

El análisis de varianza permutacional reveló que la cobertura viva de coral varió de manera significativa entre los arrecifes frontales del golfo de Cazonos y entre los años de muestreo dentro de cada arrecife frontal (Tabla 29). De manera general, 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 todos los sitios evaluados, excepto en O-EC (primera vez que se muestrea) y en S-EC, donde la cobertura en el 2007 fue similar a la del 2015 (Fig. 27). En el arrecife Cy.BI se reportó la mayor pérdida de tejido coralino con un aproximado del 30% (Fig. 27).

Tabla 29. 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. Gl: grados de libertad, P: valor de probabilidad asociada y Perms: número de permutaciones.

Factor	Gl	Pseudo-F	P (perms)	Perms
Sitio	7	7,8	0,001	995
Años (sitios)	15	18,5	0,001	997
Residuales	233			

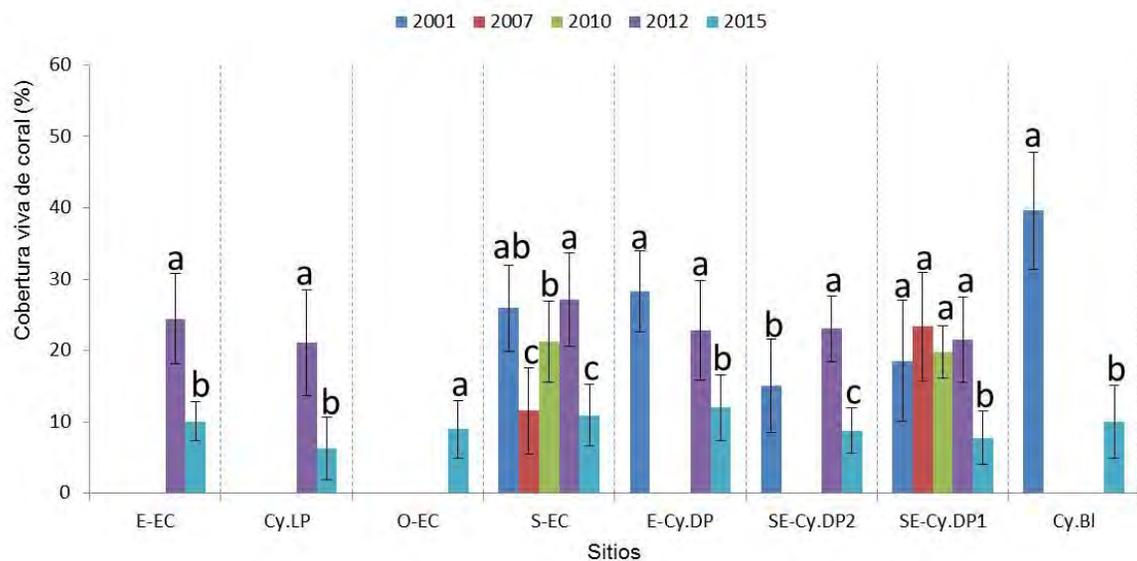


Figura 27. Cobertura viva de coral en los arrecifes frontales del golfo de Cazonos en el período 2001-2015. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

La cobertura viva de coral varió de manera significativa entre los arrecifes frontales evaluados en el 2015 (*PERMANOVA*, pseudo-F<sub>(7; 86)</sub> = 2,4; p = 0,013; Fig. 28). El sitio que mayor cobertura presentó fue E-Cy.DP (12%) y el de menor Cy.LP (6,3%) (Fig. 28).

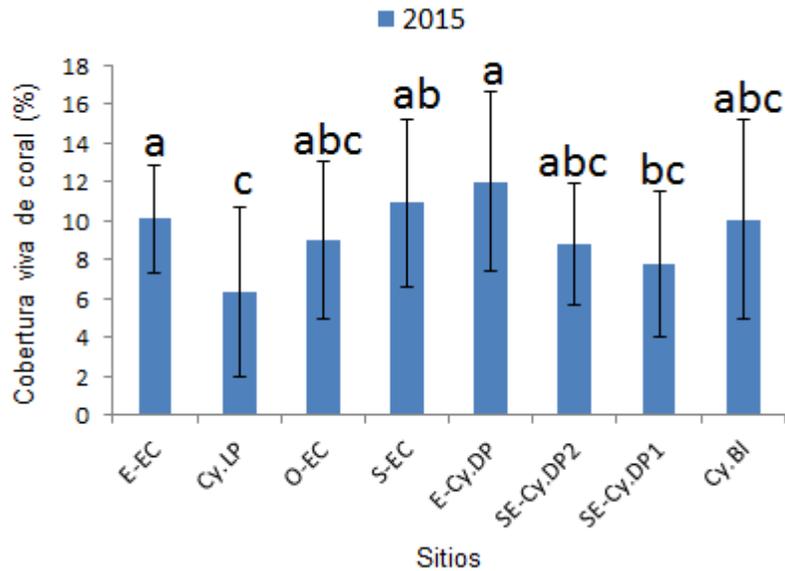


Figura 28. Cobertura viva de coral en los arrecifes frontales del golfo de Cazonos en el año 2015. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

De manera general, en los arrecifes frontales del golfo de Cazonos las especies que predominaron en el 2015 en cuanto a la cobertura viva relativa fueron en ese orden: *Siderastrea siderea*, *Orbicella annularis* (complejo de especies), *Porites astreoides* y *Agaricia agaricites*. La cobertura viva relativa de *A. agaricites* tendió a ser mayor en los sitios ubicados más al sur en el golfo de Cazonos (SE-Cy.DP1 y Cy.BI) en comparación con los localizados más al norte. En Cy.BI, sitio localizado más al sur en este golfo, aumentó la cobertura viva relativa de *Montastraea cavernosa* y disminuyó la de *O. annularis* (complejo de especies), en comparación con el resto de los sitios ubicados más al norte (Tabla 30).

Tabla 30. Coberturas vivas relativas por especies de corales (%) en los arrecifes frontales del golfo de Cazonos en el 2015.

Especies	Arrecifes frontales							
	E-EC	Cy.LP	O-EC	S-EC	E-Cy.DP	SE-Cy.DP2	SE-Cy.DP1	Cy.BI
<i>Agaricia agaricites</i>	8,7	3,8	5,4	2,9	5,3	4,3	18,8	16,8
<i>Colpophyllia natans</i>	0	0	1,1	1,6	0	0	0	1,8
<i>Dichocoenia stokesi</i>	0	3	0	0	0	1,3	0	0,4
<i>Diploria clivosa</i>	0	0	0	0,8	0	0	0	0
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	0	0	0	0	0	0	0	2,2
<i>Eusmilia fastigiata</i>	1	3,6	0	2,9	0	0	0	0
<i>Favia fragum</i>	0	0	0	0,1	0	0	0	0
<i>Madracis mirabilis</i>	0	0	0	0	0	0	0,6	0
<i>Meandrina meandrites</i>	0	0	0	1,2	0	0	0	0
<i>Millepora alcicornis</i>	0	0	0	0,4	0	0	0	1,2
<i>Montastraea cavernosa</i>	1,5	3,6	0	5,6	6,4	7,6	4,6	9,2
<i>Mussa angulosa</i>	0	0	1,1	0	0	0	0	0
<i>Mycetophyllia aliciae</i>	0,5	0	1,1	1	0	0	0	0
<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>	1,3	0	0	0	0	1,2	1,7	0
<i>Orbicella annularis</i>	5,8	13	7	11,6	1,3	2,2	2,3	4,9
<i>Orbicella faveolata</i>	21,3	8	23,3	19,6	32,6	21,9	16,7	7,5
<i>Orbicella franksi</i>	0	0	10,3	3,8	0	0	1,1	0
<i>Orbicella annularis</i> (complejo de especies)	27,1	21	40,5	35	33,9	24,1	20,2	12,4
<i>Porites astreoides</i>	12	19,1	4,5	9,3	13,7	23,6	12,3	5,3
<i>Porites divaricata</i>	0	0	0	0	0	0	0	2,7
<i>Porites furcata</i>	1,2	0	0	1,6	1,3	0,1	0,7	2,4
<i>Porites porites</i>	2,5	1,4	0	2,8	3	1,5	4,8	5,8
<i>Siderastrea siderea</i>	39,6	43,3	44,3	33,4	36,1	34,8	36,1	34
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	4,7	1,2	2,1	1,6	0,4	1,5	0,3	5,8

**Abundancias relativas y riqueza de especies de corales.** En el arrecife frontal al este de la ensenada de Cazonos en los años 2012 y 2015, predominó en términos de abundancia numérica *S. siderea*. En el 2012, además de *S. siderea*, tuvieron una mayor abundancia *A. agaricites*, *S. intersepta*, *O. annularis* (complejo de especies) y *P. astreoides*. En el 2015, se evidenció un notable aumento en un 18,6% la abundancia del complejo de especies *O. annularis*, y solo un 4% la de *P. astreoides*, mientras que disminuyó la abundancia de *A. agaricites* y *S. intersepta* (Tabla 31). La riqueza de especies disminuyó entre el 2012 y el 2015, aunque puede estar influyendo el menor número de colonias contadas (Tabla 31).

Tabla 31. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en el arrecife frontal al este de la ensenada de Cazonos durante el período 2012-2015.

Especies	Arrecife frontal al este de la ensenada de Cazonos (E-EC)	
	2012	2015
<i>Agaricia agaricites</i>	14,6	8,7
<i>Agaricia lamarcki</i>	0,5	0
<i>Colpophyllia natans</i>	2,4	0
<i>Dichocoenia stokesii</i>	0,5	0
<i>Eusmilia fastigiata</i>	0	1,1
<i>Isophyllia sinuosa</i>	0,5	0
<i>Montastraea cavernosa</i>	2,8	1,1
<i>Mycetophyllia aliciae</i>	0	1,1
<i>Mycetophyllia danaana</i>	0,9	0
<i>Orbicella annularis</i>	0	5,4
<i>Orbicella faveolata</i>	6,6	21,7
<i>Orbicella franksi</i>	1,9	0
<i>Orbicella annularis</i> (complejo de especies)	8,5	27,1
<i>Porites astreoides</i>	8	12
<i>Porites furcata</i>	6,1	5,4
<i>Porites porites</i>	1,9	3,3
<i>Siderastrea radians</i>	3,8	0
<i>Siderastrea siderea</i>	41	37
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	8,5	3,3
<b>Número de colonias</b>	212	92
<b>Riqueza de especies</b>	15	11

De manera general, en Cayo Los Pinos las especies predominantes entre el 2012 y el 2015 fueron: *S. siderea*, *P. astreoides* y el complejo de especies *O. annularis*. En el período 2012-2015, aumentó la abundancia de *A. agaricites*, *O. annularis* (complejo de especies) y *S. siderea*, mientras que disminuyó *P. astreoides* y *S. intersepta*. Las especies restantes presentaron muy baja abundancia o fue nula en algunos casos (Tabla 32). Al igual que en E-EC, la riqueza de especies y el número de colonias contadas en el 2015 fue menor que en el 2012 (Tabla 32).

Tabla 32. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en el arrecife frontal de cayo Los Pinos (Cy.LP) en los años 2012 y 2015.

Especies	Arrecife frontal de Cayo Los Pinos (Cy.LP)	
	2012	2015
<i>Agaricia agaricites</i>	5,03	7,4
<i>Agaricia lamarcki</i>	1,12	0
<i>Agaricia tenuifolia</i>	0,6	0
<i>Dichocoenia stokesii</i>	0,6	2,9
<i>Eusmilia fastigiata</i>	0,6	2,9
<i>Meandrina meandrites</i>	0,6	0
<i>Millepora alcicornis</i>	0,6	0
<i>Montastraea cavernosa</i>	1,7	1,5
<i>Musa angulosa</i>	0,6	0
<i>Orbicella annularis</i>	0,6	13,2
<i>Orbicella faveolata</i>	12,9	8,8
<i>Orbicella franksi</i>	2,2	0
<i>Orbicella annularis</i> (complejo de especies)	15,7	22
<i>Porites astreoides</i>	20,7	17,6
<i>Porites furcata</i>	2,2	0
<i>Porites porites</i>	1,1	1,5
<i>Siderastrea siderea</i>	39,7	42,6
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	9,5	1,5
Número de colonias	179	68
Riqueza de especies	17	10

Las mayores abundancias relativas al oeste de la ensenada de Cazonos (O-EC) lo presentaron: *S. siderea*, el complejo de especies *O. annularis* y *A. agaricites*. Las otras especies encontradas presentaron baja abundancia, y sólo se registraron 10 especies (Tabla 33).

Tabla 33. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en el arrecife frontal al oeste de la ensenada de Cazonos (O-EC) en el 2015.

Especies	Arrecife frontal al oeste de la ensenada de Cazonos (O-EC)
	2015
<i>Agaricia agaricites</i>	10,4
<i>Colpophyllia natans</i>	1,3
<i>Musa angulosa</i>	1,3
<i>Mycetophyllia aliciae</i>	1,3
<i>Orbicella annularis</i>	7,8
<i>Orbicella faveolata</i>	23,4
<i>Orbicella franksi</i>	6,5
<i>Orbicella annularis</i> (complejo de especies)	37,7
<i>Porites astreoides</i>	5,2
<i>Siderastrea siderea</i>	40,3
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	2,6

Número de colonias	77
Riqueza de especies	10

De modo general, en el arrecife frontal al sur de la ensenada de Cazonos (S-EC) en el período 2001-2015 predominaron: *O. annularis* (complejo de especies), *S. siderea* y *P. astreoides*. Entre 2001 y 2010, el predominio de *O. annularis* (complejo de especies) fue desplazado por el incremento de las especies *S. siderea* y *P. astreoides*. Sin embargo, a partir del 2012 se observa una recuperación del complejo de especies *O. annularis*, llegando a alcanzar en el 2015, la mayor abundancia relativa en el período 2001-2015. Por otra parte, entre 2012 y 2015 ocurrió una disminución en la abundancia de *P. astreoides*, pero no sucedió de la misma manera para *S. siderea*. La abundancia de *S. siderea* en el 2012 fue la menor para el período 2001-2015, pero en el 2015 se observó un incremento notable de su abundancia. Es importante señalar, que *A. cervicornis* ha estado prácticamente ausente en el período 2001-2015 (Tabla 34). La mayor riqueza de especies se detectó en el 2010, y sus menores valores en el 2007 y 2015. En el 2015, se contaron la misma cantidad de colonias que en el 2001, y sin embargo, se registraron dos especies menos (Tabla 34).

Tabla 34. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en el arrecife frontal al sur de la ensenada de Cazonos (S-EC) en el período 2001-2015.

Especies	Arrecife frontal al sur de la ensenada de Cazonos (S-EC)				
	2001	2007	2010	2012	2015
<i>Acropora cervicornis</i>	1	0	0	0	0
<i>Agaricia agaricites</i>	6,1	6,8	4	7,9	4
<i>Agaricia tenuifolia</i>	0	0	0	0,5	0
<i>Colpophyllia natans</i>	2,0	1,0	0	1,6	1
<i>Dichocoenia stokesii</i>	0,0	1,9	0,7	0,5	0
<i>Diploria clivosa</i>	0	0	0	0	1
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	2,0	0,0	1,3	0	0
<i>Diploria strigosa</i>	4,0	1,9	0,7	0	0
<i>Eusmilia fastigiata</i>	0	0	0,7	1,1	2
<i>Isophyllia sinuosa</i>	0	1	0	0	0
<i>Manicina areolata</i>	0	0	1,3	0	0
<i>Madracis decactis</i>	0	0	0,7	0,5	0
<i>Madracis mirabilis</i>	1	0	0	2,1	0
<i>Meandrina meandrites</i>	1	1	0,7	0	1
<i>Millepora alcicornis</i>	1	0	1,3	1,6	1
<i>Montastraea cavernosa</i>	6,1	5,8	8,1	0,5	4
<i>Musa angulosa</i>	0	1	0	0	0
<i>Mycetophyllia</i> sp.	2	0	0	0	0
<i>Mycetophyllia aliciae</i>	0	0	0	0,5	0
<i>Mycetophyllia danaana</i>	0	0	2	0	0
<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>	0	0	0,7	0	0
<i>Orbicella annularis</i>	13,1	5,8	6	6,3	14,1
<i>Orbicella faveolata</i>	15,2	7,8	7,4	19,4	22,2
<i>Orbicella franksi</i>	10,1	9,7	0,7	12	3
<i>Orbicella annularis</i> (complejo de especies)	38,4	23,3	14,1	37,7	39,3
<i>Porites astreoides</i>	9,1	21,4	20,1	26,2	12,1
<i>Porites furcata</i>	0,0	2,9	7,4	2,6	3
<i>Porites porites</i>	6,1	1,9	4	5,8	4
<i>Siderastrea siderea</i>	17,2	30,1	30,9	7,9	25,3
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	3,0	0	1,3	3,1	2
<b>Número de colonias</b>	99	103	149	191	99
<b>Riqueza de especies</b>	17	15	20	18	15

En el arrecife frontal al este del cayo Diego Pérez (E-Cy.DP) las especies de mayor abundancia en el período 2001-2015 fueron en este orden: *S. siderea*, *O. annularis* (complejo de especies) y *P. astreoides*. El predominio de *O. annularis* (complejo de especies) entre el 2001 y el 2012 disminuyó hasta 6 veces, mientras que la abundancia relativa de la especie oportunista *S. siderea* se duplicó, el de *Stephanocoenia intersepta* (Lamarck, 1816) se incrementó hasta más de 10 veces y el de *P. astreoides* se mantuvo relativamente constante. Sin embargo, entre el 2012 y el 2015, *O. annularis* (complejo de especies) mostró recuperación en su abundancia, pero sin alcanzar los valores que tenía en el 2001, mientras que no se observó colonias de *S. intersepta*. No obstante, la abundancia relativa de *S. siderea* y *P. astreoides* entre 2012 y 2015 aumentaron. Incluso para ambas especies en el 2015 se alcanzaron sus mayores abundancias durante el período 2001-2015. A pesar de observar una recuperación en la abundancia de *O. annularis*, ha cambiado el patrón de predominio de las especies en el período 2001-2015, ya que se incrementó notablemente la abundancia de *S. siderea* en el último año (Tabla 35). La riqueza de especies de corales disminuyó hasta ocho especies en el 2015, al compararla con el 2001, ya que en ambos años se contó la misma cantidad de colonias. En el 2012 se detectó el mayor número de especies, lo que puede estar influenciado por la cantidad de colonias contadas (Tabla 35).

Tabla 35. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en el arrecife frontal al este del cayo Diego Pérez (E-Cy.DP) en el período 2001-2015.

Especies	Arrecife frontal al este del cayo Diego Pérez (E-Cy.DP)		
	2001	2012	2015
<i>Agaricia agaricites</i>	4,5	13,2	9
<i>Agaricia lamarcki</i>	0	1,9	0
<i>Agaricia tenuifolia</i>	0	3,9	0
<i>Colpophyllia natans</i>	1,1	1,5	0
<i>Dichocoenia stokesii</i>	0	0,5	0
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	2,2	0	0
<i>Diploria strigosa</i>	2,2	0	0
<i>Eusmilia fastigiata</i>	0	0,5	0
<i>Helioseris cucullata</i>	0	0,5	0
<i>Isophyllia sinuosa</i>	0	1,9	0
<i>Manicina areolata</i>	0	0,5	0
<i>Meandrina meandrites</i>	0	0,9	0
<i>Millepora alcicornis</i>	3,4	0,9	0
<i>Montastraea cavernosa</i>	10,1	4,4	4,5
<i>Musa angulosa</i>	0	0,5	0
<i>Mycetophyllia sp.</i>	1,1	0	0
<i>Mycetophyllia danaana</i>	2,2	0	0
<i>Orbicella annularis</i>	4,5	0	1,1
<i>Orbicella faveolata</i>	21,3	6,4	24,7
<i>Orbicella franksi</i>	15,7	0,5	0
<i>Orbicella annularis</i> (complejo de especies)	41,5	6,9	25,8
<i>Porites astreoides</i>	10,1	9,8	13,5
<i>Porites furcata</i>	0	1,9	2,2
<i>Porites porites</i>	3,4	1,5	3,4
<i>Scolymia cubensis</i>	1,1	0	0
<i>Siderastrea radians</i>	0	1,9	0
<i>Siderastrea siderea</i>	15,7	33,8	41,6
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	1,1	12,8	0
<b>Número de colonias</b>	89	204	89
<b>Riqueza de especies</b>	16	21	8

La abundancia relativa de *S. siderea* y *P. astreoides* se incrementó entre el 2001 y 2015 en el arrecife frontal al sureste del cayo Diego Pérez 2, en detrimento de la abundancia de *O. annularis* (complejo de especies) y *A. agaricites*. El patrón de predominio de las especies entre 2001 y 2015 ha cambiado, ya que en el 2001 dominó el complejo de especies *O. annularis* (Tabla 36). La riqueza de especies y número de colonias contadas fue mayor en el 2012 que en los restantes años muestreados (Tabla 36).

Tabla 36. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en el arrecife frontal al sureste de cayo Diego Pérez 2 en el período 2001-2015.

Especies	Arrecife frontal al sureste de cayo Diego Pérez 2 (SE-Cy.DP2)		
	2001	2012	2015
<i>Acropora cervicornis</i>	0	0,5	0
<i>Agaricia agaricites</i>	9,5	8,0	6,8
<i>Agaricia tenuifolia</i>	0,0	2,0	0
<i>Colpophyllia natans</i>	1,2	0,5	0
<i>Dichocoenia stokesii</i>	0	0,5	1,4
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	1,2	1,0	0
<i>Diploria strigosa</i>	1,2	0	0
<i>Eusmilia fastigiata</i>	0	0,5	0
<i>Isophyllia sinuosa</i>	0	0,5	0
<i>Madracis mirabilis</i>	2,4	0,5	0
<i>Millepora alcicornis</i>	0	1	0
<i>Montastraea cavemosa</i>	4,8	2,5	5,4
<i>Mycetophyllia danaana</i>	0	0,5	0
<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>	0	0,5	2,7
<i>Orbicella annularis</i>	23,8	11	4,1
<i>Orbicella faveolata</i>	6	15	18,9
<i>Orbicella franksi</i>	9,5	3	0
<i>Orbicella annularis</i> (complejo de especies)	39,3	29,0	23
<i>Porites astreoides</i>	19,0	14,5	27
<i>Porites divaricata</i>	1,2	0	0
<i>Porites furcata</i>	1,2	2,5	1,4
<i>Porites porites</i>	3,6	5,5	2,7
<i>Siderastrea radians</i>	0	0,5	0
<i>Siderastrea siderea</i>	11,9	24,5	28,4
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	3,6	5,0	1,4
<b>Número de colonias</b>	84	200	74
<b>Riqueza de especies</b>	15	22	11

En el arrecife frontal al sureste del cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1), el predominio de *O. annularis* (complejo de especies) disminuyó entre el 2001 y el 2007, mientras que aumentó la abundancia relativa de las especies oportunistas *S. siderea* y *P. astreoides* (Tabla 37). No obstante, la abundancia relativa de *O. annularis* ha tendido a recuperarse entre el 2007 y el 2015 (aunque sin alcanzar el predominio que tuvo en el 2001), pero la de *S. siderea* y *P. astreoides* en el período 2007-2015 continúa siendo más elevada que en el 2001 (Tabla 37). La riqueza de especie fue mayor en los años 2010 y 2012, lo que coincide con la mayor cantidad de colonias contadas. Además, existió una disminución de ocho especies de corales al comparar los años 2001 y 2015 (Tabla 37).

Tabla 37. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en el arrecife frontal al sureste de cayo Diego Pérez 1 en el período 2001-2015.

Especies	Arrecife frontal al sureste de cayo Diego Pérez 1 (SE-Cy.DP1)				
	2001	2007	2010	2012	2015
<i>Acropora cervicornis</i>	2,5	0	0	0	0
<i>Agaricia agaricites</i>	13,9	22,6	23,9	16,7	28,9
<i>Agaricia grahamae</i>	0	0	0,6	0	0
<i>Agaricia lamarcki</i>	0	1,6	1,1	0	0
<i>Agaricia tenuifolia</i>	0	0	0,6	1,7	0
<i>Colpophyllia natans</i>	2,5	0	0,6	0,6	0
<i>Dichocoenia stokesii</i>	0	0	0,6	0,6	0
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	2,5	0	0,6	1,2	0
<i>Diploria strigosa</i>	0	0	0,6	0	0
<i>Eusmilia fastigiata</i>	1,3	0	0,6	0,6	0
<i>Helioseris cucullata</i>	0	0	0	1,2	0
<i>Isophyllia sinuosa</i>	0	1,6	0	0	0
<i>Madracis decactis</i>	0	1,6	0,6	0,6	0
<i>Madracis mirabilis</i>	1,3	0	0,6	0	1,2
<i>Manicina areolata</i>	0	0	2,2	1,2	0
<i>Meandrina meandrites</i>	0	0	0	0,6	0
<i>Millepora alcicornis</i>	1,3	4,8	0	3,5	0
<i>Montastraea cavernosa</i>	7,6	0	3,9	1,2	3,6
<i>Musa angulosa</i>	0	1,6	0	0	0
<i>Mycetophyllia danaana</i>	2,5	0	0,6	0	0
<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>	1,3	0	1,1	0	1,2
<i>Orbicella annularis</i>	13,9	6,5	13,3	7,5	2,4
<i>Orbicella faveolata</i>	5,1	6,5	6,1	13,2	16,9
<i>Orbicella franksi</i>	7,6	0	3,9	1,2	1,2
<i>Orbicella annularis</i> (complejo de especies)	26,6	13	23,3	21,9	20,5
<i>Porites</i> sp.	1,3	0	0	0	0
<i>Porites astreoides</i>	5,1	8,1	10	12,6	9,6
<i>Porites furcata</i>	1,3	0	1,1	2,9	2,4
<i>Porites porites</i>	11,4	4,8	3,3	5,2	7,2
<i>Scolymia lacera</i>	0	0	0,6	0	0
<i>Siderastrea radians</i>	0	0	0,6	0,6	0
<i>Siderastrea siderea</i>	15,2	35,5	20	22,9	25,3
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	2,5	4,8	3,3	4,6	0
<b>Número de colonias</b>	79	62	180	174	83
<b>Riqueza de especies</b>	19	12	25	21	11

En el arrecife frontal de Cayo Blanco el predominio de las especies ha variado entre los años 2001 y 2015. La especie más abundante en el año 2001 fue *O. annularis* (complejo de especie), seguida por *P. astreoides* y *A. agaricites*. Sin embargo, en el 2015 la abundancia de *O. annularis* (complejo de especies) disminuyó casi cuatro veces, y *S. siderea* pasó a ser la especie predominante, con un incremento de hasta tres veces su valor inicial. *A. agaricites* duplicó su abundancia en el 2015 con respecto al 2001, mientras que la de *P. astreoides* disminuyó. Es importante señalar que no se observaron colonias de *A. cervicornis* en el 2015 (Tabla 38). La riqueza de especies y número de colonias contadas fue mayor en el 2001 que en el 2015 (Tabla 38).

Tabla 38. Abundancias relativas (%) y riqueza de especies de corales en el arrecife frontal al sureste de cayo Blanco en los años 2001 y 2015.

Especies	Arrecife frontal de cayo Blanco (Cy.BI)	
	2001	2015
<i>Acropora cervicornis</i>	2,9	0
<i>Agaricia agaricites</i>	10,8	19,8
<i>Colpophyllia natans</i>	1,4	1
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	3,6	2
<i>Eusmilia fastigiata</i>	0,7	0
<i>Madracis sp.</i>	0,7	0
<i>Madracis decactis</i>	0,7	0
<i>Millepora alcicornis</i>	0	3
<i>Millepora complanata</i>	0,7	0
<i>Montastraea cavernosa</i>	7,9	10,9
<i>Orbicella annularis</i>	25,2	4
<i>Orbicella faveolata</i>	10,8	6,9
<i>Orbicella franksi</i>	2,2	0
<i>Orbicella annularis</i> (complejo de especies)	38,2	10,9
<i>Porites astreoides</i>	15,1	6,9
<i>Porites divaricata</i>	0	2
<i>Porites furcata</i>	0	3
<i>Porites porites</i>	3,6	5,9
<i>Siderastrea siderea</i>	9,4	30,7
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	4,3	4
<b>Número de colonias</b>	<b>139</b>	<b>101</b>
<b>Riqueza de especies</b>	<b>16</b>	<b>13</b>

La riqueza de especies de corales en los arrecifes frontales evaluadas en el 2015 tuvo una variación espacial significativa (PERMANOVA, pseudo-F (7; 86)= 3,2; p= 0,004). El número promedio de especies de corales por transecto varió entre 3,4 (Cy.LP) y 5,4 (S-EC) (Fig. 29).

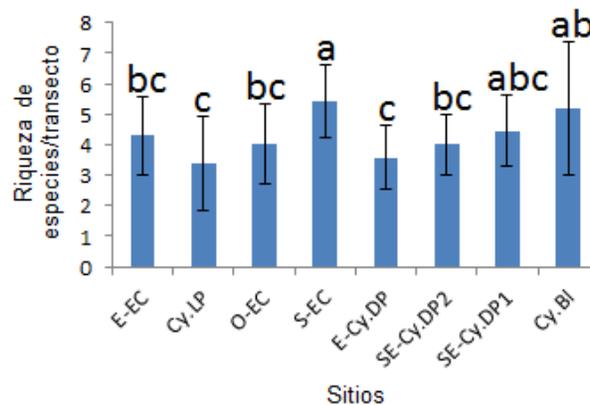


Figura 29. Riqueza de especies de corales por transecto en los arrecifes frontales del golfo de Cazonos en el 2015. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

**Diámetro, altura y dimensión máximos de corales.** El diámetro máximo de los corales en los arrecifes frontales evaluados en el 2015 mostró una variación espacial significativa (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 668)= 2,6; p =0,021). Los valores promedio fluctuaron entre 17,8 y 25,3 cm (Cy.LP y E-Cy.DP, respectivamente; Fig. 30). El promedio de la altura máxima de los corales también cambió de manera significativa (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 668) = 2,1; p =0,039) entre 7,8 cm (E-EC) y 11,8 cm (S-EC) (Fig. 31). Así mismo, la dimensión máxima de los corales varió significativamente (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 668)= 2,0; p =0,048) entre 19 y 25,4 cm (Cy.LP y E-Cy.DP respectivamente; Fig. 32).

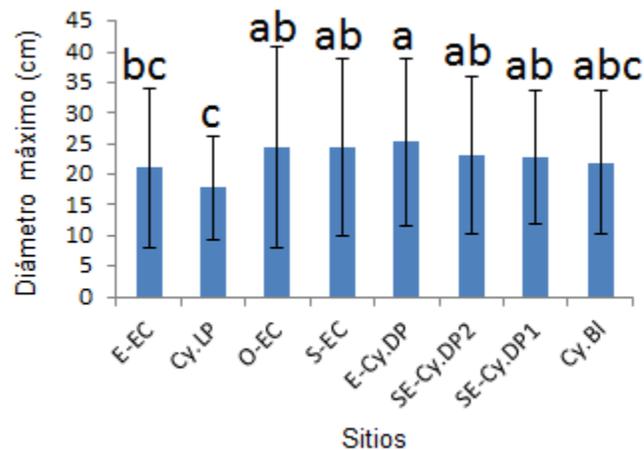


Figura 30. Diámetro máximo de los corales en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el 2015. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

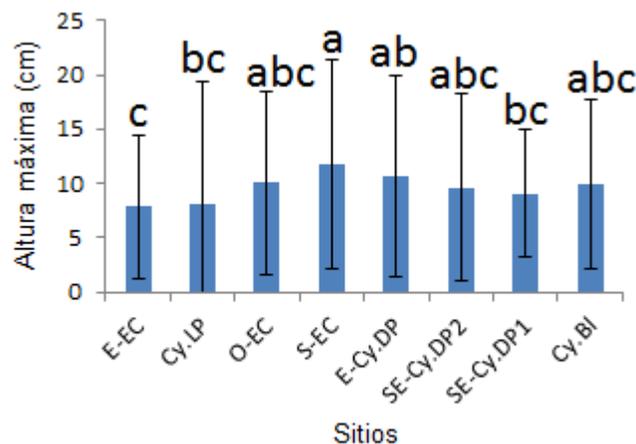


Figura 31. Altura máxima de los corales en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el 2015. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

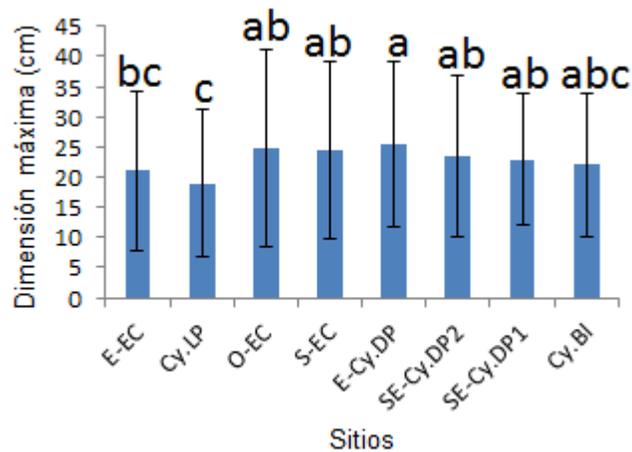


Figura 32. Dimensión máxima de los corales en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el 2015. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

**Densidad lineal de corales.** La densidad lineal de corales no presentó diferencias significativas entre los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el 2015 (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 86)= 1,6; p =0,168; Fig. 24), variando entre 6,2 y 9,3 colonias/10 m (Cy.LP y E-EC; respectivamente) (Fig. 33).

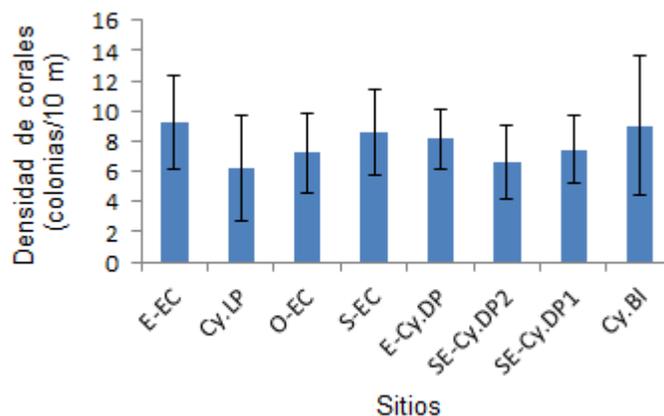


Figura 33. Densidad lineal de corales en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el 2015. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar.

**Mortalidades antigua, reciente y total de corales.** Las medias de la mortalidad antigua parcial en los arrecifes frontales del golfo de Cazones variaron entre 9,9% (Cy.BI) y 15,9% (E-EC), aunque sin presentar diferencias significativas entre los sitios (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 674)= 1,7; p =0,081; Fig. 34A). La mortalidad antigua total tampoco presentó diferencias significativas entre los sitios (*PERMANOVA*, pseudo-F (6; 674)= 1,7; p =0,09), y fluctuó entre 9,9% (Cy.BI) y 15,9% (E-EC) (Fig. 34B).

Las medias de la mortalidad reciente en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el 2015 oscilaron entre 0% (E-EC, Cy.LP y S-EC) y 1,2% (E-Cy.DP), aunque tampoco mostraron variación espacial significativa (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 674)= 1,1; p = 0,352;

Fig. 34C). Por otro lado, la mortalidad total de corales sí tuvo diferencias significativas entre sitios durante el 2015 (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 674)= 1,8; p =0,048), y fluctuó entre 10% (Cy.BI) y 15,9% (E-EC) (Fig. 34D).

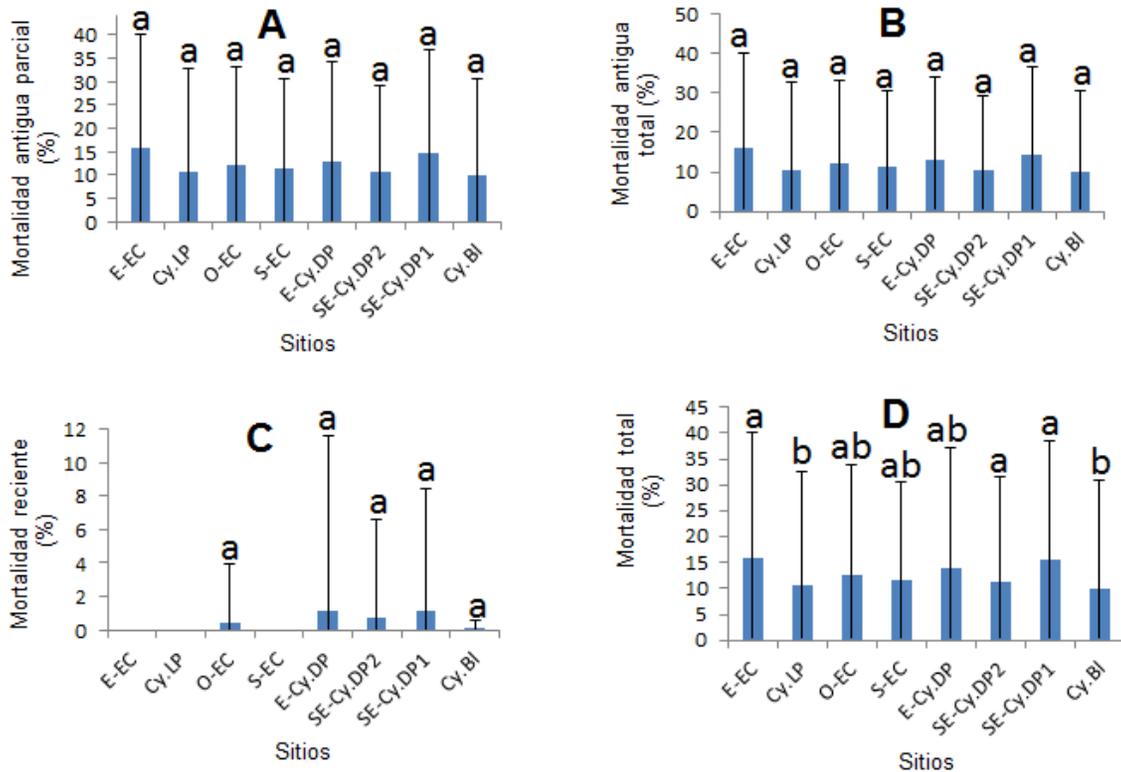


Figura 34. Mortalidades antigua parcial (A) y total (B), mortalidad reciente (C) y mortalidad total (D) de los corales en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el 2015. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

**Blanqueamiento y enfermedades microbianas de corales.** El porcentaje de corales con blanqueamiento en el período 2001-2012 en los arrecifes frontales del golfo de Cazones fue bajo (osciló entre 0% y 18,4%), e incluso no se observaron corales totalmente blanqueados (BL) sino pálidos (P) o parcialmente blanqueados (PB). Sin embargo, se observó un amplio evento de blanqueamiento en el 2015, ya que en todos los arrecifes frontales evaluadas se detectaron corales blanqueados. Los mayores porcentajes de corales pálidos (P) se encontraron en S-EC y E-EC, y los menores en E-Cy.DP y SE-Cy.DP1. El porcentaje de corales parcialmente blanqueados (PB) fue mayor en O-EC, y menor en SE-Cy.DP2. El valor más crítico en cuanto al porcentaje de corales totalmente blanqueados (BL) fue encontrado en SE-Cy.DP1, y el menor lo presentó Cy.LP. De manera general, este evento de blanqueamiento fue más intenso en SE-Cy.DP1 (72,3% de corales blanqueados), seguido por S-EC (63,6%), O-EC (62,4%), Cy.BI (60,4%), E-EC (57,2%), Cy.LP (50,1%), SE-Cy.DP2 (44,6%) y E-Cy.DP (43,8%)(Tabla 39).

De manera general, los porcentajes de corales con enfermedades microbianas en los arrecifes frontales evaluados en el golfo de Cazones en el período 2001-2015 fueron

bajos. En los últimos muestreos realizados (años 2012 y 2015) predominó la ausencia de las enfermedades microbianas y sólo se detectaron cuatro tipos de enfermedades microbianas entre el 2001 y el 2015 (Tabla 39).

Tabla 39. Porcentaje de corales con blanqueamiento y enfermedades microbianas en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el período 2001-2015. P= corales pálidos, PB= plaga blanca, BN= banda negra, ED= enfermedad desconocida y MO= manchas oscuras. \*No existe información.

Años	2001	2007	2010	2012	2015		
<b>Arrecifales frontales</b>	<b>Blanqueamiento (%)</b>				<b>P</b>	<b>PB</b>	<b>BL</b>
E-EC	*	*	*	3,8 (pálidas)	30,8	9,9	16,5
Cy. LP	*	*	*	0,6 (pálidas)	22,1	20,6	7,4
O-EC	*	*	*	*	23,4	20,8	18,2
S-EC	1 (pálidas)	18,4 (pálidas)	2 (pálidas)	1 (pálidas); 0,5 (Pbl)	34,3	14,1	15,2
E-Cy.DP	0	*	*	1,5 (pálidas)	10,1	15,7	18
SE-Cy.DP2	1,2 (pálidas)	*	*	1,5 (pálidas)	29,7	4,1	10,8
SE-Cy.DP1	0	4,8 (pálidas)	3,3 (pálidas)	3,4 (pálidas)	21,7	16,9	33,7
Cy.BI	0,7 (pálidas); 1,4 (Pbl)	*	*	*	29,7	8,9	21,8
<b>Arrecifales frontales</b>	<b>Enfermedades Microbianas (%)</b>				<b>2012</b>	<b>2015</b>	
E-EC	*	*	*	0	0		
Cy. LP	*	*	*	0	0		
O-EC	*	*	*	*	0		
S-EC	1 (PB)	2,9 (PB)	0	0	1 (BN)		
E-Cy.DP	2,2 (BN)	*	*	0	0		
SE-Cy.DP2	1,2 (PB)	*	*	0	0		
SE-Cy.DP1	1,3 (ED)	0	1,1 (MO); 0,6 (PB)	0	0		
Cy.BI	0	*	*	*	0,9 (MO)		

**Densidad de reclutas de coral.** La densidad de reclutas de corales presentó diferencias significativas entre los arrecifes frontales evaluados en el golfo de Cazones en el 2015 (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 272)= 8,8; p =0,001; Fig. 35). El sitio que mayor densidad de reclutas de corales promedio fue E-EC (20,6 colonias/m<sup>2</sup>), mientras que el menor fue SE-Cy.DP1 (1,8 colonias/m<sup>2</sup>). Con relación a su composición por especies predominaron los reclutas de *Agaricia* sp., *P. astreoides*, *S. siderea* y *S. radians* (Tabla 40).

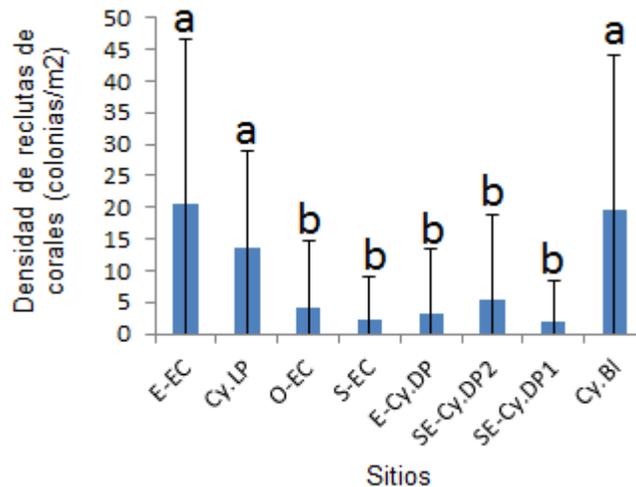


Figura 35. Densidad de reclutas de corales en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el 2015. Se representa la media ± desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

Tabla 40. Abundancia relativa (%) por especies de reclutas de coral en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el 2015.

Especies	E-EC	Cy.LP	O-EC	S-EC	E-Cy.DP	SE-Cy.DP2	SE-Cy.DP1	Cy.BI
<i>Agaricia</i> sp	51,1	26,7	44,4	20	42,9	0	50	30,2
<i>D. stokesi</i>	4,4	10	11,1	0	0	0	0	25,6
<i>Madracis</i> sp	0	0	0	20	0	0	0	0
<i>M. alcicornis</i>	0	0	0	40	0	0	0	4,7
<i>Mycetophyllia</i>	4,4	3,3	0	0	0	0	0	0
<i>Orbicella</i> sp	0	10	0	20	14,3	8,3	0	2,3
<i>Porites</i> sp	8,9	0	0	0	0	41,7	0	11,6
<i>P. astreoides</i>	20	23,3	22,2	0	0	0	25	20,9
<i>Scolymia</i>	4,4	0	11,1	0	0	0	0	0
<i>S. radians</i>	0	3,3	11,1	0	42,9	8,3	0	2,3
<i>S. siderea</i>	4,4	13,3	0	0	0	41,7	25	2,3
<i>S. intersepta</i>	2,2	10	0	0	0	0	0	0

**Densidad del erizo negro *D. antillarum*.** El análisis de varianza permutacional reveló que la densidad del erizo negro *D. antillarum* varió de manera significativa entre los arrecifes frontales del golfo de Cazones y entre los años de muestreo dentro de los sitios (Tabla 41). Las comparaciones pareadas realizadas por el *PERMANOVA* mostraron variaciones temporales significativas solamente en *SE-Cy.DP2*, donde el erizo negro estuvo ausente en los años 2012 y 2015. De manera general, las densidades de *D. antillarum* en los arrecifes frontales fueron bajas o nulas en el período 2001-2015, y hubo cuatro sitios en los que no se observaron individuos en ninguno de los años muestreados. El mayor promedio de *D. antillarum* se cuantificó en *SE-Cy.DP1* en el año 2007 (Tabla 42).

Tabla 41. Análisis de varianza permutacional de la densidad del erizo negro *D. antillarum* (individuo/m<sup>2</sup>) a partir de un diseño anidado con los factores sitios y años anidados en los sitios. Gl: grados de libertad, P: valor de probabilidad asociada y Perms: número de permutaciones.

Factor	Gl	Pseudo-F	P (perms)	Perms
Sitio	7	3,4	0,016	999
Años (sitios)	13	6,7	0,001	998
Residuales	212			

Tabla 42. Densidad del erizo negro *D. antillarum* (individuo/m<sup>2</sup>) ( $\pm$  desviación estándar) en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el período 2001-2015. NM= No Muestreados.

Años	Arrecifes frontales evaluados en el golfo de Cazones							
	E-EC	Cy.LP	O-EC	S-EC	E-Cy.DP	SE-Cy.DP2	SE-Cy.DP1	Cy.BI
2001	NM	NM	NM	0	0	0,15 (0,15)	0,02 (0,04)	0,02 (0,04)
2007	NM	NM	NM	0	NM	NM	0,23 (0,41)	NM
2010	NM	NM	NM	0	NM	NM	0	NM
2012	NM	NM	NM	0	0	0	0	NM
2015	0	0	0	0	0,017 (0,04)	0	0	0

**Cobertura de cianobacterias.** La cobertura del fondo por cianobacterias en los arrecifes frontales del golfo de Cazones presentó variaciones espaciales significativas (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 86) = 19,1; p = 0,001). En el *E-Cy.DP* se detectó la mayor cobertura de cianobacterias, mientras que en *Cy.BI* no se reportaron (Fig. 36).

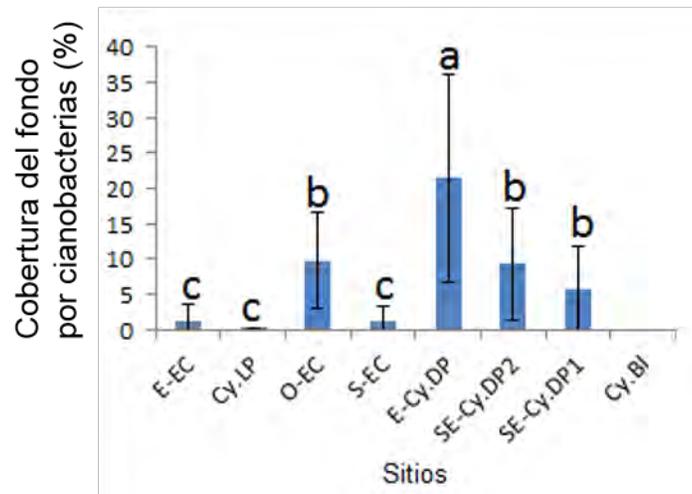


Figura 36. Cobertura de cianobacterias en los arrecifes frontales del golfo de Cazones en el 2015. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

**Coberturas, alturas e índices de macroalgas.** La cobertura de las macroalgas carnosas varió significativamente entre 0,9% (*E-Cy.DP*) y 13,1% (*Cy.BI*) (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 272) = 24,3; p = 0,001; Fig. 37). El sitio *O-EC* presentó significativamente la mayor cobertura de macroalgas calcáreas, y la menor se registró en *Cy.BI* (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 272) = 5,6; p = 0,001; Fig. 37). El sitio que mostró de manera significativa el mayor porcentaje de cobertura de macroalgas costrosas fue *SE-Cy.DP1* con 19,9%, y el más bajo se obtuvo en *E-EC* con 6,1% (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 272) = 4,1; p = 0,001; Fig. 37). La cobertura del *turf* presentó diferencias significativas entre los sitios (*PERMANOVA*, pseudo-F (7; 272) = 12,9; p = 0,001), y fluctuó desde cero (*SE-Cy.DP1* y *Cy.BI*) hasta 8,1% (*O-EC*) (Fig. 37).

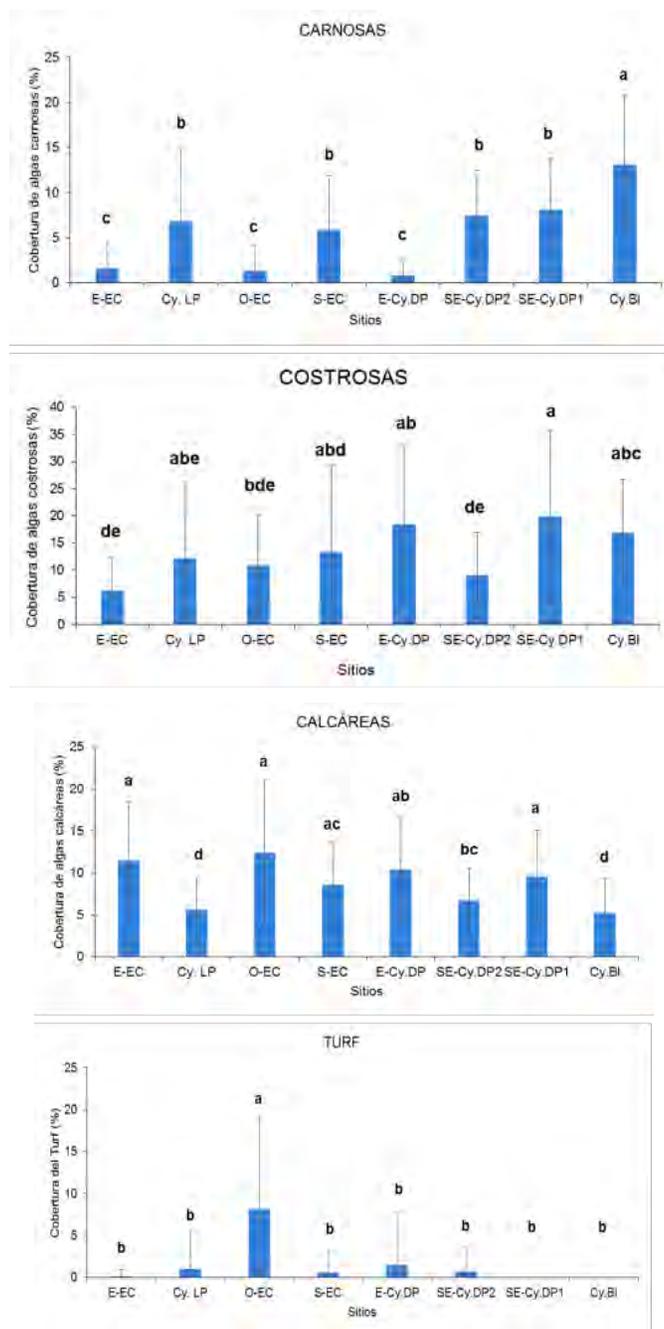


Figura 37. Coberturas de las macroalgas carnosas, calcáreas, costrosas y *turf* en los arrecifes frontales del golfo de Cazonos. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

Las especies y entidades de macroalgas reportadas son típicas de arrecifes frontales. En los sitios evaluados, las especies y entidades con mayor cobertura fueron: las ACC, *Peyssonnelia* sp. y *Halimeda* sp. Estas especies y entidades pueden considerarse como dominantes en este hábitat, dado sus altos valores de cobertura y por su frecuencia de aparición. El valor de cobertura más elevado de *Peyssonnelia* sp. se observó en el sitio E-Cy.DP con 13%, y para las ACC fue en el sitio Cy.BI con 14,6%. Los sitios con los mayores números de entidades fueron: S-EC y SE-Cy.DP2, mientras que los menores se

registraron en Cy.BI. En el sitio O-EC se detectaron los mayores valores de cobertura, encontrándose los menores en E-EC (Tabla 43).

Tabla 43. Coberturas (%) por especies, géneros y entidades de macroalgas en los arrecifes frontales del golfo de Cazones.

Especies y GMF	E-EC	Cy.LP	O-EC	S-EC	E-Cy.DP	SE-Cy.DP2	SE-Cy.DP1	Cy.BI
<i>Amphiroa fragilissima</i>	1,1	1,1	1,3	1,7	0	0	0	0,1
<i>Ceramium nitens</i>	0	0	0	0	0,3	0	0	0
<i>Dictyota</i> sp.	0,1	0,7	0,3	1,6	0,6	3,3	5,3	0,6
<i>Halimeda</i> sp.	10,3	4,4	11,3	6,9	10,4	6,7	9,6	5,1
<i>Lobophora variegata</i>	0	4,3	0	4,3	0,1	2,2	0	12,6
<i>Peyssonnelia</i> sp.	2,1	0,7	6,4	5,6	13	5	12,1	2,3
<i>Rhipocephalus Phoenix</i>	0	0	0	0	0	0	0,1	0
<i>Rhipocephalus phoenix</i> f. <i>longifolius</i>	0	0	0	0	0,1	0	0	0
<i>Udotea unistrata</i>	1,5	1,9	1,1	0	0	1,7	2,6	0
<i>Valonia macrophysa</i>	0	0	0	0	0	0	0,1	0
<i>Valonia ventricosa</i>	0	0	0	0	0	0,1	0	0
Sp. 2 filamentosa roja	3	0	6,3	1,4	0	0,7	0,3	0
Sp. 3 filamentosa verde	0	0	0	8,1	0	0	0	0
ACC	4	11,4	4,4	7,9	5,4	4	7,8	14,6
Turf	0,1	1	8,14	0,57	1,43	0,71	0	0
Número de entidades	8	8	8	9	8	9	8	6
Cobertura total	22,3	25,5	39,2	38,0	31,4	24,5	38,0	35,2

La altura promedio de las macroalgas carnosas varió entre 0,3 cm (E-Cy.DP) y 2 cm (Cy.LP); y en cuanto a las calcáreas los máximos se registraron en E-EC (8,1 cm) y los menores en Cy.LP (2,5 cm). En Cy.BI (20,3) se registró el valor más alto del índice de macroalgas carnosas, y en E-EC (92,7) el de calcáreas (Tabla 44).

Tabla 44. Alturas promedio e índices de macroalgas de los arrecifes frontales del golfo de Cazones. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar. Car = macroalgas carnosas, Cal = macroalgas calcáreas articuladas y Cost = macroalgas costrosas.

Arrecifes frontales	Altura promedio (cm)		Índice de macroalgas	
	Car	Cal	Car	Cal
E-EC	1 $\pm$ 1,9	8,1 $\pm$ 4,3	1,6	92,7
Cy.LP	2 $\pm$ 2,6	2,5 $\pm$ 2,3	13,7	13,7
O-EC	0,7 $\pm$ 1,5	7 $\pm$ 3,5	1	87,4
S-EC	0,9 $\pm$ 0,9	3,8 $\pm$ 2,3	5,5	32,8
E-Cy.DP	0,3 $\pm$ 0,8	5,5 $\pm$ 2,9	0,2	57,8
SE-Cy.DP2	1,5 $\pm$ 0,9	5,9 $\pm$ 2,3	10,9	39,7
SE-Cy.DP1	1,9 $\pm$ 1,4	4,5 $\pm$ 1,8	15,1	42,9
Cy.BI	1,5 $\pm$ 0,7	3,5 $\pm$ 2,8	20,3	18,0

**Relieve del fondo.** El análisis de varianza permutacional reveló que el relieve del fondo varió de manera significativa entre los arrecifes frontales del golfo de Cazones y entre los

años de muestreos dentro de cada sitio (Tabla 45). Las comparaciones pareadas realizadas por el *PERMANOVA* mostraron una disminución significativa en el 2015 en comparación con el 2001 y 2012 (en dependencia de los sitios), excepto en S-EC, SE-Cy.DP1 y O-EC (primera vez que se muestró)(Fig. 38).

Tabla 45. Análisis de varianza permutacional del relieve del fondo a partir de un diseño anidado con los factores sitios y los años anidados en los sitios. Gl: grados de libertad, P: valor de probabilidad asociada y Perms: número de permutaciones.

Factor	Gl	Pseudo-F	P (perms)	Perms
Sitio	7	34,0	0,001	998
Años (sitios)	11	29,1	0,001	997
Residuales	574			

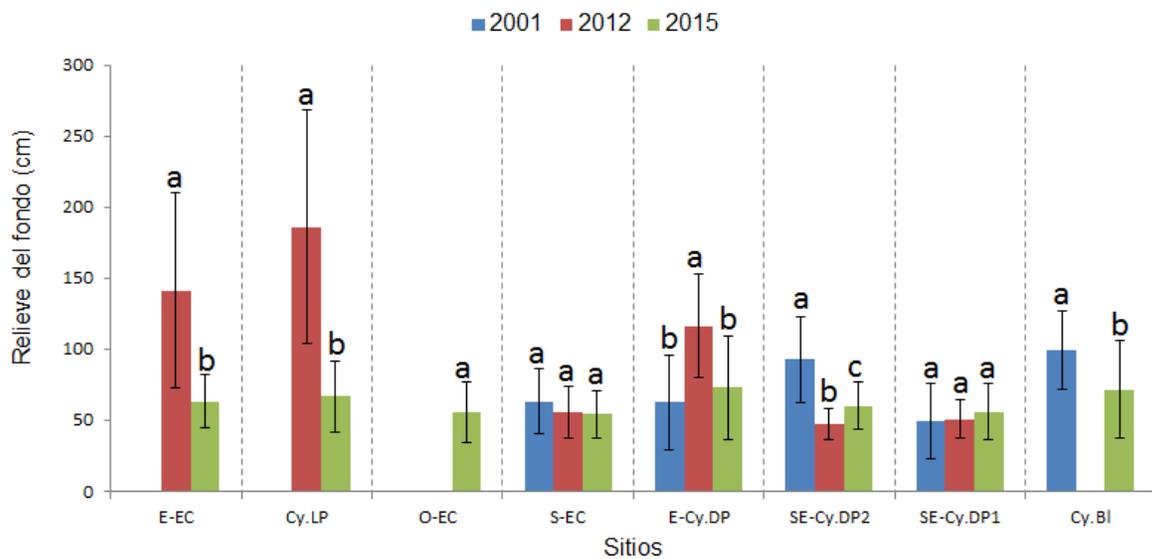


Figura 38. Relieve del fondo en los arrecifes frontales del golfo de Cazonos en el período 2001-2015. Los sitios que no tuvieron datos en todos los años son porque no se realizaron muestreos. Se representa la media  $\pm$  desviación estándar. Las letras minúsculas desiguales indican diferencias significativas entre las medias.

**Densidad, biomasa y talla de las asociaciones de peces.** Las densidades de las asociaciones de peces en los arrecifes frontales muestreados del golfo de Cazonos variaron entre 38 ind/100 m<sup>2</sup> en E-Cy.DP y 82 ind/100 m<sup>2</sup> en Cy.BI (Tabla 46). Según el sistema de clasificación y puntaje de indicadores propuesto por Alcolado y Durán (2011), todos los sitios fueron clasificados como pobres (25-49,9 ind/100 m<sup>2</sup>) o regulares (50-99,9 ind/100 m<sup>2</sup>). Del mismo modo, teniendo en cuenta sólo la densidad de herbívoros (30-46 ind/100 m<sup>2</sup>) todos los sitios se clasificaron como regulares, mientras que según la densidad de los carnívoros (5-49 ind/100 m<sup>2</sup>), fueron críticos o pobres. Se encontró un pez león de 25 cm de largo estándar y 198 g de peso (densidad=0,001 indiv/100 m<sup>2</sup>; biomasa=0,248 g/100 m<sup>2</sup>) en E-Cy.DP y otro en SE-Cy.DP1 de 15 cm de largo estándar y 42,2 g de peso (densidad=0,001 indiv/100 m<sup>2</sup>; biomasa=0,053 g/100 m<sup>2</sup>). No se

encontraron diferencias significativas en la densidad (pseudo- $F_{(7)}=1,19$ ;  $p=0,27$ ) de los peces entre los ocho arrecifes frontales (pseudo- $F_{(7)}=0,51$ ;  $p=0,82$ ).

Tabla 46. Densidad (ind/100 m<sup>2</sup>) y biomasa (g/100 m<sup>2</sup>) promedios de las asociaciones de peces, de peces carnívoros y de herbívoros y tallas (cm) promedios de loros, pargos y meros en ocho arrecifes frontales del golfo de Cazonos. 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	E-EC	O-EC	Cy.LP	S-EC	E-DP	SE-Cy.DP2	SE-Cy.DP1	Cy.BI
D peces (ind/100 m <sup>2</sup> )	58 R	82 R	79 R	56 R	38 P	58 R	46 P	82 R
Bpeces (g/100 m <sup>2</sup> )	3519,5 P	8287,1 R	6007,9 R	2470,4 C	2798,5 C	3174,1 P	2411,3 C	8582,1 R
Dherb	29 R	29 R	30 R	32 R	29 R	46 R	37 R	42 R
Dcarn	26 R	50 P	45 P	8 C	7 C	6 C	6 C	17 C
Bherb	1437,4 P	1610,9 P	1786,1 P	1381,9 P	1285,5 P	2165,3 P	1375,3 P	3960,7 R
Bcarn	1721,9 C	5358,0 R	3842,2 P	718,2 C	908,8 C	716,2 C	625,0 C	2495,7 P
Tloros (cm)	11,27 P	12,03 R	11,26 R	10,93 P	11,06 P	10,74 P	10,49 C	14,07 P
Tpargos (cm)	14,12 C	12,69 R	13,24 C	13,05 P	14,25 R	15,13 P	11,75 R	17,43 P
Tmeros (cm)	15,35 P	14,52 R	14,43 P	14,25 R	19,79 R	14,25 R	14,48 R	15,50 R

Los valores de biomasa en los arrecifes frontales variaron entre 2411,3 g/100 m<sup>2</sup> en SE-Cy.DP1 y 8287,1 g/100 m<sup>2</sup> en O-EC, de ahí que los sitios fueran clasificados entre críticos y regulares. Igualmente, de acuerdo con los valores de biomasa de los herbívoros (1285,5-3960,7 g/100 m<sup>2</sup>) todos los arrecifes frontales fueron clasificados como pobres, excepto Cy.BI (regular). Sin embargo, de acuerdo con la biomasa de carnívoros, la mayoría de los sitios fueron como clasificados como críticos (Tabla 46). No se encontraron diferencias significativas en la biomasa de los peces entre los ocho arrecifes frontales (pseudo- $F_{(7)}=1,51$ ;  $p=0,18$ ).

Los arrecifes frontales muestreados del Golfo de Cazonos en general están formados por loros, pargos y meros de pequeña talla (Tabla 46). La talla promedio de los loros varió entre 10 y 14 cm, de ahí que todos los sitios fueran clasificados como pobres (10,0-14,9 cm) (Alcolado & Durán, 2011). La talla de los pargos varió entre 11,75 y 17,43 cm, por lo que los arrecifes fueron clasificados como críticos (<15,0 cm) o pobres (15,0-19,9 cm). La talla de los meros varió entre 14,25 y 19,79 cm, por lo que los arrecifes se clasificaron como críticos (<15,0 cm) o pobres (15,0-19,9 cm). Las tallas de los loros y los meros no mostraron diferencias significativas entre los ocho arrecifes (pseudo- $F_{(7)}=0,59$ ;  $p=0,99$  y

pseudo- $F_{(7)}=0,43$ ;  $p=0,89$ , respectivamente). Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas en la talla de los pargos ( $F_{(7)}=4,27$ ;  $p=0,001$ ),

Al tener en cuenta los muestreos del 2001 no se encontraron diferencias significativas en la densidad entre los años (pseudo- $F_{(7)}=1,19$ ;  $p=0,27$ ), entre los sitios (pseudo- $F_{(7)}=1,53$ ;  $p=0,19$ ), ni en la interacción SitioxAño (pseudo- $F_{(7)}=1,03$ ;  $p=0,38$ ) (Fig. 39A). La biomasa de los peces sí fue estadísticamente diferente entre los años (pseudo- $F_{(7)}=12,88$ ;  $p=0,0006$ ), entre los sitios (pseudo- $F_{(7)}=3,31$ ;  $p=0,0117$ ) y en la interacción SitioxAño (pseudo- $F_{(7)}=4,25$ ;  $p=0,0041$ ) (Fig. 39B).

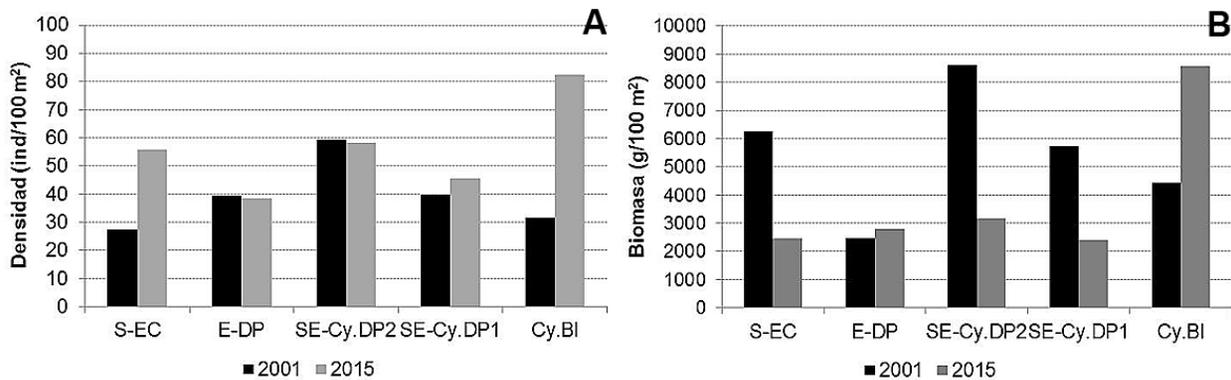


Figura 39. Densidad (ind/100 m<sup>2</sup>) (A) y biomasa (g/100 m<sup>2</sup>) (B) de las asociaciones de peces en cinco arrecifes frontales del golfo de Cazones en 2001 y 2015. Siglas de los sitios según Tabla 1.

Al comparar con los muestreos del 2001, se encontraron diferencias temporales significativas en la talla de los loros (pseudo- $F_{(7)}=7,09$ ;  $p=0,0001$ ), pero no entre los sitios (pseudo- $F_{(7)}=0,72$ ;  $p=0,8704$ ) ni en la interacción (pseudo- $F_{(7)}=0,87$ ;  $p=0,6573$ ). Por el contrario, no se encontraron diferencias significativas en la talla de los pargos entre los años (pseudo- $F_{(7)}=1,40$ ;  $p=0,2506$ ), pero sí entre los sitios (pseudo- $F_{(7)}=6,88$ ;  $p=0,0001$ ), la interacción AñoXSitio tampoco fue significativa (pseudo- $F_{(7)}=2,06$ ;  $p=0,0922$ ). La talla de los meros fue muy similar entre años (pseudo- $F_{(7)}=1,29$ ;  $p=0,2512$ ), sitios (pseudo- $F_{(7)}=8 \times 10^{-2}$ ;  $p=0,9871$ ) y en la interacción (pseudo- $F_{(7)}=0,29$ ;  $p=0,8853$ ) (Fig. 40).

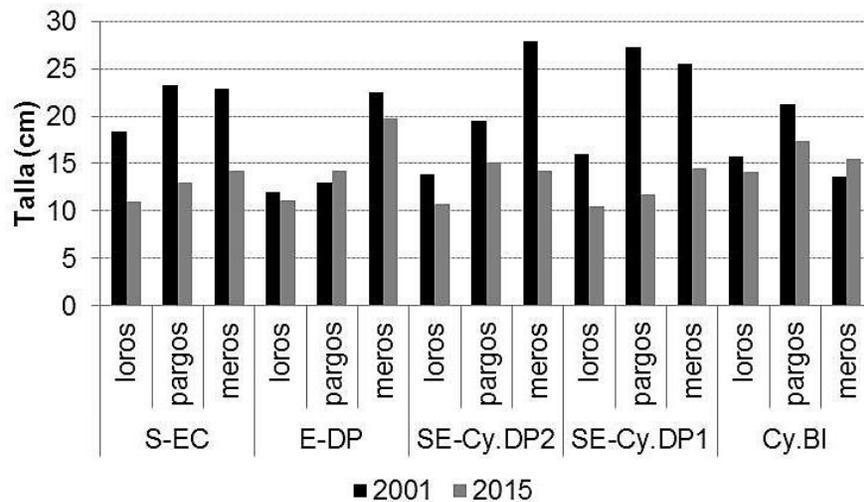


Figura 40. Talla promedio de loros, pargos y meros en cinco arrecifes frontales del golfo de Cazonos en 2001 y 2015. Siglas de los sitios según Tabla 1.

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 54 y 66, de acuerdo al cual Cy.BI mostró las mejores condiciones y las peores correspondieron a SE-Cy.DP1 (Fig. 41).

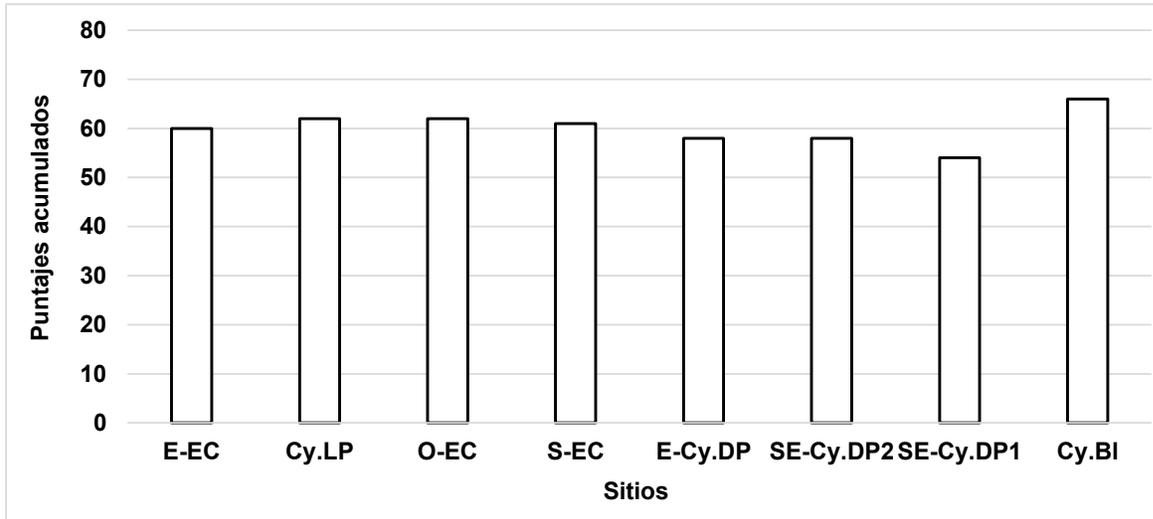


Figura 41. Valores acumulados de los arrecifes frontales del golfo de Cazonos, a partir del sistema de clasificación y puntaje de Alcolado y Durán (2011).

## **JARDINES DE LA REINA**

### **Hidroquímica de los arrecifes coralinos del archipiélago Jardines de la Reina**

En general, en toda la zona de estudio la temperatura del agua osciló entre 29,86 y 31,41 °C (Tabla 47). Los valores registrados en las crestas arrecifales variaron entre 30,33 y 31,41 °C, con un promedio de  $30,82 \pm 0,38$  °C y no difieren significativamente con los medidos en los arrecifes frontales ( $F(3,54) < F_{tab}(4,64)$ ,  $n = 15:14$ ,  $\alpha = 0,05$ ), los que fluctuaron entre 29,86 y 31,22 °C con un valor promedio de  $30,6 \pm 0,38$  °C (Tabla 47). En la cresta arrecifal de cayo Anclita (Cy.An) se obtuvo el valor máximo de temperatura; mientras que los menores valores se encontraron en el arrecife de cayo Bretón, tanto en la cresta (SE-Cy.Br) como en los tres niveles del arrecife frontal (E-Cy.Br). Se destaca el arrecife frontal de cayo Caballones (E-Cy.Ca) por presentar valores elevados de temperatura desde el nivel superficial hasta los 13 m de profundidad con 31, 31°C (Tabla 47).

Los valores de salinidad tuvieron un comportamiento homogéneo en crestas y arrecifes frontales. En las crestas arrecifales el valor promedio fue de  $37,38 \pm 0,53$  ups en un intervalo de 36,8 y 38,36 ups (Tabla 47), y fueron significativamente menores que la de los arrecifes frontales entre 36,57 y 38,52 ups con una media de  $37,77 \pm 0,14$  ups. Las salinidades más elevadas se observaron en la cresta del sitio NE-Cy.Ca y en el arrecife frontal de E-Cy.Ca en el nivel de fondo (13 m), mientras que los menores valores se detectaron al oeste (O2-Cy.Gr) y este (E2-Cy.Gr) de cayo Grande en la cresta arrecifal y arrecife frontal, respectivamente (Tabla 47).

El potencial de hidrógeno (pH) en los dos biotopos de los arrecifes estudiados mostró valores que oscilaron entre 8,29 y 8,39 (Tabla 47). El análisis de varianza entre las crestas arrecifales y los arrecifes frontales indicó que no hubo diferencias significativas para el parámetro analizado ( $F(1,51) < F_{tab}(2,96)$ ,  $n = 5:14$ ,  $\alpha = 0,05$ ).

Tabla 47. Valores puntuales de temperatura (T °C), salinidad (S ups), oxígeno disuelto (OD mg.L<sup>-1</sup>), potencial de hidrógeno (pH), saturación de oxígeno (SO%) y demanda química de oxígeno (DQO mg.L<sup>-1</sup>) en septiembre 2015. (Prof. = profundidad, s= nivel superficial; m= nivel medio y f= nivel de fondo).

Sitios	Prof. (m)	Temp. (°C)	Salinidad (ups)	pH	OD mg.L-1	SO %	DQO mg.L-1
Crestas arrecifales							
SE-Cy.Br	2,0	30,33	37,30	8,39	5,87	99,7	2,24
O2-Cy.Gr	2,0	30,54	36,80	8,29	6,89	116,9	3,04
E2-Cy.Gr	3,0	31,07	37,12	8,36	5,88	100,7	2,67
C-Cy.Ca	1,6	30,84	37,5	8,38	6,55	112,1	4,37
NE-Cy.Ca	2,5	30,72	38,36	8,33	5,57	95,9	0,48
Cy.An	1,5	31,41	37,22	8,30	7,77	134,0	3,63
Arrecifes frontales							
E-Cy.Br	s	29,92	37,45	8,36	6,35	106,5	0,43
	m	29,86	36,98	8,39	5,93	99,6	0,53
	f (12,5)	30,29	37,23	8,36	8,62	144,7	0,32
O2-Cy.Gr	s	30,52	37,23	8,32	6,68	113,7	3,84
	m	30,53	37,20	8,32	6,62	112,2	3,20
	f (11)	30,51	36,82	8,30	6,45	109,9	3,73
E2-Cy.Gr	s	30,63	36,57	8,37	6,21	101,8	2,03
	m	30,61	36,77	8,37	6,80	112,0	1,44
	f (11,5)	30,67	37,05	8,35	6,37	105,0	0,64
E-Cy.Ca	s	30,81	37,07	8,30	6,72	112,9	0,85
	m	30,78	37,18	8,39	6,37	106,6	3,31
	f (12,3)	30,91	37,20	8,32	7,65	128,2	3,41
E-Cy.An	s	31,22	36,72	8,38	5,95	99,6	2,77
	m	30,93	37,07	8,30	6,57	110,2	3,31
	f (12,7)	31,09	37,21	8,38	6,74	112,6	2,88

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) variaron entre 5,57 y 7,77 mg.L<sup>-1</sup>, en las crestas y entre 5,79 y 8,62 mg.L<sup>-1</sup>, en los arrecifes frontales (Tabla 47). Los valores más elevados se reportaron en la cresta de Cy.An y en los frontales al este de cayo Caballones (E-Cy.Ca), en el nivel de fondo. En general, predominan condiciones de sobresaturación de oxígeno (SO) en todos los sitios (Tabla 47). El análisis estadístico arrojó que no existen diferencias significativas entre crestas y arrecifes frontales para las concentraciones de OD ( $F(1,08) < F_{tab}(2,96)$ ,  $n = 5:14$ ,  $\alpha = 0,05$ ) y para la SO ( $F(1,17) < F_{tab}(2,96)$ ,  $n = 5:14$ ,  $\alpha = 0,05$ ).

La materia orgánica evaluada a través de la demanda química de oxígeno (DQO) mostró un predominio de valores superiores a la unidad en la mayoría de los sitios evaluados, no existiendo diferencias significativas entre los contenidos de materia orgánica de las crestas y los arrecifes frontales ( $F(1,00) < F_{tab}(4,64)$ ,  $n = 14:5$ ,  $\alpha = 0,05$ ). El valor

máximo de 4,37 mg.L<sup>-1</sup> se encontró en la cresta de C-Cy.Ca, seguido del arrecife frontal O2-Cy.Gr con un valor de 3,84 mg.L<sup>-1</sup> (Tabla 47).

El amonio (NH<sub>4</sub>) fue el compuesto de mayor contribución al NTi, representando entre el 80,5% y el 89,4% de las formas nitrogenadas inorgánicas. En las crestas, las concentraciones oscilaron entre 1,61 y 3,03 μmol.L<sup>-1</sup> y resultaron significativamente menores con respecto a las concentraciones de los arrecifes frontales (entre 1,20 y 6,26 μmol.L<sup>-1</sup>) (F (4,69) > F<sub>tab</sub> (4.64), n = 14:5, α = 0,05) (Tabla 48). Los valores máximos se reportaron en la cresta y nivel superficial del arrecife frontal de cayo Caballones centro y este (C-Cy.Ca y E-Cy.Ca, respectivamente).

Las concentraciones de nitrato más nitritos fluctuaron, entre 0,07 y 0,94 μmol.L<sup>-1</sup>, en las crestas y entre 0,11 y 1,00 μmol.L<sup>-1</sup>, en los arrecifes frontales (Tabla 48). Los valores máximos se reportaron en la cresta del NE-Cy.Ca y en el nivel medio del arrecife frontal E-Cy.Ca.

Los valores del NTi en las crestas, oscilaron entre 1,72 y 3,63 μmol.L<sup>-1</sup> y en los arrecifes frontales entre 1,41 y 6,73 μmol.L<sup>-1</sup> (Tabla 48). Los valores máximos se encontraron en la cresta del NE-Cy.Ca y en el nivel superficial del arrecife frontal E-Cy.Ca (Tabla 48). En general, los valores de nitrógeno total inorgánico (NTi) (Tabla 48) se encuentran por encima de los umbrales informados por Bell *et al.* (1992) y Lapointe *et al.* (1993) e indican condiciones de eutrofización en los arrecifes coralinos (Tabla 4).

Tabla 48. Valores puntuales de nitratos más nitrito (NO<sub>x</sub>), amonio (NH<sub>4</sub>), nitrógeno total inorgánico (NTi), nitrógeno orgánico (NO), nitrógeno total (NT), fósforo inorgánico (PO<sub>4</sub>) y fósforo total (PT), relaciones NTi/PO<sub>4</sub> y NT/PT en septiembre/2015.

Siglas	NOX μmol.L <sup>-1</sup>	NH4 μmol.L <sup>-1</sup>	NTi μmol.L <sup>-1</sup>	NT μmol.L <sup>-1</sup>	PO4 μmol.L <sup>-1</sup>	PT μmol.L <sup>-1</sup>	NTi/PO <sub>4</sub>	NT/PT
Crestas arrecifales								
SE-Cy.Br	0,25	2,57	2,81	8,45	0,06	0,18	49,08	46,00
O2-Cy.Gr	0,75	1,61	2,36	17,40	0,03	0,07	90,62	243,53
E2-Cy.Gr	0,07	1,64	1,72	9,48	0,05	0,77	32,99	12,31
C-Cy.Ca	0,25	3,03	3,28	8,98	0,06	0,38	52,46	23,79
NE-Cy.Ca	0,94	2,69	3,63	6,10	0,04	0,26	87,08	23,43
Cy.An	0,19	2,33	2,52	9,37	0,06	0,49	43,92	19,14
Arrecifes frontales								
E-Cy.Br (s)	0,46	1,56	2,02	14,29	0,05	0,17	38,75	84,90
(m)	0,25	1,43	1,67	12,65	0,19	0,39	8,92	32,63
(f)	0,29	1,90	2,19	13,08	0,05	0,22	41,96	59,63
O2-Cy.Gr(s)	0,80	1,42	2,22	17,07	0,08	0,35	28,43	49,21
(m)	0,54	2,09	2,63	19,89	0,14	0,22	18,71	90,66
(f)	0,88	1,43	2,31	15,08	0,20	0,30	11,35	50,09
E2-Cy.Gr(s)	0,20	2,37	2,56	8,59	0,06	0,38	44,73	22,45
(m)	0,18	1,23	1,41	8,77	0,04	0,22	33,89	39,97
(f)	0,41	2,91	3,33	13,33	0,04	0,29	79,80	46,66
E-Cy.Ca (s)	0,47	6,26	6,73	19,78	0,48	0,85	4,55	8,06

(m)	0,11	1,94	2,05	7,70	0,08	0,17	24,58	45,73
(f)	0,15	1,51	1,66	8,70	0,09	0,19	18,73	44,86
E-Cy.An (s)	0,17	2,07	2,23	11,09	0,08	0,16	28,60	70,09
(m)	0,60	1,20	1,80	7,77	0,10	0,13	18,19	58,58
(f)	0,70	1,56	2,26	7,56	0,04	0,31	54,25	24,69

Las concentraciones de NT fueron heterogéneas oscilando entre 6,10 y 17,40  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  para las crestas y para arrecifes frontales entre 7,56 y 19,89  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  (Tabla 48); sin embargo, no se hallaron diferencias significativas entre ambos biotopos ( $F(1,23) < F_{\text{tab}}(4,64)$ ,  $n = 14:5$ ,  $\alpha = 0,05$ ). El máximo se encontró en la cresta y en el nivel medio de profundidad del sitio O2-Cy.Gr y en algunos sitios las aguas clasifican como contaminadas por nitrógeno al superar los valores de NT el límite establecido por la EQS del Japón (2002) de 14,28  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ .

Las concentraciones de fósforo inorgánico ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) resultaron significativamente menores en las crestas, con valores que oscilaron entre 0,03 hasta 0,06  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  ( $F(7,20) > F_{\text{tab}}(4,64)$ ,  $n = 14:5$ ,  $\alpha = 0,05$ ), con respecto a los arrecifes frontales donde los valores fluctuaron entre 0,04 y 0,48  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ . Los valores máximos se encontraron en las crestas de los sitios SE-Cy.Br, C-Cy.Ca y Cy.An (Tabla 48) y en el arrecife frontal de E-Cy.Ca.

En cuanto al fósforo total (PT), las concentraciones en las crestas también fueron significativamente menores con valores que oscilaron desde 0,07 a 0,77  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  ( $F(5,34) > F_{\text{tab}}(4,64)$ ,  $n = 14:5$ ,  $\alpha = 0,05$ ) con relación a los valores de los arrecifes frontales que variaron entre 0,13 y 0,85  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ . Los valores máximos se encontraron en los sitios E2-Cy.Gr (cresta) y E-Cy.Ca en el nivel superficial del arrecife frontal. Las aguas en estos dos sitios se consideran contaminadas por fósforo al presentar concentraciones mayores que 0,625  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , según la norma EQS (2002).

La relación nitrógeno total inorgánico-fósforo inorgánico (NTi/ $\text{PO}_4$ ), osciló entre 32,99 y 90,62 en las crestas y en los frontales entre 4,55 y 79,80 (Tabla 5) y la NT/PT fluctuó entre 12,31 y 243,53 y entre 8,06 y 90,66 para ambos sitios, respectivamente. De acuerdo a estas relaciones, en algunos sitios de los arrecifes estudiados se presentan condiciones de limitación por nitrógeno con valores inferiores a 16 (Redfield, *et al.*, 1963) (Tabla 48). Se destaca, el arrecife frontal del E-Cy.Ca con los valores más bajos de ambas relaciones, lo que indica la existencia de una severa limitación de nitrógeno ( $<< 16$ ) determinado por el exceso de fosfatos y fósforo total en el medio.

De acuerdo al aporte de carbono orgánico estimado a partir de los valores de DQO, las aguas en la mayoría de los sitios muestreados del archipiélago Jardines de la Reina presentaron características eutróficas, según la escala de Nixon (1995). En la cresta del centro de cayo Caballones (C-Cy.Ca) fue donde único se encontraron condiciones hipertróficas y el menor estado trófico (oligotrófico) le correspondió a las crestas del Noreste de cayo Caballones (NE-Cy.Ca) y el frontal al Este de cayo Breton (Tabla 49).

Tabla 49. Estimación del aporte de carbono orgánico diario por unidad de superficie en la columna de agua en  $\text{mgC.m}^2.\text{d}^{-1}$ , para las crestas y los arrecifes frontales en Jardines de la Reina.

Siglas	COT $\text{g.m}^2.\text{d}^{-1}$	Estado trófico
--------	-------------------------------------	----------------

Crestas arrecifales		
SE-Cy.Br	0,84	Eutrófico
O2-Cy.Gr	1,14	Eutrófico
E2-Cy.Gr	1,00	Eutrófico
C-Cy.Ca	1,64	Hipertrófico
NE-Cy.Ca	0,18	Oligotrófico
Cy.An	1,36	Eutrófico
Arrecifes frontales		
E-Cy.Br	0,16	Oligotrófico
O2-Cy.Gr	1,35	Eutrófico
E2-Cy.Gr	0,51	Mesotrófico
E-Cy.Ca	0,95	Eutrófico
E-Cy.An	1,12	Eutrófico

## Microbiología de los arrecifes coralinos del archipiélago Jardines de la Reina

### Bacterias Heterótrofas

Las concentraciones de bacterias heterótrofas totales (BHT) en Jardines de la Reina, tanto en crestas como en frontales oscilaron entre  $1.4 \times 10^3$  y  $4.1 \times 10^4$  UFC·mL<sup>-1</sup> y no resultaron significativamente diferentes (PERMANOVA, pseudo-F de  $1.3064E-2$  y P (perm) 0,782) (Fig. 42).

En las crestas las concentraciones más bajas se registraron en el Sureste de cayo Breton (SE-Cy.Br) ( $2.3 \times 10^3$  UFC·mL<sup>-1</sup>) y las más elevadas en el sitio de Cayo Anclita (Cy.An) ( $4.1 \times 10^4$  UFC.mL<sup>-1</sup>); mientras que en los arrecifes frontales, las menores concentraciones se obtuvieron en el Oeste y Este de cayo Grande (O2-Cy.Gr) ( $1.4 \times 10^3$  UFC.mL<sup>-1</sup>) y (E2-Cy.Gr) ( $1.7 \times 10^3$  UFC.mL<sup>-1</sup>) y el valor más elevado en el Este de cayo Anclita (E-Cy.An) ( $3.8 \times 10^4$  UFC.mL<sup>-1</sup>) (Fig. 42 ).

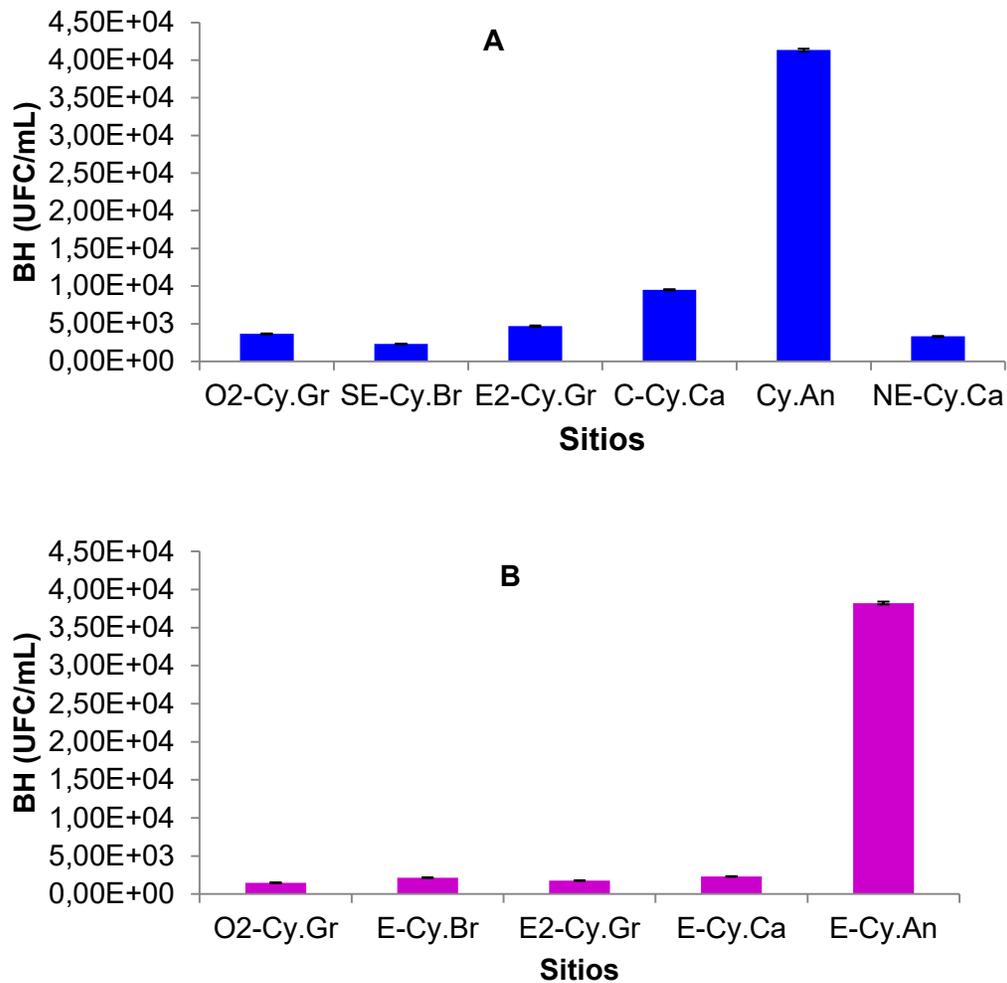


Figura 42. Concentración de bacterias heterótrofas totales (BH) en los sitios ubicados en las crestas arrecifales (A) y en los arrecifes frontales (B) en el archipiélago de Jardines de la Reina.

La clasificación del estado trófico de las aguas en Jardines de la Reina a partir de la concentración de bacterias heterótrofas (BH) mostró un predominio de condiciones mesotróficas, tanto en las crestas como en los arrecifes frontales (Tabla 50), solo se distingue el arrecife de cayo Anclita tanto en cresta (Cy.An) como en el arrecife frontal (E-Cy.An) con un estado trófico superior (eutrófico) (Tabla 50).

Tabla 50. Clasificación del estado trófico de las aguas en Jardines de la Reina a partir de la concentración de bacterias heterótrofas (Miravet *et al.*, 2009).

Ubicación de los sitios	Siglas	Concentración de BH (UFC.mL <sup>-1</sup> )
Crestas Arrecifales		
Sureste de cayo Bretón	O2-Cy.Gr	3670
Oeste 2 de cayo Grande	SE-Cy.Br	2333
Este 2 de cayo Grande (Punta Bayameses este)	E2-Cy.Gr	4682

Centro de cayo Caballones (Punta Escondida)	C-Cy.Ca	9500
Noreste de cayo Caballones (Pequeño Edén)	Cy.An	41333
Cayo Anclitas	NE-Cy.Ca	3313
Arrecifes frontales		
Oeste 2 de cayo Grande	O2-Cy.Gr	1467
Este de cayo Bretón	E-Cy.Br	2133
Este 2 de cayo Grande (Punta Bayameses este)	E2-Cy.Gr	1783
Este de cayo Caballones	E-Cy.Ca	2303
Este de cayo Anclita	E-Cy.An	38217

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

## Vibrios

Los vibrios totales fueron detectados en todos los sitios del archipiélago Jardines de la Reina, aunque mostraron una distribución heterogénea de las concentraciones (Tabla 51). En las crestas arrecifales los valores variaron entre 23 y 430 UFC. mL<sup>-1</sup> (Tabla 51); sin embargo no difieren significativamente (PERMANOVA, pseudo-F de 0,27518 y P(perm) 0,647) con los detectados en los arrecifes frontales que oscilaron entre 15 y 764 UFC. mL<sup>-1</sup> (Tabla 51).

Es de señalar que en algunos de los sitios los valores resultaron altos resaltando el sitio al Oeste de cayo Grande (O2-Cy.Gr), con concentraciones muy elevadas de vibrios tanto en la cresta como en el arrecife frontal (Tabla 51). En estos sitios se obtuvo un porcentaje elevado de los vibrios con relación al total de las bacterias heterótrofas, con un 12% y 52% respectivamente, seguido del sitio E2-Cy.Gr con 21% en los arrecifes frontales. En el resto de los sitios la contribución relativa de los vibrios al total de bacterias heterótrofas fue bajo (Fig. 43).

Tabla 51. Concentración de vibrios totales en los diferentes sitios del archipiélago Jardines de la Reina.

Ubicación de los sitios	Siglas	Concentración de Vibrios totales UFC.mL <sup>-1</sup>
Crestas arrecifales		
Oeste 2 de cayo Grande	O2- Cy.Gr	430
Sureste de cayo Bretón	SE- Cy.Br	25
Este 2 de cayo Grande (Punta Bayameses este)	E2- Cy.Gr	105
Centro de cayo Caballones (Punta Escondida)	C-Cy.Ca	23
Cayo Anclitas	Cy.An	252

Noreste de cayo Caballones (Pequeño Edén)	NE-Cy.Ca	213
Arrecifes frontales		
Oeste 2 de cayo Grande	O2-Cy.Gr	764
Este de cayo Bretón	E-Cy.Br	15
Este 2 de cayo Grande (Punta Bayameses este)	E2-Cy.Gr	371
Este de cayo Caballones	E-Cy.Ca	70
Este de cayo Anclita	E-Cy.An	40

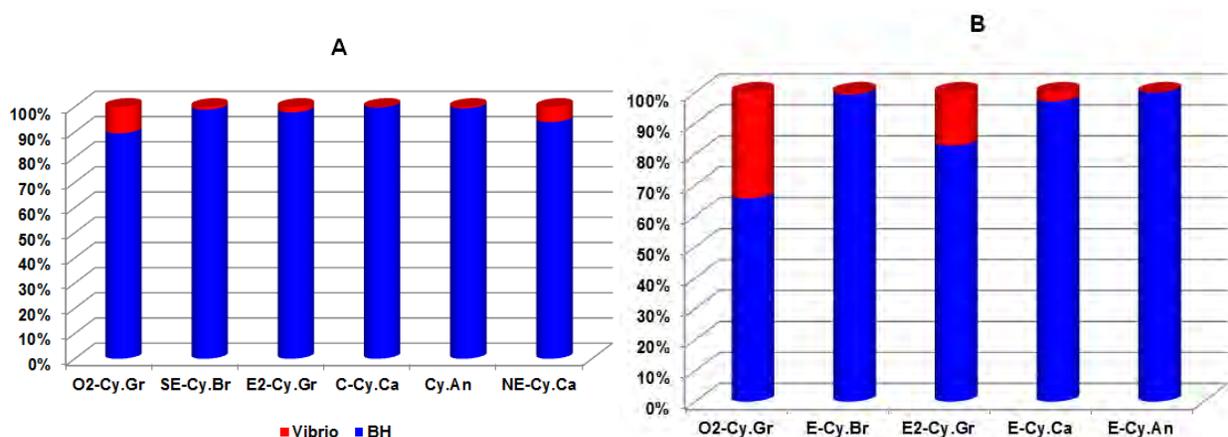


Figura 43. Contribución relativa de los vibrios al total de bacterias heterótrofas por sitio en el archipiélago Jardines de la Reina. A: Crestas, B: Arrecifes frontales.

### Bacterias sulfato-reductoras

En en Jardines de la Reina, las concentraciones de bacterias sulfato reductoras (BSR) fueron muy bajas en los arrecifes frontales, mientras que en las crestas se obtuvieron concentraciones más elevadas que oscilaron entre 110 a 280 NMP. 100 mL<sup>-1</sup> (Tabla 52).

Tabla 52. Concentración de bacterias sulfato-reductoras (BSR) en los sitios de Jardines de la Reina.

Ubicación de los sitios	Siglas	BSR (MNP.100mL <sup>-1</sup> )
Crestas Arrecifales		
Oeste 2 de cayo Grande	O2-Cy.Gr	210
Este 2 de cayo Grande (Punta Bayameses este)	E2-Cy.Gr	280
Centro de cayo Caballones (Punta Escondida)	C-Cy.Ca	110
Sureste de cayo Bretón	SE-Cy.Br	110
Cayo Anclitas	Cy.An	210
Noreste de cayo Caballones (Pequeño Edén)	NE-Cy.Ca	210
Arrecifes frontales		
Oeste 2 de cayo Grande	O2-Cy.Gr	<0.2
Este de cayo Bretón	E-Cy.Br	<0.2
Este 2 de cayo Grande (Punta Bayameses este)	E2-Cy.Gr	<0.2
Este de cayo Caballones	E-Cy.Ca	<0.2

Este de cayo Anclita	E-Cy.An	<0.2
----------------------	---------	------

## Fitoplancton de los arrecifes coralinos del archipiélago Jardines de la Reina

### Diversidad

La comunidad fitoplanctónica, tanto en las crestas arrecifales como en los arrecifes frontales, estuvo representada por cuatro grupos taxonómicos (diatomeas, dinoflagelados, cianobacterias y flagelados) con un predominio de las diatomeas al total de géneros y especies, mientras la contribución de los dinoflagelados y las cianobacterias a la diversidad fue similar (Tablas 53 y 54).

En las crestas arrecifales, el fitoplancton contribuyó a la diversidad con un total de 61 taxones, distribuidos en 33 formas de diatomeas, 15 dinoflagelados, 12 cianobacterias y uno de flagelados. Las diatomeas fueron las que más aportaron a la diversidad con 22 especies y 11 géneros, que representan el 56% y el 50%, del total de géneros y especies de la comunidad, respectivamente (Tabla 53). Los dinoflagelados contribuyeron con el 33% de especies y las cianobacterias con el 36% de los géneros.

Tabla 54. Contribución de los principales grupos a la diversidad del fitoplancton en las crestas arrecifales, en septiembre de 2015.

	Géneros	Especies	Total
Diatomeas	11 (50%)	22 (56%)	33 (54%)
Dinoflagelados	2 (9%)	13 (33%)	15 (26%)
Cianobacterias	8(36%)	4(10%)	12 (20%)
Flagelados	1(5%)		1(2%)
Total	22	39	61

El grupo de los flagelados y el género *Navicula* sp presentaron la mayor frecuencia de aparición, con una presencia espacial constante en todos los sitios. Otros géneros también mostraron una frecuencia de aparición alta (más del 50%) como son las diatomeas *Amphora* sp. y *Synedra* sp. y la cianobacteria *Aphanothece* sp. (Anexo 3).

En los arrecifes frontales, la diversidad del fitoplancton resultó menor con respecto a la de las crestas, con un total de 43 taxones, de ellos 20 taxa le correspondieron a las diatomeas (47%), 12 a los dinoflagelados (28%), 10 a las cianobacterias (23%) y una de flagelados (2%). Las diatomeas fueron las que más aportaron a la diversidad con 13 especies (48%) y 7 géneros (44%) (Tabla 54), mientras los dinoflagelados y las cianobacterias contribuyeron con el 37% de las especies y las cianobacterias con el 38% de los géneros.

Tabla 54. Contribución de los principales grupos a la diversidad del fitoplancton en los arrecifes frontales, en septiembre de 2015.

	Géneros	Especies	Total
Diatomeas	7 (44%)	13(48%)	20 (47%)
Dinoflagelados	2 (13%)	10 (37%)	12 (28%)
Cianobacterias	6(38%)	4 (15%)	10 (23%)
Flagelados	1(6%)		1(2%)
Total	16	27	43

Al igual que en las crestas, el grupo de los flagelados y el género *Navicula* sp fueron los que tuvieron una presencia espacial constante en todos los sitios y se encontraron otros géneros y especies con una frecuencia de aparición alta (más del 50%) como son las diatomeas *Mastogloia asperuloides*, *Mastogloia* sp. y el dinoflagelado *Gymnodinium* sp. (Anexo 4).

## Abundancia

Las concentraciones del fitoplancton en todos los sitios de los arrecifes muestreados fluctuaron entre 65 cél.mL<sup>-1</sup> y 744 cél.mL<sup>-1</sup>, con un promedio de 170 ± 42,5 cél.mL<sup>-1</sup> y no se encontraron diferencias significativas entre las crestas y los arrecifes frontales para la concentración fitoplanctónica (PERMANOVA, pseudo-F de 0,54156 y P (perm) 0,478).

La concentración total del fitoplancton en las crestas arrecifales osciló entre 171 ± 47,3 y 547 ± 250,4 cél.mL<sup>-1</sup> (Fig. 44). La mayor abundancia de organismos fitoplanctónicos se obtuvo en los sitios C-Cy.Ca (Centro de cayo Caballones) y E2-Cy.Gr (Este de cayo Grande) con 547 ± 250,4 cél.mL<sup>-1</sup> y 505 ± 109,8cél.mL<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras el sitio SE-Cy.Br (Sureste de cayo Breton) fue el de menor abundancia fitoplanctónica (171 ± 47,3 cél.mL<sup>-1</sup>) (Fig. 44).

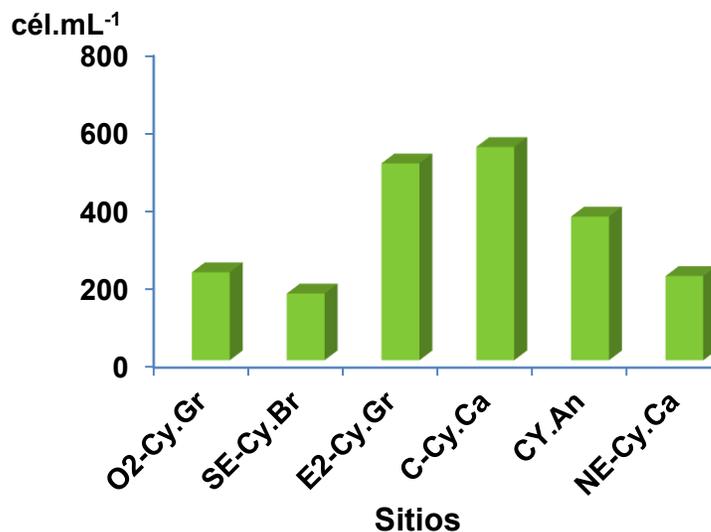


Figura 44. Concentración del fitoplancton total en las crestas arrecifales en Jardines de la Reina.

En los sitios correspondientes a los arrecifes frontales (10 m de profundidad), la concentración total del fitoplancton presentó valores extremos entre 65 ± 22,8 y 744 ± 262 cél.mL<sup>-1</sup> (Fig. 4). La mayor abundancia fitoplanctónica se obtuvo en el sitio E-Cy.Br (Este de cayo Breton) con 744 ± 262 cél.mL<sup>-1</sup>, y la menor abundancia se encontró en los sitios E-Cy.ca (Este de cayo Caballones) y E-Cy.An con 75 ± 26,9 cél.mL<sup>-1</sup> y 65 ± 22,8 cél.mL<sup>-1</sup>, respectivamente (Fig. 45).

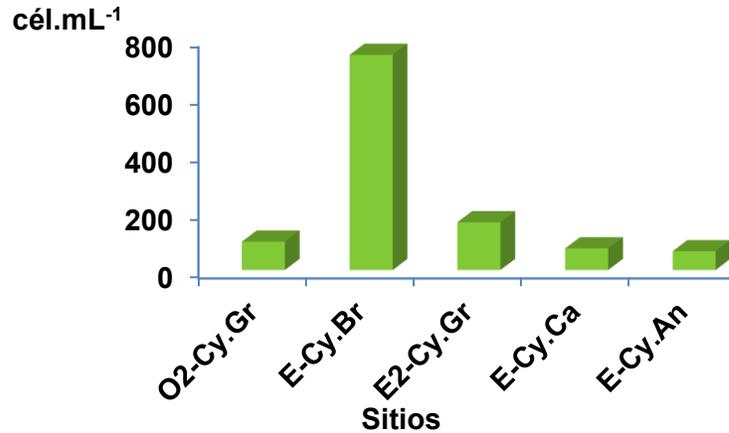


Figura 45. Concentración del fitoplancton total en los arrecifes frontales en Jardines de la Reina.

De acuerdo a la concentración de fitoplancton, las aguas en las crestas arrecifales y arrecifes frontales clasificaron de oligomesotróficas a mesotróficas, según el índice de estado trófico propuesto por Loza (2004) (Tabla 55). Los sitios que presentaron un nivel trófico medio fueron las crestas de cayo Grande (Este), cayo Caballones (Centro) y cayo Anclita y el frontal al Este de cayo Bretón (E-Cy.Br). Aunque algunos sitios de arrecifes frontales como el Este de cayo Caballones y Este de cayo Anclita presentaron un estado trófico más bajo (oligotróficas) (Tabla 55).

Tabla 55. Estado trófico en los sitios de las crestas arrecifales y arrecifes frontales.

Sitios	Conc. Total (cél.mL <sup>-1</sup> )	Estado Trófico
Crestas arrecifales		
O2-Cy.Gr	226	oligotrófico/mesotrófico
SE-Cy.Br	171	oligotrófico/mesotrófico
E2-Cy.Gr	505	mesotrófico
C-Cy.Ca	547	mesotrófico
Cy.An	369	mesotrófico
NE-Cy.Ca	216	oligotrófico/mesotrófico
Arrecifes frontales		
O2-Cy.Gr	98	oligotrófico/mesotrófico
E-Cy.Br	744	mesotrófico
E2-Cy.Gr	166	oligotrófico/mesotrófico
E-Cy.Ca	75	oligotrófico
E-Cy.An	65	oligotrófico

### Contribución de los grupos morfofuncionales a la estructura del fitoplancton en los arrecifes coralinos del archipiélago Jardines de la Reina

La comunidad fitoplanctónica, en las crestas mostró una dominancia de las cianobacterias, con una contribución del 53 % o más a la concentración total en casi todos los sitios, excepto en cayo Anclita (Cy.An) donde tuvieron el menor aporte (Fig. 46). En

los sitios de cayo Caballones (Centro y Noreste) (C-Cy.ca y NE-Cy.ca) fueron donde presentaron los mayores aportes, con porcentajes de 94 % y 90 %, respectivamente.

Por su parte, la contribución de las diatomeas, los dinoflagelados y los flagelados al total de la comunidad, en general, fue escasa (menos del 20%) y sólo en la sitio de cayo Anclita (Cy.An), los flagelados mostraron un mayor aporte (52 %) (Fig. 46).

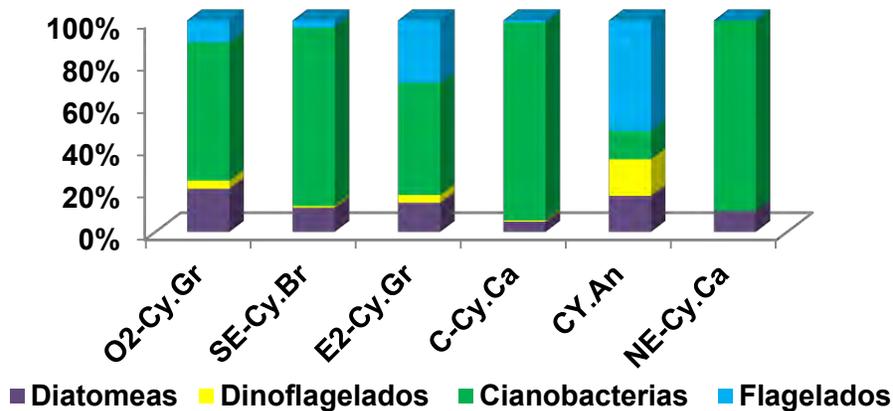


Figura 46. Contribución de los grupos del fitoplancton a la concentración total en las crestas arrecifales de Jardines de la Reina.

En los arrecifes frontales se encontró una mayor dominancia de las cianobacterias, con relación a las crestas, con porcentajes superiores al 80% en todos los sitios, excepto en el Este de cayo Grande (E2-Cy.Gr) donde aportaron el 63% a la concentración total (Fig. 47). En el sitio O2-Cy.gr (Oeste de cayo Grande) llegaron a representar el 91 %. La contribución de las diatomeas, los dinoflagelados y los flagelados al total de la comunidad, en general, fue escasa (menos del 20%) (Fig. 47).

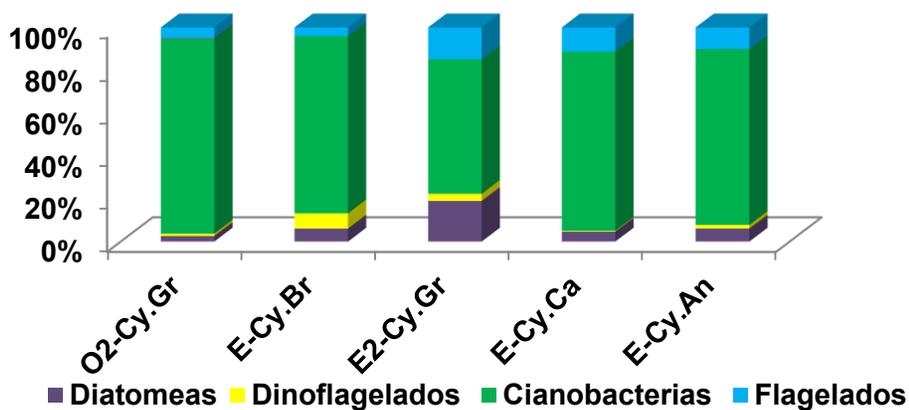


Figura 47. Contribución de los grupos del fitoplancton a la concentración total en los arrecifes frontales de Jardines de la Reina.

**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**

Al realizar el análisis de correlación entre las concentraciones del fitoplancton, las cianobacterias y las bacterias heterótrofas y los factores abióticos en las aguas de los biotopos arrecifales del golfo de Cazonés y Jardines de la Reina, se encontró correlación negativa entre las bacterias heterótrofas con el oxígeno disuelto y las formas oxidadas del nitrógeno inorgánico, con el orgánico y con el total y positiva con la temperatura; una correlación negativa entre la DQO con el oxígeno disuelto y la temperatura (Tabla 56). El nitrógeno amoniacal presentó correlación negativa con la forma orgánica y la total y positiva con la inorgánica.

Por otra parte, se encontró que las cianobacterias correlacionaron de manera positiva con los fosfatos y con el amonio y negativa con los nitratos y nitritos (Tabla 56). También el fitoplancton correlacionó positivamente con los fosfatos (Tabla 56).

Tabla 56. Relaciones entre los indicadores bióticos y abióticos de calidad de las aguas en los arrecifes del golfo de Cazonés y Jardines de la Reina.

Correlación de rangos de Spearman $p < 0.05, n = 25$	
BH vs OD	$r = -0,94$
DQO vs OD	$r = -0,83$
BH vs T°C	$r = 0,94$
DQO vs T°C	$r = -0,79$
BH vs $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$	$r = -0,82$
$\text{NH}_4$ vs Norg vs NT	$r = -0,83$
BH vs Norg vs NT	$r = -0,83$
$\text{NH}_4$ vs NTI	$r = 0,89$
Fitoplancton vs $\text{PO}_4$	$r = 0,83$
Cianobacterias vs $\text{PO}_4$	$r = 0,83$
Cianobacterias vs $\text{NH}_4$	$r = 0,90$
Cianobacterias vs $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$	$r = -0,71$

## Comunidades bentónicas y de peces de los arrecifes coralinos del archipiélago Jardines de la Reina

### *Crestas arrecifales del archipiélago Jardines de la Reina*

**Coberturas vivas de coral total y relativas por especies.** La cobertura viva de coral promedio de las crestas del archipiélago Jardines de la Reina en el 2015 fue de 11%, mientras que las medias por sitio variaron significativamente entre 2,5 y 30,8% (*PERMANOVA*; pseudo- $F_{(5; 66)} = 22,4$ ;  $p = 0,001$ ; Fig. 48). Los valores más bajos (sitios Cy.An, NE-Cy.Ca y E2-Cy.Gr) clasificaron como “críticos”, mientras que los intermedios (sitios SE-Cy.Br y C-Cy.Ca) fueron “regulares” y sólo el sitio O2-Cy.Gr se consideró “bueno”.

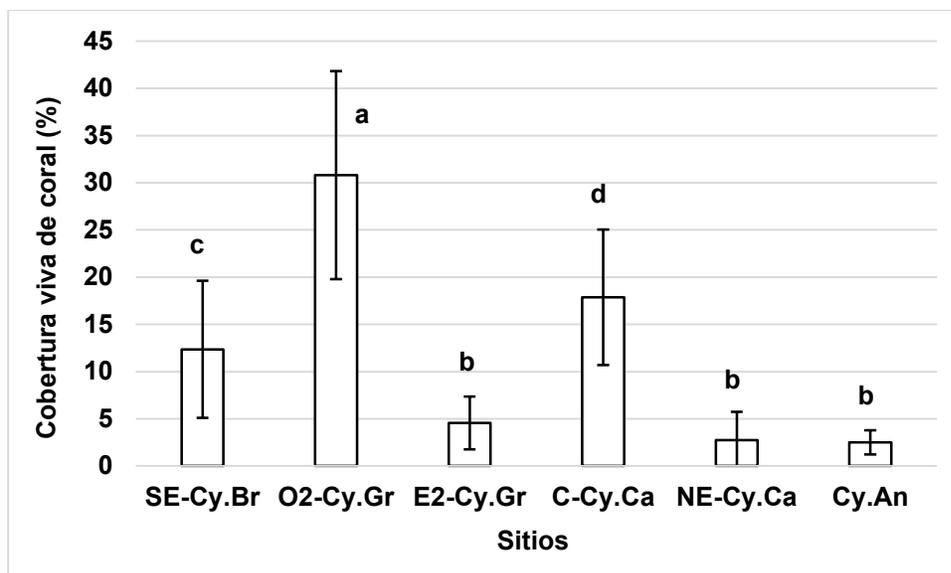


Figura 48. Cobertura viva de coral de las crestas arrecifales del archipiélago Jardines de la Reina en el 2015. Se representan las medias con sus desviaciones estándares por sitios. Las letras minúsculas desiguales indican las diferencias significativas entre las medias.

En cuanto a la cobertura viva relativa por especies, en el área predominaron *Millepora complanata*, *Porites astreoides* y en tercer lugar *Acropora palmata* con sólo 8,4% (Tabla 57). Sólo en el sitio SE-Cy.Br *A. palmata* fue la segunda especie dominante por su cobertura (15,2%), aunque igualmente desplazada del primer lugar por *M. complanata* y Cy.Ca mostró el mismo orden de dominancia descrito para el área en general. En los sitios restantes la situación fue peor: en O2-Cy.Gr, NE-Cy.Ca y Cy.An las coberturas de *A. palmata* fueron inferiores al 10% y en E2-Cy.Gr fue igual a cero.

Tabla 57. Coberturas vivas relativas (%) por especies de corales de las crestas arrecifales del archipiélago Jardines de la Reina en el 2015.

Especies/ Sitios	SE-Cy.Br	O2-Cy.Gr	E2-Cy.Gr	C-Cy.Ca	NE-Cy.Ca	Cy.An	Total
<i>Acropora palmata</i>	15,2	1,3	0,0	16,7	4,7	6,8	8,4
<i>Agaricia agaricites</i>	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0	4,4	0,5
<i>Colpophyllia natans</i>	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,3
<i>Diploria clivosa</i>	0,5	0,0	34,2	0,0	0,0	3,4	2,5
<i>Diploria strigosa</i>	0,0	0,0	9,6	0,5	11,0	8,2	1,5
<i>Favia fragum</i>	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1
<i>Millepora alcicornis</i>	0,0	0,0	1,9	0,9	0,0	0,0	0,4
<i>Millepora complanata</i>	66,1	83,9	3,8	63,1	3,2	27,2	64,1
<i>Mycetophyllia aliciae</i>	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
<i>Orbicella annularis</i>	4,8	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	1,0
<i>Porites astreoides</i>	12,2	9,2	41,7	18,5	69,7	47,3	18,4
<i>Porites branneri</i>	0,0	0,0	1,9	0,0	2,5	0,0	0,2
<i>Porites divaricata</i>	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,1
<i>Porites porites</i>	0,0	3,3	0,0	0,0	8,8	1,7	1,7
<i>Siderastrea siderea</i>	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1
Total de colonias	66	94	47	95	25	40	367

Total de transectos lineales 12 10 12 12 13 13 72

**Abundancias relativas y riqueza de especies de corales.** En el conjunto de crestas arrecifales evaluadas predominaron *M. complanata* y *P. astreoides*, mientras que *A. palmata* con sólo el 10% ocupó la tercera posición (Tabla 58). Si analizamos cada sitio por separado encontramos que SE-Cy.Br y C-Cy.Ca se ajustaron al patrón de dominancia observado para el área en general; en Cy.An *A. palmata* ocupó el tercer lugar pero compartido con otras tres especies y con sólo 4,5%; en O2-Cy.Gr fue la cuarta especie con sólo 3,5% y en E2-Cy.Gr estuvo ausente. Sólo en NE-Cy.Ca *A. palmata* fue la segunda especie dominante con 32,1%, aunque superada por *P. astreoides*.

Tabla 58. Abundancias relativas (%) por especies de corales y número de especies S de las crestas arrecifales del archipiélago Jardines de la Reina en el 2015.

Especies/ Sitios	SE-Cy.Br	O2-Cy.Gr	E2-Cy.Gr	C-Cy.Ca	NE-Cy.Ca	Cy.An	Total
<i>Acropora palmata</i>	17,7	3,5	0,0	9,5	32,1	4,5	10,0
<i>Agaricia agaricites</i>	1,6	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6
<i>Colpophyllia natans</i>	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,3
<i>Diploria clivosa</i>	0,0	0,0	27,0	0,0	0,0	4,5	3,6
<i>Diploria strigosa</i>	0,0	0,0	10,8	1,4	3,6	4,5	2,3
<i>Millepora alcicornis</i>	0,0	0,0	2,7	1,4	0,0	0,0	0,6
<i>Millepora complanata</i>	56,5	69,8	2,7	54,1	3,6	31,8	46,6
<i>Mycetophyllia aliciae</i>	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
<i>Orbicella annularis</i>	3,2	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	1,0
<i>Porites astreoides</i>	21,0	17,4	48,6	33,8	53,6	50,0	31,4
<i>Porites branneri</i>	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,3
<i>Porites porites</i>	0,0	7,0	0,0	0,0	7,1	4,5	2,9
Número de especies S	5	6	8	5	5	6	12
Total de colonias	62	86	37	74	28	22	309
Total de transectos lineales	12	10	12	12	13	13	72

En las crestas arrecifales estudiadas se cuantificaron 309 colonias e identificaron 12 especies de corales pétreos. El número de especies S por sitio varió entre cinco y ocho (Tabla 59). En cuanto al número de especies S por 10 m, promedió 2,0 para el área y varió entre 1,2 y 2,5 por sitio; y aunque se diferenciaron significativamente, todos los valores fueron “críticos” (*PERMANOVA*; pseudo-F<sub>(5; 66)</sub> = 6,4; p = 0,001; Fig. 49).

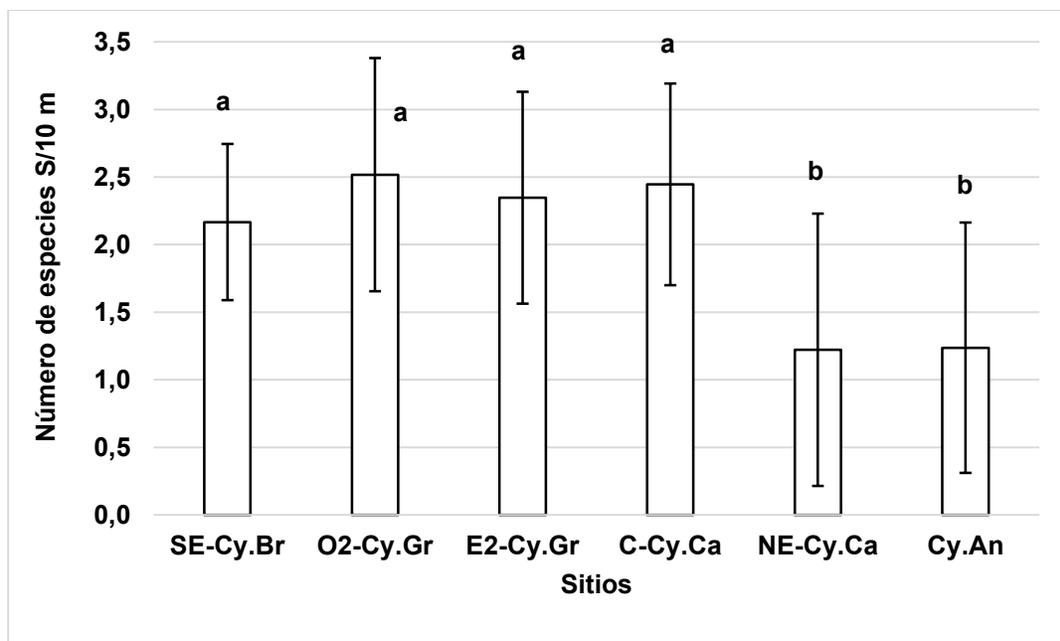


Figura 49. Número de especies de corales S por 10 m de las crestas arrecifales del archipiélago Jardines de la Reina en el 2015. Se representan las medias con sus desviaciones estándares por sitios. Las letras minúsculas desiguales indican las diferencias significativas entre las medias.

**Diámetro, altura y dimensión máximos de corales.** Las medias por sitio del diámetro, la altura y la dimensión máximos difirieron significativamente. El diámetro máximo promedió 55,8 cm y varió entre 20,1 y 74,8 cm (*PERMANOVA*; pseudo-F<sub>(5; 303)</sub> = 7,5; p = 0,001; Fig. 50); la altura máxima media fue de 24 cm y cambió entre 10,8 y 30 cm (*PERMANOVA*; pseudo-F<sub>(5; 303)</sub> = 5,0; p = 0,002; Fig. 51); y la dimensión máxima promedio fue de 55,9 cm y varió entre 20,3 y 74,8 cm (*PERMANOVA*; pseudo-F<sub>(5; 303)</sub> = 7,5; p = 0,001; Fig. 52). Estas variables tuvieron un comportamiento similar por sitios, y de acuerdo a los diámetros y a las dimensiones máximos encontrados E2-Cy.Gr y Cy.An fueron “críticos” y el resto “buenos”.