



Tendencia del cambio en el cubrimiento vivo por corales pétreos en los arrecifes coralinos de Cuba

Trend of change of live stony coral cover in Cuban coral reefs

Pedro M. Alcolado*, Hansel Caballero** y Susana Perera***

*Instituto de Oceanología, Ave. 1ra y 60, No. 18406, Reparto Flores, Playa, La Habana 11600, Cuba.

**Acuario Nacional, Ave. 1ra. Miramar, Playa, La Habana 11300, Cuba

***Centro Nacional de Áreas Protegidas, Calle 18ª, No. 4114, Playa, La Habana 11300, Cuba

alcolado@ama.cu

Resumen

Los promedios ponderados de cubrimiento de corales pétreos obtenidos con la información más reciente disponible en Cuba (2003 a 2009) fueron 17,6% para crestas y 13,4% para arrecifes frontales. La tasa de disminución anual promedio del cubrimiento vivo del fondo por corales pétreos para las crestas de arrecifes y para los arrecifes frontales de Cuba fueron muy parecidas, de 1,78%/año y 1,75%/año respectivamente, con un promedio conjunto de 1,76%/año. Este último promedio es algo inferior a los estimados de otros autores para el Gran Caribe (2,5% a 2,7% anual). La relación entre tasa anual de disminución del cubrimiento vivo de coral y el cubrimiento vivo de coral inicial quedó representada por la regresión $y = 0,0456x + 0,0142$. Sin embargo, existió una gran dispersión de los sitios con cubrimiento inicial menor de 40%, lo que no sugiere tal dependencia. Partiendo de la regresión anterior, el tiempo de persistencia de los arrecifes según su cubrimiento vivo de coral inicial, quedó representado por la función logarítmica $y = 21,018\ln(x) - 34,464$. De acuerdo a si se aceptó o no la dependencia, se pronosticaron escenarios de desaparición de los arrecifes de tipo promedio al cabo de aproximadamente 7 a 26 años para crestas y 5 a 20 años para arrecifes frontales, si las tendencias ambientales se mantienen. Para un cubrimiento excepcional de 40%, tanto en crestas como en arrecifes frontales, el tiempo de persistencia se pronosticó de 40 a 43 años. Al enfocar sitios específicos los resultados pueden ser muy diferentes para cubrimientos similares. Esta situación en Cuba se atribuye principalmente al incremento de la frecuencia e intensidad de los huracanes, a la proliferación de macroalgas por escasez de herbívoros (erizo de mar *Diadema antillarum*, y peces loros y barberos), y en menor grado a la enfermedades de corales.

Abstract

Weighted averages of live coral cover obtained in Cuba from recent available information (2003 a 2009) were 17,6% for reef crests and 13,4% for forereefs. Average annual decline of live stony coral cover in Cuban reef crests and forereefs were very alike, 1,78%/year and 1,75%/year respectively, with a joint average of 1,76 %/year. This latter average is a bit lower than those estimated by other authors for the wider Caribbean (2,5% to 2,7% per year). The relationship between between the annual rate of decrease of live coral cover and the initial live coral cover was rerepresented by the regression $y = 0,0456x + 0,0142$. However, there was a great dispersion of sites with with initial cover lower than 40%, which does not suggest such dependency. Departing from this regression, reef persistence time (in years) according to the inicial live coral cover was represented by the potential function $y = 21,018\ln(x) - 34,464$. According to the acceptance on not of such dependency, obtained scenarios of disappearance of average type reefs were after 7 to 26 years for reef crests and 5 to 20 years for forereefs, provided the environmental trends persist. For an exptional cover of 40% both in reef crests and forereefs, disappearance of best coral reefs of



Cuba is predicted after about 40 to 43 years. Focusing on particular reef sites, results can be locally very different for similar coral cover values. This situation in Cuba is ascribed mainly to the increase of hurricane frequency and intensity, macroalgal proliferation due to scarcity of herbivores (sea urchin *Diadema antillarum* and parrot and surgeon fishes), and in a lesser extend to coral disease.

Palabras claves: arrecifes coralinos, cubrimiento vivo de coral, tendencias, Cuba.

Key words: coral reefs, live coral cover, trends, Cuba.

INTRODUCCIÓN

El deterioro sostenido que se observa desde hace tres décadas en los arrecifes del mundo (Goneaga, 1990; Woodley, 1995; Jameson *et al.*, 1995; Lang *et al.*, 1998, Wilkinson, 2008) alarma no sólo a la comunidad científica internacional y a los aficionados al mar, sino también a gobiernos ya conscientes de la gran importancia económica y social de este ecosistema. Cuba, prácticamente toda rodeada de arrecifes, no escapa de esta situación (Alcolado *et al.*, 1997, 2003 y en prensa; Woodley *et al.* 2000 y González-Ferrer *et al.*, 2007).

A partir del 2000, ya se empieza a aceptar con fuerza que el cambio climático ha adquirido una mayor preponderancia en el deterioro de los arrecifes que las propias actividades humanas locales (Wilkinson 2000), lo que es ampliamente reconocido en la actualidad (Spalding, 2004 y Wilkinson y Souter, 2008).

En el Gran Caribe, el cubrimiento del fondo por coral vivo, como en el resto del mundo, ha descendido marcadamente (Gardner *et al.*, 2003; García-Salgado *et al.*, 2008). Por otro lado, en las últimas cuatro décadas la complejidad arquitectónica del arrecife se destruye rápidamente en todo el Gran Caribe (Alvarez-Filip *et al.*, 2009). Esta situación tiene serias implicaciones ecológicas y socioeconómicas, al afectar el refugio y la fuente de alimentos de peces e invertebrados, incluidos los de importancia comercial, así como disminuir la protección que brindan las crestas arrecifales a las costas y sus pobladores, recursos naturales e inversiones. Por estas razones, conocer la situación y tendencias de los arrecifes coralinos es crucial para implementar su manejo y para la adaptación al cambio climático.

El objetivo de este trabajo es obtener, para Cuba, una primera evaluación de la tendencia del cubrimiento vivo del fondo por coral, y un escenario preliminar y aproximado de los tiempos promedio de pérdida de los arrecifes coralinos en Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo referimos como coral a los corales pétreos tanto escleractinios como milepóridos. El cálculo de las tendencias de cubrimiento vivo de coral (que en lo adelante se menciona como cubrimiento de coral o simplemente, cubrimiento) y de la persistencia de los arrecifes coralinos en el Archipiélago Cubano se basó en información publicada, de informes técnicos, y de comunicaciones y datos personales de especialistas en arrecifes coralinos. Para el cálculo preliminar de la tasa anual de disminución del cubrimiento de coral se contó con datos de 1988 a 2007 y se incluyó información de 58 sitios de muestreo sobre una extensión lineal total aproximada de 750 km.

Los promedios nacionales del cubrimiento coralino del fondo, considerados como cubrimientos “recientes” de partida a los efectos del cálculo del tiempo pronosticado de



persistencia de los arrecifes, se basaron en datos de 2003 a 2009. Se tuvo que considerar todos esos años por la escasez de datos más recientes que abarcaran lo más posible el territorio de Cuba. Para ese promedio reciente de cubrimiento se consideraron 214 sitios en una extensión lineal de aproximadamente 1 180 km. Para una mejor representatividad de los resultados, los promedios fueron calculados mediante ponderación con la extensión territorial lineal representada por los arrecifes evaluados.

Para la determinación del tiempo pronosticado de persistencia de los arrecifes se tuvo en cuenta que un fondo rocoso con menos de 5% de cubrimiento vivo de coral ya no es considerado como un arrecife sino como una simple comunidad de corales (Wilkinson, 2008). Con este criterio, no habría que esperar la desaparición total de los corales para considerar a un arrecife como perdido. Como un primer paso se obtuvo la regresión lineal entre el cubrimiento inicial en los sitios y sus respectivas tasas anuales de disminución del cubrimiento. Posteriormente, se obtuvo el gráfico de pronóstico del tiempo de persistencia de los arrecifes aplicando una función logarítmica y partiendo de un cubrimiento de 70% (el mayor de los registrados en la información disponible). A este valor se le sustrajo su propia tasa de disminución de cubrimiento obtenida a partir de la regresión lineal mencionada, y se repitió este proceso de manera regresiva con el nuevo valor inicial de cubrimiento resultante de cada sustracción de pérdida anual, hasta llegar al 5% por lo antes explicado. Estos valores de cubrimiento se graficaron *versus* su año respectivo en la secuencia.

A pesar de que este estudio no abarca tanto el territorio del país como sería deseable debido a que su objetivo es brindar una primera aproximación, la información proviene de áreas ubicadas geográficamente de manera bastante representativa alrededor de Cuba (Fig. 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cubrimiento de coral vivo

Los promedios ponderados de cubrimiento de corales obtenidos para Cuba con la información más reciente disponible (años 2003 a 2009) fueron 17,6% para crestas y 13,4% del fondo rocoso para arrecifes frontales (Tabla 1), que consideramos como los porcentajes de cubrimiento que pueden tipificar a los arrecifes promedio de Cuba al hacer pronósticos generales. Sólo se han registrado tres sitios con cubrimientos de 50%: el arrecife frontal de María la Gorda en la Ensenada de Corrientes (Caballero *et al.*, 2007); el frontal del lado este de Bahía de Cochinos (SP y HC, com. personal); y la pequeña cresta de Faro Cazonas, al sur de la Península de Zapata (Alcolado *et al.*, en prensa).

Tasa anual de disminución del cubrimiento vivo de coral

La tasa anual de disminución del cubrimiento vivo del fondo por coral varió entre 0,0 y 3,39%, y los promedios ponderados para crestas y arrecifes frontales fueron muy parecidos (1,78%/año y 1,75%/año, respectivamente), por lo que pudieron ser considerados en conjunto.

El promedio ponderado para ambas zonas ecológicas del arrecife en conjunto fue de 1,76%/año (Tabla 2). Este es algo inferior al promedio que se estima a partir de los resultados de Gardner *et al.* (2003) para el Gran Caribe, de 2,7%/año de disminución del cubrimiento del fondo por corales. También es inferior a la tasa de disminución promedio



de aproximadamente 2,5%/año resultante de un estudio realizado entre 2004 y 2008 en áreas protegidas del Arrecife Mesoamericano (García-Salgado *et al.*, 2008). Para el Indo Pacífico, Bruno *et al.* (2007) refieren una tasa de disminución promedio del cubrimiento de 2%/año entre 1997 y 2003.

Tabla 1. Porcentaje de cubrimiento vivo de corales en crestas y arrecifes frontales en 2003-2009.

Table 1. Percent live coral cover in reef crests and forereefs in 2003-2009.

Localidad	Año	Extensión (km)	Crestas (%)	No. de sitios	Arrecifes frontales (%)	No. de sitios	Fuente
Arch. Sabana-Camagüey	2003	460	17	24	8	18	González-Ferrer <i>et al.</i> (2003)
Litoral Habanero	2003	7	-	0	11,5	4	González-Ontivero <i>et al.</i> (2007)
Cayo Levisa	2003	26	-	0	11	6	Guardia <i>et al.</i> (2006a)
Cayo Levisa	2003	17	31	2	18	11	Guardia <i>et al.</i> (2006b)
Rincón de Guanabo	2004	2	33	3	17	6	Caballero <i>et al.</i> (2006)
Litoral Habanero	2004	72	28	11	21	22	Caballero <i>et al.</i> (2005)
Cuba ReefCheck	2004	26	-	0	23	13	Creary <i>et al.</i> (2008)
Cuba ReefCheck	2005	8	-	0	21	4	Creary <i>et al.</i> (2008)
Arch. Jardines de la Reina	2005	250	9	3	17	5	Pina-Amargós (2008)
Guajimico	2006	12	-	0	27	14	Guardia (2006)
S y E de Golfo de Batabanó	2007	260	24	5	14	4	Alcolado <i>et al.</i> (2008)
Playa Santa Lucía	2008	15	≈3	3	6	12	Alcolado <i>et al.</i> (2009)
Ensenada de Corrientes	2008	74	-	0	17	37	S. Perera y H. Caballero (en preparación)
Bahía de Cochinos	2008	15	-	0	27	2	H. Caballero (en preparación)
Playa El Salado	2008	1	21,3	1	-	-	Caballero y Guardia (2003) y Semidey-Ravelo (2008)
María la Gorda	2009	4	-	0	14	4	S. Perera y H. Caballero (en preparación)
CUBRIMIENTO PROMEDIO PONDERADO			17,6		13,4		

Se observó una alta correlación positiva y altamente significativa ($P < 0.0003$) entre la tasa anual de disminución del cubrimiento vivo de coral y el cubrimiento inicial, representada por la regresión $y = 0,0456x + 0,0142$, con un alto nivel de determinación ($R^2 = 0,7088$) (Fig. 4). Hacia los cubrimientos menores la dispersión de los sitios es considerable, al parecer debido, por una parte, a las diferentes condiciones que incidieron sobre los arrecifes de cada sitio (frecuencia e intensidad de huracanes, invasión por algas enfermedades, etc.) y por otra, a las diferencias en los plazos en que se determinaron las tasas anuales de disminución del cubrimiento (Tabla 2).

Tiempo de persistencia de los arrecifes coralinos

Partiendo de la regresión lineal anterior, el pronóstico del tiempo de persistencia (en años) de los arrecifes según su cubrimiento vivo de coral quedó representado por la función logarítmica $y = 21,018\ln(x) - 34,464$ (Fig. 4).

En base a la curva logarítmica y los cubrimientos promedios estimados para el país, puede predecirse un escenario de persistencia de aproximadamente 26 años (a partir del

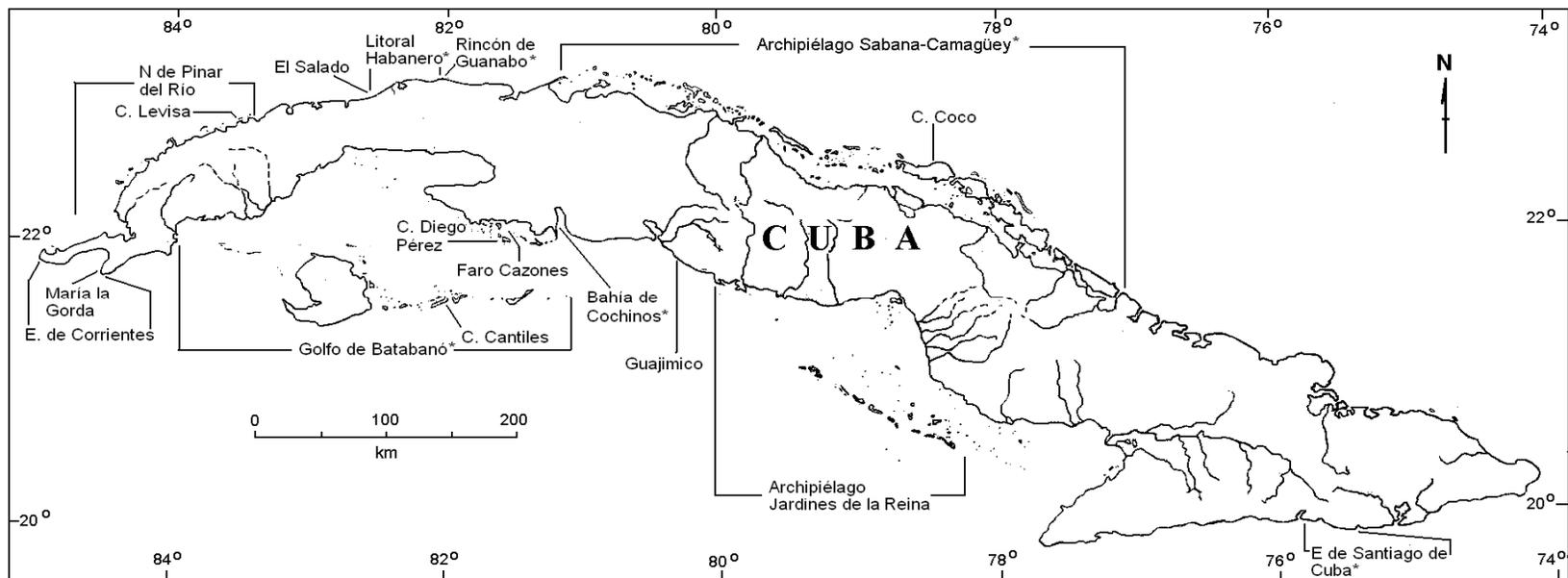


Figura 1. Distribución de las áreas y sitios cuya información fue incluida en este trabajo. Con asteriscos se señalan las localidades donde hubo información referida en la Tabla 1 como de ReefCheck.

Figure 1. Distribution of areas and sites which information was included in this paper. Localities where there was information referred in Table 1 as from ReefCheck are indicated with asterisks.

Tabla 2. Disminución anual del porcentaje de cubrimiento vivo de coral en arrecifes coralinos de Cuba.
 Table 2. Annual decrease of percent live coral cover in Cuban coral reefs.

Localidad y tipo de arrecife	Período	No. de estaciones	Extensión (km)	Promedio inicial	Promedio final	Tasa anual (%) de disminución de cubrimiento de corales	Fuentes de datos
Crestas del Arch. Sabana-Camagüey	May/2001-oct/2003	18	460	23,0	17,8	2,28	Expediciones de la 2da etapa del Proyecto PNUD/GEF Sabana-Camagüey
Cresta de Faro Cazonas	Mar/2001-jun/2007	1	0,2	70,6	49,5	3,39	Expedición IDO (AGRRA) Expedición Macroproyecto (Incendio C. de Zapata)
Cresta de cayo Cantiles	Oct/88-jun/2007	1	2	70,0	9,2	3,25*	Expediciones del IDO (Proyecto Arrecifes (1987-1989) y Proyecto Cambio Climático).
Cresta de SW de cayo Diego Pérez	Oct/88-jun/2007	1	0,4	70,0	31,0	3,07*	Expedición IDO (Proyecto Arrecifes (1987-1989)) Expedición Macroproyecto (Incendio C. de Zapata)
Crestas del S Golfo de Batabanó	Mar/2001-jun/2007	3	155	17,1	15,5	0,27**	Expediciones del IDO (AGRRA y Cambio climático)
Cresta de Playa el Salado	Abr/2001-jul/2008	1	1	23,0	21,3	0,0	Caballero y Guardia (2003) y Semidey-Ravelo (2008)
PROMEDIO PONDERADO ANUAL DE DISMINUCIÓN DEL CUBRIMIENTO EN CRESTAS						1,78	
SW de cayo Diego Pérez	Oct/1988-mar/2001	1	2	21,8	15,0	0,53	Expedición IDO (Proyecto Arrecifes (1987-1989)) Expedición IDO (AGRRA)
Cayo Coco	Jun/1994-nov/1997	1	2	7,0	5,7	0,50	Monitoreo CARICOMP
Arrecifes frontales del Arch. Sabana-Camagüey	May/1994-oct/2003	15	460	24,0	7,8	2,19*	Expedición de la 1ra etapa del Proyecto PNUD/GEF Sabana-Camagüey. Expedición del IDO
Arrecifes frontales del S y E del Golfo de Batabanó	Mar/2001-jun/2007	4	260	20,5	13,9	1,07	Expedición IDO (AGRRA) Expediciones de Macroproyecto (Incendio C. de Zapata) y del IDO (Proyecto Cambio Climático)
María la Gorda	Sep/2004-nov/2007	2	15	22,0	16,0	1,44	Caballero <i>et al.</i> (2007) y datos de S. Perera y H. Caballero
Bahía de Cochinos	Oct/2003-feb/2008	4	15	31,3	27,0	0,80	Caballero <i>et al.</i> (2004) y datos de H. Caballero
María la Gorda	Jul/1999-feb/2009	4	4	19,1	14,0	0,54	H. Caballero (en preparación) y datos de S. Perera y H. Caballero
PROMEDIO PONDERADO ANUAL DE DISMINUCIÓN DEL CUBRIMIENTO EN ARRECIFES FRONTALES						1,75	
PROMEDIO PONDERADO ANUAL DE DISMINUCIÓN DEL CUBRIMIENTO EN ARRECIFES EN GENERAL						1,76	

- Resultados aproximados, por ser los porcentajes de cubrimiento iniciales estimados por el método de apreciación visual (English *et al.*, 1997).
- ** Arrecifes tan degradados que las tasas de disminución del cubrimiento son casi imperceptibles. Pequeñas disminuciones se pueden incluso compensar con pequeños crecimientos temporales que no trascienden a una mayor recuperación, al parecer debido en gran parte al incremento notable de la frecuencia e intensidad de los huracanes.

año 2009) para los arrecifes de crestas de tipo promedio, y de 20 años para los arrecifes frontales.

Los mayores cubrimientos de coral registrados recientemente, excepcionalmente excedieron de 40% tanto en crestas como en arrecifes frontales. Con este cubrimiento se pronosticaría la desaparición de los arrecifes al cabo de aproximadamente 36 años.

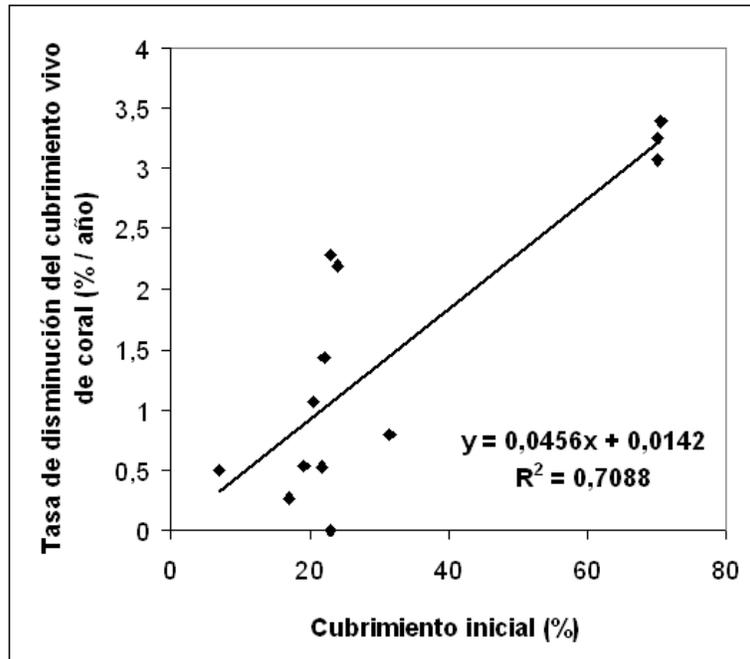


Figura 2. Regresión lineal entre la tasa anual de disminución del cubrimiento vivo de coral y el cubrimiento vivo de coral inicial, con todos los sitios incluidos.

Figure 2. Linear regression between annual rate of live coral cover decrease and initial live coral cover, with all sites included.

No obstante, en el gráfico de la regresión lineal (Fig. 4) los sitios con valores de cubrimiento menores de 40% están muy dispersos y sin tendencia aparente. De hecho, al aplicar una regresión lineal por separado para estos sitios ($y = 0,0371x + 0,1875$) se obtuvo una pendiente muy parecida a la de la regresión anterior, pero el nivel de determinación fue muy bajo ($R^2 = 0,0859$) y la correlación, no significativa ($p = 0.4110$). Esto sugiere que la tasa anual de disminución del cubrimiento no depende de manera importante del cubrimiento inicial dentro del margen de variación en que se encuentra la mayoría de los sitios (Fig. 4). Por otra parte, la gran dispersión de los puntos implica pronósticos muy diferentes de tasa anual de disminución para un mismo cubrimiento. Por este motivo los pronósticos han de referirse como situaciones promedio más que locales. Para realizar pronósticos locales confiables se requeriría la determinación de tasas de disminución de cubrimiento a partir de largas series históricas de datos sobre el sitio de interés.

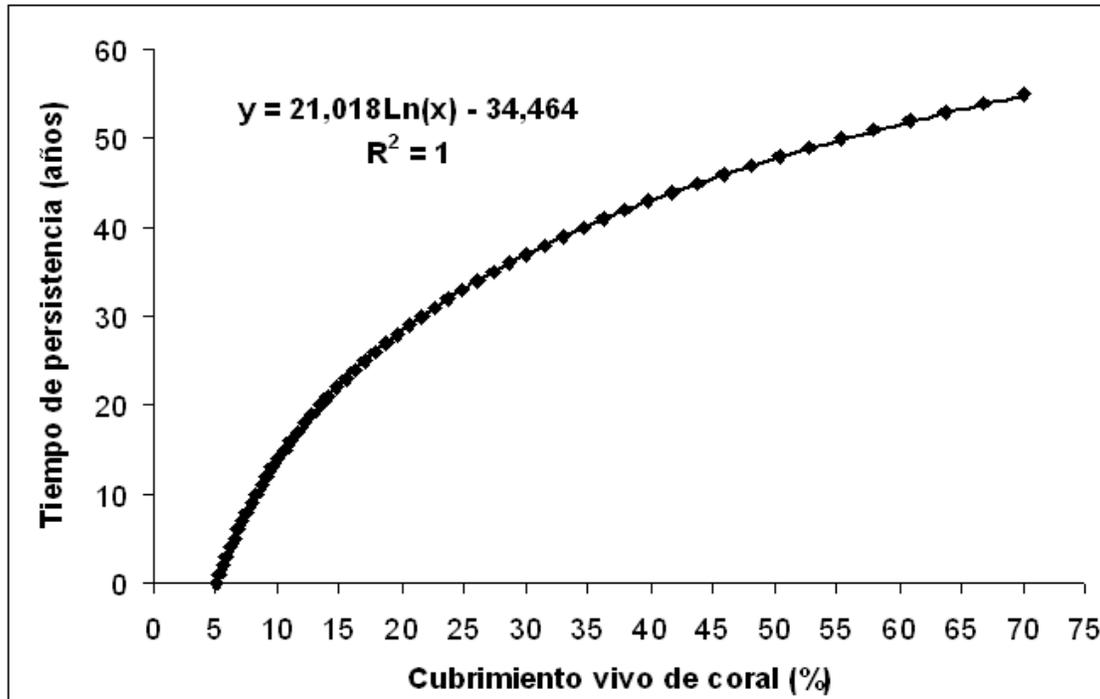


Figura 3. Función estimada para el pronóstico plazo de pérdida (persistencia) de arrecifes (en años) según su cubrimiento vivo de coral (nótese que el punto cero corresponde a un cubrimiento de 5%)

Figure 3. Estimate function for predicting of reef loss time (persistence) according to their live coral cover (note that the point zero corresponds to a 5% cover).

Esta gran variabilidad de la tasa anual de disminución de cubrimiento puede responder a diferencias en la frecuencia e intensidad de los efectos de los huracanes, el nivel de resguardo del sitio contra el viento y el oleaje, la intensidad de la proliferación de macroalgas por falta de herbivorismo, el grado de incidencia de enfermedades de corales (incluido el blanqueamiento), la longitud de los intervalos en que se evaluó la tasa anual, etc.

Si se tiene en cuenta lo anterior, y que el cálculo del tiempo de persistencia de los arrecifes se hace partiendo simplemente de los promedios nacionales de las tasas de disminución de cubrimiento de crestas y de arrecifes frontales por separado (Tabla 2), la desaparición de los arrecifes de tipo promedio se pronosticaría para al cabo de 7 años y 5 años, respectivamente. Para un cubrimiento de 40%, sería de 40 años aproximadamente.

Esto implicaría una situación peor, por su plazo más corto, que la que sugiere la curva logarítmica basada en todos los sitios evaluados.

El escenario proveniente de la función logarítmica es menos severo, pero cualquiera de los escenarios resultantes de los dos métodos aplicados demanda la urgencia de tomar todas las medidas necesarias para evitar que los daños antropogénicos a los arrecifes disminuyan su capacidad de persistir y adaptarse al cambio climático y/o la variabilidad climática.

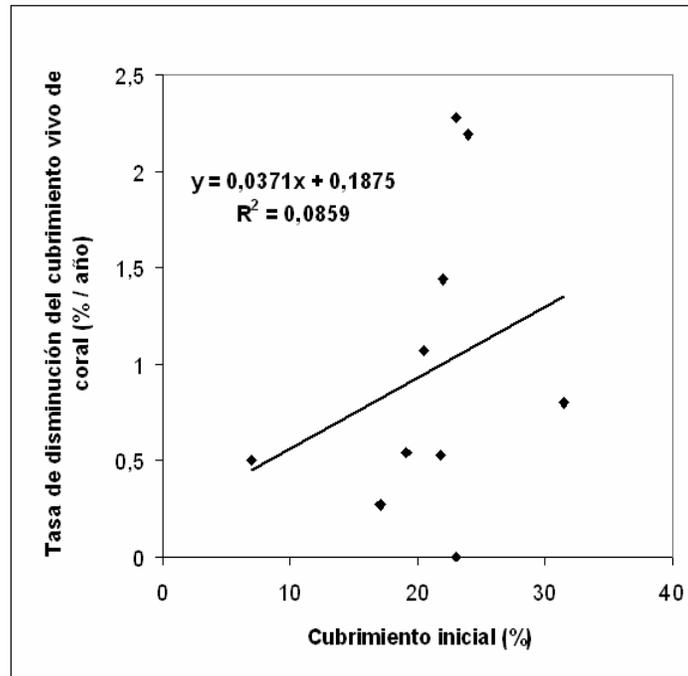


Figura 4. Regresión lineal entre la tasa anual de disminución del cubrimiento vivo de coral y el cubrimiento vivo de coral inicial, basada en valores de cubrimiento vivo de coral inicial menores de 40%.

Figure 4. Linear regression between annual rate of live coral cover decrease and initial live coral cover, based upon initial live coral cover values lower than 40%.

Consideraciones finales

Como resultado del efecto sinérgico de múltiples factores ambientales generados por los cambios en el clima y con la actividad humana, tiene lugar un proceso de degradación de los arrecifes del Gran Caribe (Gardner *et al.*, 2005). Según Hoegh-Guldberg (1999, 2004) y Eakin *et al.* (2008), los cambios genéticos de los corales o de sus zooxantelas simbiotas no parecen ser suficientemente rápidos como para que los primeros puedan adaptarse a los cambios. Por otro lado, Gardner *et al.* (2003) plantean que la capacidad de los arrecifes del Caribe para lidiar con los cambios locales y globales puede estar irremediablemente comprometida.

Si bien hay algunos indicios de que en el Caribe la incidencia de enfermedades infecciosas está disminuyendo (Miller *et al.*, 2003), la tendencia de incremento de la intensidad y frecuencia de huracanes parece mantenerse latente y persisten los eventos de blanqueamiento de corales, aunque no hemos recibido recientemente reportes de mortalidad masiva de corales por esta causa, a partir de la Red de Monitoreo Voluntario de Alerta Temprana de Arrecifes Coralinos de Cuba. Tampoco existe referencia publicada de mortalidad importante por blanqueamiento en Cuba. Sin embargo, sí hay que considerar el efecto acumulativo y sostenido deben estar causando que eventos de blanqueamiento de baja intensidad.



Existen evidencias que sugieren que ocurrió una fuerte mortalidad por blanqueamiento en 1988 en el sur del Golfo de Batabanó, que en sinergia con el Huracán Gilbert causó una gran mortalidad del coral *Acropora palmata* (Alcolado *et al.*, en prensa).

Otra presión sobre los arrecifes considerada muy importante, a la par que el aumento de la temperatura superficial del mar, es la disminución paulatina de la saturación carbonato de calcio en forma de aragonito en la superficie del mar (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; Gledhill *et al.*, 2008) lo que entrañaría disminuciones preocupantes en la tasa de formación del esqueleto de los corales y de otros organismos (Kleypas *et al.*, 1999).

A lo anterior hay que añadir que, a pesar de que ha habido recuperaciones locales del erizo herbívoro *Diadema antillarum* en algunas localidades de Cuba (Alcolado *et al.*, 2005) y el Caribe, éstas no son suficientemente generalizadas como para que pueda haber un control efectivo de la proliferación excesiva de macroalgas. Éstas últimas impiden, mediante competencia por la ocupación del espacio, el reclutamiento de nuevos corales en sustitución de los que van muriendo, y afectan de diferentes maneras los corales ya establecidos (sombreado, abrasión, transmisión de enfermedades, sustancias tóxicas). Por otro lado, está muy generalizada en Cuba la escasez de peces herbívoros, particularmente de peces loros y barberos, que también contribuyen al control de las algas, y cuya pesca no debe ser permitida en las circunstancias actuales.

Para complicar la situación, a lo largo de las últimas cuatro décadas la complejidad arquitectónica del arrecife se está destruyendo más rápido de lo previsto en todo el Gran Caribe ya que los esqueletos remanentes de los corales que van muriendo sufren erosión acelerada (Alvarez-Filip *et al.*, 2009). Esto da lugar al fenómeno que los autores llaman "aplanamiento de arrecifes" (*reef flattening*). Debido a este proceso, los arrecifes van dejando de ejercer sus funciones ecológicas (refugio para depredadores y presas, protección de la base rocosa del arrecife, etc.) y de brindar sus servicios ambientales (protección costera, pesca, turismo, etc.). Según la publicación antes citada, la proporción de arrecifes complejos se ha reducido, aproximadamente, de 45% en 1969 a 2% en 2008. Una extensión extrapolada de la tendencia de pérdida de complejidad arquitectónica en el gráfico brindado por los autores pronostica la desaparición de los arrecifes con estructura compleja para el año 2015. Por otra parte, deben reducirse enormemente las expectativas de recuperación de los arrecifes a través del recapamiento (Jordan-Dahlgren, 1992) y del reclutamiento de corales sobre las estructuras remanentes de antiguos corales.

En el caso de Cuba, por su ubicación geográfica, es preocupante el gran impacto que ejercen los frecuentes huracanes sobre el cubrimiento de coral vivo (Gardner *et al.*, 2005; Alcolado *et al.*, en prensa) y como agente erosivo de la armazón de los arrecifes. Por otro lado, han de considerarse los efectos erosivos y limitantes sobre el desarrollo de los corales en las zonas expuestas a los persistentes vientos alisios (nordeste de Cuba) y a los fuertes vientos de los frentes fríos (parte más noroccidental, sobre todo frente a la provincia de Pinar del Río).

Este último fenómeno, unido a la sostenida disminución del cubrimiento del fondo por corales pétreos observada por Gardner *et al.* (2003), García-Salgado *et al.* (2008) y el presente trabajo, predicen un escenario poco halagüeño en un plazo bastante corto si se mantienen las tendencias observadas. La biodiversidad, y los bienes y servicios ambientales de los arrecifes de la región se verán seriamente afectados, como bien refieren Alvarez-Filip *et al.* (2009).



CONCLUSIONES

1. Los promedios ponderados de cubrimiento vivo de coral obtenidos para Cuba (años 2003 a 2009) fueron 17,6% para crestas y 13,4% para arrecifes frontales.
2. La tasa anual de disminución del cubrimiento vivo de coral dependió del cubrimiento vivo de coral inicial, cumpliendo la regresión lineal $y = 0,0456x + 0,0142$, con un alto nivel de determinación (0,7088).
3. Para cubrimientos vivos de coral iniciales menores de 40%, la tasa anual de disminución del cubrimiento no parece depender del cubrimiento inicial.
4. Si se asume una dependencia lineal entre la tasa anual de disminución del cubrimiento y este último, el tiempo de persistencia de los arrecifes se pronostica preliminarmente partiendo del cubrimiento inicial mediante la función logarítmica $y = 21,018\text{Ln}(x) - 34,464$.
5. Según el criterio que se aplique en cuanto a dependencia o no de la tasa anual de disminución del cubrimiento vivo de coral respecto al cubrimiento vivo, el escenario preliminar obtenido de desaparición de los arrecifes coralinos en Cuba es de entre 7 y 26 años para las crestas arrecifales y de entre 5 y 20 años para los arrecifes frontales, a partir de 2009.

RECOMENDACIONES

1. Urge tomar todas las medidas necesarias para evitar que los daños antropogénicos a los arrecifes disminuyan su capacidad de persistir y adaptarse a los cambios ambientales vinculados al cambio climático y/o la variabilidad climática.
2. Incrementar el número de datos de cambio de cubrimiento vivo de coral para precisar si existe o no dependencia de la tasa anual de disminución del cubrimiento vivo de coral y el cubrimiento vivo de coral inicial y , si existe, precisar mejor la función logarítmica obtenida.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Rodolfo Claro, Roberto Pérez de los Reyes, Lilian Arriaza y a Elisa Eva García, por la revisión del manuscrito y por sus valiosas recomendaciones. Igualmente deseamos reconocer la contribución de Proyecto PNUD/GEF Sabana-Camagüey, Iniciativa AGRRA, *Ocean Research and Education Foundation*, Iniciativa CARICOMP, *National Geographic Society's Committee on Research and Exploration*, y al Programa Nacional de Ciencia y Técnica del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, cuyas contribuciones permitieron acumular conocimientos y valiosa información sobre los arrecifes coralinos de Cuba.

REFERENCIAS

- Alcolado, P. M., Claro, R., Menéndez, G. y Martínez-Daranas, B. 1997. General status of Cuban coral reefs. *Proc. 8th Int. Coral Reef Sym.*, 1: 341-344.



- Alcolado, P.M., Claro, R., Martínez-Daranas, B., Menéndez, G., García P. y Sosa, M. 2003. The Cuban Coral Reefs. En: *Latin American Coral Reefs*, (J. Cortés, ed.). Elsevier Science, pp. 53-76.
- Alcolado, P. M., Valle, R. del, González, S., Caballero H. y Rodríguez. R. 2005. Abundance of the long spine black sea urchin *Diadema antillarum* on Cuban coral reefs (1999-2003). Póster. *Diadema Workshop*. The Nature Conservancy y University of Miami, March 2005.
- Alcolado, P. M., Martínez-Daranas, B., Caballero-Aragón, H., Hidalgo-Rodríguez, G., Busutil-López, L., Durán-Rodríguez, A. y Lake-Barragán, J. J. 2009. *Informe final de biología marina para el proyecto Gestión ambiental de la zona costera como contribución a la sostenibilidad del desarrollo turístico en Santa Lucía, Camagüey*. Instituto de Oceanología, La Habana.
- Alcolado, P. M., Hernández-Muñoz, D., Caballero, H., Busutil, L., Perera, S. y Hidalgo, G. En prensa. Efectos de un inusual período de alta frecuencia de huracanes sobre el bentos de arrecifes coralinos. *Rev. Cien. Mar. Cost.*
- Alvarez-Filip, L., Dulvy, N. K., Gill, J. A., Cote, I. M. y Watkinson, A. R. 2009. Flattening of Caribbean coral reefs: region-wide declines in architectural complexity. *Proc. R. Soc. B*, doi: 10.1098/rspb.2009.0339, pp, 1-7 <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2009.0339>.
- Bruno, J. F. y Selig, E. R. 2007. Regional Decline of Coral Cover in the Indo-Pacific: Timing, Extent, and Subregional Comparisons. *PLoS ONE*, 8: 1-8. www.plosone.org.
- Caballero, H. y Guardia, E. de la. 2003. Arrecifes de coral utilizados como zonas de colectas para exhibiciones en el Acuario Nacional de Cuba, I. Costa norooccidental de La Habana, cuba. *Rev. Invest. Mar.* 24(3):205-220.
- Caballero, H., Varona, G. y García, Y. 2004. Estructura ecológica de las comunidades de corales de la costa oriental de Bahía de Cochinos, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 25(1): 23-36.
- Caballero, H., Chevalier, P., Cárdenas, A. L., Rosales, D., Alcalá, A. y Olaechea, A. 2005. *Evaluación ecológica de las zonas de colecta del Acuario Nacional de Cuba en el litoral norte de las provincias habaneras, Cuba. Corales, gorgonáceos, esponjas y peces*. Proyecto Ramal No 30801. Acuario Nacional de Cuba.
- Caballero, H., Rosales, D. y Alcalá, A. 2006. Estudio diagnóstico del arrecife coralino del Rincón de Guanabo, Ciudad de La Habana, Cuba. 1. Corales, gorgonáceos y esponjas. *Rev. Invest. Mar.* 26(3): 207-217.
- Caballero, H., González-Ferrer, S., Cobián, D., Álvarez, S. y Alcolado-Prieto, P. 2007. Evaluación AGRRA del bentos en diez sitios de buceo de "María la Gorda", Bahía de Corrientes, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 28(2): 131-138.
- Creary, M., Alcolado, P., Coelho, V., Crabbe, J., Green, S., Geraldés, F., Henry, A., Hibbert, M., Jones, R., Jones-Smith, L., Manfrino, C., Croy McCoy, S. M. y Wiener, J. 2008. Status of Coral Reefs in the Northern Caribbean and Western Atlantic GCRMN Node in 2008. En: C. Wilkinson (ed.), *Status of coral reefs of the world: 2008*. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia, pp. 239-252.
- Eakin, C. M., Kleypas, J. y Hoegh-Guldberg, O. 2008. Global Climate Change and Coral Reefs: Rising Temperatures, Acidification and the Need for Resilient Reefs. En: *Status of the Coral Reefs of the World: 2008*, (C. Wilkinson, ed.). Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia, pp. 29-34.



- English, S., Wilkinson, C. y Baker, V. 1997. *Survey manual for tropical marine resources* (segunda edición). Australian Institute of Marine Science, Townsville, 390 pp.
- García-Salgado, M., Nava-Martínez, G., Bood, N., Mcfcfield, M., Molina-Ramirez, A., Yañez-Rivera, B., Jacobs, N., Shank, B., Vázquez, M., Majil, I., Cubas, A., Domínguez-Calderon, J. J. y Arrivillaga, A. 2008. Status of Coral Reefs in the Mesoamerican Region. En: *Status of the Coral Reefs or the World: 2008*, (C. Wilkinson, ed.). Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia, pp. 253 -264.
- Gardner, T. A., Cote, I. M., Gill, J. A., Grant, A. y Watkinson, A. R. 2003. Long-Term Region-Wide Declines in Caribbean Corals. *Sci.*, 301: 958-960.
- Gardner, T. A., Cote, I. M., Gill, J. A., Grant A. y Watkinson, A. R. 2005. Hurricanes and Caribbean Reefs: Impacts, recovery patterns, and role in long term decline. *Ecol.*, 86(1): 174-184.
- Gledhill, D., Wanninkhof, R., Millero, F. J. y Eakin, M. 2008. Ocean acidification of the Greater Caribbean Region 1996–2006. *J. Geophys. Res.-Oceans*, 113 (C10031): 1-11.
- Goneaga, C. 1990. The state of coral reefs in the Wider Caribbean. *Interciencia*, 16(1): 12-20.
- González, S., Cantelar, K., Pina, F., Alcolado, P. M., Jiménez, A., Espinosa, J., Hernández, M. y Hernández, J. L. 2007. Estado de los arrecifes coralinos. En: *Ecosistema Sabana-Camagüey: Estado, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad*, (P. M. Alcolado, E. E. García y M. Arellano-Acosta, eds.). Editorial Academia, La Habana, pp. 38-50.
- Guardia, E. de la. 2006. Caracterización de la comunidad de corales y estimación del efecto del buceo recreativo en Guajimico, región sur central de Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 27(3):191-196.
- Guardia, E. de la, Gonzáles-Díaz, P. y González-Sansón, G. 2006a. Descripción de puntos de buceo en Cayo Levisa, Archipiélago de los Colorados, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 27(2): 133-146.
- Guardia, E. de la, González-Díaz, P., Valdivia, A. y González-Ontivero, O. 2006b. Estructura y salud de la comunidad de corales en arrecifes de la zona de buceo de Cayo Levisa, Archipiélago Los Colorados, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 27(3): 197-208.
- Jameson, S. C., McManus J. W. y Spalding, M. D. 1995. *State of the reefs: Regional and global perspectives*. *International Coral Reef Initiative Executive Secretariat Background Paper*, ICRI, 32 pp.
- González-Ferrer, S., Cantelar-Ramos, K., Marcos-Sardiñas, Z., Muñoz-Nuñez, D., Jiménez-Castillos, A., Alcolado, P. M., Hernández, M. y Hernández, J. L. 2003. *Evaluación del estado de salud de los arrecifes coralinos del Archipiélago Sabana-Camagüey*. Archivo Científico del Instituto de Oceanología.
- González-Ontivero, O., Macías, D. y Guardia, E. de la. 2007. Evaluación de corales escleractinios y gorgonias de dos localidades de Ciudad de La Habana, Cuba. *Rev. Inv. Mar.*, 28(1); 21-27.
- Hoegh-Guldberg, O., 1999: Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Mar. Freshwater Res.*, 50: 839-866.
- Hoegh-Guldberg, O. 2004. Coral reefs in a century of rapid environmental change. *Symbiosis*, 37: 1-31.



- Hoegh-Guldberg, O, Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C. D., Sale, P. F., Edwards, A. J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R. H., Dubi, A. y Hatzitolos, M. E. 2007. Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. Review. *Science*, 318: 1737-1742.
- Jordan-Dahlgren, E. 1992 Recolonization patterns of *Acropora palmata* in a marginal environment. *Bull. Mar. Sci.*, 51(1): 104-117.
- Kleypas, J. A., Buddemeier, R. W., Archer, D., Gattuso, J. P., Langdon, C. y Opdyke, B. N. 1999. Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. *Sci.*, 284: 118-120.
- Lang, J., Alcolado, P., Carricart-Ganivet, J. C., Chiappone, M., Curran, A., Dustan, P., Gaudian, G., Geraldés, F., Gittings, S., Smith, R., Tunnell, W. y Wiener, J. 1998. Status of coral reefs in the northern areas of the Wider Caribbean. En: *Status of coral reefs of the world: 1998*, (C. Wilkinson, ed.), Global Coral Reef Monitoring Network. Australian Institute of Marine Science, pp. 123-134.
- Miller, J., Rogers, C. y Waara, R. 2003. Monitoring the coral disease, plague type II, on coral reefs in St. John, U.S. Virgin Islands. *Rev. Biol. Trop.*, 51: 47-55.
- Pina-Amargós, F. 2008. *Efectividad de la Reserva marina de Jardines de la Reina en la conservación de la ictiofauna*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Biológicas. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros, Cayo Coco, 117 pp.
- Semidey-Ravelo, A. 2008. *Variaciones espaciales y temporales en comunidades de corales de arrecifes de cresta del norte de La Habana, Cuba*. Trabajo de Diploma. Universidad de La Habana, 48
- Spalding, M. D. (2004). *A guide to the coral reefs of the Caribbean*. University of California Press, Berkeley, 256 pp.
- Wilkinson, C. 2000. Executive Summary. En: *Status of Coral Reefs of the World: 2000*. Australian Institute of Marine Science, 363 pp.
- Wilkinson, C. y Souter, D. 2008. Status of Caribbean Coral Reefs after Bleaching and Hurricanes in 2005. Global Coral Reef Monitoring Network, and Rainforest Research Center, Townsville, 152 pp.
- Wilkinson, C. 2008. *Status of the Coral Reefs of the World: 2008*. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia, 296 pp.
- Woodley, J. D. 1995. Tropical Americas regional report on the issues and activities associated with coral reefs and related ecosystems. Prepared for The 1995 International Coral Reef Initiative Workshop. Regional Coordinating Unit and CARICOMP, 63 pp.
- Woodley, J.D., Alcolado, P., Austin, T., Barnes, J., Claro-Madruga, R., Ebanks-Petrie, G., Estrada, R., Geraldés, F., Glasspool, A., Homer, F., Luckhurst, B., Phillips, E., Shinn, D., Smith, R., Sullivan-Sealey, K., Vega, M., Ward, J. y Wiener, J. 2000. Status of coral reefs in the northern Caribbean and western Atlantic. En: *Status of coral reefs of the world: 2000* (C. Wilkinson, ed.), Global Coral Reef Monitoring Network. Australian Institute of Marine Science, pp. 239-26.