



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”

Informe de Resultado

“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”

Programa Nacional Cambio Climático en Cuba: Impactos, mitigación y adaptación

Jefe de Proyecto: Dra. Sandra L. Loza Álvarez

**INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR
Agencia de Medio Ambiente
Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente**

La Habana, 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”

AUTORES:

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR

Dra. Sandra L. Loza Álvarez
MSc. Linnet Busutil López
MSc. Sheila Rodríguez Machado
Dra. Gladys Margarita Lugoioyo Gallardo
Lic. Ileana de los A. García Ramil
MSc. Oralys C. Alburquerque
MSc. Néstor Rey-Villiers
MSc. Alain García Rodríguez
MSc. Ariagna Lara Lorenzo
Lic. Lorena González-Casuso
Lic. Patricia M. González-Sánchez
MSc. Pedro Alcolado-Prieto
Dra. Beatriz Martínez-Daranas
Lic. Franklin García Fernández
Dra. Aida C. Hernández-Zanuy
Téc. Magalys Sánchez Lorenzo
Téc. Daymarlen González Tamayo
Téc. Jessica Fernández Acosta

CENTRO DE INVESTIGACIONES MARINAS - UNIVERSIDAD DE LA HABANA (CIM-UH)

Roamsy Volta Rodríguez

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE ECOSISTEMAS COSTEROS

Evelio Alemán Martín
Roy Phillips Pérez

COLABORADORES:

Buzo Jorge Oliva (ICIMAR)
Buzo Yohannes Acosta (ICIMAR)
Pedro E. Reyes Acosta (CIM-UH)

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	2
Descripción del área de estudio	2
Metodología de muestreo	4
Hidroquímica	4
Microbiología	5
Fitoplancton	5
Bentos	6
Peces	7
Procesamiento de datos y análisis estadístico	8
Hidroquímica	8
Microbiología y Fitoplancton	8
Relaciones entre los indicadores abióticos y bióticos de la calidad de las aguas en los arrecifes coralinos del golfo de Cazones y del archipiélago Jardines de la Reina	8
Bentos	8
Peces	10
Condición de los sitios	10
RESULTADOS	11
Golfo de Cazones	11
Hidroquímica de los arrecifes del golfo de Cazones	11
Microbiología de los arrecifes del golfo de Cazones	15
Bacterias heterótrofas	15
Vibrios	17
Bacterias sulfato-reductoras	18
Fitoplancton de los arrecifes del golfo de Cazones	19
Diversidad	19
Abundancia	20
Contribución de los grupos morfofuncionales a la estructura del fitoplancton de los arrecifes del golfo de Cazones	22
Clorofila a	24

Comunidades bentónicas y de peces de los arrecifes coralinos del golfo de Cazones	26
Crestas arrecifales del golfo de Cazones	26
Coberturas vivas de coral total y relativas por especies	26
Abundancias relativas y riqueza de especies de corales	28
Diámetro, altura y dimensión máximos de corales	32
Densidad lineal de corales	33
Mortalidades antigua, reciente y total de corales	34
Blanqueamiento y enfermedades microbianas de corales	35
Densidad de reclutas de coral	36
Densidad del erizo negro <i>D. antillarum</i>	37
Cobertura de cianobacterias	37
Cobertura, altura e índices de macroalgas	38
Relieve del fondo	39
Densidad, biomasa y talla de las asociaciones de peces	40
Arrecifes frontales del golfo de Cazones	43
Coberturas vivas de coral total y relativas por especies	43
Abundancias relativas y riqueza de especies de corales	46
Diámetro, altura y dimensión máximos de corales	54
Densidad lineal de corales	55
Mortalidades antigua, reciente y total de corales	55
Blanqueamiento y enfermedades microbianas de corales	56
Densidad de reclutas de coral	57
Densidad del erizo negro <i>D. antillarum</i>	58
Cobertura de cianobacterias	59
Cobertura, altura e índices de macroalgas	59
Relieve del fondo	61
Densidad, biomasa y talla de las asociaciones de peces	62
Jardines de la Reina	65
Hidroquímica de los arrecifes coralinos del archipiélago Jardines de la Reina	65
Microbiología de los arrecifes coralinos del archipiélago de Jardines de la Reina	69

Bacterias heterótrofas	69
Vibrios	71
Bacterias sulfato-reductoras	72
Fitoplancton de los arrecifes coralinos del archipiélago de Jardines de la Reina	73
Diversidad	73
Abundancia	74
Contribución de los grupos morfofuncionales a la estructura del fitoplancton de los arrecifes coralinos del archipiélago de Jardines de la Reina	75
Relaciones entre los indicadores abióticos y bióticos de la calidad de las aguas en los arrecifes coralinos del golfo de Cazonos y del archipiélago Jardines de la Reina	76
Comunidades bentónicas y de peces de los arrecifes coralinos de Jardines de la Reina	77
Crestas arrecifales del archipiélago de Jardines de la Reina	77
Coberturas vivas de coral total y relativas por especies	77
Abundancias relativas y riqueza de especies de corales	79
Diámetro, altura y dimensión máximos de corales	80
Densidad lineal de corales	82
Mortalidades antigua, reciente y total de corales	83
Blanqueamiento y enfermedades microbianas de corales	84
Densidad de reclutas de coral	85
Densidad del erizo negro <i>D. antillarum</i>	86
Cobertura de cianobacterias	86
Cobertura, altura e índices de macroalgas	86
Densidad, biomasa y talla de las asociaciones de peces	90
Arrecifes frontales del archipiélago Jardines de la Reina	92
Coberturas vivas de coral total y relativas por especies	92
Abundancias relativas y riqueza de especies de corales	93
Diámetro, altura y dimensión máximos de corales	95
Densidad lineal de corales	96
Mortalidades antigua, reciente y total de corales	97
Blanqueamiento y enfermedades microbianas de corales	98
Densidad de reclutas de coral	99

Densidad del erizo negro <i>D. antillarum</i>	100
Cobertura de cianobacterias	100
Coberturas e índices de macroalgas	100
Densidad, biomasa y talla de las asociaciones de peces	103
DISCUSIÓN	105
Calidad del agua de los arrecifes coralinos del golfo de Cazones y del archipiélago Jardines de la Reina	105
Comunidades bentónicas y de peces de los arrecifes coralinos del golfo de Cazones	113
CONCLUSIONES	145
Calidad del agua de los arrecifes coralinos del golfo de Cazones y del archipiélago Jardines de la Reina	145
Comunidades bentónicas y de peces de los arrecifes coralinos del golfo de Cazones	145
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral son uno de los ecosistemas más diversos del planeta (Carleton, 1988; Groombridge & Jenkins, 2002) y de vital importancia por los servicios y bienes que proveen, no sólo a nivel ecosistémico, sino de manera directa para los seres humanos, como alimentos y medicinas, así como protección costera contra eventos meteorológicos extremos, fuente de arenas para las playas, experiencias recreativas y turísticas, etc. (Spalding *et al.*, 2001; Conservation International, 2008; Obura y Grimsditch, 2009).

Estudios recientes demuestran un deterioro creciente de este ecosistema como consecuencia directa o indirecta del cambio climático (Wilkinson, 2000; Spalding, 2004; Wilkinson y Souter, 2008; Obura y Grimsditch, 2009; Rey-Villiers, ed., 2016). Las causas de esta problemática son multifactoriales como sobrepesca, contaminación y bioinvasiones debido al crecimiento desproporcionado de la población humana, (Jackson *et al.*, 2014); así como incremento de la temperatura (Hughes *et al.*, 2010; Eakin *et al.*, 2010), acidificación del mar (Pandolfi *et al.*, 2005; Kleypas y Hoegh-Guldberg, 2008) y aumento de la frecuencia e intensidad de huracanes por el calentamiento global (Gardner *et al.*, 2005; Wilkinson y Souter, 2008).

Las investigaciones de los arrecifes coralinos alejados de asentamientos humanos representan una buena oportunidad para evaluar la resiliencia de este ecosistema ante los impactos del cambio climático que de manera casi irreversible ya los están afectando (IPCC, 2007). Según Edmunds y Bruno (1996) es difícil separar los efectos que tienen en los arrecifes coralinos las presiones locales de las regionales, debido a la cercanía a poblaciones humanas. En correspondencia con lo anterior, esta investigación se desarrolló en los arrecifes del golfo de Cazonos por su lejanía de los asentamientos humanos permanentes (norte de la Isla de la Juventud y sur de la Isla de Cuba) y en los del archipiélago Jardines de la Reina por ser los más distantes de la isla principal de todo el territorio cubano.

En Cuba se da prioridad a la evaluación, diagnóstico y monitoreo de los ecosistemas marinos y costeros, entre los que se destacan los arrecifes coralinos (Lorenzo & Alcolado, 2013) como parte de las recomendaciones señaladas en el Plan de Acción Nacional para la Conservación de la Diversidad Biológica de la República de Cuba (CITMA, 2014) que responde al cumplimiento de las Metas 4, 6, 10 y 14 del Acuerdo de Aichi (CBD, 2014). Además, en la Segunda Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Suárez *et al.*, 2013) se recomienda realizar acciones urgentes para devolver la funcionalidad plena de los ecosistemas marinos y costeros como defensa natural para la adaptación al cambio climático en Cuba.

En correspondencia a las prioridades nacionales anteriormente mencionadas y teniendo en cuenta los indicadores de respuesta ante cambios en el ecosistema, tanto abióticos (Donner *et al.* 2007; McMullen & Jabbour, 2009) como bióticos (Duarte *et al.*, 2006; Simon, Cras, Foulon, & Lemee, 2009; Carballo *et al.* 2013), la presente investigación tuvo como objetivo general determinar la vulnerabilidad de la biodiversidad marino-costera de dos geosistemas del sur de Cuba al cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las zonas de estudio seleccionadas están contenidas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Cuba. El golfo de Cazones pertenece al Parque Nacional Ciénaga de Zapata (CECM 6291/08) y al Área Protegida de Recursos Manejados Península de Zapata (CECM 6871/10). Esto hace que estas áreas sean magníficos modelos de estudio. El archipiélago Jardines de la Reina cuenta con la categoría Parque Nacional desde 2010 (Hernández-Fernández *et al.*, 2011) y está considerado la mayor reserva marina del Caribe (Appeldoorn & Linderman, 2003) con una elevada diversidad biológica (Linton *et al.*, 2002).

El golfo de Cazones está ubicado al Este del golfo de Batabanó, donde la plataforma cae abruptamente en una entrante profunda y angosta que termina hacia el norte con una forma circular conocida como ensenada de Cazones. Hacia el este del golfo se localizan una amplia zona de lagunas interiores de poca profundidad y ricas en sedimentos de origen marino. Los arrecifes de coral de este golfo se clasifican como arrecifes de franja o de borde de plataforma, presentándose con o sin crestas (González-Ferrer, 2004). Para caracterizar la condición de los arrecifes en el GC, se evaluaron cinco crestas arrecifales (profundidad = 1,5-2 m) y ocho arrecifes frontales (profundidad = 10-14 m) distribuidos latitudinalmente para abarcar una mayor extensión (ver Fig. 1A, Tabla 1).

El archipiélago Jardines de la Reina se extiende desde el Golfo de Guacanayabo hasta la Bahía de Casilda en la parte meridional de la Isla de Cuba. Su extensión es de 360 km y está formado por 661 cayos. En esta zona se encuentran arrecifes de barrera y de banco (González-Ferrer, 2004). El área seleccionada para caracterizar JR incluyó seis crestas arrecifales (profundidad = 1-1,5 m) y cinco arrecifes frontales (profundidad = 10 m) (ver Fig. 1B, Tabla 2), estos últimos localizados en la zona ecológica de veril.

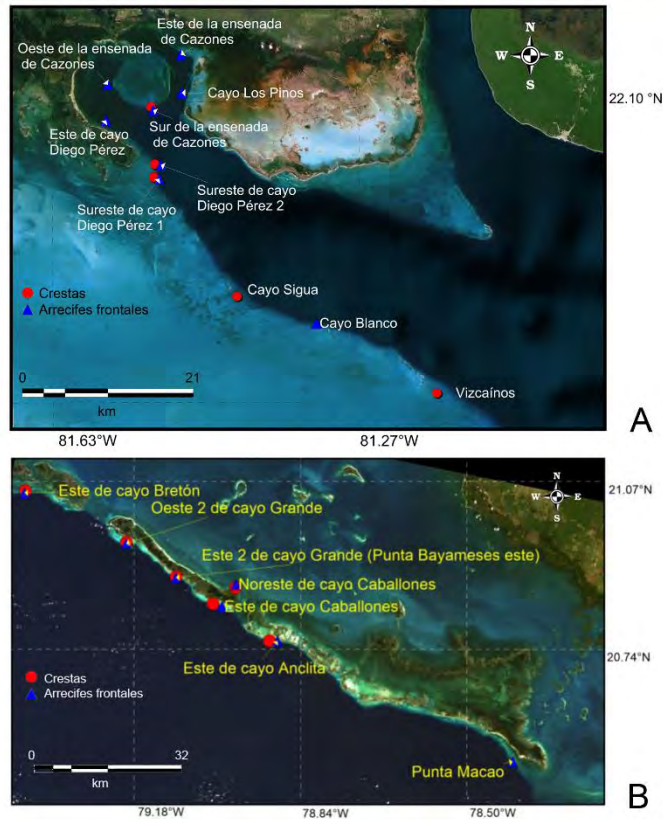
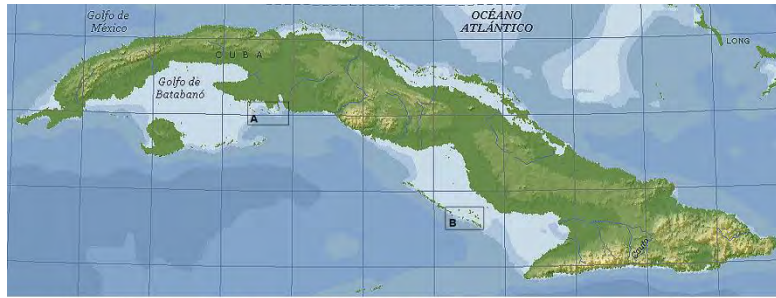


Figura 1. Mapas que muestran las zonas y biotopos donde se muestreó en el golfo de Cazonés (A) y en el archipiélago Jardines de la Reina (B).

En septiembre y octubre de 2015 se muestrearon diferentes sitios de los arrecifes de coral del golfo de Cazonés (GC) (Fig. 1A; Tabla 1) y del archipiélago Jardines de la Reina (JR) (Fig. 1B; Tabla 2), respectivamente.

Tabla 1. Localización geográfica y siglas de los sitios de muestreos en el golfo de Cazonés. Orientado de Norte a Sur.

Crestas arrecifales del golfo de Cazonés			
Sitios	Siglas	Latitud N	Longitud O
Sur de la ensenada de Cazonés (Nirvana)	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 (Faro)	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 Cazonés			

Este de la ensenada de Cazonos	E-EC	22° 09, 400'	81° 29, 098'
Cayo Los Pinos	Cy.LP	22° 06, 898'	81° 29, 027'
Oeste de la ensenada de Cazonos	O-EC	22° 07,431'	81° 34,286'
Sur de la ensenada de Cazonos	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'

Tabla 2. Localización geográfica y siglas de los sitios de muestreos en el archipiélago Jardines de la Reina. Orientado de Oeste a Este.

Crestas arrecifales del archipiélago Jardines de la Reina			
Sitios	Siglas	Latitud N	Longitud O
Sureste de cayo Bretón	SE-Cy.Br	21°04,269'	79°24,550'
Oeste 2 de cayo Grande	O2-Cy.Gr	20°58,111'	79°11,948'
Este 2 de cayo Grande (Punta Bayameses este)	E2-Cy.Gr	20°53,981'	79° 05,717'
Centro de cayo Caballones (Punta Escondida)	C-Cy.Ca	20°50,760'	79°01,169'
Noreste de cayo Caballones (Pequeño Edén)	NE-Cy.Ca	20°52,617'	78°58,267'
Cayo Anclitas	Cy.An	20°46,342'	78°54,146'
Arrecifes frontales del archipiélago Jardines de la Reina			
Este de cayo Bretón	E-Cy.Br	21°04,039'	79°24,631'
Oeste 2 de cayo Grande	O2-Cy.Gr	20°57,960'	79°11,932'
Este 2 de cayo Grande (Punta Bayameses este)	E2-Cy.Gr	20°53,893'	79°05,717'
Este de cayo Caballones	E-Cy.Ca	20°50,413'	79°0,036'
Este de cayo Anclita	E-Cy.An	20°46,274'	78°53,152'

Metodologías de muestreo

Hidroquímica

Las muestras de agua para los análisis químicos se tomaron de forma manual. En las crestas arrecifales se muestreó en el nivel superficial, al sumergir el frasco por debajo de la interface aire-agua (ISO 5667-9, 1992), mientras que en los arrecifes frontales las muestras se tomaron en los niveles de superficie, medio y fondo mediante buceo autónomo. *In situ* se realizaron mediciones de temperatura (sensibilidad 0,01°C), salinidad (sensibilidad 0,01 ups) y pH (sensibilidad 0,01) mediante el sensor multiparamétrico HI 9828 Hanna. El oxígeno disuelto (OD) se determinó mediante el método *Winkler* (IOC-UNESCO, 1983).

Las muestras para analizar nutrientes y 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 FAO (1975), nitratos más nitrito (NO_x), mediante la reducción de los nitratos a nitrito con hidracina (Vann Mell, 1982), amonio (NH₄) de acuerdo al procedimiento analítico indicado por FAO (1975), nitrógeno total (NT) por oxidación de las formas reducidas de nitrógeno a nitratos con persulfato de potasio en medio alcalino (ISO 11905-1, 1997), fósforo inorgánico (PO₄) y total (PT), por las metodologías consignadas en los manuales IOC-UNESCO (1983) y FAO (1975).

A partir de la DQO se calculó el carbono orgánico total (COT) para estimar la producción de materia orgánica diaria por unidad de superficie en la columna de agua ($\text{g C.m}^2.\text{d}^{-1}$). Para convertir los mgO_2/L a mgC/L se empleó el coeficiente 0,375 (De la Lanza & Rodríguez, 1992). Los resultados obtenidos se comparan con la clasificación trófica propuesta por Nixon (1995) para los ecosistemas estuarinos y oceánicos costeros (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación trófica para ecosistemas estuarinos y oceánicos costeros.

	Provisión de Carbono Orgánico ($\text{g C m}^2. \text{d}^{-1}$)
Oligotrófico	< 0,27
Mesotrófico	0,27- 0,82
Eutrófico	0,824 – 1,37
Hipertrófico	> 1,37

Se calculó la saturación de oxígeno (SO), a partir de la relación entre el oxígeno medido y la concentración de saturación de oxígeno (CSO), el nitrógeno total inorgánico (NTI) por la sumatoria de nitratos más nitrito y amonio, el nitrógeno orgánico (NO), por diferencia entre el NT y el NTI, y las relaciones nitrógeno total inorgánico y fósforo inorgánico (NTI/PI) y nitrógeno total y fósforo total (NT/PT).

Para comparar los resultados en cuanto al nitrógeno inorgánico disuelto (NID), al fósforo reactivo soluble (PRS), al nitrógeno total (NT) y al fósforo total (PT) se tomaron como referencia los umbrales propuestos por Bell, Elmetri & Lapointe (1992) y Lapointe, Litter & Litter (1993) para los arrecifes de coral (Tabla 4).

Tabla 4. Umbrales de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) y fósforo reactivo soluble (PRS) propuestos por Bell, Elmetri & Lapointe (1992) y Lapointe, Litter & Litter (1993) para los arrecifes coralinos de la Gran Barrera de Coral y para el arrecife de barrera de Belice, respectivamente, y de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) por Queensland Government (2009) para la Gran Barrera de Coral en Australia.

Referencia	NID	PRS	NT	PT
Bell <i>et al.</i> (1992)	1 μM	0,2 μM		
Lapointe <i>et al.</i> (1993)	1 μM	0,1 μM		
Queensland Government (2009)			9,4 μM	0,2 μM

Microbiología

Las muestras de agua se tomaron mediante buceo autónomo empleando frascos de vidrio estériles de 250 mL de capacidad. Estas se conservaron refrigeradas hasta su posterior análisis en el laboratorio.

La concentración de bacterias heterótrofas en agua se determinó, a partir de la siembra diseminación en placas Petri con el empleo del medio de cultivo ZoBell 2216E (APHA, 1992). Las placas fueron incubadas a temperatura ambiente y se realizaron los conteos de las unidades formadoras de colonias durante tres días (Miravet, Lugioyo, Loza, Enríquez, Delgado, Carmenate & Perez, 2009). Para la determinación del estado trófico

de las aguas a partir de la concentración de bacterias heterótrofas se tuvieron en cuenta los criterios propuestos por Miravet et al. (2009).

La determinación de bacterias sulfatoredutoras en el agua sólo se realizó en los micronichos de las crestas, para ello se empleó el medio API (Oberzil, 1970) y se siguió la metodología de Tubos Múltiples (Miravet et al., 2009). Se calculó la concentración de estas bacterias por la Tabla de NMP (APHA, 2012).

Fitoplancton

Las muestras se tomaron con botellas plásticas a nivel superficial en las crestas y con una botella oceanográfica Nansen de 5L de capacidad a 10 m de profundidad en los arrecifes frontales. En ambos casos, se tomó un volumen de 1L de agua de mar para su preservación con lugol ácido, según el método propuesto por Popowski & Borrero (1989). Posteriormente fueron sometidas a un proceso de decantación, sifoneo y centrifugación en el laboratorio según la metodología propuesta por Miravet et al. (2009).

La identificación y conteo de la comunidad fitoplanctónica se realizó en un microscopio biológico Karl Zeiss (400x) y las diferentes categorías taxonómicas se establecieron según el sistema de clasificación referido en el sitio www.algaebase.org (Guiry & Guiry, 2009). La identificación de los taxa se realizó según Tomas (1993, 1997), Licea et al. (1995), Moreno et al. (1996) y Sant'Anna et al. (2005).

Además, en el GC se estimó *in situ* la concentración de clorofila *a* mediante el sensor FluoroProbe bbe++ (sensibilidad: 0,01 µg clor-a.L⁻¹) y se procesó con el programa bbe++ versión 2.1 (MoldaenkeGmbH, 2012).

Bentos

Los muestreos se realizaron mediante buceo libre o autónomo, según fuera la profundidad de trabajo. Se aplicó la metodología AGRRA (2000) modificada por Rey-Villiers et al. (2015) para el 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*” (CCambio). Esta modificación consiste en la adición de nuevas variables (2, 3, 7, 9, 11, 16, 18, 19, 22) y enfermedades microbianas, que sumadas a las ya existentes, permiten evaluar el efecto del cambio climático en los arrecifes de coral. A continuación se listan todas las variables medidas:

1. Cobertura viva de coral (%)
2. Cobertura viva de coral por especies (%). Esta variable representa el porcentaje de cobertura viva relativa de cada especie con respecto al total de cobertura viva de coral por sitio.
3. Abundancia relativa de las especies de corales (%). Es el porcentaje del número de colonias de cada especie con respecto al número total de colonias contadas por sitio.
4. Riqueza de especies de corales. Es el promedio del número de especies por transecto en cada sitio.
5. Diámetro máximo de las colonias de corales (cm)
6. Altura máxima de las colonias de corales (cm)

7. Dimensión máxima de los corales (cm)
8. Densidad lineal de corales por sitio (colonias/10 m)
9. Mortalidad antigua (%). El porcentaje de mortalidad antigua se divide en: A) mortalidad antigua parcial y B) mortalidad antigua total (se incluyen los corales 100% muertos y que están fijados al sustrato).
10. Mortalidad reciente (%)
11. Mortalidad total de corales (%). Es la suma de la mortalidad reciente y la antigua.
12. Blanqueamiento de coral (%)
13. Enfermedades microbianas (%)
14. Densidad de reclutas de coral (colonias/m²)
15. Densidad del erizo negro *D. antillarum* (individuo/m²)
16. Cobertura del fondo por cianobacterias (%)
17. Relieve del fondo (cm)
18. Cobertura de macroalgas carnosas (%), calcáreas (%), coralinas costrosas (%) y turf (%)
19. Cobertura de macroalgas por especies o géneros (%)
20. Altura promedio de las macroalgas carnosas y calcáreas (cm)
21. Índice de macroalgas carnosas y calcáreas
22. Riqueza de especies de macroalgas

Se empleó un transecto lineal de 10 m de largo (entre 10 y 13 transectos por sitio) como unidad de muestreo para determinar las variables relacionadas con los corales pétreos adultos, la cobertura del fondo por cianobacterias bentónicas y el relieve del fondo (esta última variable sólo se pudo medir en el GC). Los transectos se colocaron bien esparcidos al azar sobre el sustrato coralino rocoso para tratar de representar lo mejor posible las características generales de cada sitio. Para cuantificar los erizos negros *Diadema antillarum* (Philippi, 1845) se utilizaron transectos de banda de 10 x 1 m. Los reclutas de coral y las variables relacionadas con las macroalgas se cuantificaron a partir de marcos cuadrados de 25 x 25 cm. Estos marcos se ubicaron en las posiciones 1, 3, 5, 7 y 9 m en cada uno de los transectos lineales de 10 m.

Las especies de corales pétreos se identificaron *in situ* según González-Ferrer (2004) y Budd et al. (2012). Las especies de macroalgas también se identificaron *in situ* y cuando fue imposible, se colectaron fragmentos que fueron conservados en sal común y trasladados en bolsas de polietileno enumeradas hacia el laboratorio para su posterior identificación. Para dichas identificaciones se utilizaron microscopios estereoscópicos y biológicos, así como claves, descripciones y esquemas presentados por Schneider & Searles (1991), Littler & Littler (2000), Littler et al. (2008) y Suárez et al. (2015). Las algas costrosas coralinas (ACC) y el turf fueron tratados como una entidad al mismo nivel de las especies de algas para los análisis estadísticos.

Peces

Se realizaron censos visuales de acuerdo con el método de transecto lineal de AGRRA para peces (Kramer & Lang, 2003), donde la unidad de muestreo fue el transecto de banda de 50 m de largo por 2 m de ancho. En JR hubo mayor disponibilidad de investigadores que realizaran los muestreos por lo que se hicieron nueve transectos, ocupando un área total de 900 m² en cada sitio, excepto en la cresta del NO de Cayo

Cabayones, donde se hicieron seis transectos debido a la pequeña extensión del mismo (600 m²). En el GC se hicieron ocho transectos por sitio, ocupando un área total de 800 m². Igualmente, la cresta de Cayo Sigua es de menor extensión respecto al resto, por lo que sólo se hicieron seis transectos.

Las especies se identificaron *in situ* según los criterios de Robins & Ray (1986) y Humann & Deloach (2002). En cada transecto se estimó el número de individuos por especies y la talla (largo estándar). Las especies registradas según el protocolo AGRRA son las siguientes: Acanthuridae (barberos), Scaridae (loros), Haemulidae (roncos), Lutjanidae (pargos), Serranidae (meros, *Epinephelus* spp., *Mycteroperca* spp. y *Cephalopholis* spp.), Pomacanthidae (chiviricas), Chaetodontidae (parches) y Balistidae/Monacanthidae (lijas, *Balistes vetula*, *Melichthys niger*, *Aluterus scriptus*, *Cantherhines pullus*, *C. macrocerus*, *Canthidermis sufflamen* y *Xanthichthys ringens*. Además, se incluyen las especies *Sphyaena barracuda* (picúa), *Caranx ruber* (cibí carbonero), *Bodianus rufus* (pez perro español), *Microspathodon chrysurus* (chopita de cola amarilla) y *Lachnolaimus maximus* (pez perro). Es importante destacar que dentro de la categoría “herbívoros” el método sólo incluye barberos y loros, mientras que en “carnívoros” abarca roncos, pargos y meros. Además, el pez león *Pterois volitans/miles* se analiza independiente del resto, dado su impacto negativo del en los arrecifes de Cuba (García-Rodríguez, 2015).

Procesamiento de los datos y análisis estadísticos

Hidroquímica

A los indicadores analizados se les realizó el análisis de varianza entre las crestas arrecifales y los arrecifes frontales mediante la prueba F y el programa Statistica 6, con un nivel de significación de 0,05.

Microbiología y Fitoplancton

Se realizó un análisis de varianza univariado y bifactorial por permutaciones (PERMANOVA) (Anderson & Millar, 2004; Anderson, Gorley & Clarke, 2008) para determinar si existían diferencias entre las concentraciones de bacterias heterótrofas, de vibrios y de fitoplancton entre las crestas y los arrecifes frontales en cada zona de estudio. Para esto se seleccionó un diseño anidado y los factores fueron los sitios en cada biotopo. Según lo recomendado por Anderson & Millar (2004) y Anderson et al. (2008) para este tipo de análisis se utilizó la distancia euclidiana como medida de similitud y 999 permutaciones de los residuales bajo un modelo reducido. Finalmente, se determinó qué pares de medias tuvieron diferencias significativas a partir de las comparaciones pareadas, con un nivel de significación de 0,05.

Relaciones entre los indicadores abióticos y bióticos de la calidad de las aguas en los arrecifes coralinos del golfo de Cazones y del archipiélago Jardines de la Reina

La naturaleza y significación estadística de la relación entre las concentraciones del fitoplancton, de las cianobacterias y de las bacterias heterótrofas con los factores abióticos temperatura, oxígeno disuelto, DQO y los compuestos del ciclo del nitrógeno y

el fósforo, se obtuvo mediante el empleo del coeficiente de correlación de rangos de Spearman y el programa Estadística 6.0, con un nivel de significación de 0,05.

Bentos

Los cálculos de las variables correspondientes a los corales pétreos, se determinaron con los corales mayores de 10 cm de diámetro máximo, excepto para la cobertura coralina. La abundancia relativa de cada especie, el promedio del número de especies por transecto, el promedio del diámetro, altura y dimensión máxima, el promedio de la densidad lineal de corales y el promedio de la mortalidad antigua parcial se calcularon excluyendo las colonias con 100% de mortalidad (o sea, las colonias totalmente muertas y fijadas al sustrato). Solo se consideraron las colonias vivas total o parcialmente. El porcentaje de corales con blanqueamiento y enfermedades microbianas se cuantificó con el total de colonias vivas.

El grado de blanqueamiento de los corales por sitio se clasificó cualitativamente según los criterios de la *Red de Monitoreo de Alerta Temprana de Arrecifes Coralinos* (creada por el Instituto de Oceanología en el marco del Proyecto PNUD/GEF Sabana-Camagüey CUB/98/G32): 0%= “nulo”, 1-10%= “pobre”, 11-30%= “moderado”, 31-50%= “alto”, 51-75%= “muy alto” y 75-100%= “casi total”.

Los porcentajes de cobertura de macroalgas por grupos morfofuncionales se calcularon mediante la sumatoria de las coberturas del conjunto de especies correspondientes a cada grupo y en cada uno de los marcos. Los grupos morfofuncionales se definieron siguiendo los criterios de clasificación de la metodología AGRRA (2000), correspondiente a macroalgas costrosas, carnosas y calcáreas:

- Las carnosas incluyeron todas las algas erectas grandes (>1 cm de altura) carnosas, foliosas, filamentosas, corticadas coriáceas y globosas. En este grupo están la mayoría de las especies que son identificables hasta género a simple vista (p.e. *Laurencia*, *Caulerpa*, *Sargassum*, *Dictyota* y *Microdyction*).
- Las costrosas se refieren a costras sólidas calcáreas de color rosado o rojizo.
- Las calcáreas son erectas con más de 1 cm de altura que poseen carbonato de calcio incluido en el talo, pero que son flexibles y articuladas (p. e. *Halimeda* sp., *Udotea* sp., *Penicillus* sp., *Amphiroa* sp., *Galaxaura* sp. y *Jania* sp.).

Además, se calcularon los índices de macroalgas carnosas y calcáreas propuestos por AGRRA (2000).

Para determinar si hay diferencias espaciales significativas entre sitios en las crestas y en los frontales se realizaron análisis univariados y unifactoriales por permutaciones (PERMANOVA). Cada uno de los sitios en cada biotopo fue considerado un factor. Como medida de similitud se aplicó la distancia euclidiana, excepto para los datos porcentuales donde se usó el índice de Bray-Curtis, según recomiendan Anderson et al. (2008) para este tipo de diseño. Se realizaron 999 permutaciones sin restricciones de los datos crudos y un nivel de significación de 0,05, sólo a las coberturas de macroalgas se les aplicó la transformación de raíz cuadrada. Se detectaron cuáles pares de medias tuvieron diferencias significativas a partir de las comparaciones pareadas. Las variables incluidas fueron las siguientes: cobertura viva de coral, número de especies de corales S por 10

m, diámetro, altura y dimensión máximos de los corales, densidad lineal de corales, mortalidades antigua, reciente y total de corales, densidad de reclutas de coral, densidad del erizo negro *Diadema antillarum*, cobertura de cianobacterias y coberturas de macroalgas costrosas, carnosas y calcáreas.

Para determinar la variación espacial en la estructura y composición de las comunidades de macroalgas en el área de estudio, se realizó un análisis de varianza multivariado y unifactorial (factor sitio) por permutaciones. Se construyó una matriz de similitud con el índice de Bray-Curtis, previa transformación de los datos con raíz cuadrada para incrementar la contribución relativa de las especies raras dentro de un análisis multivariado (Clarke y Green, 1988), con 999 permutaciones sin restricciones de los datos crudos y un nivel de significación de 0,05. Finalmente, se realizaron análisis exploratorios con métodos multivariados para comparar los sitios según las coberturas por especies de macroalgas y por grupos morfofuncionales. Para esto se realizó el análisis de Escalado Multidimensional no Métrico (nMDS, por sus siglas en inglés), usando el índice de Bray-Curtis como medida de afinidad.

Todos los análisis estadísticos aquí descritos fueron realizados en el paquete estadístico PRIMER-E v6.1.16 (Clarke y Warwick, 2001) y PERMANOVA+ v1.0.6 (Anderson et al., 2008).

Peces

Con los valores del número de individuos fue calculada la densidad (individuos/100 m²) por especie, familia y del total de peces en cada arrecife. Con los datos de la talla estimada fue calculado el peso de cada pez, mediante las ecuaciones de largo-peso establecidas para los peces de Cuba y el Gran Caribe (García-Arteaga *et al.*, 1997; Marks & Klomp, 2003). La biomasa (gramos/100 m²) por especie, familia y del total de peces en cada sitio se calculó a partir del peso antes estimado. El peso del pez león se estimó usando la relación largo-peso descrita para esta especie en Cuba (Chevalier *et al.*, 2013).

En cada sitio se determinó el índice de peces según la escala de bioindicadores de la ictiofauna para los arrecifes de Cuba y el Gran Caribe (Alcolado & Durán, 2011). Esta escala está basada en nueve indicadores del estado de salud de las asociaciones de peces. A cada indicador se le asigna una categoría: 1- crítica, 2- pobre, 3- regular, 4- buena y 5- muy buena. Las categorías crítica, pobre y regular fueron consideradas como bajas, mientras que las categorías buena y muy buena fueron consideradas como altas.

Para analizar cómo ha variado en el tiempo la densidad y biomasa de las asociaciones de peces, se compararon los datos tomados durante este proyecto (2015) con los tomados en 2001 usando la metodología AGRRA antes descrita (datos inéditos del Archivo Científico del Instituto de Oceanología; www.agrra.org). Además, en el golfo de Cazones se incluyó este análisis para la talla de loros, pargos y meros. Los datos fueron transformados a raíz cuarta para lograr una dispersión homogénea de estos (Anderson *et al.*, 2008). Para determinar estas diferencias se realizaron análisis de varianza univariados y bifactoriales por permutaciones (PERMANOVA) en el paquete estadístico PRIMER-E v6.1.16 (Clarke y Warwick, 2001) y PERMANOVA+ v1.0.6 (Anderson et al., 2008). Para ambos biotopos los parámetros fueron los siguientes: factor Año (fijo, dos

niveles: 2001 y 2015), factor Sitio (fijo, cinco niveles para ambos tipos de arrecifes en el GC) distancia euclidiana como medida de similitud y 9999 permutaciones de los datos crudos según recomendaciones de los autores para este tipo de datos. Para conocer cuáles eran los pares de medias más diferentes, se realizó un análisis *a posteriori* con un nivel de significación de 0,05.

Condición de los sitios

El sistema de clasificación y puntaje de bioindicadores propuesto por Alcolado y Durán (2011), con modificaciones que se incluyen en la hoja de cálculo HC Bentos *AGRRA Versión 1.0 para Proyecto CCamBio.xls*, se aplicó para la cobertura viva de coral, el diámetro y la dimensión máximos, la densidad, las mortalidades reciente, antigua y total, el número de especies S por 10 m, la incidencia de enfermedades infecciosas, la densidad de reclutas de coral, la densidad del erizo negro *Diadema antillarum*, las coberturas de macroalgas costrosas y carnosas, el índice de macroalgas carnosas, biomasa total de peces, biomasa de herbívoros, biomasa de carnívoros, densidad total de peces, densidad de herbívoros, densidad de carnívoros, talla de loros, talla de pargos y talla de meros.

Con la aplicación de dicho sistema se le asignaron a los indicadores antes mencionados calificaciones cuantitativas y cualitativas: 1= “crítica”, 2= “pobre”, 3= “regular”, 4= “buena” y 5= “muy buena”. Posteriormente se sumaron todas las puntuaciones obtenidas por cada indicador, y el valor total se usó con fines comparativos entre sitios.

RESULTADOS

GOLFO DE CAZONES

Hidroquímica de los arrecifes del golfo de Cazonos

En general, en toda la zona de estudio la temperatura del agua osciló entre 27,98 y 30,90 °C (Tabla 5). En las crestas arrecifales (entre 1,6 y 3 m de profundidad) los valores variaron entre 29,32 y 30,90 °C y no mostraron diferencias significativas ($F(1,51) < F(5,80)$; $n = 23:4$, $\alpha = 0,05$) con los medidos en los arrecifes frontales (entre 8 y 12,5 m de profundidad) que oscilaron entre 27,98 y 30,48 °C (Tabla 5). Estos valores de temperatura se corresponden con el valor medio de la temperatura superficial del mar (TSM) de $29,13 \pm 0,16$ °C obtenido para el área, a partir de imágenes satelitales entre los días 15 y 21 de octubre.

Tabla 5. Valores puntuales de temperatura (T°C), salinidad (S ups), oxígeno disuelto (OD mg.L⁻¹), potencial de hidrógenos (pH), saturación de oxígeno (SO%) y demanda química de oxígeno (DQO mg.L⁻¹) en octubre 2015. (ND* no dato; Prof. (m) = profundidad a la que se encontraban los arrecifes, s= nivel superficial; m= nivel medio y f= nivel de fondo).

Siglas	Prof. m	Temp. °C	Salinidad ups	OD mg.L ⁻¹	SO %	pH	DQO mg.L ⁻¹
Crestas arrecifales							
S-EC	2,0	30,33	37,82	6,09	103,7	8,22	0,48
SE-Cy.DP2	2,0	29,32	37,83	6,10	102,2	8,33	6,72

SE-Cy.DP1	3,0	30,09	37,88	6,22	105,5	8,32	4,64
Cy.Si	1,6	30,81	37,61	6,15	105,4	8,30	2,24
Vi	2,5	30,90	37,33	6,22	106,6	8,34	1,92
Arrecifes frontales							
E-EC	s	29,36	37,83	6,44	108,0	8,29	0,96
	m	29,43	37,76	5,80	97,4	8,33	1,12
	f (12,5)	29,41	37,82	8,71	146,2	8,34	2,24
Cy.LP	s	30,33	37,73	6,17	105,0	8,32	1,44
	m	30,14	37,57	6,14	104,1	8,31	1,12
	f (8)	30,47	37,49	6,48	110,4	8,30	1,28
O-EC	s	27,98	37,84	5,90	96,9	8,36	1,28
	m	28,26	37,74	6,10	100,4	8,35	ND*
	f (10,4)	28,18	37,99	7,35	121,1	8,36	5,76
S-EC	s	29,52	37,67	5,95	99,9	8,28	3,20
	m	29,27	37,78	6,47	108,3	8,30	ND*
	f (12)	29,24	38,05	5,40	90,6	8,32	2,40
E-Cy.DP	s	29,31	37,65	5,74	96,0	8,33	3,84
	m	29,38	37,75	6,22	104,3	8,33	10,88
	f (12,3)	29,13	37,87	6,10	102,0	8,33	5,12
SE-Cy.DP2	s	28,98	37,72	6,00	100,0	8,23	1,44
	m	29,10	37,75	6,79	113,3	8,39	ND*
	f (12)	28,75	38,12	6,48	107,8	8,36	3,68
SE-Cy.DP1	s	28,42	38,02	5,98	99,0	8,36	1,44
	m	28,26	37,66	6,59	108,4	8,38	2,08
	f (12,5)	28,17	37,76	6,45	106,0	8,38	2,40
Cy.BI	s	30,48	37,79	5,85	99,9	8,31	1,76
	m	30,16	37,69	5,88	99,7	8,32	1,12
	f (7,4)	30,34	37,70	6,20	105,5	8,28	1,76

Los valores de la salinidad fluctuaron entre 37,33 y 38,12 ups (Tabla 5) y entre las crestas y los arrecifes frontales no se encontró diferencias significativas ($F(2,39) < F(\text{tab } 2,80)$; $n = 23:4$, $\alpha = 0,05$).

El pH en las crestas tuvo un valor medio de $8,30 \pm 0,05$ y no existieron diferencias significativas $F(1,66) < F(\text{tab } 2,80)$, $n = 23:4$, $\alpha = 0,05$. con los valores registrados en los arrecifes frontales que oscilaron entre 8,23 y 8,39. El máximo puntal se detectó en la cresta de Cayo Vizcaino (Vi) (Tabla 5).

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) variaron entre 5,40 y 8,71 mg.L^{-1} , estos valores extremos se midieron en el nivel de fondo de los arrecifes frontales de los sitios E-EC y S-EC (Tabla 5). En la mayoría de los sitios hubo sobresaturaciones de oxígeno y en los restantes los valores fueron superiores al 90 % (Tabla 5). Las concentraciones de OD y las saturaciones fueron significativamente mayores en los arrecifes frontales con

relación a las crestas arrecifales ((OD F (103,63) > F (tab 5,78), n =23:4, $\alpha = 0,05$) y (SO F (38,95) > F (tab 5,78), n =23:4, $\alpha = 0,05$)).

Los valores de la demanda química de oxígeno (DQO) como indicador de materia orgánica fueron superiores a la unidad en casi todos los sitios, excepto en la cresta del S-EC (0,48) y en el nivel superficial del arrecife frontal E-EC (0,96) (Tabla 5). El análisis de varianza dio como resultado que no hubo diferencias significativas entre los contenidos de materia orgánica entre las crestas y los arrecifes frontales (F (4,84) < F (tab 5,80), n =20:4, $\alpha = 0,05$). El máximo puntual en las crestas se obtuvo en el sitio SE-Cy.DP2 (6,72 mg.L⁻¹) y en el nivel medio del arrecife frontal al E-Cy.DP (10,88 mg.L⁻¹).

El amonio (NH₄) fue el compuesto predominante del nitrógeno total inorgánico (NTi), con valores que oscilaron entre 0,67 y 1,72 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ en las crestas y no mostraron diferencias significativas (F (1,56) < F (tab 5,78), n =23:4, $\alpha = 0,05$) con los valores registrados en los arrecifes frontales (0,45 a 2,88 $\mu\text{mol.L}^{-1}$). Los valores extremos se encontraron en Cy- Si y en el S-EC (cresta) y en el E-EC (nivel de fondo del arrecife frontal) (Tabla 6).

Las concentraciones de nitratos más nitritos resultaron homogéneas con valores en las crestas entre 0,43 y 0,91 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ que no difieren significativamente (F (1,22) < F (tab 5,78), n =23:4, $\alpha = 0,05$) de los valores medidos en los arrecifes frontales (0,22 a 0,92 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) (Tabla 6).

El nitrógeno total (NT) en las crestas que oscilaron entre 10,87 y 16,53 $\mu\text{mol.L}^{-1}$, las que resultaron significativamente menores a las encontradas en los arrecifes frontales (F (10,78) > F (tab 5,78), n =23:4, $\alpha = 0,05$), donde los valores mostraron una mayor variación (entre 10,30 y 37,62 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) (Tabla 6). Tanto en las crestas como en los frontales se registraron concentraciones de NT superiores al umbral de 14,28 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ establecido por la EQS de Japón (2002), por lo que en estos casos las aguas clasifican como contaminadas por nitrógeno.

Tabla 6. Valores puntuales de nitratos más nitrito NO_x, amonio NH₄, nitrógeno total inorgánico NTi, nitrógeno total NT, fósforo inorgánico PO₄, fósforo total PT y las relaciones nitrógeno total inorgánico y fósforo inorgánico NTi/P y nitrógeno total y fósforo total NT/PT en el muestreo realizado en octubre 2015.

Siglas	NO _x $\mu\text{mol.L}^{-1}$	NH ₄ $\mu\text{mol.L}^{-1}$	NTi $\mu\text{mol.L}^{-1}$	NT $\mu\text{mol.L}^{-1}$	PO ₄ $\mu\text{mol.L}^{-1}$	PT $\mu\text{mol.L}^{-1}$	NTi/PO ₄	NT/PT
Crestas arrecifales								
S-EC	0,49	1,41	1,90	12,15	0,04	0,48	49,86	25,22
SE-Cy.DP2	0,43	0,77	1,20	16,53	0,60	1,19	2,01	13,91
SE-Cy.DP1	0,45	0,67	1,11	15,43	0,54	2,80	2,05	5,50
Cy.Si	0,43	1,72	2,16	10,87	0,03	0,37	64,65	29,24
Vi	0,91	1,34	2,24	12,47	0,04	0,39	58,90	31,98
Arrecifes frontales								
E-EC	0,79	1,35	2,14	10,30	0,02	0,39	89,89	26,10
	0,55	0,85	1,40	10,47	0,05	0,41	26,75	25,65

	0,42	2,88	3,30	13,22	0,07	0,35	49,54	37,42
Cy.LP	0,91	0,57	1,48	11,19	0,08	0,40	19,43	28,03
	0,52	1,27	1,78	11,72	0,06	0,39	28,79	30,42
	0,49	0,51	1,00	13,15	0,04	0,39	26,37	33,32
O-EC	0,77	0,45	1,23	13,32	0,06	0,32	21,47	41,49
	0,68	0,64	1,33	10,37	0,10	0,39	12,65	26,90
	0,56	0,57	1,13	15,96	0,08	0,70	13,93	22,74
S-EC	0,22	1,30	1,52	12,15	0,47	0,96	3,23	12,61
	0,23	0,61	0,85	26,04	0,08	0,62	10,46	41,75
	0,29	0,95	1,24	20,39	0,05	0,41	26,03	49,39
E-Cy.DP	0,64	0,70	1,34	25,32	0,02	0,31	70,31	81,18
	0,92	0,52	1,45	21,24	0,02	0,44	60,73	48,75
	0,86	1,17	2,03	24,99	0,03	0,31	71,11	80,12
SE-Cy.DP2	0,33	1,29	1,62	37,62	0,04	0,39	42,48	97,63
	0,40	1,59	1,99	25,32	0,03	0,59	59,79	42,79
	0,28	1,30	1,58	16,64	0,05	0,44	33,11	37,40
SE-Cy.DP1	0,85	0,93	1,78	30,98	0,10	0,19	18,67	160,79
	0,78	0,81	1,59	26,64	0,06	0,27	25,66	100,12
	0,58	1,44	2,02	30,39	0,03	0,28	60,58	106,84
Cy.BI	0,92	0,52	1,44	25,26	0,05	0,33	27,53	75,42
	0,68	1,76	2,44	25,26	0,08	0,33	31,96	75,42
	0,63	1,58	2,21	20,52	0,03	0,33	77,41	61,28

Las concentraciones de fósforo inorgánico (PO_4^{3-}) en las crestas variaron entre 0,03 y 0,60 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ (Tabla 6), las que resultaron significativamente mayores ($F(10,90) > F(\text{tab } 2,80)$, $n=23:4$, $\alpha = 0,05$) con respecto a los valores detectados en los arrecifes frontales que fluctuaron entre 0,02 y 0,47 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ (Tabla 6).

El fósforo total (PT) en las crestas, mostró valores que fluctuaron entre 0,37 y 2,80 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ (Tabla 6) y fueron significativamente mayores ($F(40,98) > F(\text{tab } 2,80)$, $n=23:4$, $\alpha = 0,05$) a los obtenidos en los arrecifes frontales que variaron entre 0,19 y 0,96 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ (Tabla 6).

La relación nitrógeno total inorgánico-fósforo inorgánico (NTi/PO_4), osciló entre 2,01 y 64,65 en las crestas y entre 3,23 y 89,9 en los frontales (Tabla 6) y la NT/PT fluctuó entre 5,5 y 31,98 y entre 12,61 y 160,79 para ambos sitios, respectivamente.

El estado trófico de las aguas con relación al aporte de carbono orgánico total (COT) estimado a partir de los valores de la DQO, en los arrecifes del golfo de Cazones, fue elevado en ambos biotopos con un predominio de condiciones mesotróficas a hipertróficas, con excepción de la cresta al Sur de la ensenada de Cazones (S-EC) que presentó características oligotróficas (Tabla 7), según la escala de Nixon (1995) (Tabla 3). Se destacan las crestas de SE-Cy.DP2 y SE-Cy.DP1 y el frontal de E-Cy.DP con el mayor estado trófico.

Tabla 7. Estimación del aporte de carbono orgánico diario por unidad de superficie en la columna de agua en $\text{mgC}\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$, para las crestas y los arrecifes frontales del golfo de Cazones.

Siglas	COT $\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$	Estado trófico
Crestas arrecifales		
S-EC	0,18	Oligotrófico
SE-Cy.DP2	2,52	Hipertrófico
SE-Cy.DP1	1,74	Hipertrófico
Cy. Si	0,84	Eutrófico
Vi	0,72	Mesotrófico
Arrecifes frontales		
E-EC	0,54	Mesotrófico
Cy. LP	0,48	Mesotrófico
O-EC	1,07	Eutrófico
S-EC	1,05	Eutrófico
E-Cy. DP	2,02	Hipertrófico
SE-Cy.DP2	0,96	Eutrófico
SE-Cy.DP1	0,74	Mesotrófico
Cy. BI	0,58	Mesotrófico

Microbiología de los arrecifes del golfo de Cazones

Bacterias Heterótrofas

Las concentraciones de bacterias heterótrofas totales (BHT) para las crestas y arrecifes frontales en el golfo de Cazones, oscilaron entre 1.1×10^3 y $20.4 \times 10^3 \text{ UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$ (Fig. 2), sin embargo no resultaron significativamente diferentes (PERMANOVA, pseudo-F de 1,1201 y P (perm) 0,34).

En las crestas la concentración de BH más baja se registró en el sitio Vizcaínos (Vi), mientras que el valor más elevado fue en S-EC con un valor de $7.2 \times 10^3 \text{ UFC mL}^{-1}$ (Fig.2 A). En los arrecifes frontales las concentraciones más bajas se registraron en el sitio Cy.LP (cayo Los Pinos) y en el SE-Cy.DP2 (sureste de cayo Diego Pérez 2) y las más elevadas en E-Cy.DP (Este de cayo Diego Pérez) y O-EC (Oeste de la Ensenada de Cazones) con valores de 20.4×10^3 y $10.1 \times 10^3 \text{ UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$, respectivamente (Fig.2 B).

De acuerdo a la concentración de bacterias heterótrofas, el estado trófico de las aguas varió entre mesotróficas a mesoeutrólicas (Tabla 8). Es de señalar que en las crestas arrecifales las aguas resultaron mesoeutrólicas solo en el S-EC, por el contrario el 50% de los arrecifes frontales presentaron estas características (Tabla 8). Los resultados anteriores sugieren que las aguas en el golfo de Cazones se mantienen enriquecidas de materia orgánica, tanto en las crestas como en los arrecifes frontales.

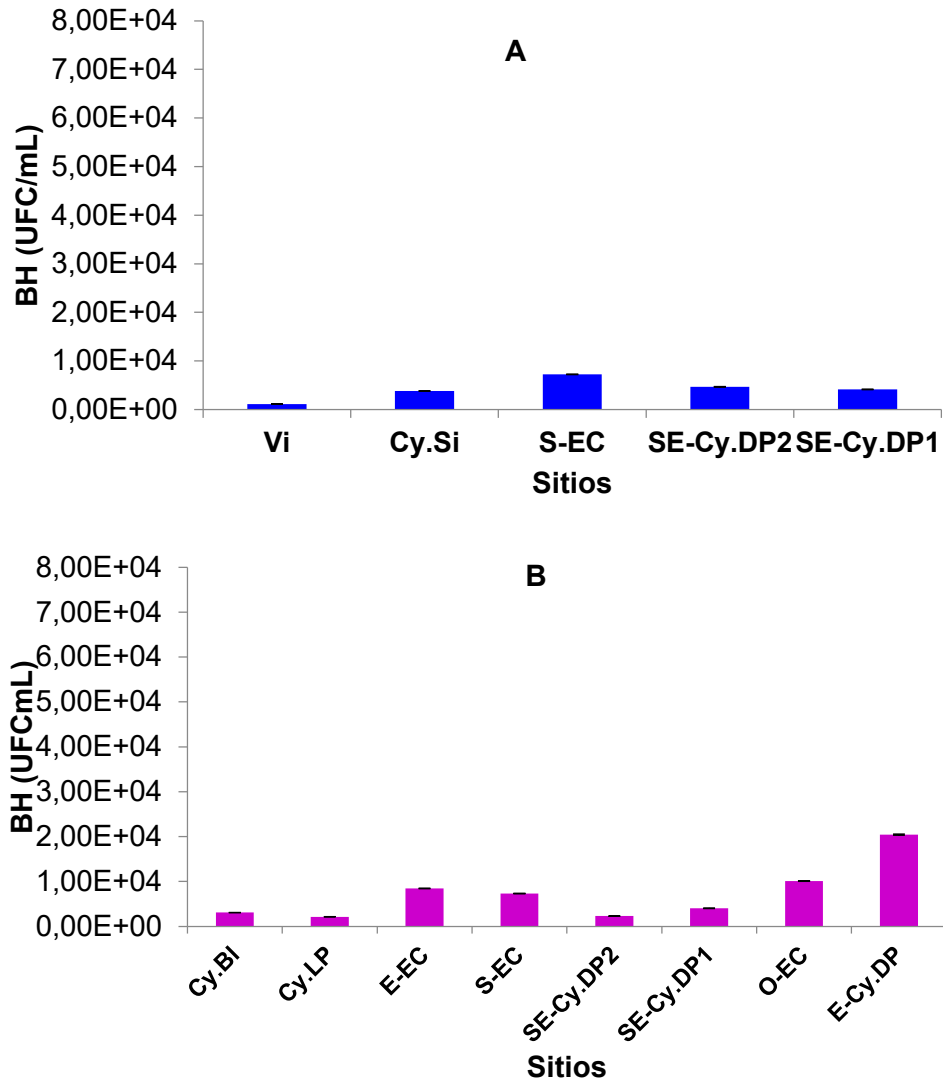


Figura 2. Concentración de bacterias heterótrofas en las crestas arrecifales (A) y en los arrecifes frontales del golfo de Cazones (B).

Tabla 8. Clasificación del estado trófico de las aguas en el golfo de Cazones a partir de la concentración de bacterias heterótrofas (Miravet *et al.*, 2009).

Ubicación de los sitios de arrecifes	Siglas	Concentración de BH (UFC.mL ⁻¹)
Crestas arrecifales		
Vizcaínos	Vi	1133
Cayo Sigua	Cy.Si	3800
Sur de la ensenada de Cazones (Nirvana)	S-EC	7233
Sureste de cayo Diego Pérez 2	SE-Cy.DP2	4633
Sureste de cayo Diego Pérez 1	SE-Cy.DP1	4133
Arrecifes frontales		

Cayo Blanco	Cy.BI	3087
Cayo Los Pinos	Cy.LP	2133
Este de la ensenada de Cazonos	E-EC	8467
Sur de la ensenada de Cazonos	S-EC	7300
Sureste de cayo Diego Pérez 2	SE-Cy.DP2	2300
Sureste de cayo Diego Pérez 1	SE-Cy.DP1	4050
Oeste de la ensenada de Cazonos	O-EC	10100
Este de cayo Diego Pérez	E-Cy.DP	20435

	Mesotróficas	80,1 - 6500,0
	Mesoeutróficas	6500,1 - 27000,0
	Eutróficas	27000,1 - 120000,0

Vibrios

Las concentraciones de *Vibrio* en los arrecifes incluyendo las crestas y los frontales varió entre 10 y 7000 UFC.mL⁻¹ y no se encontraron diferencias significativas entre ambos biotopos (PERMANOVA, pseudo-F de 1,0571 y P (perm) 0,398). En las crestas las mayores concentraciones de vibrio se encontraron en los sitios Cy-Si (cayo Sigua) y SE-Cy.DP2 (sureste de cayo Diego Pérez 2), mientras en los arrecifes frontales se registraron en S-EC (sur de la Ensenada de Cazonos) y SE-Cy.DP2 (sureste de cayo Diego Pérez 2) (Tabla 9).

Tabla 9. Concentración de vibrios en los arrecifes del golfo de Cazonos.

Ubicación de los sitios de arrecifes	Siglas	Concentración de vibrios (UFC.mL ⁻¹)
Crestas arrecifales		
Vizcaínos	Vi	197
Cayo Sigua	Cy.Si	1700
Sur de la ensenada de Cazonos (Nirvana)	S-EC	10
Sureste de cayo Diego Pérez 2	SE-Cy.DP2	1248
Sureste de cayo Diego Pérez 1 (Faro)	SE-Cy.DP1	77
Arrecifes frontales		
Cayo Blanco	Cy.BI	852
Cayo Los Pinos	Cy.LP	10
Este de la ensenada de Cazonos	E-EC	20
Sur de la ensenada de Cazonos	S-EC	1550
Sureste de cayo Diego Pérez 2	SE-Cy.DP2	1585
Sureste de cayo Diego Pérez 1	SE-Cy.DP1	355
Oeste de la ensenada de Cazonos	O-EC	25
Este de cayo Diego Pérez	E-Cy.DP	415

Dada la importancia de este grupo se realizó el análisis de la contribución relativa al total de las bacterias heterótrofas aerobias en las crestas y arrecifes profundos del golfo de Cazonos y se evidenció que en las crestas de los sitios Cy.Si y SE-Cy.DP2, los vibrios contribuyeron con un 45% y un 27% al total de bacterias heterótrofas (Fig. 3A); coincidentemente en el arrecife frontal de este último sitio se encontró la mayor contribución de los vibrios con un 69% y en el S-EC (frontal) contribuyeron con un 21% (Fig. 3B).

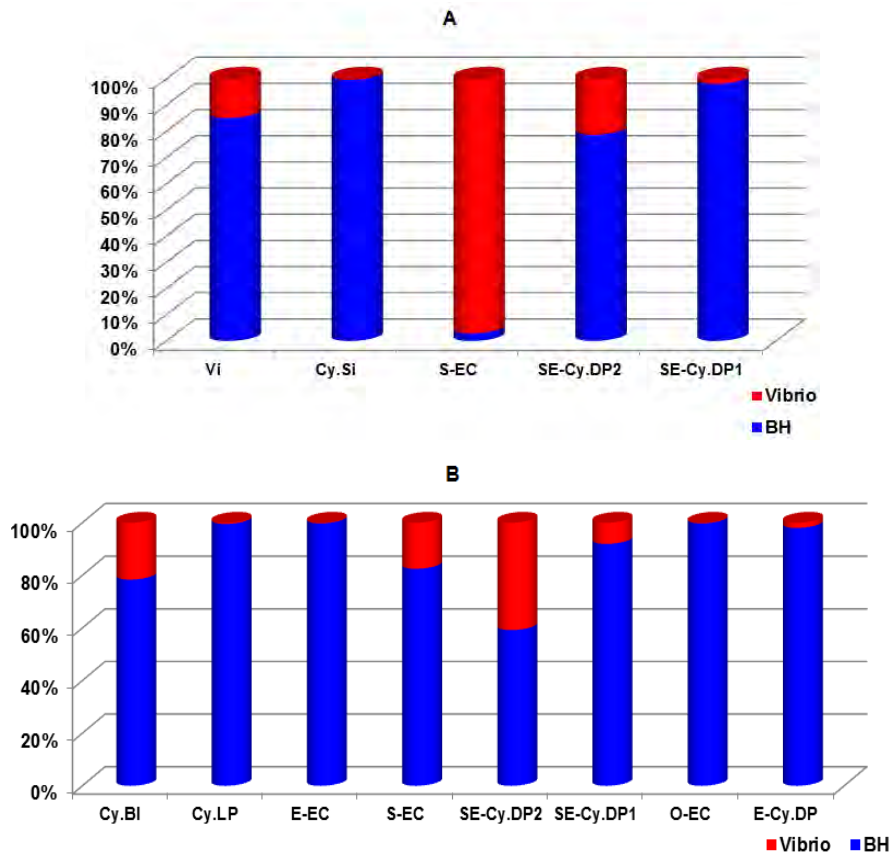


Figura 3. Contribución relativa de vibrios al total de bacterias heterótrofas por sitios en el golfo de Cazonos. A: Crestas arrecifales, B: Arrecifes frontales.

Bacterias sulfato-reductoras

En todas las crestas arrecifales se obtuvo crecimiento de bacterias sulfato-reductoras (BSR) en los micronichos muestreados, con concentraciones que variaron entre 210 y 2400 NMP.100mL⁻¹. Sin embargo, los arrecifes frontales presentaron valores adecuados de BSR (Tabla 10).

Tabla 10 Concentración de bacterias sulfato-reductoras (BSR) en los micronichos de los arrecifes del Golfo de Cazonos.

Ubicación de los sitios de arrecifes	Siglas	BSR (MNP/100mL)
--------------------------------------	--------	-----------------

Crestas arrecifales		
Vizcaínos	Vi	750
Cayo Sigua	Cy.Si	210
Sur de la ensenada de Cazones (Nirvana)	S-EC	2400
Sureste de cayo Diego Pérez 2	SE-Cy.DP2	1100
Sureste de cayo Diego Pérez 1	SE-Cy.DP1	2400
Arrecifes frontales		
Cayo Blanco	Cy.BI	<0.2
Cayo Los Pinos	Cy.LP	<0.2
Este de la ensenada de Cazones	E-EC	<0.2
Sur de la ensenada de Cazones	S-EC	<0.2
Sureste de cayo Diego Pérez 2	SE-Cy.DP2	<0.2
Sureste de cayo Diego Pérez 1	SE-Cy.DP1	<0.2
Oeste de la ensenada de Cazones	O-EC	<0.2
Este de cayo Diego Pérez	E-Cy.DP	<0.2

Fitoplancton de los arrecifes del golfo de Cazones

Diversidad

La comunidad fitoplanctónica, tanto en las crestas arrecifales como en los arrecifes frontales, estuvo representada por seis grupos taxonómicos (diatomeas, dinoflagelados, cianobacterias, euglenoficeas, cloroficeas y flagelados) con un predominio de las diatomeas y los dinoflagelados al total de géneros y especies. Los restantes grupos tuvieron una baja contribución a la diversidad del fitoplancton (Tablas 11 y 12).

En las crestas arrecifales, el fitoplancton contribuyó a la diversidad con un total de 42 taxones, de ellos las diatomeas y los dinoflagelados aportaron 17 taxa (40%) cada uno, las cianobacterias 5 (12%) y el resto de los grupos sólo un taxón cada uno para un 2 %. Las diatomeas y los dinoflagelados tuvieron un aporte similar a la diversidad; las diatomeas con 14 especies (50%) y 3 géneros (21%) y los dinoflagelados con 12 especies y 5 géneros, que representan el 43% y el 36%, respectivamente del total de géneros y especies de la comunidad (Tabla 11). Le sigue en orden de importancia el aporte de las cianobacterias con el 21% de los géneros.

Tabla 11. Contribución a la diversidad de los principales grupos del fitoplancton en las crestas arrecifales, en octubre de 2015.

	Géneros	Especies	Total
Diatomeas	3 (21%)	14 (50%)	17 (40%)
Dinoflagelados	5 (36%)	12 (43%)	17 (40%)
Cianobacterias	3 (21%)	2 (7%)	5 (12%)
Euglenoficeas	1 (7%)		1 (2%)
Cloroficeas	1 (7%)		1 (2%)
Flagelados	1 (7%)		1 (2%)
Total	14	28	42

El grupo de las Diatomeas, la especie *Mastogloia asperuloides* y el género *Navicula* sp, presentaron la mayor frecuencia de aparición, con una presencia espacial constante en todos los sitios. Otros géneros y especies también estuvieron presentes en más del 50% de los sitios como son los dinoflagelados *Gyrodinium spirales* y *Oxytoxum* sp. (Anexo 1).

En los arrecifes frontales, la diversidad del fitoplancton resultó mayor con respecto a la de las crestas, con un total de 53 taxones, de ellos 24 taxa le correspondieron a las diatomeas (45%), 19 a los dinoflagelados (36%), 7 a las cianobacterias (13%); mientras las euglenofíceas, las clorofíceas y los flagelados presentaron sólo un taxón que representa el 2% del total de géneros de la comunidad (Tabla 12). El aporte a la diversidad de las diatomeas y los dinoflagelados fue similar, con 16 (52%) y 14 (45%) especies y 8 (36%) y 5 (23%) géneros, respectivamente; por su parte las cianobacterias contribuyeron con 6 géneros, para un (27%) (Tabla 12).

Tabla 12. Contribución a la diversidad de los principales grupos del fitoplancton en los arrecifes frontales, en octubre de 2015.

	Géneros	Especies	Total
Diatomeas	8(36%)	16(52%)	24(45%)
Dinoflagelados	5(23%)	14(45%)	19(36%)
Cianobacterias	6(27%)	1(3%)	7(13%)
Euglenofíceas	1(5%)		1(2%)
Clorofíceas	1(5%)		1(2%)
Flagelados	1(5%)		1(2%)
Total	22	31	53

El grupo de los flagelados y el género *Navicula* sp, presentaron una presencia espacial constante en todos los sitios, aunque también se encontraron géneros y especies que tuvieron una frecuencia de aparición elevada (más del 60% de los sitios) como son la diatomea *Nitzschia longissima* y los dinoflagelados *Prorocentrum micans*, *Scrippsiella trochoidea*, *Gymnodinium* sp. y *Gyrodinium* sp. (Anexo 2).

Abundancia

Las concentraciones del fitoplancton en las crestas arrecifales no mostraron diferencias significativas con la de los arrecifes frontales (PERMANOVA, pseudo-F de 5,5368E-2 y P (perm) 0,81) con valores que fluctuaron entre 69 cél.mL⁻¹ y 1665 cél.mL⁻¹, y un promedio de 517 ± 290,2 cél.mL⁻¹.

En las crestas arrecifales, la concentración del fitoplancton osciló entre 277 ± 103 y 770 ± 172 cél.mL⁻¹ (Fig. 4). Se distingue el sitio S-EC (sur de la Ensenada de Cazones) correspondiente al arrecife de Nirvana, por presentar el valor máximo de abundancia fitoplanctónica, seguido del sitio SE-Cy.DP1 (sureste de cayo Diego Pérez 1), mientras la menor concentración se encontró en SE-Cy.DP2 (sureste de cayo Diego Pérez 2) (Fig. 4).

En los sitios de arrecifes frontales la concentración del fitoplancton varió entre 69 ± 29 y 1665 ± 447 cél.mL⁻¹ (Fig. 5), correspondientes a los sitios Cy.BI (cayo Blanco) y E-EC

(este de la Ensenada de Cazonos). El otro sitio donde el fitoplancton resultó abundante fue en O-EC (oeste de la Ensenada de Cazonos) con 598 ± 233 cél.mL⁻¹ (Fig. 5).

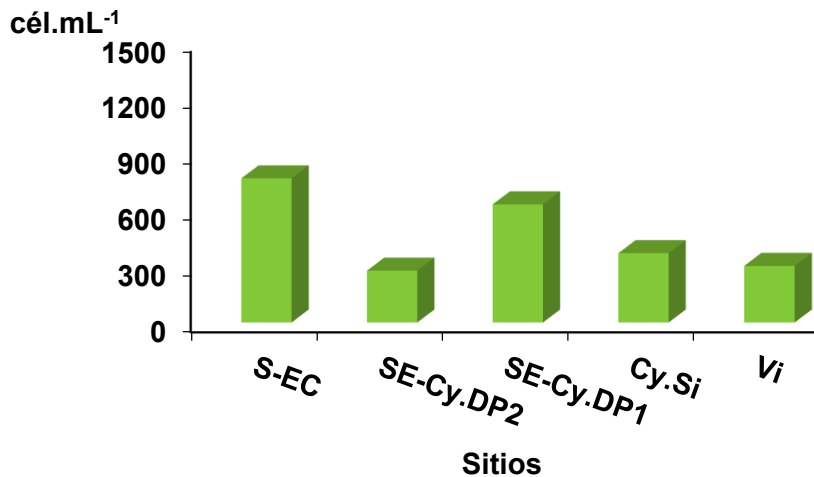


Figura 4. Concentración total de fitoplancton en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos.

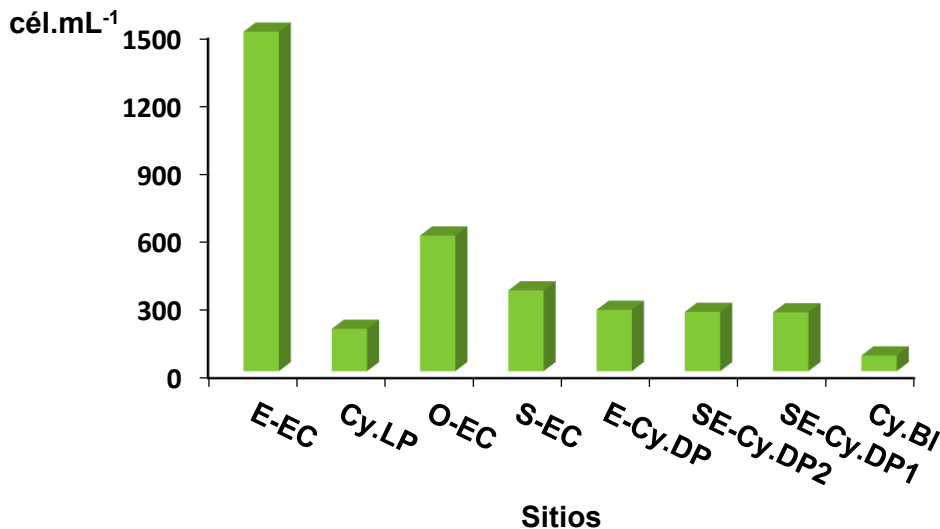


Figura 5. Concentración total del fitoplancton en los arrecifes frontales del golfo de Cazonos.

Al evaluar el estado trófico de las aguas según la escala propuesta por Loza (2004) tomando en consideración la concentración del fitoplancton se encontró que, en los sitios arrecifales del golfo de Cazonos predominaron condiciones oligomesotróficas y mesotróficas, tanto en crestas como en arrecifes frontales (Tabla 13). Se distingue el este, oeste y sur de la ensenada de Cazonos por presentar un nivel trófico superior con

características mesotróficas y mesoeutróficas, con respecto al resto de los sitios (Tabla 13).

Tabla 13. Estado trófico en los sitios de las crestas arrecifales y arrecifes frontales del golfo de Cazones.

Sitios	Conc. Total (cél.mL ⁻¹)	Estado Trófico
Crestas arrecifales		
S-EC	770	mesotrófico
SE-Cy.DP2	277	oligotrófico/mesotrófico
SE-Cy.DP1	631	mesotrófico
Cy.Si	371	mesotrófico
Vi	303	oligotrófico/mesotrófico
Arrecifes frontales		
E-EC	1665	mesotrófico/eutrófico
Cy.LP	187	oligotrófico/mesotrófico
O-EC	598	mesotrófico
S-EC	356	mesotrófico
E-Cy.DP	271	oligotrófico/mesotrófico
SE-Cy.DP2	262	oligotrófico/mesotrófico
SE-Cy.DP1	260	oligotrófico/mesotrófico
Cy.BI	69	oligotrófico

Contribución de los grupos morfofuncionales a la estructura del fitoplancton en los arrecifes coralinos del golfo de Cazones

En cuanto a la composición por grupos del fitoplancton, en las crestas de los arrecifes del golfo de Cazones se encontró un predominio de las cianobacterias en el sitio S-EC (sur de la Ensenada de Cazones) correspondiente al arrecife de Nirvana, con una contribución a la concentración total del 79 % (Fig. 6) que estuvo asociado con la existencia de condiciones favorables por el efecto de los valores elevados de temperatura (30,3°C) (Tabla 5) y de concentración de amonio (1,41 $\mu\text{mol.L}^{-1}$), fundamentalmente (Tabla 6); también en Cy-Si (cayo Sigua) estuvieron presentes aunque no fueron muy abundantes (Fig. 6), a pesar que la temperatura y la concentración de amonio alcanzaron valores extremos (30,8°C y 1,72 $\mu\text{mol.L}^{-1}$, respectivamente) (Tabla 5 y 6), pero las concentraciones de fósforo resultaron bajas (0,03 $\mu\text{mol.L}^{-1}$), con respecto al resto de los sitios (Tabla 6).

Los flagelados fueron los que más aportaron en las crestas de los restantes sitios, con porcentajes superiores al 60%. Las diatomeas, los dinoflagelados y las clorófitas tuvieron una baja contribución al total de la comunidad, con porcentajes menores que 18% (Fig. 6).

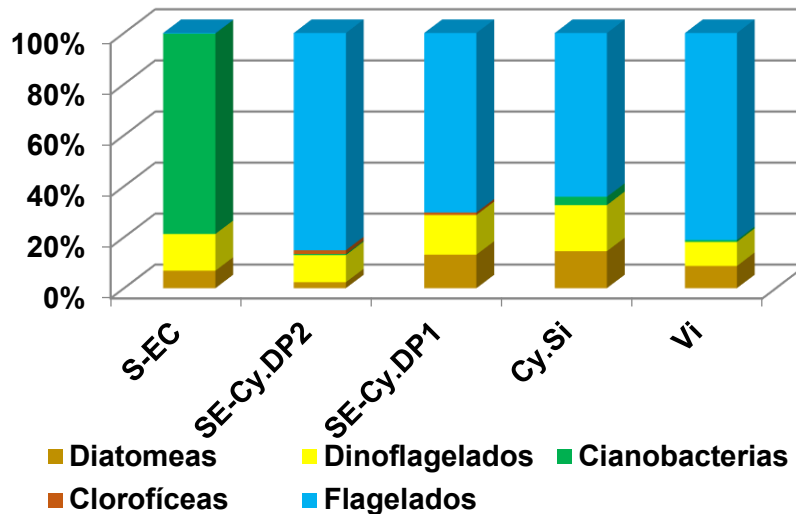


Figura 6. Contribución de los grupos del fitoplancton a la concentración total por sitios en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos.

De los grupos morfofuncionales que componen la estructura del fitoplancton en los arrecifes frontales del golfo de Cazonos, los flagelados fueron los que dominaron con una contribución al fitoplancton total de más del 60%, con excepción del sitio E-EC (Este de la ensenada de Cazonos) donde las cianobacterias tuvieron el mayor aporte (61%) (Fig. 7) y su respuesta estuvo relacionada con las elevadas concentraciones de amonio ($2,9 \mu\text{mol.L}^{-1}$) y de fosfatos ($0,07 \mu\text{mol.L}^{-1}$) registradas (Tabla 6), con respecto al resto de los sitios muestreados y la temperatura también resultó algo elevada ($29,4^{\circ}\text{C}$) (Tabla 5).

También, las cianobacterias estuvieron presentes en los sitios S-EC (sur de la ensenada de Cazonos, arrecife de Nirvana) con un aporte del 9%, donde los valores de nutrientes amonio y fosfatos y de temperatura registrados resultaron relativamente elevados ($0,95 \mu\text{mol.L}^{-1}$; $0,05 \mu\text{mol.L}^{-1}$ y $29,2^{\circ}\text{C}$, respectivamente) (Tabla 5 y 6) y en Cy-LP (cayo Los Pinos), (3%) donde los tenores de concentración de NH_4 y P_0_4 , resultaron bajos ($0,51 \mu\text{mol.L}^{-1}$ y $0,04 \mu\text{mol.L}^{-1}$, respectivamente) (Tabla 6), pero los valores de temperatura fueron los más altos de la zona profunda ($30,5^{\circ}\text{C}$) (Tabla 5).

La contribución de las diatomeas fue escasa, al igual que de las clorofíceas y de los dinoflagelados cuya abundancia relativa resultó del 53% solamente en el sitio Cy-LP (cayo Los Pinos) (Fig. 7).

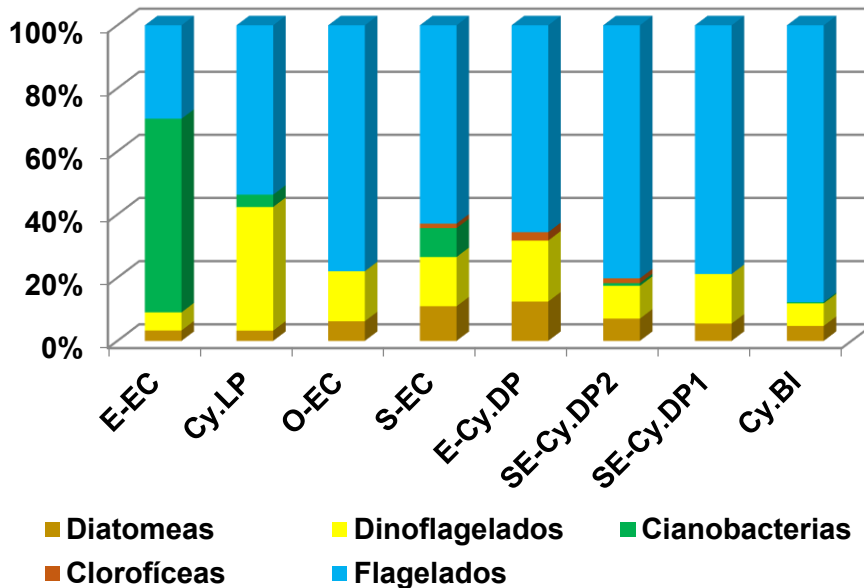


Figura 7. Contribución de los grupos del fitoplancton a la concentración total por sitios en los arrecifes frontales del golfo de Cazonos.

En los arrecifes del golfo de Cazonos, las clorofíceas estuvieron representadas, aunque en bajas concentraciones, tanto en las crestas como a los 10 m de profundidad al Sur de la ensenada de Cazonos (arrecife de Nirvana) (sitio S-EC) y al Este y Sureste de cayo Diego Pérez (E-Cy. DP, SE-cy.DP1 y SE-cy.DP2) (Fig. 6 y 7).

Clorofila a

En las crestas arrecifales, el valor promedio de la concentración de clorofila **a** fue de $0,63 \pm 0,16$ mg.m⁻³, con valores extremos que oscilaron entre 0,22 y 0,83 mg.m⁻³, correspondientes a los sitios Cy-Si (cayo Sigua) y Cy-Vi(Vizcaínos), respectivamente (Fig. 8). El sitio al sur de la Ensenada de Cazonos conocido como el arrecife de Nirvana también mostró un valor elevado de concentración de clorofila a ($0,79$ mg.m⁻³) (Fig. 8).

En los arrecifes frontales la concentración promedio de clorofila **a** fue de $1,53 \pm 0,28$ mg.m⁻³. El valor mínimo de $0,36$ mg.m⁻³ se encontró en Cy-BI (cayo Blanco) y el máximo ($1,32$ mg.m⁻³) fue detectado en el sitio O-EC (oeste de la Ensenada de Cazonos), seguido del sitio E-Cy.DP (este de cayo Diego Pérez) con $1,22$ mg.m⁻³ (Fig. 9).

La concentración de clorofila **a** es uno de los indicadores fitoplanctónicos más promisorios para el monitoreo de la salud de un sistema natural acuático y usualmente se emplea para estimar la biomasa fitoplanctónica y la abundancia de productores primarios en estos ambientes (Tapia y Naranjo, 2011).

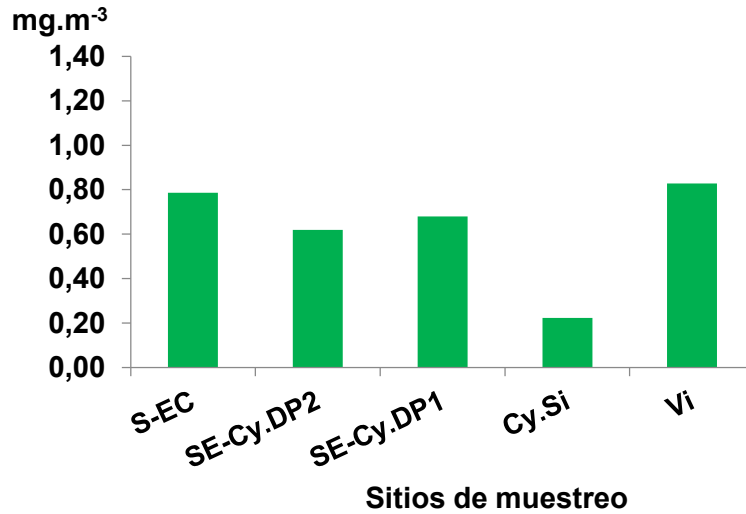


Figura 8. Comportamiento de la concentración de clorofila **a** en las crestas arrecifales del golfo de Cazones.

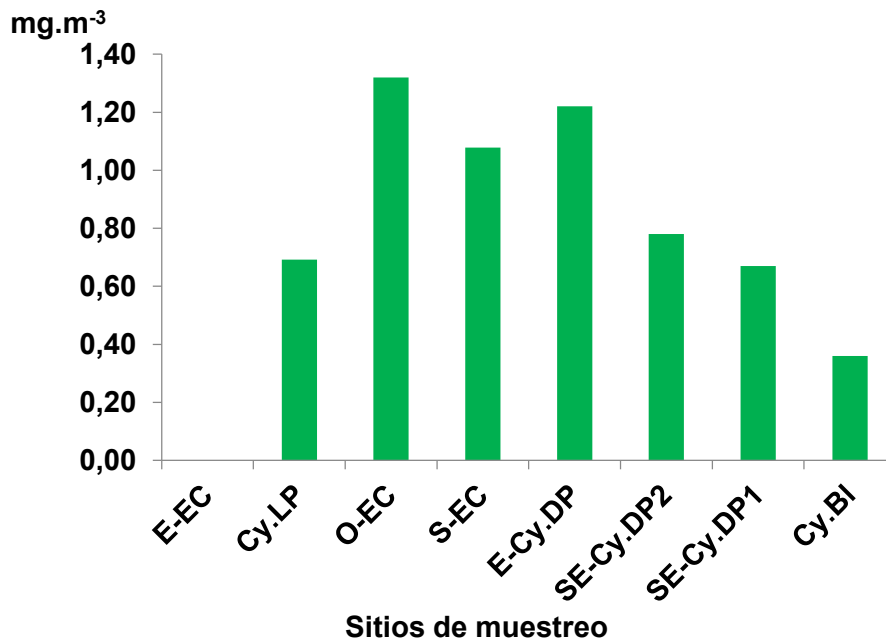


Figura 9. Comportamiento de la concentración de clorofila **a** en los arrecifes frontales del golfo de Cazones.

Tabla 14. Escala de clorofila **a**: Producción Primaria, expresado en mg/m³ (Tapia, 2006).

Rangos de clorofila a	Productividad
< 0.20 mg.m ⁻³	Clorofila = Aguas de baja productividad
0.20 – 0.50 mg.m ⁻³	Clorofila = Aguas ligeramente productivas
> 0.50 mg.m ⁻³	Clorofila = Aguas productivas

De acuerdo a la escala de rangos de valores de clorofila **a** con su equivalente a los niveles de productividad de las aguas propuesta por Tapia (2006) (Tabla 14), los valores de clorofila **a** obtenidos en los sitios de las crestas arrecifales de Cazonos presentan características productivas, excepto en la cresta de Cy-Si (Cayo Sigua) donde son ligeramente productivas ($0,22 \text{ mg.m}^{-3}$) (Tabla 14). La mayor productividad se presenta en Cy-Vi (Vizcaínos) y en S-EC (sur de la Ensenada de Cazonos (arrecife de Nirvana) con $0,83$ y $0,79 \text{ mg.m}^{-3}$, respectivamente. Por su parte, en los arrecifes frontales las aguas clasifican como productivas, con valores de clorofila **a** superiores a $0,67 \text{ mg.m}^{-3}$ (Tabla 14). Sólo las aguas del arrecife frontal de Cy-BI (cayo Blanco) clasifican como ligeramente productivas ($0,36 \text{ mg.m}^{-3}$).

Comunidades bentónicas y de peces de los arrecifes coralinos del golfo de Cazonos

Crestas arrecifales del golfo de Cazonos

Coberturas vivas de coral total y relativas por especies. La cobertura viva de coral en el conjunto de crestas arrecifales evaluadas en los años 2001 y 2015 disminuyó significativamente desde un 48,8% a 10,5% (PERMANOVA, pseudo-F $(1; 87) = 40,7$; $p = 0,001$) (Fig. 10).

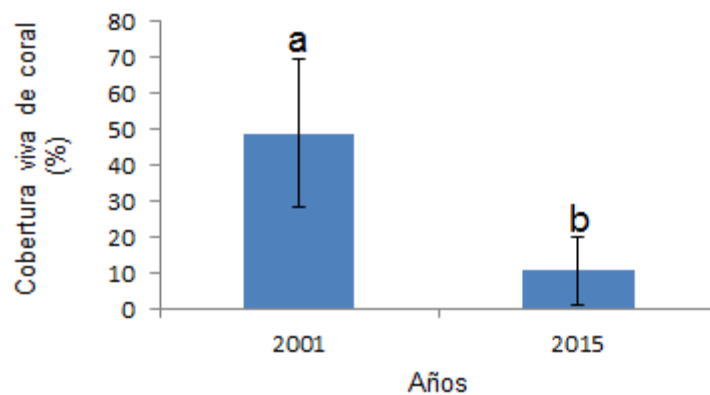


Figura 10. Cobertura viva de coral en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos en los años 2001 y 2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

El análisis de varianza permutacional reveló que la cobertura viva de coral varió de manera significativa entre las crestas arrecifales del golfo de Cazonos y entre los años de muestreos dentro de cada cresta arrecifal (Tabla 15). Las comparaciones pareadas realizadas por el PERMANOVA, muestran una disminución significativa de la cobertura viva de coral en el 2015 en comparación con los restantes años muestreados en todas las crestas arrecifales evaluadas (Fig. 11). La cresta arrecifal S-EC perdió aproximadamente un 52% de tejido coralino en comparación con el 2001, mientras que la cresta arrecifal Vi fue la segunda que mayor pérdida de tejido vivo de coral tuvo, con un reducción de un 50% entre el 2001 y el 2015 (Fig. 11).

Tabla 15. Análisis de varianza permutacional de la cobertura viva de coral a partir de un diseño anidado con los factores sitios y años anidados en sitios. GI: grados de libertad, P: valor de probabilidad asociada y Perms: número de permutaciones.

Factor	GI	Pseudo-F	P (perms)	Perms
Sitio	4	14,839	0,001	999
Años (sitios)	11	11,751	0,001	996
Residuales	172			

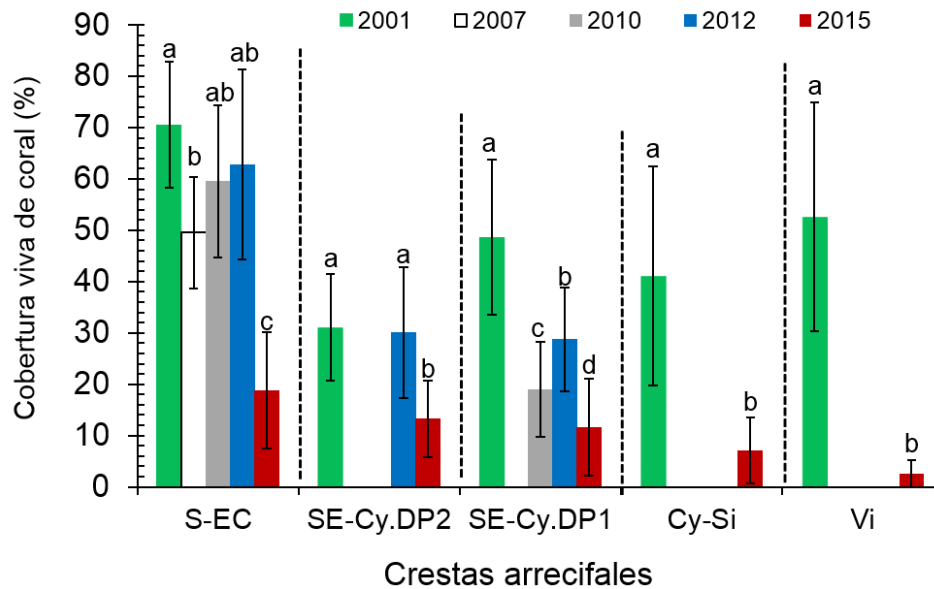


Figura 11. Cobertura viva de coral en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos en el período 2001-2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

La cobertura viva de coral varió de manera significativa entre las crestas arrecifales evaluadas en el 2015 (*PERMANOVA*, pseudo-F_(4; 54) = 4,3; p = 0,001; Fig. 12). La cresta arrecifal S-EC presentó significativamente la mayor cobertura viva de coral en comparación con las crestas localizadas más al sur en el Golfo (Cy-Si y Vi). En Vi se registró la menor cobertura viva de coral con solo un 3% (Fig. 12).

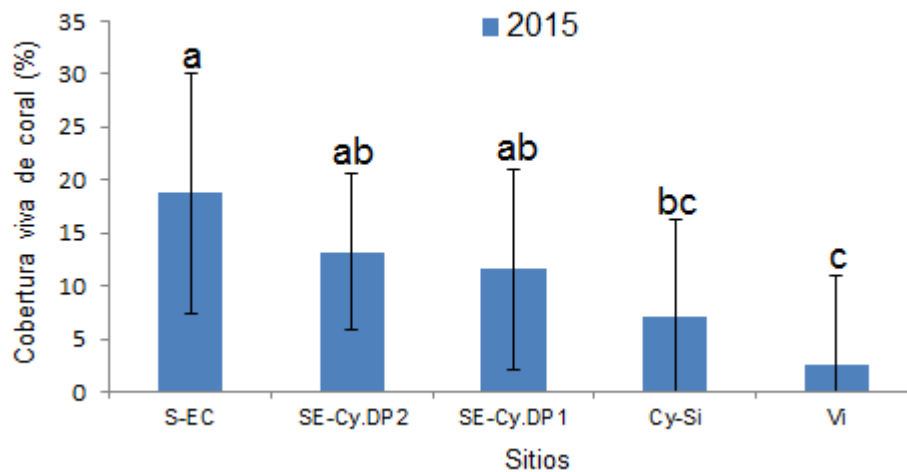


Figura 12. Cobertura viva de coral en las crestas arrecifales del golfo de Cazones en el año 2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

De manera general, en las crestas arrecifales del golfo de Cazones las especies que predominaron en el 2015 en cuanto a la cobertura viva relativa fueron en ese orden: *P. astreoides*, *M. complanata* y *A. palmata*. En el sitio S-EC fue donde único predominó la cobertura coralina relativa de *A. palmata*, y en Vi no se observó tejido vivo de esta especie. La cobertura viva relativa de *A. palmata* tendió a ser mayor en los sitios ubicados más al norte en el golfo de Cazones (S-EC, SE-Cy.DP2 y SE-Cy.DP1) en comparación con los localizados más al sur (Cy.Si y Vi). De manera opuesta ocurre para *P. astreoides*, cuya cobertura relativa aumenta en un gradiente de norte a sur (Tabla 16).

Tabla 16. Coberturas vivas relativas por especies de corales (%) en las crestas arrecifales del golfo de Cazones en el 2015.

Especies	Crestas arrecifales				
	S-EC	SE-Cy.DP2	SE-Cy.DP1	Cy.Si	Vi
<i>Acropora cervicornis</i>	6,8	0	0	0	0
<i>Acropora palmata</i>	70,7	12,7	40,2	5,9	0
<i>Dichocoenia stokesi</i>	0	0	2,2	0	0
<i>Favia fragum</i>	0	0,3	0,2	0	0
<i>Millepora alcicornis</i>	0	0	0,4	0	0
<i>Millepora complanata</i>	13,1	52,5	6,1	52	19,1
<i>Orbicella annularis</i>	0	1,6	0	0	0
<i>Orbicella faveolata</i>	0	0	1,4	0	0
<i>Porites astreoides</i>	9,5	17,4	49,5	41,4	68,2
<i>Porites furcata</i>	0	0,6	0	0	0
<i>Porites porites</i>	0	14,8	0,1	0,6	12,7

Abundancias relativas y riqueza de especies de corales. En la cresta al sur de la ensenada de Cazones (S-EC, llamada Nirvana) la especie predominante durante el período 2001-2015 fue *Acropora palmata*. Sin embargo, en esta cresta el predominio de *A. palmata* ha tenido variaciones: descendió durante el período 2001-2010, y aumentó a

partir del 2010 hasta alcanzar en el 2012 valores similares al que tenía en el 2001. No obstante, en el 2015 el predominio de *A. palmata* decreció cerca de un 21% en comparación con el 2001. La abundancia relativa de *Acropora prolifera* aumentó entre 2001-2007, pero a partir de este año desciende de manera abrupta hasta prácticamente no encontrarse colonias vivas entre 2010-2015. Por otra parte, es importante señalar que la abundancia relativa de *Millepora complanata* y *Porites astreoides* tendieron a aumentar entre el 2001 y 2015 (Tabla 17). La riqueza de especies en Nirvana en el período 2001-2015 fluctuó entre 4 y 12, donde los años 2001 y 2015 presentaron los menores valores (Tabla 17).

Tabla 17. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en la cresta arrecifal al sur de la ensenada de Cazones durante el período 2001-2015.

Especies	Cresta arrecifal al sur de la ensenada de Cazones (S-EC, Nirvana)				
	2001	2007	2010	2012	2015
<i>Acropora cervicornis</i>	0	0	1,8	0,6	2,6
<i>Acropora palmata</i>	83,5	57,1	53,5	81,1	62,3
<i>Acropora prolifera</i>	9,9	27,1	0	0,6	0
<i>Agaricia agaricites</i>	0	0	0,4	0	0
<i>Madracis mirabilis</i>	0	0	0	0,6	0
<i>Manicina areolata</i>	1,1	0	0	0	0
<i>Millepora alcicornis</i>	0	0	4,8	1,1	0
<i>Millepora complanata</i>	5,5	1,4	7,0	8,9	18,2
<i>Montastraea cavernosa</i>	0	0	2,6	0	0
<i>Orbicella annularis</i>	0	2,9	3,5	1,1	0
<i>Orbicella faveolata</i>	0	0	0,4	0,6	0
<i>Porites astreoides</i>	0	11,4	23,2	3,9	16,9
<i>Porites furcata</i>	0	0	0,4	0,6	0
<i>Porites porites</i>	0	0	0,4	0	0
<i>Siderastrea siderea</i>	0	0	1,8	1,1	0
Número de colonias	91	70	228	180	77
Riqueza de especies	4	5	12	11	4

En la cresta al sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2), se observó una codominancia entre *A. palmata* y *M. complanata* en el año 2001. Sin embargo, la abundancia relativa de *M. complanata*, *P. astreoides* y *Porites porites* ascendió en el período 2001-2015, en detrimento de la abundancia de *A. palmata*, *Orbicella annularis*, *A. prolifera* y *Porites furcata* (Tabla 18). La riqueza de especies en la cresta arrecifal al sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2) en el período 2001-2015 varió entre 6 y 9, siendo el año 2015 el de menor riqueza (Tabla 18).

Tabla 18. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en la cresta arrecifal al sureste del cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2) durante el período 2001-2015.

Especies	Cresta arrecifal al sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)		
	2001	2012	2015
<i>Acropora palmata</i>	25	14,7	11,4
<i>Acropora prolifera</i>	7,1	0,8	0
<i>Diploria clivosa</i>	0	0,8	0
<i>Millepora alcicornis</i>	3,6	0,8	0

<i>Millepora complanata</i>	25	48,1	36,7
<i>Orbicella annularis</i>	12,5	2,3	3,8
<i>Orbicella faveolata</i>	1,8	0	0
<i>Porites astreoides</i>	12,5	16,3	29,1
<i>Porites furcata</i>	10,7	16,3	1,3
<i>Porites porites</i>	1,8	0	17,7
Número de colonias	56	129	79
Riqueza de especies	9	8	6

En la cresta al sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1) la especie dominante en el año 2001 fue *A. palmata*. Sin embargo, en el período 2001-2012 ocurrió una abrupta disminución en su predominio, y aumentó la abundancia relativa de *M. complanata* y *P. astreoides*. En el 2015 se aprecia un ligero aumento en la abundancia de *A. palmata* y un incremento en la de *P. astreoides*, acompañada de una disminución de *M. complanata*. No obstante, en el período 2001-2015 la abundancia de *A. palmata* que existía en el 2001 ha sido sustituida por la de *P. astreoides* y *M. complanata* (Tabla 19). La riqueza de especies en la cresta arrecifal al sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1) en el período 2001-2015 varió entre 4 y 13, donde el 2012 presentó la menor riqueza (Tabla 19).

Tabla 19. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en la cresta arrecifal al sureste del cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1) durante el período 2001-2015.

Especies	Cresta arrecifal al sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)			
	2001	2010	2012	2015
<i>Acropora cervicornis</i>	0	0,7	0	0
<i>Acropora palmata</i>	64,1	2,2	3,2	15,9
<i>Acropora prolifera</i>	9	0	0	0
<i>Agaricia agaricites</i>	0	7,2	0	0
<i>Dichocoenia stokesii</i>	0	1,4	0	1,2
<i>Diploria clivosa</i>	0	2,2	0	0
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	0	0,7	0	0
<i>Diploria strigosa</i>	0	2,9	0	0
<i>Millepora alcicornis</i>	1,3	1,4	0	1,2
<i>Millepora complanata</i>	16,7	19,4	60,8	12,2
<i>Orbicella faveolata</i>	0	1,4	0	1,2
<i>Porites astreoides</i>	6,4	45,3	30,4	67,1
<i>Porites furcata</i>	0	0	5,6	0
<i>Porites porites</i>	2,6	12,2	0	1,2
<i>Siderastrea siderea</i>	0	2,9	0	0
Número de colonias	78	139	125	82
Riqueza de especies	6	13	4	7

En la cresta arrecifal de cayo Sigua predominó en el año 2001 *A. palmata*, y el resto de las especies tuvieron una baja abundancia. Sin embargo, en el 2015 la abundancia de *A. palmata* disminuyó abruptamente hasta en un 80% aproximadamente, acompañado de un notable aumento de *P. astreoides* y *M. complanata*, las que predominaron en este mismo año (Tabla 20). También disminuyó la riqueza de especies entre el 2001 y el 2015 (Tabla 20).

Tabla 20. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en la cresta arrecifal de cayo Sigua (Cy.Si) en los años 2001 y 2015.

Especies	Cresta arrecifal Cayo Sigua (Cy.Si)	
	2001	2015
<i>Acropora palmata</i>	87,2	8,9
<i>Diploria strigosa</i>	0	0
<i>Millepora complanata</i>	2,6	33,3
<i>Orbicella annularis</i>	2,6	0
<i>Orbicella franksi</i>	2,6	0
<i>Porites astreoides</i>	2,6	55,6
<i>Porites porites</i>	0	2,2
<i>Siderastrea siderea</i>	2,6	0
Número de colonias	39	45
Riqueza de especies	6	4

En la cresta arrecifal de cayo Vizcaínos predominó en el año 2001 *A. palmata*, pero en el 2015 no se encontraron colonias vivas de esta especie. En el año 2015, la especie dominante fue *P. astreoides* cuya abundancia aumentó aproximadamente en un 75% entre el 2001 y el 2015. *M. complanata* también incrementó su abundancia en el 2015. De manera general, en el período 2001-2015 las especies *M. complanata* y *P. astreoides* han sustituido a *A. palmata* (Tabla 21). El 2001 presentó mayor riqueza de especies que el 2015 (Tabla 21).

Tabla 21. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en la cresta arrecifal de Vizcaínos en los años 2001 y 2015.

Especies	Cresta arrecifal Vizcaínos (Vi)	
	2001	2015
<i>Acropora palmata</i>	91,1	0
<i>Diploria strigosa</i>	1,8	0
<i>Millepora complanata</i>	3,6	15,4
<i>Orbicella annularis</i>	1,8	0
<i>Porites astreoides</i>	1,8	76,9
<i>Porites porites</i>	0	7,7
Número de colonias	56	26
Riqueza de especies	5	3

La riqueza de especies de corales en las crestas arrecifales evaluadas en el 2015 tuvo una variación espacial significativa (*PERMANOVA*, pseudo-F_(4; 54) = 6,5; p = 0,002). Las menores riquezas de especies se encontraron en Vi y Cy. Si, mientras que las mayores se detectaron en SE-Cy.DP2, S-EC y SE-Cy.DP1, aunque en todas las crestas fue bajo el número promedio de especies por transecto (Fig. 13).

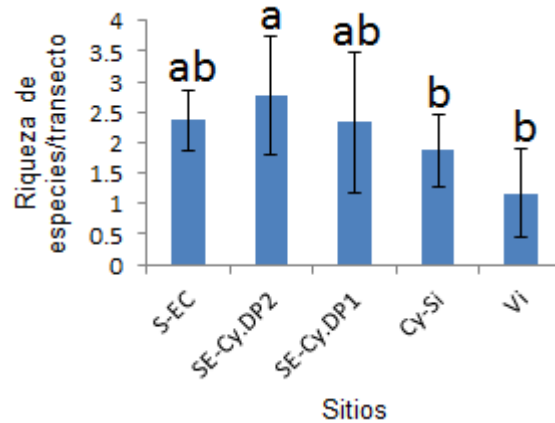


Figura 13. Riqueza de especies de corales por transecto en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos en el 2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

Diámetro, altura y dimensión máximos de corales. Los promedios del diámetro, altura y dimensión máximos de los corales en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos presentaron un comportamiento similar, con tendencia a la disminución en un gradiente de norte a sur. Los tres indicadores evaluados en 2015 variaron espacialmente de manera significativa (*PERMANOVA*, pseudo-F (4; 304) = 12,6; p =0,001; *PERMANOVA*, pseudo-F (4; 304) = 28,9; p =0,001; *PERMANOVA*, pseudo-F (4; 304) = 13,1; p =0,001), con los mayores valores en S-EC y los menores en Vi (Figs. 14, 15 y 16).

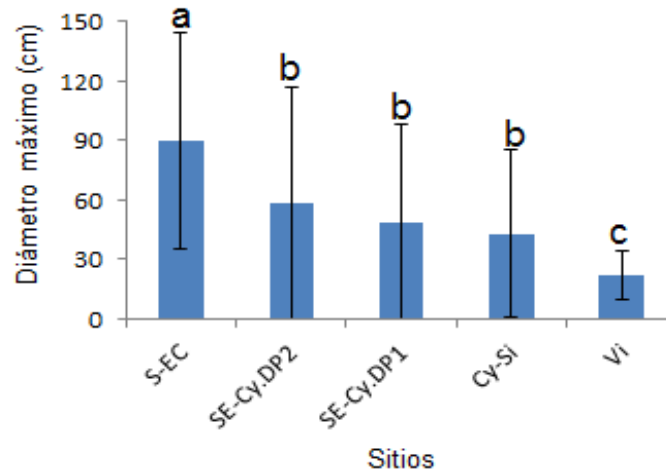


Figura 14. Diámetro máximo de los corales en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos en el 2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

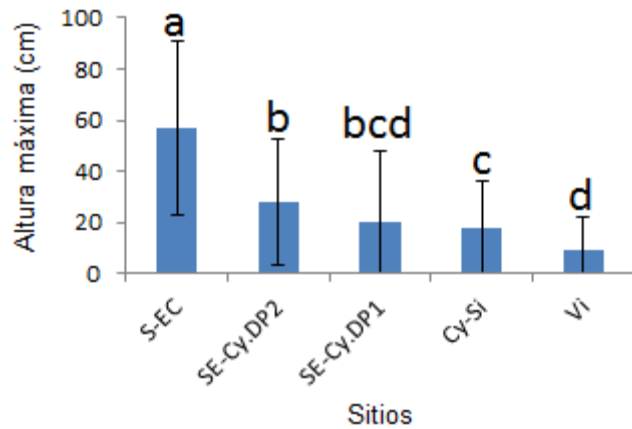


Figura 15. Altura máxima de los corales en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos en el 2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

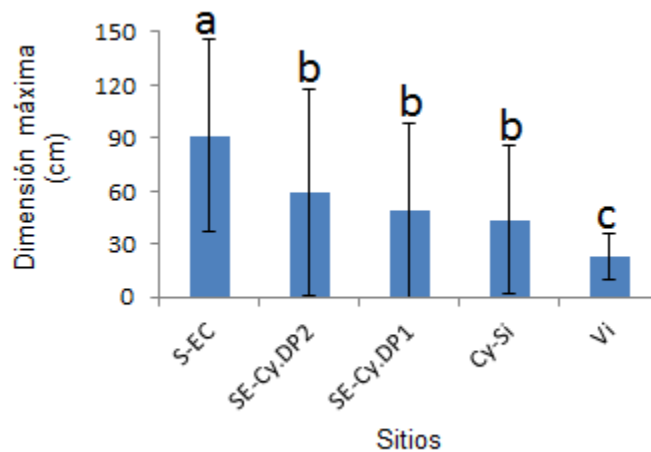


Figura 16. Dimensión máxima de los corales en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos en el 2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

Densidad lineal de corales. La densidad lineal de corales varió significativamente entre las crestas muestreadas en el 2015 en el golfo de Cazonos (*PERMANOVA*, pseudo-F_(4; 54) = 9,4; p = 0,001). Las crestas localizadas más al norte (S-EC, SE-Cy.DP2 y SE-Cy.DP1) presentaron significativamente mayores densidades de corales que las ubicadas hacia el sur (Cy-Si y Vi) (Fig. 17).

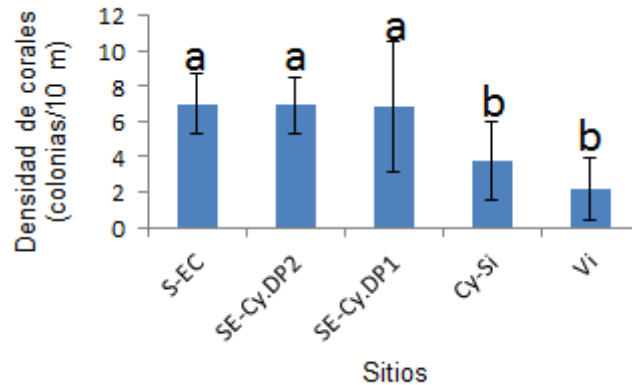


Figura 17. Densidad lineal de corales en las crestas arrecifales del golfo de Cuzones en el 2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

Mortalidades antigua, reciente y total de corales. Las medias de la mortalidad antigua parcial en las crestas del golfo de Cuzones en el 2015 cambiaron de manera significativa entre 4,7% (Vi) y 15,9% (SE-Cy.DP2) (*PERMANOVA*, pseudo-F_(4; 308) = 4,1; p = 0,002) (Fig. 18A). La mortalidad antigua total también mostró una variación espacial significativa entre las crestas evaluadas en el 2015 (*PERMANOVA*, pseudo-F_(4; 313) = 3,3; p = 0,002), fluctuado entre 9,2% (SE-Cy.DP1) y 15,9% (SE-Cy.DP2) (Fig. 18B).

Las medias de la mortalidad reciente en las crestas del golfo de Cuzones en el 2015 variaron significativamente entre 4,5% (SE-Cy.DP2) y 31,3% (S-EC) (*PERMANOVA*, pseudo-F_(4; 313) = 29,5; p = 0,001; Fig. 18C); y la mortalidad total también cambió de manera significativa (*PERMANOVA*, pseudo-F_(4; 313) = 8,4; p = 0,001) entre 13,8% (SE-Cy.DP1) y 46% (S-EC) (Fig. 18D).

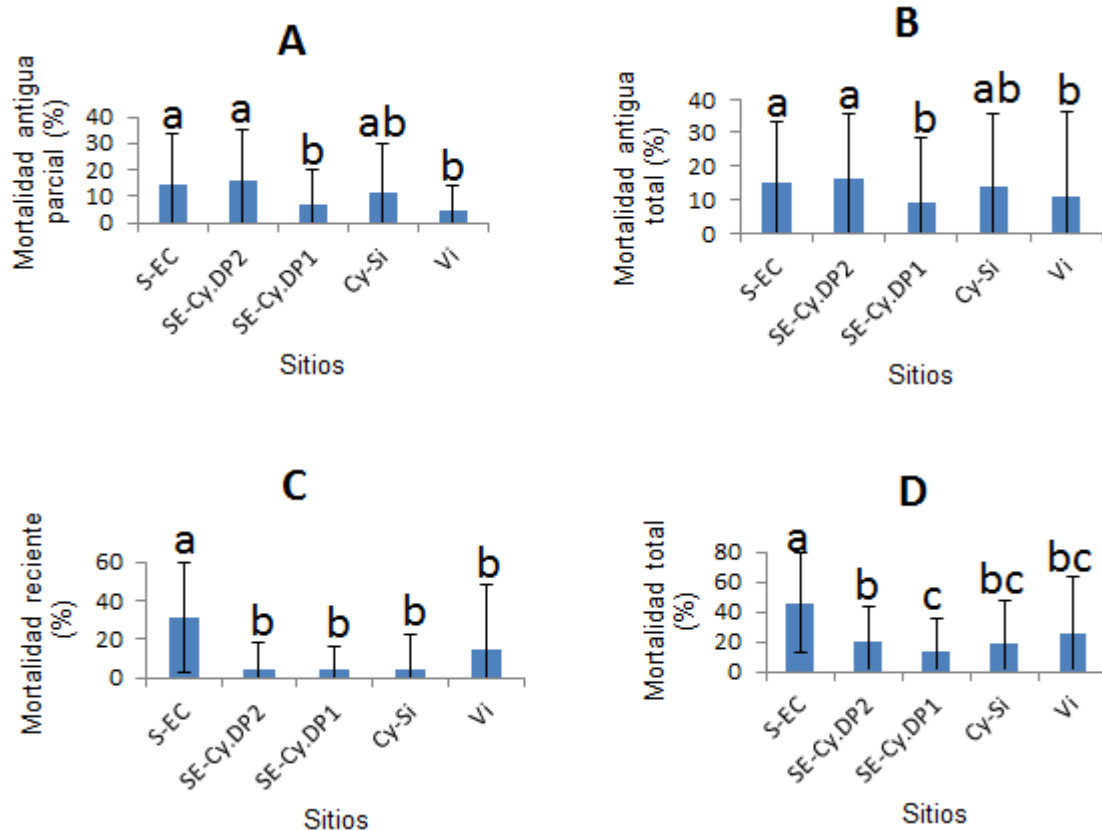


Figura 18. Mortalidades antiguas parcial (A) y total (B), mortalidad reciente (C) y mortalidad total (D) en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos en el 2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

Blanqueamiento y enfermedades microbianas de corales. El porcentaje de corales con blanqueamiento en el período 2001-2012 en las crestas arrecifales evaluadas en el golfo de Cazonos fue nulo. Sin embargo, se detectó un importante evento de blanqueamiento en el 2015, ya que en todas las crestas evaluadas en el golfo de Cazonos se reportaron corales blanqueados. Los mayores porcentajes de corales pálidos (P) se encontraron en SE-Cy.DP2 y Vi, y los menores en S-EC y Cy.Si. El porcentaje de corales parcialmente blanqueados (PB) fue mayor en S-EC, y menor en Cy.Si. El valor más crítico en cuanto al porcentaje de corales totalmente blanqueados (BL) fue encontrado en Vi, y el menor lo presentó S-EC. De manera general, este evento de blanqueamiento fue más intenso en Vi (80,8% de corales blanqueados), seguido por S-EC (76,6%), SE-Cy.DP2 (64,6%), SE-Cy.DP1 (56,1%) y Cy.Si (26,6%) (Tabla 22).

Las enfermedades microbianas en los corales en las crestas arrecifales evaluadas en el golfo de Cazonos en el período 2001-2015 fueron casi nulas; y sólo se detectaron bajos porcentajes de corales con banda blanca y manchas blancas en S-EC (Tabla 22).

Tabla 22. Porcentaje de corales con blanqueamiento y enfermedades microbianas (BB: banda blanca y MB: manchas blancas) en las crestas arrecifales en el período 2001-2015. *No existe información. Las manchas blancas detectadas en los corales no se

podieron diferenciar si fue viruela blanca o la depredación de los moluscos del género *Coralliophila*.

Años	2001	2007	2010	2012	2015			
Blanqueamiento (%)					P	PB	BL	
S-EC (Nirvana)	0	0	0	0	3,9	71,4	1,3	
SE-Cy.DP2	0	*	*	0	24,1	36,7	3,8	
SE-Cy.DP1 (Faro)	0	*	0	0	14,6	35,4	6,1	
Cy. Si	0	*	*	*	4,4	13,3	8,9	
Vi	0	*	*	*	23,1	38,5	19,2	
Enfermedades Microbianas (%)								
Años	2001	2007	2010	2012	2015			
S-EC (Nirvana)	0	2,9 (BB); 4,3 (MB)	1,8 (MB)	0	0			
SE-Cy.DP2	0	*	*	0	0			
SE-Cy.DP1 (Faro)	0	*	0	0	0			
Cy. Si	0	*	*	*	0			
Vi	0	*	*	*	0			

Densidad de reclutas de coral. La densidad de reclutas de corales presentó diferencias significativas entre las crestas arrecifales evaluadas en el golfo de Cazonos en el 2015 (PERMANOVA, pseudo-F_(4; 150) = 5,8; p = 0,002; Fig. 19). El sitio que mayor densidad de reclutas de corales promedió fue SE-Cy.DP1 (12,8 colonias/m²), mientras que el menor fue S-EC (0,5 colonias/m²). En cuanto a su composición por especies predominaron los reclutas de *Agaricia* sp. y *P. astreoides* (Tabla 23).

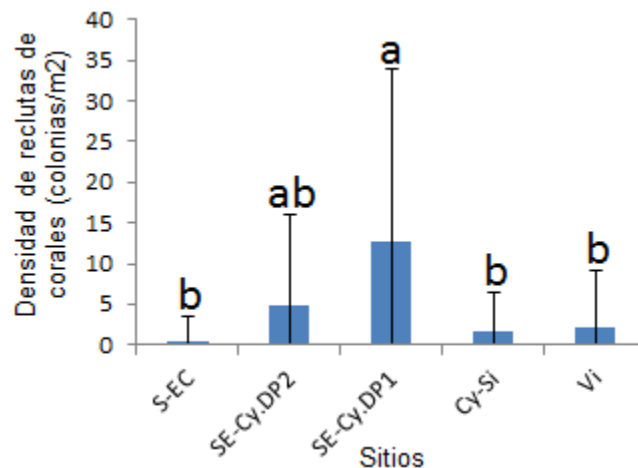


Figura 19. Densidad de reclutas de coral en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos en el 2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

Tabla 23. Abundancia relativa (%) por especies de reclutas de coral en las crestas arrecifales del golfo de Cazonos en el 2015.

Especies	S-EC	SE-Cy.DP2	SE-Cy.DP1	Cy.Si	Vi
<i>Agaricia</i> sp	100	88,9	92,9	0	0

<i>M. complanata</i>	0	0	0	33,3	0
<i>P. astreoides</i>	0	11,1	7,1	66,7	50
<i>P. furcata</i>	0	0	0	0	50

Densidad del erizo negro *D. antillarum*. El análisis de varianza permutacional reveló que la densidad de *D. antillarum* varió de manera significativa entre las crestas arrecifales del golfo de Cazones y entre los años de muestreos dentro de cada cresta arrecifal (Tabla 24). De manera general, la densidad del erizo negro en las crestas arrecifales parece haber aumentado en el 2015 en comparación con el 2001, aunque este incremento sólo fue significativo en S-EC y SE-Cy.DP2 (Fig. 20). Por otra parte, en los muestreos realizados en el 2001 y 2015 en Vi, no se observaron individuos de *D. antillarum* (Fig. 20).

Tabla 24. Análisis de varianza permutacional de la densidad del erizo negro *D. antillarum* (individuo/m²) a partir de un diseño anidado con los factores sitios y años anidados en sitios. Gl: grados de libertad, P: valor de probabilidad asociada y Perms: número de permutaciones.

Factor	Gl	Pseudo-F	P (perms)	Perms
Sitio	4	10,403	0,001	999
Años (sitios)	6	3,4923	0,009	998
Residuales	85			

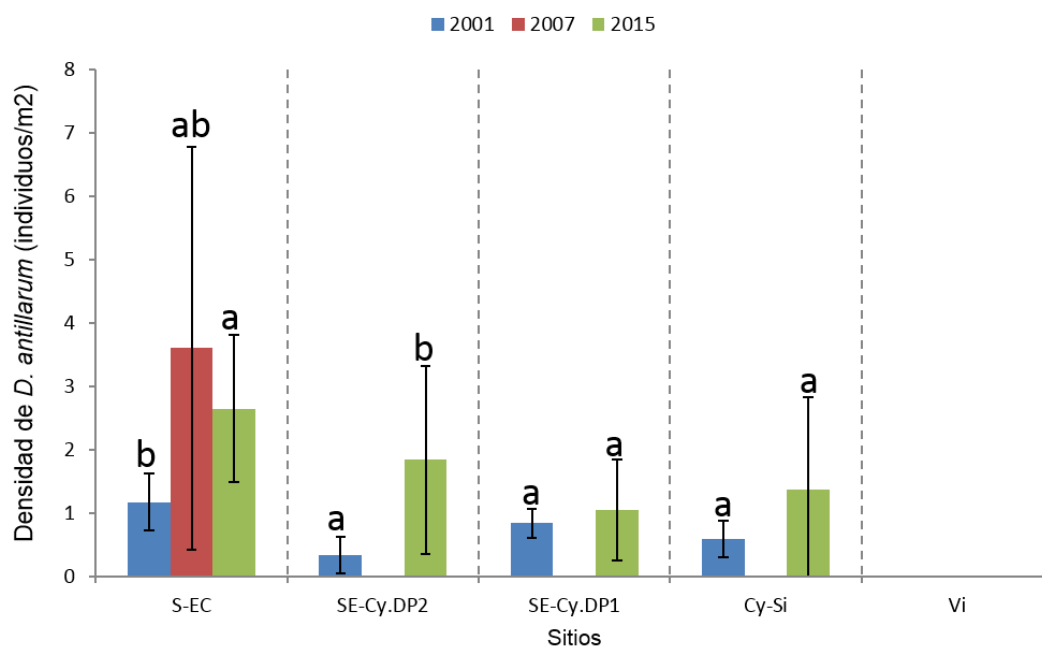


Figura 20. Densidad del erizo negro *D. antillarum* en las crestas arrecifales del golfo de Cazones en el período 2001-2015. Se representa la media ± desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

Cobertura de cianobacterias. La cobertura del fondo por cianobacterias en las crestas arrecifales del golfo de Cazones fue prácticamente nula y no mostró una variación

espacial significativa (*PERMANOVA*, pseudo-F (4; 54) = 0.9; p = 1). Se detectaron cianobacterias sólo en *SE-Cy.DP2*, con 1,8%.

Coberturas, alturas e índices de macroalgas. La cobertura de las macroalgas carnosas varió significativamente entre 0,2% (*S-EC*) y 10,5% (*Vi*) (*PERMANOVA*, pseudo-F (4; 150) = 29,9; p = 0,001; Fig. 21). El sitio *Cy.Si* presentó significativamente la mayor cobertura de macroalgas calcáreas (8,2%) y *S-EC* la menor (0%) (*PERMANOVA*, pseudo-F (4; 150) = 6,5; p = 0,001; Fig. 21). Sin embargo, en este último se registró la mayor cobertura de macroalgas costrosas (44,5%), mientras que en *Vi* (19,8%) se registró la menor y de manera significativa (*PERMANOVA*, pseudo-F (4; 150) = 5,1; p = 0,001; Fig. 21). La cobertura del *turf* varió significativamente entre 0% (*Cy.Si*) y 16,4% (*SE-Cy.DP1*) (*PERMANOVA*, pseudo-F (4; 150) = 32,3; p = 0,001; Fig. 21).

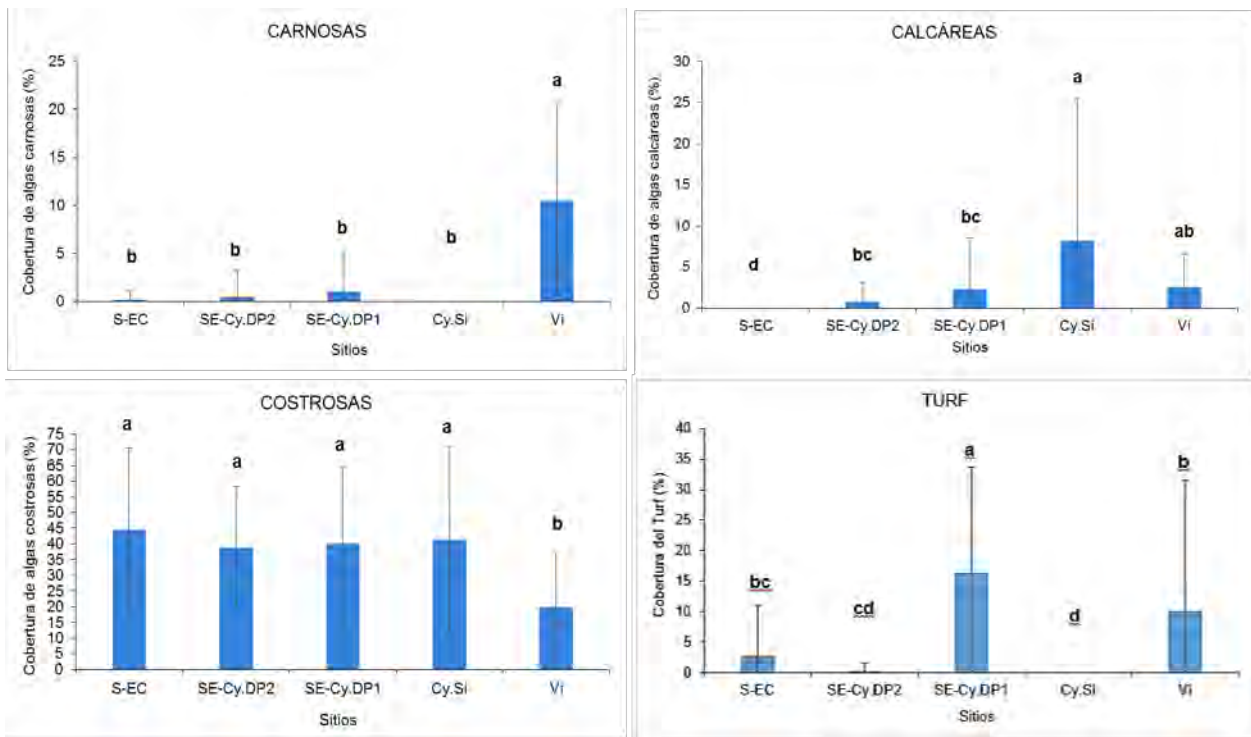


Figura 21. Coberturas de las macroalgas carnosas, calcáreas, costrosas y *turf* en las crestas arrecifales del golfo de Cazones. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

En general, las especies, géneros y entidades encontradas en las crestas del golfo de Cazones son frecuentes y comunes en esta zona ecológica. En las crestas, las especies y entidades con mayor cobertura fueron las algas costrosas coralinas (*ACC*), *Peyssonnelia* sp. y el *turf*. Fue notable el elevado porcentaje de *Peyssonnelia* sp. en el sitio *S-EC* con 34,5%, seguido por *ACC* en *Cy.Si* con 32,3%. El sitio con mayor número de entidades fue *Vi* y los menores valores se registraron en *S-EC*. En el sitio *SE-Cy.DP1* se registraron las mayores coberturas, y los menores valores se encontraron en *SE-Cy.DP2* (Tabla 25).

Tabla 25. Coberturas (%) por especies, géneros y entidades de macroalgas en las crestas arrecifales del golfo de Cazones.

Especies y GMF	S-EC	SE-Cy.DP2	SE-Cy.DP1	Cy.Si	Vi
<i>Amphiroa fragilissima</i>	0	0,5	0,9	0,5	1,3
<i>Dictyota</i> sp.	0	0	0,1	0	0,2
<i>Halimeda opuntia</i>	0	0,2	0	6,3	0,5
<i>Halimeda</i> sp.	0	0	0	1,2	0
<i>Halimeda tuna</i>	0	0,2	0,6	0	0,7
<i>Laurencia</i> sp.	0,2	0,5	0,9	0	4,7
<i>Peyssonnelia</i> sp.	34,5	24,3	20,7	9	12,3
<i>Turbinaria turbinata</i>	0	0	0	0	5,5
Sp. 1 filamentosa roja	0	0,2	0	0	0
ACC	10	15,2	19,1	32,3	7,3
<i>Turf</i>	2,8	0,3	16,4	0	10,2
Número de entidades	4	8	7	5	9
Cobertura total	47,5	41,3	58,7	49,3	42,7

La altura promedio de las macroalgas carnosas varió entre cero (Cy.Si) y 5,2 cm (Vi). En cuanto a las macroalgas calcáreas los mayores valores se registraron en Cy.Si (1,3 cm) y los menores en SE-Cy.DP2 (cero). En Vi se detectó el mayor índice de macroalgas carnosas (55), y respecto al índice de las calcáreas fue en Cy.Si (10,6; Tabla 26).

Tabla 26. Alturas promedio e índices de macroalgas de las crestas arrecifales del golfo de Cazones. Se representa la media \pm desviación estándar. Car = macroalgas carnosas, Cal = macroalgas calcáreas articuladas y Cost = macroalgas costrosas.

Crestas arrecifales	Altura promedio (cm)		Índice de macroalgas	
	Car	Cal	Car	Cal
S-EC	0,1 \pm 0,7	0	0	0
SE-Cy.DP2	0,2 \pm 0,9	0,2 \pm 0,7	0,1	0,2
SE-Cy.DP1	0,3 \pm 1,2	0,7 \pm 2,0	0,3	1,5
Cy.Si	0	1,3 \pm 1,7	0	10,6
Vi	5,2 \pm 5,5	0,9 \pm 1,5	55	2,2

Relieve del fondo. El análisis de varianza permutacional reveló que el relieve del fondo varió de manera significativa entre las crestas arrecifales del golfo de Cazones y entre los años de muestreos dentro de cada cresta arrecifal (Tabla 27). Las comparaciones pareadas realizadas por el PERMANOVA mostraron una disminución significativa en el 2015 en comparación con el 2001, excepto en SE-Cy.DP2. No obstante, en SE-Cy.DP2 el relieve del fondo en el 2015 disminuyó significativamente en comparación con el 2012. La mayor disminución del relieve del fondo se detectó en la cresta Vi, con una reducción de 77,7 cm; seguida por la cresta Cy.Si con una disminución de 62,8 cm (Fig. 22).

Tabla 27. Análisis de varianza permutacional del relieve del fondo a partir de un diseño anidado con los factores sitios y años anidados en sitios. Gl: grados de libertad, P: valor de probabilidad asociada y Perms: número de permutaciones.

Factor	Gl	Pseudo-F	P (perms)	Perms
Sitio	4	14,147	0,001	999

Años (sitios)	8	20,156	0,001	995
Residuales	363			

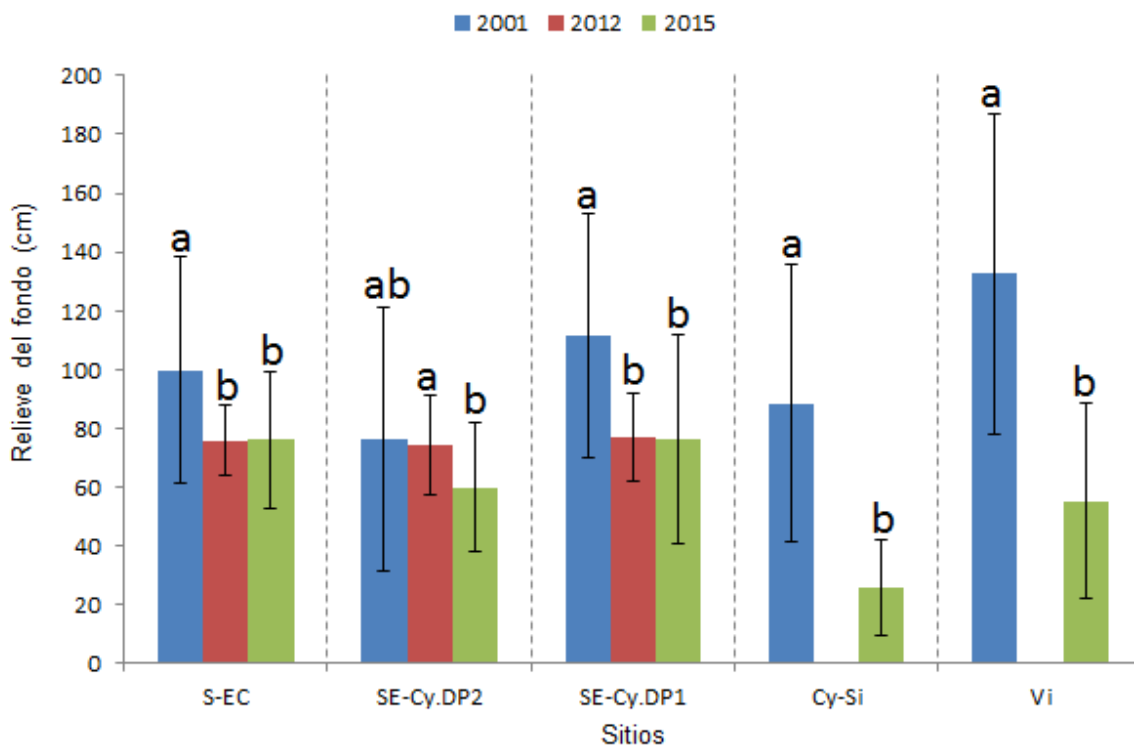


Figura 22. Relieve del fondo en las crestas arrecifales del golfo de Cazones en el período 2001-2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

Densidad, biomasa y talla de las asociaciones de peces. Los valores de densidad de las asociaciones de peces en las cinco crestas arrecifales muestreadas del Golfo Cazones fueron muy similares (Tabla 28). La mayor densidad se encontró en SE-Cy. DP2 (139 ind/100 m²), dado fundamentalmente por un mayor número de peces herbívoros (77 ind/100 m²), en particular de barberos. Le siguió el sitio Vi (101 ind/100 m²), donde los valores se debieron a una mayor densidad de barberos y picúas. De acuerdo a la escala de bioindicadores de Alcolado & Durán (2011), ambos sitios se clasifican como buenos (100-200 ind/100 m²), mientras que las otras tres crestas obtuvieron una clasificación de pobre (50-99,9 ind/100 m²). Las diferencias observadas en la densidad entre las cinco crestas muestreadas en el año 2015 no se reflejaron en el análisis estadístico (pseudof₍₄₎ = 0,63; p = 0,64).

Tabla 28. Densidad (ind/100 m²) y biomasa (g/100 m²) promedios de las asociaciones de peces, de peces carnívoros y de herbívoros y tallas (cm) promedios de loros, pargos y meros en cinco crestas arrecifales del golfo de Cazones. Siglas de los sitios según Tabla 1. Dpeces: densidad, Bpeces: biomasa, Dherb: densidad de peces herbívoros (loros y barberos), Bherb: biomasa de peces herbívoros, Dcarn: densidad de peces carnívoros (roncos, pargos y meros), Bcarn: biomasa de peces carnívoros, Tloros: talla de loros, Tpargos: talla de pargos, Tmeros: talla de meros. La letra se corresponde a la

clasificación de la escala de Alcolado & Durán (2011). C: crítica, P: pobre, R: regular, B: buena, MB: muy buena

Indicador	S-EC	SE-Cy.DP2	SE-Cy.DP1	Cy.Si	Vi
Dpeces (ind/100 m ²)	70 R	139 B	94 R	74 R	101 B
Bpeces (g/100 m ²)	4545,8 P	13736,5 B	8361,9 R	12103,1 B	40972,0 MB
Dherb	23 P	77 B	70 B	42 R	55 B
Bherb	1273,6 P	6397,5 B	5577,8 B	6699,1 B	8624,0 MB
Dcarn	32 P	43 P	4 C	8 C	9 C
Bcarn	2128,8 P	4884,1 R	491,3 C	1568,7 C	2182,0 P
Tloros (cm)	11,6 P	13,8 P	14,2 P	17,9 R	17,0 R
Tpargos (cm)	16,9 P	15 P	16,1 P	17,5 P	19,6 R
Tmeros (cm)	15,5 P	15,5 P	15,5 P	15,5 P	12,2 C

La densidad de herbívoros varió entre 23,4 ind/100 m² en S-EC y 77 ind/100 m² en SE-Cy.DP2, mientras que la densidad de los carnívoros varió entre 4,2 ind/100 m² en SE-Cy.DP1 y 32,2 ind/100 m² en SE-Cy.DP2 (Tabla 28), por lo que la mayoría de los sitios fueron clasificados como pobres o críticos. La clasificación como “buena”, de Vi, SE-Cy.DP2 y SE-Cy.DP1 se debió a la presencia de cardúmenes de barberos en dichas crestas. No se encontraron individuos de pez león en estos arrecifes.

Los cardúmenes de barberos en Cy.Si y SE-Cy.DP2 también afectaron los valores de biomasa en estas crestas, por lo que fueron clasificadas como buenas (12 000-25 000 g/100 m²). Además, un cardumen de aproximadamente 150 picúas en uno de los transectos en Vi determinó que fuera clasificado como muy bueno (> 25 000 g/100 m²). Los sitios SE-Cy.DP1 y S-EC fueron clasificados como regular y pobre, respectivamente. Este patrón de clasificación se mantuvo al analizar por separado los valores de biomasa de herbívoros. Sin embargo, la baja biomasa de carnívoros determinó que todos los sitios fueran clasificados entre regulares y críticos (Tabla 28). Como en estos dos últimos análisis sólo se tienen en cuenta loros, pargos y meros, el efecto del cardumen de picúas no se refleja en estos resultados. No se observaron diferencias significativas en la biomasa entre los cinco sitios (pseudo- $F_{(4)}=2,3$; $p=0,07$).

La talla promedio de loros, pargos y meros estuvo entre 12 y 20 cm en S-EC, SE-Cy.DP2 y SE-Cy.DP2, de ahí que fueran clasificados como pobres. Por el contrario, estos valores variaron en los sitios Cy.Si y Vi, donde la clasificación fue de crítica, pobre y regular (Tabla 28). Se encontraron diferencias significativas en la talla de los loros entre los sitios en 2015 (pseudo- $F_{(4)}=2,95$; $p=0,019$). Las diferencias se encontraron entre Vi respecto a S-EC ($t=3,87$; $p=0,004$), SE-Cy.DP2 ($t=2,51$; $p=0,025$) y SE-Cy.DP1 ($t=2,22$; $p=0,045$), es decir, el resto de los sitios fueron estadísticamente similares. Por el contrario, no se encontraron diferencias entre los sitios en cuanto a la talla de los pargos (pseudo- $F_{(4)}=1,63$; $p=0,147$) y meros (pseudo- $F_{(4)}=0,33$; $p=0,915$).

Al tener en cuenta los muestreos del 2001, no se encontraron diferencias significativas en la densidad entre los sitios (pseudo- $F_{(4)}=1,63$; $p=0,21$), entre los años (pseudo- $F_{(4)}=0,78$; $p=0,54$), ni en la interacción Sitio x Año (pseudo- $F_{(4)}=0,81$; $p=0,52$) (Fig. 23A).

Aunque sin diferencias estadísticas, en la mayoría de los sitios la densidad de los peces ha aumentado desde el 2001. La biomasa fue diferente entre las crestas (pseudo- $F_{(4)}=4,64$; $p=0,002$), pero no entre años (pseudo- $F_{(4)}=0,12$; $p=0,74$) ni en la interacción (pseudo- $F_{(4)}=1,27$; $p=0,3$).

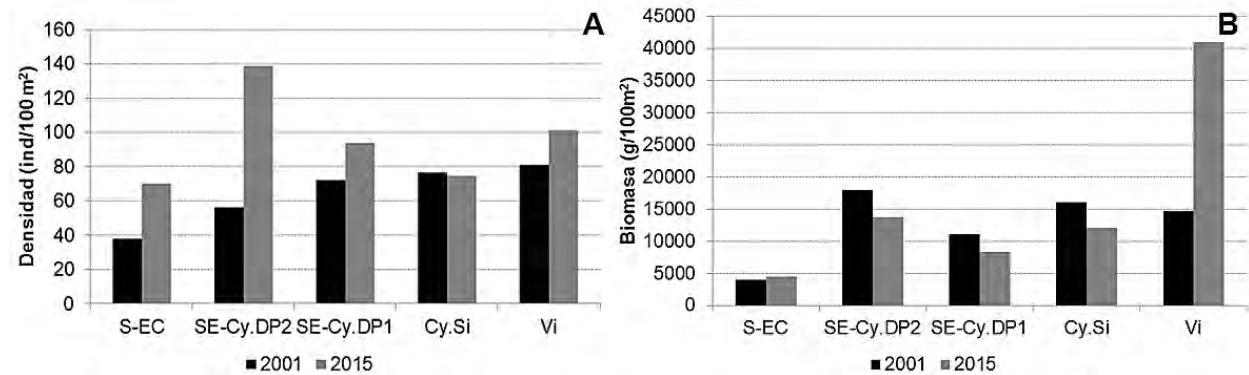


Figura 23. Densidad (ind/100 m²) (A) y biomasa (g/100 m²) (B) de las asociaciones de peces en cinco crestas arrecifales del golfo de Cazonces en 2001 y 2015. Siglas de los sitios según Tabla 1.

Al tener en cuenta los muestreos del 2001, también se encontraron diferencias significativas en la talla de loros entre sitios (pseudo- $F_{(4)}=9,37$; $p=0,0001$), entre los años (pseudo- $F_{(2)}=2,9$; $p=0,0097$) y en la interacción Sitio x Año (pseudo- $F_{(4)}=3,44$; $p=0,003$) (Fig. 24). No se encontraron diferencias significativas en la talla de los pargos entre 2001 y 2015 (pseudo- $F_{(2)}=1,74$; $p=0,21$), pero sí entre sitios (pseudo- $F_{(4)}=1,03$; $p=0,40$). En la interacción Sitio x Año tampoco se encontraron diferencias significativas (pseudo- $F_{(4)}=0,6$; $p=0,66$). Tampoco se encontraron diferencias significativas en la talla de los meros entre años (pseudo- $F_{(4)}=1,6 \cdot 10^{-2}$; $p=0,93$), sitios (pseudo- $F_{(4)}=0,3$; $p=0,89$) ni en la interacción (pseudo- $F_{(4)}=0,5$; $p=0,74$).

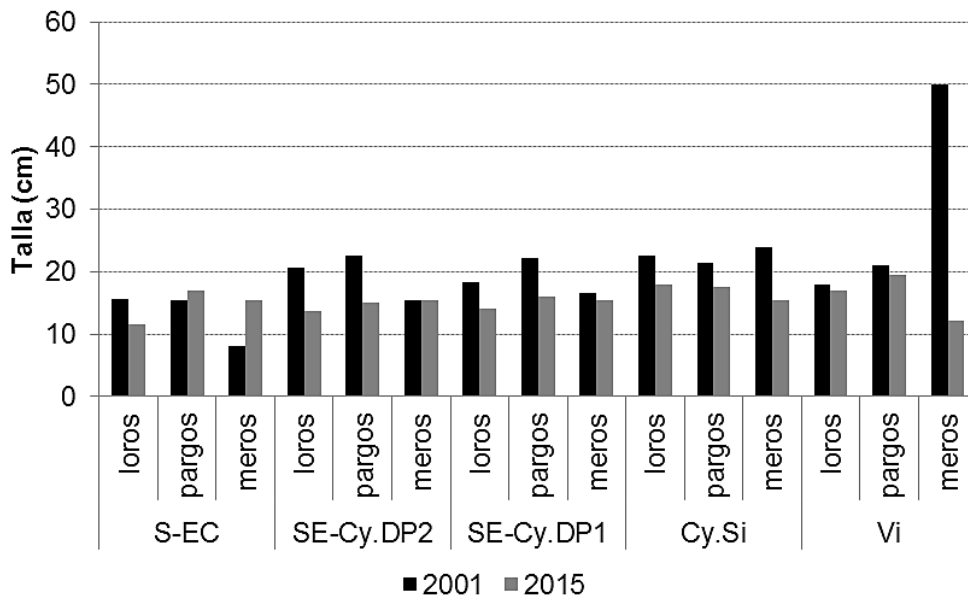


Figura 24. Talla promedio de loros, pargos y meros en cinco crestas arrecifales del golfo de Cazones en 2001 y 2015. Siglas de los sitios según Tabla 1.

Al aplicar el sistema de clasificación y puntajes de los indicadores bentónicos y de las asociaciones de peces, propuesto por Alcolado & Durán (2011), encontramos que por sitios las puntuaciones variaron entre 65 y 77, de acuerdo al cual SE-Cy.DP2 mostró las mejores condiciones y las peores correspondieron a Vi (Fig. 25).

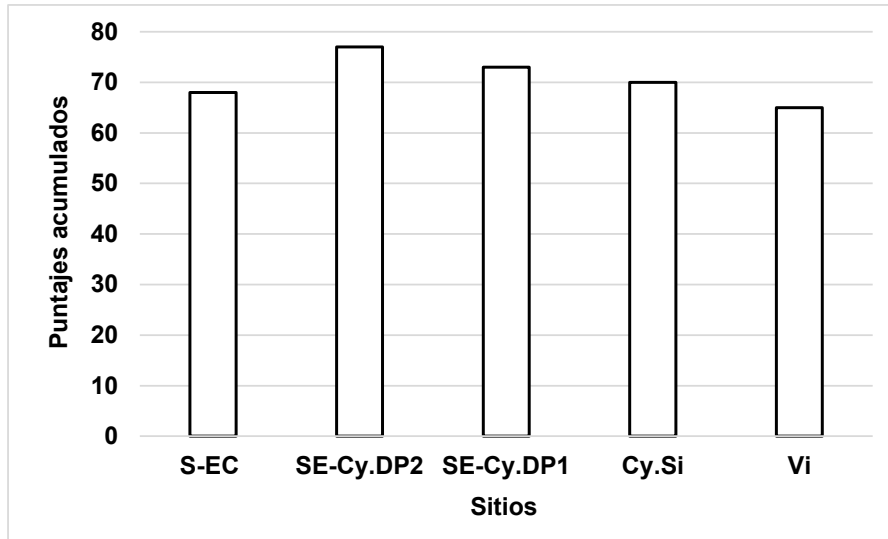


Fig. 25. Valores acumulados de las crestas arrecifales del golfo de Cazones, a partir del sistema de clasificación y puntaje de Alcolado y Durán (2011).

Arrecifes frontales del golfo de Cazones

Coberturas vivas de coral total y relativas por especies. La cobertura viva de coral en el conjunto de arrecifes frontales evaluados en el período 2001-2015 disminuyó significativamente desde un 25,5% (2001) a 9,4% (2015) (*PERMANOVA*, pseudo-F (2; 199) = 91,7; p =0,001). La disminución más abrupta ocurrió entre 2012 y 2015 (Fig. 26).

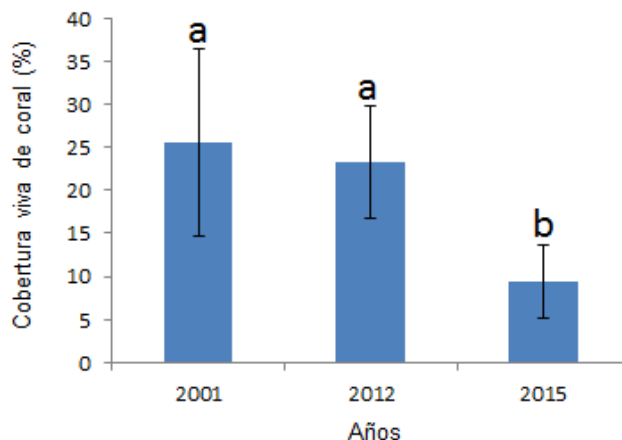


Figura 26. Cobertura viva de coral en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el período 2001-2015. Se representa la media \pm desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.