

Evaluación de la calidad del agua de los arrecifes del golfo de Cazones, sur de Cuba, a partir de algunos indicadores microbiológicos y químicos

Water quality assessment of reefs in the gulf of Cazones, southern Cuba, using microbiological and chemical indicators

Gladys Margarita Lugioyo^{1}, Daymarlen González¹ e Ileana García¹*

RESUMEN

Los arrecifes coralinos constituyen uno de los ecosistemas más amenazados por los efectos de la actividad antrópica y el cambio climático, impactos a los cuales no escapan los arrecifes del Mar Caribe. El objetivo de la investigación fue la evaluación de la calidad del agua adyacente a los arrecifes del golfo de Cazones, S de Cuba, a partir de algunos indicadores microbiológicos y químicos. Se realizaron dos muestreos en épocas contrastantes, noviembre 2015 (invierno) y abril 2017 (verano), donde se tomaron 13 muestras de agua (cinco en las crestas y ocho en los arrecifes frontales). Los arrecifes más vulnerables, tomando en consideración los indicadores seleccionados microbiológicos y químicos de calidad de las aguas, fueron Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2), Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1) y Sur de la ensenada de Cazones (S-EC) (Nirvana), al presentar elevadas concentraciones de bacterias heterótrofas, de sulfato-reductoras, de vibrios y de materia orgánica (DQO). De acuerdo con la concentración de bacterias heterótrofas, el estado trófico de las aguas varió entre mesotróficas a meso-eutróficas y el sitio más deteriorado fue el oeste de la ensenada de Cazones (O-EC), seguido de este de la ensenada de Cazones (E-EC) y sur de la ensenada de Cazones (S-EC) lo que indica que las aguas adyacentes a esos arrecifes se mantienen enriquecidas de materia orgánica, tanto en las crestas como en los arrecifes frontales. Los resultados obtenidos deben servir de alerta, ya que existen condiciones para el deterioro paulatino de los arrecifes.

Palabras clave: Calidad, bacterias, hidroquímica, arrecifes, ecosistema.

ABSTRACT

Coral reefs are some of the most threatened ecosystems due to the anthropogenic activity and climate change, from which the Caribbean Sea reefs have not escaped. The objective of this paper was to assess the quality of the waters adjacent to the reefs of the Gulf of Cazones, southern

1 Instituto de Ciencias del Mar (ICIMAR), calle Loma # 14, entre 35 y 37, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba. margarita@icimar.cu* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7517-8063>, mimi@icimar.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4653-1347>, ileana@icimar.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2229-3767>.

Cuba, using certain microbiological and chemical indicators. Two samplings were conducted in contrasting seasons, November 2015 (winter) and April 2017 (summer), where 13 water samples were taken (five on the ridges and eight on the front reefs). The most vulnerable reefs to environmental deterioration in both seasons, taking into consideration the microbiological and chemical indicators, were Southeast of Cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2), Southeast of Cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1), and South of Cazonos Cove (S-EC) (Nirvana), since they had high concentrations of heterotrophic and sulphate-reducing bacteria, vibrio, and organic matter (COD). Based on the heterotrophic bacteria concentration, the trophic state of the waters ranged from mesotrophic to meso-eutrophic and the most deteriorated site resides at the West of the Cazonos cove (O-EC), followed by the East of the Cazonos cove (E- EC) and South of the Cazonos cove (S-EC). This indicates that the waters surrounding these reefs are enriched with organic matter, both on the ridges and on the frontal reefs. The results obtained should serve as a warning because conditions exist for the gradual deterioration of these coral reefs.

Keywords: Quality, bacteria, hydrochemicals, reef, ecosystem.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos son invaluable por su importancia ecológica, social y económica. Especialmente relevantes son los servicios ecosistémicos que brindan: fuentes de recursos alimenticios, amortiguadores de la erosión costera, barreras naturales para la protección contra fenómenos meteorológicos extremos, turismo (Spalding *et al.* 2017; Thampi *et al.* 2018). Sin embargo, en los últimos años se ha reconocido que los arrecifes coralinos constituyen uno de los ecosistemas más amenazados por los efectos de la actividad antrópica y el cambio climático (Harvey *et al.* 2018; Williams *et al.* 2019).

Alcolado *et al.* (2010) refieren que investigaciones de la última década sobre la salud de los arrecifes del Caribe (Aronson & Pretch,

2001; Gardner *et al.* 2003) indican un deterioro de este ecosistema y lo atribuyen a los efectos de presiones locales y regionales entre los que se encuentran la contaminación y la sobrepesca (Ginsburg & Glynn, 1994; Hoegh-Guldberg *et al.* 2007; Jackson *et al.* 2014), el incremento de la temperatura (Eakin *et al.* 2010; Hughes *et al.* 2010), la acidificación de los océanos (Kleypas & Hoegh-Guldberg, 2008; Hughes *et al.* 2018; Pandolfi *et al.* 2005), además de las consecuencias propias del cambio climático (Weijerman *et al.* 2018).

Las investigaciones realizadas sobre la calidad ambiental y estado de “salud” de los ecosistemas arrecifales en Cuba demostraron que algunos arrecifes se encontraban afectados debido a varios fenómenos, entre los que se destacan la nutrificación, la incidencia de enfermedades, así como la

acción nociva de las altas temperaturas (Miravet, 2003; Alcolado *et al.* 2010).

En los ecosistemas marinos, las bacterias heterótrofas constituyen un componente esencial en la trama trófica; estas, a través de su interacción con otros niveles, modifican los ambientes y controlan el reciclaje de nutrientes (Pucci *et al.* 2009). Teniendo en cuenta el rol ecológico de las bacterias heterótrofas en el medio marino, actualmente es reconocida la posibilidad de utilizarlas como indicadoras microbiológicas para evaluar la calidad ambiental de los ecosistemas y la detección de condiciones ambientales desfavorables.

Los vibrios es otro grupo bacteriano que puede ser usado como indicador de calidad de las aguas, ya que su distribución está influenciada por gradientes medioambientales como temperatura, salinidad, disponibilidad de nutrientes y factores biológicos, por ejemplo, depredación y abundancia de dinoflagelados y hospedadores (Thompson & Polz, 2006). Al respecto, diversos estudios estuarinos y costeros de diferentes partes del mundo han demostrado que la temperatura y salinidad juegan funciones importantes en el desarrollo del *V. cholerae* (Jiang, 2001).

Las bacterias sulfatoreductoras, si bien son microbiota normal en ambientes con niveles bajos de oxígeno disuelto o anóxicos, como pueden ser los sedimentos marinos, cuando son detectadas en ecosistemas como los

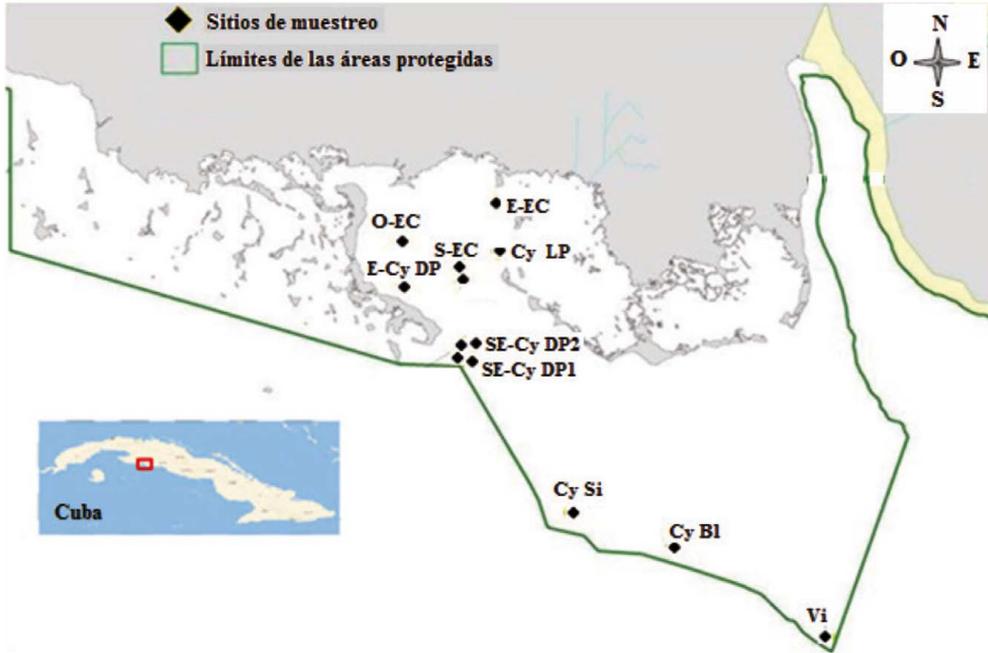
arrecifes coralinos, son indicadoras de deterioro de la salud.

En Cuba, desde el punto de vista microbiológico, solo se habían realizado investigaciones de calidad de las aguas en los arrecifes del sur oeste (SW) (Miravet, 2003) y en el archipiélago Sabana-Camagüey, ubicado en la zona norcentral de Cuba (Miravet *et al.* 1994). Sin embargo, en la zona en estudio no existían antecedentes de investigaciones microbiológicas y dada la importancia que reviste la calidad del agua para la conservación de los arrecifes, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad de las aguas aledañas a los arrecifes coralinos del golfo de Cazones empleando algunos indicadores microbiológicos y químicos de respuesta rápida.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de trabajo se ubica en el golfo de Cazones que se encuentra dentro de las áreas marinas protegidas de la Ciénaga de Zapata. Los arrecifes del golfo de Cazones se caracterizan por crestas y arrecifes frontales pequeños y con aislados cabezos de coral sobre un sustrato de arena entre 3 m y 10 m de profundidad. A partir de los 10 m de profundidad se desarrolla un fondo de camellones y canales de arena, los cuales, con el aumento de la profundidad, incrementan en relieve (Rey-Villiers, 2016).

Se realizaron dos muestreos en épocas contrastantes, uno en noviembre del 2015 (invierno) y otro en abril del 2017 (verano), donde se tomaron 13 muestras de agua (cinco en las crestas y ocho en los arrecifes frontales) (Fig. 1).



Crestas arrecifales del golfo de Cazones

Sitios	Siglas	Latitud N	Longitud O
Sur de la ensenada de Cazones	S-EC	22° 5.931'	81° 31.160'
Sureste de cayo Diego Pérez 2	SE-Cy.DP2	22° 2.163'	81° 30.876'
Sureste de cayo Diego Pérez 1	SE-Cy.DP1	22° 1.297'	81° 30.952'
Cayo Sigua	Cy.Si	21° 53.460'	81° 25.051'
Vizcaínos	Vi	21° 47.094'	81° 10.859'

Arrecifes frontales del golfo de Cazones

Este de la ensenada de Cazones	E-EC	22° 09.400'	81° 29.098'
Cayo Los Pinos	Cy.LP	22° 06.898'	81° 29.027'
Oeste de la ensenada de Cazones	O-EC	22° 07.431'	81° 34.286'
Sur de la ensenada de Cazones	S-EC	22° 05.753'	81° 31.055'
Este de cayo Diego Pérez	E-Cy.DP	22° 05.099'	81° 34.397'
Sureste de cayo Diego Pérez 2	SE-Cy.DP2	22° 02.164'	81° 30.517'
Sureste de cayo Diego Pérez 1	SE-Cy.DP1	22° 01.253'	81° 30.621'
Cayo Blanco	Cy.BI	21° 51.748'	81° 19.454'

Fig. 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el golfo de Cazones

Fig. 1. Location of sampling stations in the Gulf of Cazones

Para el análisis microbiológico se colectaron muestras de agua aleatoria a las crestas arrecifales y a los arrecifes frontales, mediante buceo autónomo y con el empleo de frascos de vidrio estériles de 250 mL de capacidad. Las muestras fueron conservadas en refrigeración por no más de 4 h hasta el procesamiento en el laboratorio de la embarcación.

La concentración de bacterias heterótrofas (BH), como indicadora de materia orgánica en agua, se determinó a partir de la siembra por diseminación en placas Petri con el empleo del medio de cultivo ZoBell 2216E (APHA, 2012) y el medio Agar TCBS para los conteos de vibrios. Las placas fueron incubadas a temperatura ($28 \pm 2^\circ\text{C}$) y se realizaron los conteos de las unidades formadoras de colonias durante tres días consecutivos (Miravet *et al.* 2009).

La determinación de bacterias sulfatoreductoras, indicadoras de condiciones anóxicas, solo se realizó en el agua de los micronichos de las crestas, para ello se empleó medio API y se siguió la metodología de tubos múltiples (Miravet *et al.* 2009). Las muestras fueron incubadas a $28 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 21 días. Para el cálculo de la concentración de estas bacterias se usó la Tabla de NMP (APHA, 2012).

El estado trófico de las aguas se determinó a partir de los rangos de concentración de bacterias heterótrofas propuestos por Miravet *et al.* (2009).

Las muestras para la determinación de materia orgánica fueron almacenadas en frascos de 1L a -10°C y procesadas posteriormente en el laboratorio. Se estimó la demanda química de oxígeno (DQO) por oxidación de la materia orgánica con permanganato de potasio en medio alcalino (APHA, 2012).

Para determinar si existían diferencias entre las concentraciones de bacterias heterótrofas y de vibrios entre las crestas y los arrecifes frontales de una misma zona, se empleó el análisis permutacional de varianza (PERMANOVA) (Anderson & Millar, 2004; Anderson *et al.* 2008). Los factores que se tuvieron en consideración fueron las crestas y de arrecifes frontales.

RESULTADOS

Las concentraciones de bacterias heterótrofas (BH) en el golfo de Cazon en noviembre del 2015 (época de invierno), oscilaron entre 1.1×10^3 y 20.4×10^3 UFC•mL⁻¹ (Fig. 2A y B). La concentración de bacterias heterótrofas más baja en cresta se registró en la estación Vizcaínos (Vi), mientras en el sur de la ensenada de Cazon se encontró el valor más elevado de 7.2×10^3 UFC/ mL (Fig. 2A). En los arrecifes frontales las concentraciones más bajas de bacterias heterótrofas se obtuvieron en el sitio de Cayo Los Pinos (Cy.LP) y en sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2); los valores más elevados de BH se encontraron en el

este de cayo Diego Pérez (E-Cy.DP) y al oeste de la ensenada de Cazonos (O-EC) con concentraciones de 20.4×10^3 y 10.1×10^3 UFC/ mL, respectivamente (Fig. 2A). Coincidentemente, en los

sitios E-Cy.DP y O-EC se mostraron elevadas concentraciones de materia orgánica con valores de DQO de 5.48 y 6.72 mg/L, respectivamente.

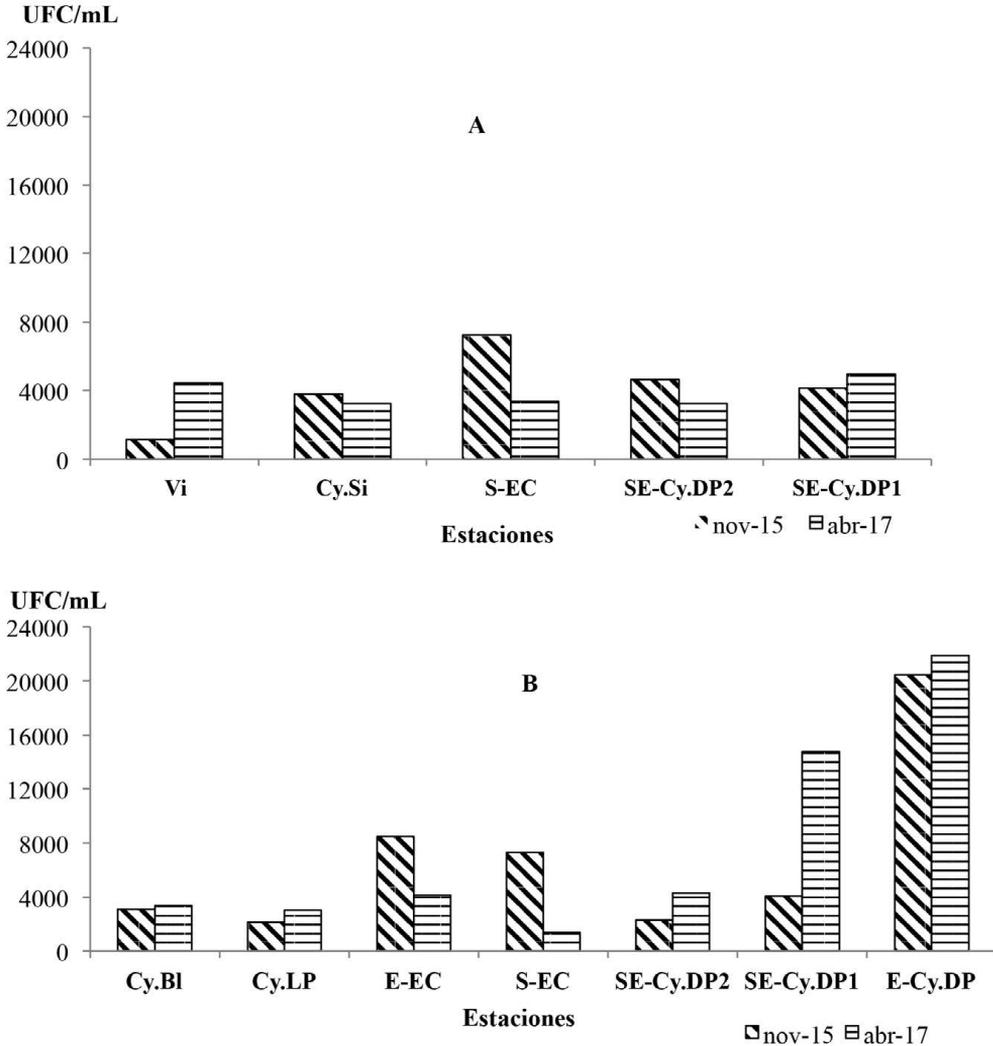


Fig. 2. Concentración de las bacterias heterótrofas (BH) en los sitios ubicados en las crestas arrecifales (A) y los arrecifes frontales (B) en el golfo de Cazonos

Fig. 2. Heterotrophic bacteria concentration (BH) of the sites located on the reef crests (A) and the frontal reefs (B) in the Gulf of Cazonos

Por su parte, las concentraciones de BH en abril del 2017 oscilaron entre 1.3×10^2 y 14.7×10^3 UFC/ mL (Fig. 2A y B). La concentración de bacterias heterótrofas, en general, fue más baja en cresta en relación con los arrecifes frontales. La mayor concentración se verificó en el sitio ubicado al este de cayo Diego Pérez (E-Cy.DP), seguida del sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1) ambos localizados en el arrecife frontal (Fig. 2B). Los menores valores de BH se encontraron en el sur de la ensenada de Cazones (S-EC) en el arrecife frontal.

En general, en ambos muestreos se observó que en los arrecifes frontales las concentraciones de BH fueron superiores respecto a las crestas arrecifales (Fig. 2A y B).

En invierno (noviembre 2015), las concentraciones de vibrio en los arrecifes, incluyendo las crestas y los arrecifes frontales, oscilaron entre 10 y 7000 UFC/ mL. En las crestas las mayores concentraciones de vibrio se encontraron en las estaciones sur de la ensenada de Cazones (S-EC) (7 000 UFC/ mL) y SE-Cy.DP2 (sureste de cayo Diego Pérez 2) (1 250 UFC/ mL), mientras en los arrecifes frontales en las estaciones sur de la ensenada de Cazones (S-EC) (1 585 UFC/ mL) y sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2) (1 550 UFC/ mL). Por su parte, en abril 2017 (época de verano), las concentraciones de vibrio variaron entre 40,6 y 1912 UFC/mL y resultaron, en general, inferiores a las obtenidas en noviembre del 2015 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración de vibrios en los sitios de los arrecifes del golfo de Cazones en noviembre 2015 y abril 2017

Table 1. Vibrio concentration in the Gulf of Cazones reefs in November 2015 and April 2017

Ubicación de los sitios	Concentración de vibrios (UFC/ mL)	
	Noviembre 2015	Abril 2017
Crestas arrecifales		
Vizcainos (Vi)	197	59
Cayo Sigua (Cy.Si)	10	41
Sur de la ensenada de Cazones (S-EC)	7 000	1 912
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	1 250	263
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	77	267
Arrecifes frontales		
Cayo Blanco (Cy.Bl)	852	312
Cayo Los Pinos (Cy.LP)	10	270
Este de la ensenada de Cazones (E-EC)	20	173
Sur de la ensenada de Cazones (S-EC)	1 585	1 221
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	1 550	700
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	355	151
Oeste de la ensenada de Cazones (O-EC)	25	118
Este de cayo Diego Pérez (E-Cy.DP)	415	312

Es de destacar que, tanto en cresta como en arrecifes frontales, la mayor concentración de vibrios se encontró en el sitio ubicado al sur de la ensenada de Cazonos (S-EC) en ambos muestreos (Cuadro 1).

Al realizar el análisis de PERMANOVA no se hallaron diferencias significativas de la concentración de BH (Pseudo-F de 1.1201 y P (perm) 0.34) y de vibrios (Pseudo-F de 1.0571 y P (perm) 0,398) ni entre las

estaciones de crestas y arrecifes frontales del golfo de Cazonos.

En las crestas, el análisis de la contribución relativa de los vibrios a la concentración total de bacterias heterótrofas evidenció que, en general, en ambos muestreos el porcentaje de vibrios fue bajo en todos los sitios, con excepción de la estación ubicada al sur de la ensenada de Cazonos (S-EC) que en noviembre 2015 fue de 96.8% y de 56.7% en abril 2017 (Fig. 3A y B).

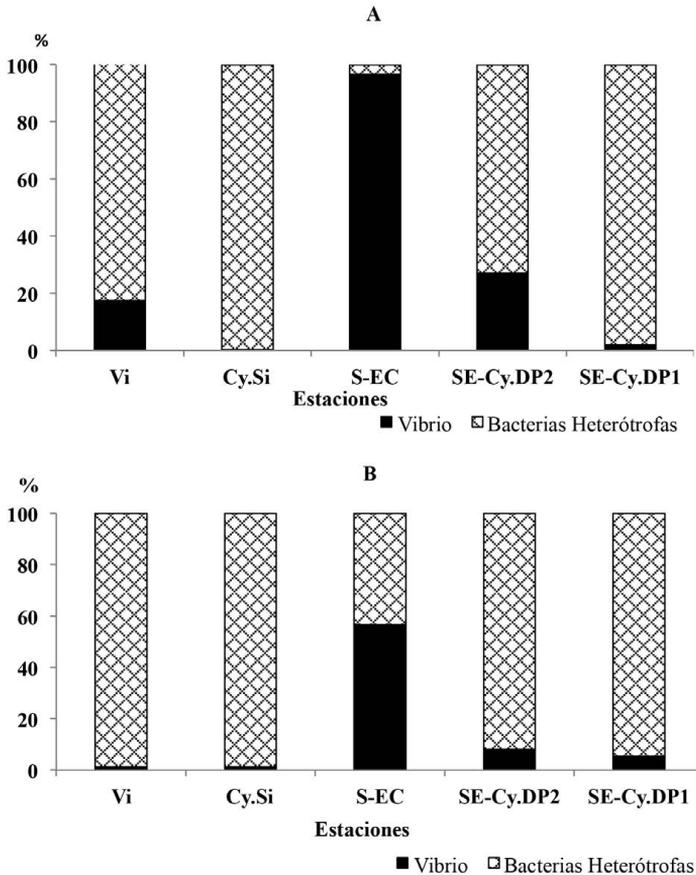


Fig. 3. Contribución relativa de la concentración de vibrios al total de bacterias heterótrofas en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos. A: noviembre 2015, B: abril 2017

Fig. 3. Relative contribution of vibrio to the total heterotrophic bacteria concentration on the reef crest in the Gulf of Cazonos. A: November 2015, B: April 2017

En relación con la contribución de los vibrios en los arrecifes frontales, en noviembre del 2015 se destacan los sitios sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2) con 67.4% seguidos de Cayo Blanco (Cy.BI) (27.6%) y sur de

la ensenada de Cazones (S-EC) con una contribución de 21.7% (Fig. 4A). En abril del 2017 las estaciones que más contribuyeron los vibrios al total de BH fueron la S-EC con 89.6% y la SE-Cy.DP2 con 16.2% (Fig. 4B).

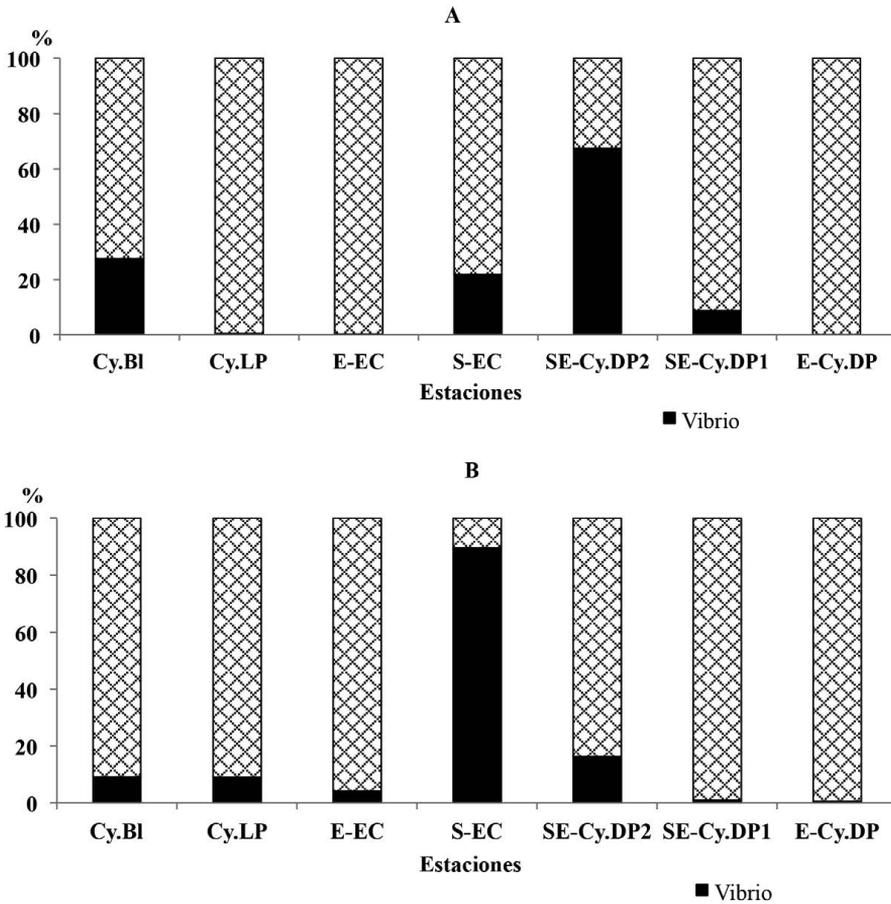


Fig. 4. Contribución relativa de la concentración de vibrios al total de bacterias heterótrofas en los arrecifes frontales del golfo de Cazones. A: noviembre 2015, B: abril 2017

Fig. 4. Relative contribution of vibrio to the total heterotrophic bacteria concentration on the frontal reefs in the Gulf of Cazones. A: November 2015, B: April 2017

En todos los sitios de crestas arrecifales se obtuvo crecimiento de bacterias sulfatorreductoras en los micronicos muestrados, en las dos épocas. En el análisis por muestreo se encontró que en noviembre 2015, las concentraciones de BSR fueron elevadas variando entre 210-2400 NMP/100mL⁻¹. Sin embargo, en abril 2017 las concentraciones fueron relativamente bajas (0.2 y 75 NMP/100mL⁻¹) (Cuadro 2). Las estaciones donde se encontraron las mayores concentraciones de BSR fueron cayo Sigua (Cy.Si) (2 400 NMP/mL) y sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1) (2 400 NMP/mL) seguida de sureste de

cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2) (1 100 NMP/mL), en el mes de noviembre 2015 (Cuadro 2).

Este resultado indica la presencia de micronicos con condiciones de anaerobiosis, ya que las BSR se desarrollan en ausencia de oxígeno y, aunque son bajas las concentraciones encontradas, debe servir de alerta para el buen estado de salud de esos arrecifes. Sin embargo, todos los sitios de los arrecifes frontales presentaron valores adecuados de BSR. En los arrecifes frontales no se detectaron BSR en ninguno de los dos muestreos realizados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de bacterias sulfatorreductoras (BSR) en los micronicos de los arrecifes del golfo de Cazonos (noviembre 2015 y abril 2017)
 Table 2. Concentration of sulphate-reducing bacteria in the micro niches on the Gulf of Cazonos reefs (November 2015 and April 2017)

Ubicación de los sitios	Concentración de BSR (NMP/100 mL)	
	noviembre 2015	abril 2017
Crestas arrecifales		
Vizcainos (Vi)	750	<0.3
Cayo Sigua (Cy.Si)	2 400	39
Sur de la ensenada de Cazonos (Nirvana) (S-EC)	210	75
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	1 100	30
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	2 400	11
Arrecifes frontales		
Cayo Blanco (Cy.Bl)	<0.2	<0.2
Cayo Los Pinos (Cy.LP)	<0.2	<0.2
Este de la ensenada de Cazonos (E-EC)	<0.2	<0.2
Sur de la ensenada de Cazonos (S-EC)	<0.2	<0.2
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	<0.2	<0.2
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	<0.2	<0.2
Oeste de la ensenada de Cazonos (O-EC)	<0.2	<0.2
Este de cayo Diego Pérez (E-Cy.DP)	<0.2	<0.2

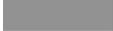
Al analizar el estado trófico de las aguas a partir de la concentración de bacterias heterótrofas, en ambos muestreos se encontró que la clasificación varió entre mesotrófica a meso-eutrófica (Cuadro 3). Es importante señalar que en los sitios evaluados de las crestas arrecifales en el golfo de Cazones en noviembre del 2015, el 80% de las estaciones se clasificaron como mesotróficas, y en los arrecifes

frontales el 63%. En abril del 2017, todos los sitios de las crestas se calificaron como mesotróficos y en los arrecifes frontales solo el 25% como meso-eutrófico (Cuadro 3). Los resultados anteriores sugieren que las aguas aledañas a los arrecifes del golfo de Cazones se mantienen enriquecidas de materia orgánica, tanto en las crestas como en los arrecifes frontales.

Cuadro 3. Estado trófico de las aguas de los arrecifes del golfo de Cazones a partir de la clasificación basada en la concentración de bacterias heterótrofas (Miravet *et al.* 2009)

Table 3. Trophic state of the waters of the Gulf of Cazones reefs based on the heterotrophic bacteria concentration classification (Miravet *et al.* 2009)

Ubicación de los sitios	Clasificación del estado trófico	
	noviembre 2015	abril 2017
Crestas arrecifales		
Vizcaínos (Vi)	1 133	4 454
Cayo Sigua (Cy.Si)	3 800	3 242
Sur de la ensenada de Cazones (S-EC)	7 233	3 375
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	4 633	3 242
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	4 133	4 939
Arrecifes frontales		
Cayo Blanco (Cy.Bl)	3 087	3 364
Cayo Los Pinos (Cy.LP)	2 133	3 000
Este de la ensenada de Cazones (E-EC)	8 467	4 159
Sur de la ensenada de Cazones (S-EC)	7 300	1 364
Sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)	2 300	4 318
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)	4 050	14 788
Oeste de la ensenada de Cazones (O-EC)	20 435	21 879
Este de cayo Diego Pérez (E-Cy.DP)	3 087	3 364

	Clasificación	UFC/mL
	Mesotróficas	80.1 - 6 500.0
	Meso-eutróficas	6 500.1 - 27 000.0
	Eutróficas	27 000.1 - 120 000.0

DISCUSIÓN

En los arrecifes de coralinos, las comunidades microbianas desempeñan un papel importante en la remineralización de los componentes orgánicos a inorgánicos, así como en la transferencia de energía a otros niveles tróficos (Henschke *et al.* 2016; Kirchman, 2000; Pucci *et al.* 2009). De hecho, algunos estudios informan que los microorganismos heterótrofos reciclan más de la mitad de la productividad neta en estos ecosistemas (Cho & Azam, 1990; Motegi *et al.* 2013; Nelson *et al.* 2011).

Según van Duyl & Gast (2001), aunque existe escasa información sobre el proceso de mineralización en el ecosistema arrecifal, se reconoce que la descomposición de la materia orgánica en los arrecifes ocurre con rapidez, ya que el flujo neto de materia orgánica en este ecosistema es generalmente pequeño.

La abundancia de bacterias que rodean los arrecifes está fuertemente influenciada por el movimiento de las aguas, el tiempo de residencia de estas sobre las crestas, el grado de depredación que sufren las bacterias, lo que a su vez se relaciona con la presencia y abundancia de otros organismos y la producción de mucus y materia orgánica que tiene lugar por los corales y los organismos que viven asociados a estos (Gast, 1998). Esto significa que la aparición de gradientes de

concentración de bacterias en diferentes sitios del arrecife puede depender, en gran medida, del grado de cobertura que presente el ecosistema en el momento del muestreo y, además, de la entrada de materia orgánica de origen antrópico que pueda ocurrir de manera eventual por diferentes causas.

En general, las concentraciones de BH encontradas, tanto en las crestas como en los arrecifes profundos del golfo de Czones, en el muestreo de abril del 2017, resultaron inferiores a las informadas para la misma zona en noviembre del 2015. No obstante, los resultados de abril 2017 confirman la disponibilidad de materia orgánica en las aguas aledañas, ya que estas bacterias, para su crecimiento y duplicación necesitan la materia orgánica. De hecho, las altas concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO) detectadas en el golfo de Czones pudieran estar asociadas a materia orgánica que proviene del aporte de la plataforma del golfo de Batabanó y por el escurrimiento superficial y subterráneo de la ciénaga de Zapata (Lluis-Riera, 1983; Petrova *et al.* 2007), además del sistema de corrientes que entrapa la materia orgánica y a los microorganismos (Arriaza *et al.* 2012; Lugioyo, 2003) y, a partir del metabolismo autotrófico y por la muerte de los organismos de estos ecosistemas arrecifales. También se debe tener en cuenta el aporte de materia orgánica procedente de los tapetes

de cianobacterias que se encontraron en los arrecifes coralinos del golfo de Cazones. [Brocke *et al.* \(2015\)](#) cuantificaron los aportes de carbono orgánico disuelto (COD) por las cianobacterias para arrecifes coralinos del Caribe e informaron que estas liberan entre 0.4 y 1 mg C/m²/d.

En general, los arrecifes del golfo de Cazones presentaron concentraciones de materia orgánica (DQO) superiores a la unidad y en algunos sitios los valores alcanzaron cifras entre 2.24 y 6.72 mg/L, que llegaron hasta los 10.88 mg/L ([Loza *et al.* \(2017\)](#)). Estas elevadas concentraciones de materia orgánica contribuyeron al elevado estado trófico de las aguas que los rodean, cuyas características van desde mesotróficas hasta meso-eutróficas. Los máximos puntuales de DQO obtenidos en los arrecifes del golfo de Cazones superaron los valores informados para los arrecifes del golfo de Batabanó por [Miravet \(2003\)](#) y en el archipiélago Sabana-Camagüey (ASC) por [Montalvo *et al.* \(2013\)](#).

Los resultados obtenidos en los arrecifes del golfo de Cazones confirman lo referido por [Williams \(2000\)](#), quien planeó que la mayor o menor abundancia de bacterias heterótrofas constituye un indicador de la cantidad de materia orgánica presente, relación que establece un nexo entre la cantidad de materia orgánica disuelta lábil capaz de ser oxidada por la actividad bacteriana.

Se ha demostrado que los arrecifes prístinos tienen una comunidad microbiana asociada que refleja e indica que un arrecife de coral está saludable; sin embargo, a medida que las actividades antrópicas alrededor de este ecosistema se vuelven más intensas, las bacterias patógenas tienden a proliferar. Entre ellas se encuentran los vibrios, en gran medida los responsables de enfermedades.

Uno de los grupos de bacterias que se encuentran ampliamente distribuidos en los ecosistemas marinos son los vibrios y, en particular, en los arrecifes coralinos son considerados indicadores importantes para evaluar el “estado de salud”, ya que están asociados a una amplia gama de enfermedades de corales ([Ben-Haim & Rosenberg, 2002](#); [Kushmaro *et al.* \(2001\)](#); [Sweet & Bulling, 2017](#)). En este sentido, las elevadas concentraciones de vibrio detectadas en algunos sitios de los arrecifes del golfo de Cazones como Cy-Si, SE-Cy.DP2 y al sur de la ensenada de Cazones (S-EC, indican, desde el punto de vista microbiológico, que son más vulnerables al deterioro de su estado de salud.

La contribución relativa de los vibrios al total de las bacterias heterótrofas aerobias en las aguas alledañas de las crestas y arrecifes frontales del golfo de Cazones evidenció que, en algunas estaciones como la del sur de la ensenada de Cazones en la cresta (S-EC) y SE-Cy.DP2, en el arrecife

profundo, los porcentajes de vibrio fueron muy elevados, lo que indica la importancia de este grupo dentro de las bacterias heterótrofas totales en dichas zonas. Destaca que, coincidentemente en la estación S-EC, se observaron las mayores concentraciones de bacterias heterótrofas aerobias, todo lo cual debe servir de alerta, pues el estado de salud de ese arrecife tiene condiciones, desde el punto de vista microbiológico, para el deterioro de este sitio.

Sin embargo, [Loza et al. \(2017\)](#) informan que la tendencia en los arrecifes del golfo de Cazones (tanto en crestas como arrecifes frontales) entre el 2001 y el 2017 fue mantener bajos porcentajes de enfermedades y a ir disminuyendo en el tiempo. Según [Yakob & Mumby \(2011\)](#), la incidencia de enfermedades está disminuyendo debido a que las comunidades de corales están siendo más resistentes a los patógenos y a la colonización de epizoos.

Otro indicador microbiano que debe tenerse en cuenta en la evaluación del estado de salud de los arrecifes son las bacterias sulfatorreductoras. En el desarrollo de esta investigación se encontraron elevadas concentraciones de bacterias sulfatorreductoras en micronichos de las estaciones de crestas arrecifales, lo que indica una acumulación de materia orgánica y, por tanto, un consumo del oxígeno provocado por la descomposición de esa materia orgánica ([Gast et al. 1999](#)), todo lo cual posibilita el deterioro de la calidad de

ese ecosistema, ya que las BSR solo se desarrollan en ambientes anóxicos o reducidos y, por tanto, pudiera ser una señal de empeoramiento de la salud de esos arrecifes.

Al comparar los resultados obtenidos de las BSR en el golfo de Cazones con los informados por [Miravet \(2003\)](#) para los arrecifes que bordean el golfo de Batabanó, ubicados en la zona SW, entre 1998 y 1999, los valores detectados de BSR en las crestas arrecifales del golfo de Cazones fueron superiores hasta en dos órdenes y similares a los informados por [Miravet et al. \(1994\)](#) en una investigación realizada en las aguas de los arrecifes que bordean el archipiélago Sabana-Camagüey.

Las relaciones obtenidas entre los factores bióticos y abióticos en las aguas de los ecosistemas arrecifales del golfo de Cazones sugieren que los microorganismos desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de la trama trófica en los ecosistemas marinos y ponen de manifiesto los procesos fundamentales que ocurren en los ecosistemas arrecifales, como son la remineralización, donde las bacterias heterótrofas aerobias descomponen la materia orgánica, y aportan nutrientes, fundamentalmente, las formas oxidadas del nitrógeno (NOx).

CONCLUSIONES

Los arrecifes más vulnerables al deterioro ambiental, tomando en consideración los indicadores microbiológicos de calidad de las aguas en el golfo de Cazones, son SE-Cy.DP2, SE-Cy.DP1 y S-EC, pues presentan elevadas concentraciones de materia orgánica (DQO), de bacterias heterótrofas, de sulfatorreductoras y de vibrios.

Las aguas en los arrecifes del golfo de Cazones, en general, se clasifican de mesotróficas a meso-eutróficas, de acuerdo con los indicadores microbiológicos, lo que refleja condiciones de nutricación debido al deterioro de sus condiciones ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido posible por el financiamiento de la Comisión Europea al proyecto “Evaluación de los Impactos Potenciales del Cambio Climático sobre la Biodiversidad y Desarrollo de Estrategias de Adaptación en dos Regiones de Ecosistemas Frágiles de Cuba”. Se agradece a la Fundación Antonio Núñez Jiménez de la Naturaleza y el Hombre por ser la responsable de la logística de las expediciones marinas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcolado, P. M., Morgan, I. E., Kramer, P. A., Ginsburg, R. N., Blanchon, P., de la Guardia, E., Kosminin, V., González-Ferrer, S. & Hernández, M. (2010). Condition of remote reefs of southwest Cuba. *Cienc. Mar.*, 36(2), 179-197.
- Anderson, M. J. & Millar, R. B. (2004). Spatial variation and effects of habitat on temperate reef fish assemblages in northeastern New Zealand. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 305(2), 191-221. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2003.12.011>.
- Anderson, M. J., Gorley, R. N. & Clarke, K. R. (2008). *PERMANOVA for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods*. UK, PRIMER-E Ltd.
- APHA. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22nd ed.). EE. UU. American Water Works Association (AWWA).
- Arriaza, L., Hernández, M., Lorenzo, S., Olivera, J., Rodas, L., Montesino, D. & Navarro-Padrón, J. (2012). Modelación numérica de corrientes marinas alrededor del occidente de Cuba. *Ser. Oceanol.*, 10, 11-22.
- Aronson, R. B. & Precht, W. F. (2001). White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs. *Hydrobiol.*, 460, 25-38. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3284-0_2
- Ben-Haim, Y. & Rosenberg, E. (2002). A novel *Vibrio* sp. pathogen of the coral *Pocillopora damicornis*. *Mar. Biol.*, 144, 47-55. <https://doi.org/10.1007/s00227-002-0797-6>.
- Brocke, H. J., Wenzhoefer, F., De Beer, D., Mueller, B., Van Duyl, F. C. & Nugues, M. M. (2015). High dissolved organic carbon release by benthic cyanobacterial mats in a Caribbean reef ecosystem. *Sci. Rep.* 5, 8852.

- Cho, B. C. & Azam, F. (1990). Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean's euphotic zone. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 63, 253-259.
- Eakin, C. M., Morgan, J. A., Heron, S. F., Smith, T. B., Liu, G. & Alvarez-Filip, L. (2010). Caribbean corals in crisis: Record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005. *PLoS ONE* 5(11), e13969.
- Gardner, T. A., Cote, I. M., Gill, J. A., Grant, A. & Watkinson, A. R. (2003). Long-Term Region-Wide Declines. *Caribbean Corals. Sci.*, 301, 958-960. <https://doi.org/10.1126/science.1086050>
- Gast, G. J. (1998). *Microbial Densities and Dynamics in Fringing Coral Reef Waters* (Tesis de Doctorado no publicada). University of Amsterdam, The Netherlands.
- Gast, G. J., Jonkers, P. Y., van Duyl, F. & Bak, R. (1999). Bacteria, flagellates and nutrients in island fringing coral reef waters: influence of the ocean, the reef and eutrophication. *Bull. Mar. Sci.*, 65(2), 523-538.
- Ginsburg, R. N. & Glynn, P. W. (1994). Summary of the colloquium and forum on global aspects of coral reefs. In R. N. Ginsburg (Ed.), *Proceedings of the Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards and History* (pp. 1-8). EE. UU.: Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami.
- Harvey, B. J., Nash, K. L., Blanchard, J. L. & Edwards, D. P. (2018). Ecosystem-based management of coral reefs under climate change. *Ecol. Evol.*, 8, 6354-6368. <https://doi.org/10.1002/ece3.4146>.
- Henschke, N., Everett, J. D., Richardson, A. J. & Suthers, I. M. (2016). Rethinking the role of salps in the ocean. *Trends Ecol. Evol.*, 31(9), 720-33. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.06.007>.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E. & Hatziolos, M. E. (2007). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Review. Science*, 318, 1737-1742. <https://doi.org/10.1126/science.1152509>
- Hughes, T. P., Graham, N. A. J., Jackson, J. B. C., Mumby, P. J. & Steneck, R. S. (2010). Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. *Trends Ecol. Evol.*, 25, 633-642. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.07.011>.
- Hughes, T. P., Anderson, K. D., Connolly, S. R., Heron, S. F., Kerry, J. T., Lough, J. M., ... & Wilson, S. K. (2018). Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science*, 359, 80.
- Jackson, J. B. C., Donovan, M. K., Cramer, K. L. & Lam, V. V. (2014). *Status and Trends of Caribbean Coral Reefs: 1970-2012*. Switzerland: Global Coral Reef Monitoring Network, IUCN.
- Jiang, S. C. (2001). *Vibrio cholerae* in recreational beach water sand tributaries of Southern California. *Hydrobiol.*, 460, 157-164.
- Kushmaro, A., Banin, E., Loya, Y., Stackebrandt, E. & Rosenberg, E. (2001). *Vibrio shiloi* sp. nov., the causative agent of bleaching of the coral *Oculina patagonica*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 51, 1383-1388. <https://doi.org/10.1099/00207713-51-4-1383>.
- Kirchman, D. L. (2000). Uptake and Regeneration of Inorganic Nutrients by Marine Heterotrophic Bacteria. In D. L. Kirchman (Ed.), *Microbial Ecology of the Oceans* (pp. 262-288). EE. UU.: Wiley-Liss.
- Kleypas, J. & Hoegh-Guldberg, O. (2008). Coral reefs and climate change:

- susceptibility and consequences. In C. Wilkinson & D. Souter (eds.), *Status of Caribbean Coral Reefs after Bleaching and Hurricanes in 2005* (pp. 19-29). Australia.: Global Coral Reef Monitoring Network and Rainforest Research Center.
- Loza, S., Busutil, L., Rodríguez, S., Lugioyo, G. M., García, I., Rey-Villier, N.,...& Hernández-Zanuy, A. (2017). *Evaluación de la vulnerabilidad de la biodiversidad marino-costera al cambio climático en los arrecifes coralinos del golfo de Cazones y del archipiélago Jardines de la Reina*. Cuba: ICiMAR.
- Lluis-Riera, M. (1983). Régimen hidrológico de la plataforma insular de Cuba. *Cien. Tierr. Esp.*, 7, 81-110.
- Lugioyo, G. M. (2003). *Distribución, relaciones tróficas y diversidad del bacterioplankton de las aguas oceánicas de Cuba* (Tesis de doctorado no publicada). Universidad de La Habana, Cuba.
- Miravet, M. E. (2003). *Abundancia, actividad y diversidad de las bacterias heterótrofas en el Golfo de Batabanó y su uso como indicadoras ambientales*. (Tesis de doctorado no publicada). Universidad de La Habana, Cuba.
- Miravet, M. E., Martínez-Daranas, B. & Penie, I. (1994). *Indicadores microbiológicos del estado de salud de los arrecifes que bordean el archipiélago Sabana-Camagüey*. Cuba: Instituto de Oceanología.
- Miravet, M. E., Lugioyo, M., Loza, S., Enriquez, D., Delgado, Y., Carmenate, M. & Pérez, D. (2009). *Procedimientos para el monitoreo de la calidad ambiental en la zona marino costera a partir de microorganismos*. República Dominicana: Centenario.
- Montalvo-Estévez, J. F., García-Ramil, I., Perigó-Arnaud, E., Albuquerque-Brook, O.C. & García-García, N. (2013). Calidad química del agua y sedimento en las bahías del archipiélago Sabana-Camagüey. *Rev. Cub. Quim.*, 25(2),123-133.
- Motegi, C., Tanaka, T., Piontek, J., Brussaard, C. P. D., Gattuso, J. P. & Weinbauer, M. G. (2013). Effect of CO₂ enrichment on bacterial metabolism in an Arctic fjord. *Biogeosciences*, 10, 3285-3296.
- Nelson, C., Alldredge A. L., McCliment, E. A., Amaral-Zettler, L. A. & Carlson, C. A. (2011). Depleted dissolved organic carbon and distinct bacterial communities in the water column of a rapid-flushing coral reef ecosystem. *Int. Soc. Microb. Ecol. J.*, 5, 1374-1387. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.12>.
- Pandolfi, J. M., Jackson, J. B. C., Baron, N., Bradbury, R. H., Guzman, H. M., Hughes, T. P. & Sala, E. (2005). Are US coral reefs on the slippery slope to slime? *Science*, 307, 1725-1726. <https://doi.org/10.1126/science.1104258>.
- Petrova, V., Villasuso, M. & Alfonso, A. (2007). *Manejo de los recursos hídricos en los humedales. Caso de estudio Ciénaga de Zapata* (Parte IV). República Dominicana: Centenario.
- Pucci, G. N., Acuña, A. J. Llanes, M. L., Tiedemann, M. C. & Pucci, O. H. (2009). Identificación de bacterias marinas cultivables de la ciudad costera Comodoro Rivadavia, Argentina. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 44, 49-58. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572009000100005>.
- Rey-Villiers, N. (2016). Breve descripción oceanográfica de los golfos Batabanó, Ana María y Guacanayabo. En N. Rey-Villiers (Ed.), *Línea base ambiental para el estudio del cambio climático en el golfo de Cazones y el archipiélago Jardines de la Reina, Cuba* (pp.16-19). Cuba: Instituto de Oceanología, CITMA.

- Spalding, M., Burke, M., Wood, S. A., Ashpole, J., Hutchison, J. & Ermgassen, P. (2017). Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. *Mar. Pol.*, 82, 104-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.014>
- Sweet, M. J. & Bulling, M. T. (2017). On the Importance of the Microbiome and Pathobiome in Coral Health and Disease. *Front. Mar. Sci.*, 4(9), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00009>.
- Thampi, V. A., Madhur, A. & Chris, T. B. (2018). Socio-ecological dynamics of Caribbean coral reef ecosystems and conservation opinion propagation. *Scien. Rep.* 8, 2597. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20341-0>.
- Thompson J. R. & Polz M. F. (2006). Dynamics of *Vibrio* populations and their role in environmental nutrient cycling. In F. Thompson, B. Austin & J. Swings (Eds), *The Biology of Vibrios* (pp. 190-203). EE. UU.: ASM Press.
- van Duyl, C. & Gast, G. J. (2001). Linkage of small-scale spatial variations in DOC, inorganic nutrients and bacterioplankton growth with different coral reef water types. *Aquat. Microb. Ecol.*, 24, 17-26.
- Weijerman, M., Veazey, L., Yee, S., Vaché, K., Delevaux, J. M. S., Donovan, M. K. & ... Oleson, K. L. L. (2018). Managing Local Stressors for Coral Reef Condition and Ecosystem Services Delivery Under Climate Scenarios. *Front. Mar. Sci.*, 5, 425. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00425>.
- Williams, P. J. (2000). Heterotrophic Bacteria and the Dynamics of Dissolved Organic Material. In D. L. Kirchman (Ed.), *Microbial Ecology of the Oceans* (pp. 153-200). EE. UU.: Wiley-Liss.
- Williams, G. J., Graham, N. A. J., Jouffray, J. B., Norström, A. V., Nyström, M., Gove, J. M., A. Heenan, A. & Wedding, L. M. (2019). Coral reef ecology in the Anthropocene. *Functional Ecol.*, 33, 1014-1022. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13290>
- Yakob, L. & Mumby, P. (2011). Climate change induces demographic resistance to disease in novel coral assemblages. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 108(5), 1967-1969. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015443108>.