transportados comúnmente a través del aire, animales, aguas de lastre, balsas de macrobasura y desechos plásticos. Por otra parte, su crecimiento se favorece por el aumento de las temperaturas al igual que su propagación y colonización. Por lo tanto, resulta crucial comprender las posibles rutas de dispersión de las cianobacterias a través del mar, el aire o la tierra para mitigar su propagación;⁵³ así como los impactos de su presencia en diferentes ecosistemas y biotopos.

La descripción de muchas enfermedades de los corales a menudo se confunde por la falta de criterios de diagnóstico claros, por lo que pueden surgir signos de enfermedades similares en múltiples especies; mientras que un patógeno putativo solo se ha verificado para una o un subconjunto de especies.⁵³ El hecho de tener especies bioindicadoras para determinadas condiciones de salud coralina puede devenir en métodos confirmativos complementarios cuando se evalúa la salud de estos ecosistemas. Las diferencias en la calidad ambiental de los biotopos ubicados en las dos localidades de estudio son evidentes. Aguadores (biotopo plano-rocoso) presenta mejores condiciones ambientales, lo que se infiere a partir de los resultados de los condicionadores de cambio y de estructura. Siboney (biotopo de camellones) presenta una calidad ambiental comprometida, debido a

las presiones antrópicas que recibe, lo que se hace evidente en los indicadores de estructura y condicionadores de cambio, repercutiendo en los de función.

La calidad ambiental de las localidades influye en la presencia de especies cianobacterias, siendo Siboney la localidad donde se identifican mayor presencia de cianobacterias, así como de especies tóxicas y diazótrofes. Entre estas especies pueden mencionarse *A. torulosa*, *Leptolynbya* sp., *Lyngbya* sp., *Oscillatoria agardhii*, *O. limosa*, *Pseudoscillatoria coralii*, y *Rosefilum reptotaenium*, las que tienen doble condición; identificadas todas, mientras que en Aguadores solo se identifican dos: *Lyngbya* sp. y *L. majuscula*. La contaminación parece tener un papel relevante en la presencia de cianobacterias bentónicas asociadas a corales en los diferentes biotopos estudiados; si bien la influencia de las actividades antropogénicas está en discusión, es indiscutible su distribución y transporte vía tráfico marítimo o por las balsas de plástico; ⁵² por lo que la presencia de macrobasura plástica en Siboney puede tener relación con su mayor presencia en esta localidad.

Los géneros de cianobacterias bentónicas se asientan fácilmente en las superficies plásticas, lo que hace que estos desechos marinos sean un modo efectivo para su transporte, ^{55, 56} y puede contribuir a la diversidad de especies. La presencia de microplásticos puede asociarse incluso al aumento de las especies tóxicas. ⁵⁷ Si bien el aumento de especies tóxicas de cianobacterias en los arrecifes se ha asociado al cambio climático, ⁴ también existe una relación con la calidad ambiental de las localidades y biotopos, a lo que sumaría el análisis de la presencia de cianobacterias nitro fijadoras. ⁵ Las futuras líneas de investigación se centrarán en nuevos muestreos, principalmente en los corales afectados, para confirmar la presencia de estas cianobacterias.

Conclusiones

- El uso de cianobacterias como bioindicadoras del estado de salud de los corales demuestra ser una herramienta eficaz para evaluar la calidad ambiental y los impactos antrópicos en ecosistemas arrecifales.
- En los biotopos estudiados, se observaron diferencias significativas en la salud coralina: el biotopo plano rocoso presentó mejores condiciones ambientales y mayor diversidad coralina, mientras que el biotopo de camellones mostró mayor deterioro asociado a presiones antrópicas como contaminación por macrobasura y desarrollo costero.
- Las especies *Anabaena torulosa*, *Lyngbya majuscula*, *Oscillatoria agardhii* y *Pseudoscillatoria coralii* se identificaron como bioindicadoras de corales enfermos y/o muertos, mientras que *Aphanotece clathrata*, *Cyanosarcina* sp. y *Synechococcus* sp. se asociaron a corales sanos, lo que resalta su sensibilidad a los cambios ambientales.

- Las cianobacterias tóxicas y diazótrofes predominaron en el biotopo de camellones, evidenciando la relación entre presiones antrópicas y proliferación de estas especies.
- La inclusión de cianobacterias como indicadores en los programas de monitoreo de arrecifes puede aportar información clave para la conservación de estos ecosistemas en contextos de cambio climático y actividades humanas.

Contribución de los autores: "Conceptualización, L.G.L y L.D.P.; metodología, L.G.L y L.D.P.; uso de software, L.G.L y L.D.P.; análisis formal, L.G.L y L.D.P.; investigación, L.G.L y L.D.P.; muestreos L.D.P.; recursos, L.G.L y L.D.P.; escritura original, L.G.L y L.D.P.; revisión y edición, L.G.L.; visualización, L.G.L y L.D.P.; supervisión, L.G.L.; administración de proyecto, L.G.L.; adquisición de fondos, L.G.L. Todos los autores del presente trabajo han leído el documento y están de acuerdo con la publicación de este.

Financiamiento: esta investigación ha sido desarrollada como parte del Proyecto "Potencial productivo, para la bioindicación, y toxicidad de especies cepas de microalgas y cianobacterias: efecto del CM y desarrollo de tecnologías con impacto ambiental" financiado por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado de la Universidad de Oriente.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que pongan en riesgo la validez de los resultados

Referencias

1. Garren, M.; Azam, F. New directions in coral reef microbial ecology. *Environ Microbiol* **2012**,14(4),833-44. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02597.x>
2. Bourne, D.G.; Morrow, K.M.; Webster, N.S. Insights into the coral microbiome: underpinning the health and resilience of reef ecosystems. *Annu Rev Microbiol* **2016**,70, 317-40. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-102215-095440>
3. González-Ferrer, S. Corales pétreos: Jardines sumergidos de Cuba. 1ra ed.; Publ.: Editorial Academia: La Habana, Cuba, **2004**; 326 pp.
4. Paerl, H.W.; Paul, V.J. Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria. *Water Res* **2012**, 46(5), 1349-63. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.002>

5. Santos, H.F.; Carmo, F.L.; Duarte, G.; Dini-Andreote, F.; Castro, C.B.; Rosado, A.S.; et al. Climate change affects key nitrogen-fixing bacterial populations on coral reefs. *ISME J* **2014**, 8(11), 2272-9. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.70>
6. Gantar, M.; Kaczmarek, L.T.; Stanić, D.; Miller, A.W.; Richardson, L.L. Antibacterial activity of marine and black band disease cyanobacteria against coral-associated bacteria. *Mar Drugs* **2011**, 9(10) 2089-105. <https://doi.org/10.3390/md9102089>
7. Richardson, L.L.; Stanić, D.; May, A.; Brownell, A.; Gantar, M.; Campagna, S.R. Ecology and physiology of the pathogenic cyanobacterium *Roseofilum reptotaenium*. *Life* **2014**, 4(4), 968-87. <https://doi.org/10.3390/life4040968>
8. Pollock, F.J.; Morris, P.J.; Willis, B.L.; Bourne, D.G. The urgent need for robust coral disease diagnostics. *Plos Pathog* **2011**, 7(10), e1002183. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002183>
9. Richardson, L.L.; Miller, A.W.; Blackwelder, P.L.; Al-Sayegh, H. Cyanobacterial-associated colored-band diseases of the Atlantic/Caribbean. In: *Diseases of coral*; Cheryl, M.; Woodley, C.A.D.; Andrew, W.; Bruckner, J.; Porter, W.; Galloway, S.B. eds. Publisher: John Wiley & Sons Inc: John Wiley & Sons, USA, 2015; pp. 345-53.
10. Gantar, M.; Sekar, R.; Richardson, L.L. Cyanotoxins from black band disease of corals and from other coral reef environments. *Microb Ecol* **2009**, 58(4), 856-64. <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9540-x>
11. Dioneda, Jr R.A.; Dioneda, Sr R.R. Status of coral reef on Malabugot protected landscape and seascape. *Kuroshio Sci* **2019**, 13(1), 49-52.
12. González-Díaz, P. Efecto acumulativo de agentes estresantes múltiples sobre los corales hermatípicos de la región noroccidental de Cuba. 1ra ed.; Publ.: Universidad de La Habana, La Habana Cuba, **2010**; 23-52 pp.
13. González-Díaz, P.; de la Guardia, E.; González-Sansón, G. Efecto de efluentes terrestres sobre las comunidades bentónicas de arrecifes coralinos de Ciudad de La Habana, Cuba. *Rev Invest Mar* **2003**, 24(3) 193-204.
14. Alcolado, P.M.; Caballero-Aragón, H.; Lara, A.; Rey-Villiers, N.; Arriaza, L.; Lugioyo, G.M.; et al. Resiliencia en crestas de arrecifes coralinos del este del golfo de Batabanó, Cuba, y factores determinantes probables. *Ser Oceanol* **2013**, 13, 49-75.

15. McField. M.; Kramer, P. Healthy reefs for healthy people: a guide to indicators of reef health and social well-being in the Mesoamerican Reef Region. M. Gorrez and M McPherson ed. Publ.: Healthy Reefs for Healthy People Initiative; Miami, FL., 2007; 57-69 pp.
16. Jover Capote, A.; Reyes de Armas, M.; Gómez Luna, L.M.; Suarez, A.M. Variación espacial y temporal de las macroalgas del mesolitoral rocoso en aguadores-Baconao. Cuba I: Composición. *Rev Inv Mar* **2012**, 32(1), 38-49.
17. Gomez-Luna, L. Primer reporte de *Oxyrrhis marina* Dujardin 1841 en la bahía de Guantánamo, Cuba. *Rev Inv Mar* **2014**, 34(1), 1-8.
18. Gomez-Luna, L. Primer reporte de *Prorocentrum micans* Ehrenberg 1833 asociado a un bloom mixto de *Ceratium lineatum* y *C. fusus*, en aguas de la bahía de Santiago de Cuba. *Rev Inv Mar* **2007**, 28(2), 177-9.
19. Gomez, L.; Díaz, U.; Fernández, A.; Licea, Y.; Álvarez, I. Floraciones algales nocivas en la bahía de Santiago de Cuba. IV Taller Internacional Contaminación y Protección del Medio Ambiente, CONYMA, Ciudad de La Habana, 2006.
20. Carlson, R.E. A trophic state index for lakes. *Limnol Oceanogr* **1977**, 22(2), 361-9. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
21. Mumby, P.J.; Hastings, A.; Edwards, H.J. Thresholds and the resilience of Caribbean coral reefs. *Nature* **2007**, 450, 7166, 98-101. <https://doi.org/10.1038/nature06252>
22. Zlatarski, V.; Martínez-Estalella, N. Los escleractinios de Cuba con datos sobre sus organismos asociados. Harte Res. Inst. for Gulf of Mexico Studies at Texas, A&M University Corpus Christi, **2018**, 471, 1.
23. Hendler, G.; Miller, J.; Pawson, D.; Kier, P. Sea stars, sea Urchins and allies: Echinoderms of Florida and the Caribbean, Smithsonian Institutions Press, Washington DC, 1995.
24. Rodríguez-Tito, J.C.; Gómez-Luna, L.M. Estado trófico de 24 embalses de agua en el oriente de Cuba. *Rev Cub Quím* **2020**, 32(1), 136-53.
25. Gomez, L.; Álamo, B.; Rodríguez-Tito, J.C. Riesgo de contaminación con cianobacterias en tres embalses de agua de Santiago de Cuba. *Medisan* **2010**, 14(2).
26. Gomez, L.; Álvarez, I; Rodríguez-Tito, J.C. CUBA: Toxic cyanobacteria risk assessment, research and management. In: Current approaches to Cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries, 2nd Edition, Chorus, I. ed. Publisher: Federal Environment Agency (Umweltbundesamt, Germany) 2012. p. 40-48.

27. Gomez, L.; Asín, C.O.; Ortega, Y. Primer reporte de *Oxyrrhis marina* Dujardin 1841 en la bahía de Guantánamo, Cuba. *Rev Inv Mar* **2014**, 35(1).
28. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Decreto Ley 1-12 Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. MINJUS, La Habana; 2000, 65 pp.
29. Sánchez-García, N.; Sanz-Lázaro, C. Guía explicativa de etiquetas para la gestión de residuos, Dir: Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante, España, rua.ua.es, <https://doi.org/10.1419/>, 2019; 18 pp.
30. Ortiz, B.P. Índices climáticos para la determinación y simulación de las señales de la variabilidad climática en diferentes escalas espacio temporales. *Rev Cub Meteorol* **2004**, 11(1), 41-52.
31. Paul, V.J.; Thacker, R.W.; Banks, K.; Golubic, S. Benthic cyanobacterial bloom impacts the reefs of South Florida (Broward County, USA). *Coral Reefs* **2005**, 24(4), 693-7. <https://doi.org/10.1007/s00338-005-0061-x>
32. Cronberg, G.; Annadotter, H. editors. Manual on aquatic cyanobacteria. A Photo guide and a synopsis of their toxicology. Publisher: IOC-UNESCO. ISSHA, Copenhagen, Denmark; 2006, 106 pp.
33. Zhu, M.L, Yu, G.L.; Li, X.C.; Tan, W.H.; Li, R.H. Taxonomic and phylogenetic evaluation of *Limnothrix* strains (Oscillatoriales, Cyanobacteria) by adding *Limnothrix planktonica* strains isolated from central China. *Hydrobiol* **2012**, 698(1), 367-74. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1127-8>
34. Suda, S.; Watanabe, M.M.; Otsuka, S.; Mahakahant, A.; Yongmanitchai, W.; Nopartnaraporn, N. *et al.* Taxonomic revision of water-bloom-forming species of oscillatoriid cyanobacteria. *Int J Syst Evol Micr* **2002**, 52, 1577-95. <https://doi.org/10.1099/00207713-52-5-1577>
35. Moreno, J.L.; Licea, S.Y.; Santoyo, H. editors. Diatomeas del Golfo de California: Ed. Universidad Autónoma de Baja California, USA. SEP-FOMES, 1996; 108 pp.
36. Casamatta, D.; Stanić, D.; Gantar, M.; Richardson, L.L. Characterization of *Roseofilum reptotaenium* (Oscillatoriales, Cyanobacteria) isolated from Caribbean black band disease. *Phycol* **2012**, 51(5), 489-99. <https://doi.org/10.2216/11-10.1>
37. AlgaeBase. Available online: www.algaebase.org (accessed on 17 04 2023).
38. Komárek, J. *Quo vadis*, taxonomy of cyanobacteria. *Fottea*. **2020**, 20(1), 104-10. <https://doi.org/10.5507/fot.2019.020>

39. Chorus, I. Introduction: Cyanotoxins-Research for Environmental Safety and Human Health. In: Cyanotoxins: occurrence, causes, consequences. Chorus I, editor. Publisher: Springer Science & Business Media, Berlín, Alemania, 2012; p 12-35.
40. Carlton, R.G.; Richardson, L.L. Oxygen and sulfide dynamics in a horizontally migrating cyanobacterial mat: black band disease of corals. *FEMS Microbiol Ecol* **1995**, 18(2), 155-62. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1995.tb00173.x>
41. Santos, H.F.; Duarte, G.; Dini-Andreote, F.; Castro, C.B.; Rosado, A.S. *et al.* Climate change affects key nitrogen-fixing bacterial populations on coral reefs. *ISME J* **2014**, 8(11), 2272-9. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.70>
42. Albert, S.; O'Neil, J.M.; Udy, J.W.; Ahern, K.S.; O'Sullivan, C.M.; Dennison, W.C. Blooms of the cyanobacterium *Lyngbya majuscula* in coastal Queensland, Australia: disparate sites, common factors. *Mar Pollut Bull* **2005**, 51(1-4), 428-37. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.016>
43. Santos, H.F.; Carmo, F.L.; Martirez, N.; Duarte, G.A.; Calderon, E.N.; Castro, C.B.; *et al.* Cyanobacterial and microeukaryotic profiles of healthy, diseased, and dead *Millepora alcicornis* from the South Atlantic. *Dis Aquat Organ* **2016**, 119(2), 163-72. <https://doi.org/10.3354/dao02972>
44. Sunagawa, S.; DeSantis TZ, Piceno YM, Brodie EL, DeSalvo MK, Voolstra CR, *et al.* Bacterial diversity and White Plague Disease-associated community changes in the Caribbean coral *Montastraea faveolata*. *ISME J* **2009**, 3(5), 512-21. <https://doi.org/10.1038/ismej.2008.131>
45. Ainsworth, T.; Fine, M.; Roff, G.; Hoegh-Guldberg, O. Bacteria are not the primary cause of bleaching in the Mediterranean coral *Oculina patagonica*. *ISME J* **2008**, 2(1), 67-73. <https://doi.org/10.1038/ismej.2007.88>
46. Barros, M.U.G. Environmental factors associated with toxic cyanobacterial blooms across 20 drinking water reservoirs in a semi-arid region of Brazil. *Harmful Algae* **2019**, 86, 128-37. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.05.006>
47. Paerl, H.W.; Valdes, L.M.; Pinckney, J.L.; Piehler, M.F.; Dyble, J.; Moisander, P.H. Phytoplankton photopigments as indicators of estuarine and coastal eutrophication. *BioSci* **2003**, 53(10), 953-64. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0953:PPAIOE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0953:PPAIOE]2.0.CO;2)
48. Sarmiento-Morales, M.L. Microalgas como indicadores biológicos del estado trófico de las ciénagas de Malambo y Santo Tomás, Departamento del Atlántico. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/3137>, 2017.

49. Paerl, H.W.; Huisman, J. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Env Microbiol Rep* **2009**, 1(1), 27-37. <https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2008.00004.x>
50. Paerl, H.; Fulton, R. Ecology of harmful cyanobacteria. In: Ecology Harmful Algae; Publisher: Springer, 2006; 95-109 pp.
51. Gobler, C.J.; Burkholder, J.M.; Davis, T.W.; Harke, M.J.; Johengen, T.; Stow, C.A., et al. The dual role of nitrogen supply in controlling the growth and toxicity of cyanobacterial blooms. *Harmful Algae*. **2016**, 54, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.01.010>
52. Ojaveer, H.; Galil, B.S.; Carlton, J.T.; Alleway, H.; Gouletquer, P.; Lehtiniemi, M. et al. Historical baselines in marine bioinvasions: Implications for policy and management. *PloS one* **2018**, 13(8), e0202383. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202383>
53. Curren, E.; Leong, S.C.Y. Natural and anthropogenic dispersal of cyanobacteria: a review. *Hydrobiol.* **2020**, 847(13), 2801-22. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04286-y>
54. Richardson, L.L.; Goldberg, W.M.; Kuta, K.G.; Aronson, R.B.; Smith, G.W.; Ritchie, K.B.; et al. Florida's mystery coral-killer identified. *Nature* **1998**, 392(6676), 557-8. <https://doi.org/10.1038/33302>
55. Palińska, K.A.; Abed, R.M.; Wendt, K.; Charpy, L.; Łotocka, M.; Golubic, S. Opportunistic cyanobacteria in benthic microbial mats of a tropical lagoon, Tikehau Atoll, Tuamotu Archipelago: minor in natural populations, major in cultures. *Fottea* **2012**, 12(1), 127-40. <https://doi.org/10.5507/fot.2012.010>
56. Winkler, K.E. Exploring algaecide effectiveness in the benthic cyanobacteria community. Master Thesis, University of Akron; 2018. <http://orcid.org/0000-0002-4489-4312>
57. Galloway, T.S.; Lewis, C.N. Marine microplastics spell big problems for future generations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2016**, 113(9), 2331-3. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600715113>

Received: 8 octubre 2024 **Accepted:** 20 noviembre 2024 | **Published:** 15 diciembre 2024 |

Citación: Gomez-Luna, L.; Delgado-Pérez, L. Cianobacterias en la bioindicación del estado de salud de los corales. Revista Bionatura 2024; Vol 9. No. 4

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)