




Reducción en la cobertura coralina del arrecife de La Chola (Pacífico Oriental Tropical)

Coral cover decline on La Chola reef (Eastern Tropical Pacific)

Mateo López-Victoria^a y Fernando A. Zapata^b

 0000-0002-7307-8680 [Mateo]

 0000-0001-8989-4458

^aDepartamento de Ciencias Naturales y Matemáticas, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Calle 18 # 118-250, Cali, Colombia; malov@puj.edu.co

^bDepartamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Valle, Calle 13 # 100-00 Cali, Colombia; fernando.zapata@correounivalle.edu.co

RESUMEN

En el extremo oriental del Pacífico Oriental Tropical se encuentra el arrecife de La Chola. Esta es una formación coralina de 11 ha de extensión, dominada por corales ramificados del género *Pocillopora*. El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios en la cobertura coralina de este arrecife en el tiempo, mediante comparaciones entre datos tomados en 2002 y en 2013, usando transectos fijos. Adicionalmente, se generó un mapa actualizado de este arrecife, a partir de datos de campo tomados con un GPS, y se presentan los primeros datos de temperatura del agua. El arrecife experimentó una reducción cercana a 20% en la cobertura coralina viva durante el período evaluado, con un incremento en la cobertura de algas (principalmente algas coralinas). La extensión del arrecife parece haberse mantenido estable durante los últimos 30 años. Además de los factores habituales asociados con las limitaciones en cobertura coralina de esta región del Pacífico, se proponen los descensos estacionales en la temperatura como potencial causa de las pérdidas de cobertura coralina en los sectores más profundos del arrecife.

PALABRA CLAVE: *Dinámica arrecifal, Cambios temporales, Pacífico colombiano, Cobertura coralina, Temperatura fría.*

ABSTRACT

La Chola Reef is located at the easternmost sector of the Eastern Tropical Pacific. This coral formation of 11 ha is dominated by branching corals of the genus *Pocillopora*. The main goal of this study was to evaluate changes in coral cover over time, by comparing data collected in 2002 and 2013, implementing the chain transect methodology. Additionally, we generated an up-to-date map of this reef using field data collected with a GPS and present the first *in-situ* water temperature data. The reef exhibited a 20% coral cover decline during the study period, with associated increases in algal cover (mainly coralline algae). Total extension of the reef seems to have remained stable during the last 30 years. Besides the usual stressors commonly associated with limitations in coral reef development in this region of the Pacific, seasonal decreases in temperature are proposed as a potential cause of coral cover loss on the deeper sectors of the reef.

KEY WORDS: *Reef dynamics, Temporal changes, Colombian Pacific, Coral cover, Low water temperature.*

INTRODUCCIÓN

Son pocos y pobremente desarrollados los arrecifes coralinos del Pacífico oriental tropical (Cortés, 2003), entre los cuales el de La Chola es el mejor desarrollado en la costa del Pacífico continental colombiano (Zapata y Vargas-Ángel, 2003). Este arrecife se localiza en el costado oriental de la ensenada de Utría, en el departamento del Chocó, una región del Pacífico colombiano poco habitada y alejada de centros urbanos. A pesar de la relativa importancia de este arrecife, su localización remota lo ha mantenido lejos de la atención de centros de investigación. Adicionalmente, la inestabilidad social de la región, producto del conflicto interno que ha vivido Colombia desde hace décadas, previno durante muchos años la visita de investigadores a este arrecife, limitando aún más su conocimiento. Prah y Erhardt (1985) fueron los primeros en llamar la atención sobre la existencia de este arrecife y lo describieron de manera general. Vargas-Ángel (1988, 1996) publicó descripciones detalladas de esta formación coralina, así como de otras de menor cobertura y desarrollo, localizadas en inmediaciones de la misma ensenada. Díaz *et al.* (2000) y Zapata y Vargas-Ángel (2003) publicaron algunas notas generales sobre la cobertura coralina de La Chola, suministrando además un mapa aproximado [basado en Vargas-Ángel (1996)], con la distribución de las principales unidades ecológicas de este arrecife. Vargas-Ángel (2003) comparó varias variables bióticas y abióticas de dos arrecifes costeros (La Chola y Tebada) con los de un arrecife insular (La Azufrada, isla Gorgona), para identificar los determinantes de la estructura de las comunidades coralinas en el Pacífico colombiano. Más recientemente, Vargas-Ochoa y Ramírez-Gallego (2008) hicieron una descripción general del estado del arrecife, enfocándose en la cobertura de corales y algas, principalmente. A pesar de que todos esos estudios ofrecen una buena aproximación de la forma y tamaño del arrecife, así como de la cobertura de sus principales componentes bentónicos, se dificulta un análisis sobre la dinámica temporal de este arrecife porque todos esos estudios se han basado en un método de muestreo equivalente (transectos de cadena), pero ubicados en distintos sectores del arrecife y en distintas épocas del año, lo que dificulta las comparaciones directas.

Para resolver el problema de las limitaciones en las comparaciones, en 2002 el Sistema de Monitoreo de Arrecifes Coralinos de Colombia [SIMAC; Garzón-Ferreira y Rodríguez-Ramírez (2010)] estableció seis estaciones fijas de monitoreo en el arrecife de La Chola, abriendo la posibilidad de hacer un seguimiento riguroso y periódico al

INTRODUCTION

The coral reefs of the Eastern Tropical Pacific are few and poorly developed (Cortés, 2003), among which La Chola Reef is the best developed on the coast of the Colombian continental Pacific (Zapata and Vargas-Ángel, 2003). This reef is located on the eastern side of the Utría cove, in the department of Chocó, a region of the Colombian Pacific that has few inhabitants and is far from urban centers. Despite the relative importance of this reef, its remote location has kept it away from the attention of researchers. Additionally, the social instability of the region, a product of the internal conflict that Colombia has endured for decades, has prevented visits by researchers to this reef for many years, further limiting their knowledge. Prah and Erhardt (1985) were the first to note the existence of this reef, and they described it in a general way. Vargas-Ángel (1988, 1996) published detailed descriptions of this coral formation, as well as others of lesser coverage and development in the vicinity of the same cove. Díaz *et al.* (2000) and Zapata and Vargas-Ángel (2003) published some general notes on the coral reef cover of La Chola, also providing an approximate map (based on Vargas-Ángel, 1996), which showed the distribution of the main ecological units of this reef. Vargas-Ángel (2003) compared several biotic and abiotic variables of two coastal reefs (La Chola and Tebada) with those of an insular reef (La Azufrada, Gorgona Island), to identify the determinants of the structure of the coral communities in the Colombian Pacific. More recently, Vargas-Ochoa and Ramírez-Gallego (2008) gave a general description of the state of the reef, mainly focusing on the coverage of corals and algae. Although these studies offer a good approximation of the shape and size of the reef, as well as the coverage of its main benthic components, an analysis of the temporal dynamics of this reef is difficult because all those studies were based on the same sampling method (chain transects), but the studies were located in different sectors of the reef at different times of the year, which makes direct comparisons difficult.

To solve the problem of limitations in the comparisons, in 2002 the Coral Reef Monitoring System of Colombia [Sistema de Monitoreo de Arrecifes Coralinos de Colombia, SIMAC (Garzón-Ferreira and Rodríguez-Ramírez, 2010)] established six fixed monitoring stations on the La Chola reef, opening the possibility of rigorous and periodic monitoring of the state of the reef. However,

estado del arrecife. Empero, por las razones ya expuestas, dicho seguimiento no se había podido hacer. Los resultados iniciales de esa primera evaluación en estaciones fijas fueron presentados como informes técnicos, sin publicar (Garzón-Ferreira *et al.*, 2002, 2003). Casi una década después de esa primera evaluación sistemática y estandarizada al estado del arrecife de La Chola se realizó un muestreo de esas estaciones, usando exactamente los mismos métodos empleados en 2002, para establecer: a) la cobertura de los principales componentes del bentos en el arrecife, y b) los principales cambios en esas coberturas durante la última década. Adicionalmente, se recorrió por completo el contorno del arrecife para elaborar un mapa actualizado de su extensión, y se recuperó un dispositivo automático de medición de temperatura, cuyos datos permiten describir la variación de esta variable a lo largo de un año. En este trabajo se presentan los resultados de esa evaluación, y se proponen escenarios que ayudan a explicar los cambios en la cobertura bentónica del arrecife de La Chola.

ÁREA DE ESTUDIO

El arrecife de La Chola (conocido localmente también como La Aguada) se localiza en la margen oriental de la entrada de la ensenada de Utría (6°00'40" N - 77°20'48" W), una pequeña bahía alargada de tipo fiordo, que se localiza en la mitad norte del Pacífico colombiano (Fig. 1). Se trata de una región en extremo lluviosa (más de 5000 mm anuales de precipitación), con temperatura promedio anual de 25.7°C, y humedad relativa promedio cercana a 80% (datos de una estación meteorológica localizada en Bahía Solano a 24 km de distancia al norte del arrecife de La Chola en línea recta; IDEAM, 2005). La región se caracteriza por dos épocas climáticas, una seca a comienzo de año y otra lluviosa a partir de abril-mayo (IDEAM, 2005). El arrecife presenta un andamiaje coralino medianamente desarrollado, con sectores someros dominados por *Pocillopora* spp. y sectores intermedios con presencia de algunas colonias dispersas de corales masivos, entre una matriz de *Pocillopora* spp. y *Psammocora stellata* Verrill (Vargas-Ángel, 1988, 1996; Díaz *et al.*, 2000; Zapata y Vargas-Ángel, 2003; Vargas-Ochoa y Ramírez-Gallego, 2008). Las formaciones coralinas no alcanzan más de 6-8 m de profundidad y no es clara una zonación arrecifal, pero sí son evidentes sectores someros, con buen desarrollo coralino y sectores profundos con pobre cobertura. Datos previos sobre la temperatura del agua en la ensenada de Utría son escasos o son derivados de mediciones satelitales (Vargas-Ángel *et al.*, 2001; Vargas-Ángel, 2003). Durante las lluvias hay copiosa

for the reasons already explained, this follow-up had not been possible. The initial results of that first evaluation in fixed stations were presented in unpublished technical reports (Garzón-Ferreira *et al.*, 2002, 2003). Almost a decade after that first systematic and standardized evaluation of the state of the La Chola reef, a sampling of these stations was made, using exactly the same method used in 2002, to establish the following: a) the coverage of the main components of benthos in the reef, and b) the main changes that have occurred in this coverage in the last decade. In addition, the contour of the reef was completely examined to produce an updated map of its extension, and an automatic temperature measurement device was recovered, whose data provided temperature variations occurring over a year. This paper presents the results of this assessment and proposes scenarios that help explain the changes in the benthic coverage of La Chola reef.

STUDY AREA

La Chola reef (also known locally as La Aguada) is located on the eastern margin of the entrance of the Utría inlet (6°00'40"N-77°20'48"W), a small, elongated, fjord-type bay, which is located in the northern half of the Colombian Pacific (Fig. 1). This area is an extremely rainy region (more than 5000 mm of rainfall per year), with an average annual temperature of 25.7 °C and average relative humidity of approximately 80% (data from a meteorological station located in Bahía Solano, 24 km to the north of La Chola reef, in a straight line, IDEAM, 2005). The region is characterized by two climatic periods, one dry at the beginning of the year and the other rainy, starting in April-May (IDEAM, 2005). The reef has a moderately developed coral framework, with shallow sectors dominated by *Pocillopora* spp. and intermediate sectors with the presence of some scattered colonies of massive corals in a matrix of *Pocillopora* spp. and *Psammocora stellata* Verrill (Vargas-Ángel 1988, 1996; Díaz *et al.*, 2000; Zapata and Vargas-Ángel, 2003; Vargas-Ochoa and Ramírez-Gallego, 2008). The coral formations do not reach more than 6-8 m in depth, and the reef zonation is not clear, but obvious shallow sectors with good coral development and deep sectors with poor coverage are present. Previous data on the water temperature in the Utría cove is scarce or derived from satellite measurements (Vargas-Ángel *et al.*, 2001;

escorrentía de aguas cargadas de sedimentos (Vargas-Ángel, 1988, 1996). Las mareas en este sector son semidiurnas, con una amplitud máxima de 5.4 m (IDEAM, 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

Siguiendo los protocolos de SIMAC (Garzón-Ferreira *et al.*, 2002, 2003), se realizaron muestreos entre 22 y 25 de febrero de 2013, en las seis estaciones de monitoreo establecidas en 2002; tres someras (2-3 m en marea alta) y tres profundas (5 m). En cada estación se buscaron todos los pares de varillas colocados por SIMAC ($n = 18$); por cada estación había originalmente seis varillas, que señalaban el punto de inicio y finalización de tres transectos, cada uno de 10 m de largo. Sin embargo, solo se encontraron ocho pares de varillas en total (Anexo 1), así que los análisis comparativos entre 2002 y 2013 se remiten exclusivamente a esos ocho transectos (para efectos descriptivos de la cobertura actual del arrecife, se emplearon todos los transectos, nueve someros y nueve profundos). En los casos en los que no se encontró la segunda varilla, se ubicó una provisional, calculando el punto aproximado en donde estuvo la varilla original (según los mapas de localización de los transectos de Garzón-Ferreira *et al.*, 2002). Para cuantificar la cobertura de coral vivo, coral muerto y algas se utilizó el método de cadena (Garzón-Ferreira *et al.*, 2002). En cada transecto, una cadena con eslabones de ~1cm fue extendida sobre el sustrato entre cada par de varillas, para realizar posteriormente la lectura del número de eslabones por cada tipo de categoría de sustrato: coral vivo, discriminado por especie de coral; algas, discriminando entre algas coralinas y no-coralinas (i.e., frondosas y tapetes algales); coral muerto y arena. Para la comparación entre las coberturas de 2002 y 2013 se realizaron pruebas de t de Student pareadas, con los datos de porcentaje transformados con la transformación de arco-seno (Zar, 2010). La Figura 2 muestra los valores originales de porcentajes de cobertura y en el Anexo 2 se pueden ver todos los datos originales, completos, para ambos años de muestreo.

Para elaborar un mapa detallado del contorno del arrecife, y poder derivar de ese mapa la superficie total de formaciones coralinas con cobertura relevante, se recorrió nadando (buceo autónomo) el contorno del arrecife, arrastrando con una cuerda un GPS Garmin® que en superficie operaba en función automática de toma de trayectos. Dichos trayectos fueron incorporados a un sistema de información geográfico (ArcGis®), en el que se pulieron los contornos con la ayuda de una fotografía aérea oblicua, tomada desde un avión comercial.

Vargas-Ángel, 2003). During the rains, copious run-off of sediment-laden waters occurs (Vargas-Ángel, 1988, 1996). The tides in this sector are semidiurnal, with a maximum amplitude of 5.4 m (IDEAM, 2014).

MATERIALS AND METHODS

Following the protocols of SIMAC (Garzón-Ferreira *et al.*, 2002, 2003), sampling was conducted February 22–25, 2013, at the six monitoring stations established in 2002 (three shallow, 2–3 m at high tide, and three deep, 5 m). At each station, all pairs of rods placed by SIMAC ($n = 18$) were searched for; at each station, six rods were originally present, indicating the starting and ending points of three transects, each 10 m long. However, only eight pairs of rods were found (Appendix 1), so the comparative analyses between 2002 and 2013 refer exclusively to those eight transects (for descriptive purposes of the current coverage of the reef, all transects were used, nine shallow and nine deep). In cases where the one rod of a pair was not found, a provisional location was established by calculating the approximate placement of the original rod (according to the location maps of the transects of Garzón-Ferreira *et al.*, 2002). To quantify the coverage of live coral, dead coral, and algae, the chain-transect method was used (Garzón-Ferreira *et al.*, 2002). In each transect, a chain with links of ~1 cm was extended on the substrate between each pair of rods. The number of links for each type of substrate category was recorded: live coral, discriminating by coral species; algae, discriminating between coralline and non-coralline algae (i.e., fleshy algae, turf algae); dead coral; and sand. For the comparison between the coverages of 2002 and 2013, paired Student t tests were performed, with percentage data undergoing arc-sine transformation (Zar, 2010). Figure 2 shows the original values of coverage percentages, and Appendix 2 shows all original data, which were complete for both years of sampling.

The contour of the reef was followed by a diver, who dragged with a rope a GPS Garmin® that operated at the surface and automatically recorded the track data, which were used to develop a detailed map of the contour of the reef; the total surface of coral formations with relevant coverage was derived from this map. These routes were incorporated into a geographical information system (ArcGIS®) and the map contours were refined with the help of an oblique aerial photograph taken from a commercial aircraft.

Para obtener los datos de temperatura del arrecife, se recuperó un dispositivo de almacenamiento de datos automático (HoboTemp® H01-001-01), instalado por SIMAC en 2002 en una de las estaciones del arrecife, a 6 m de profundidad, y que permaneció sumergido por 11 años. Dicho dispositivo grabó datos de temperatura cada cinco horas, por un período de un año, así que los datos corresponden al período comprendido entre marzo de 2002 y marzo de 2003. Los datos de temperatura se graficaron poniendo los meses enero-marzo de 2003 antes que abril de 2002 para ilustrar el patrón de variación estacional anual.

RESULTADOS

A partir del mapa detallado, resultante de la georreferenciación del arrecife de La Chola, se estimó la extensión de esta formación coralina en aproximadamente 11 ha. El arrecife tiene una forma irregular, con 600 m de largo por 350 m de ancho máximo (Fig. 1).

To obtain the reef temperature data, an automatic data storage device (HoboTemp® H01-001-01), installed at 6 m depth at one of the reef stations by SIMAC in 2002 was recovered (the device remained submerged for 11 years). This device recorded temperature data every 5 hours for a period of one year, so the data correspond to the period between March 2002 and March 2003. The temperature data were plotted placing the months January-March 2003 before April 2002 to illustrate the pattern of annual seasonal variation.

RESULTS

According to the detailed map developed by georeferencing La Chola reef, the extension of this coral formation was estimated to be approximately 11 ha. The reef has an irregular shape and its maximum dimensions are 600 m long x 350 m wide (Fig. 1).

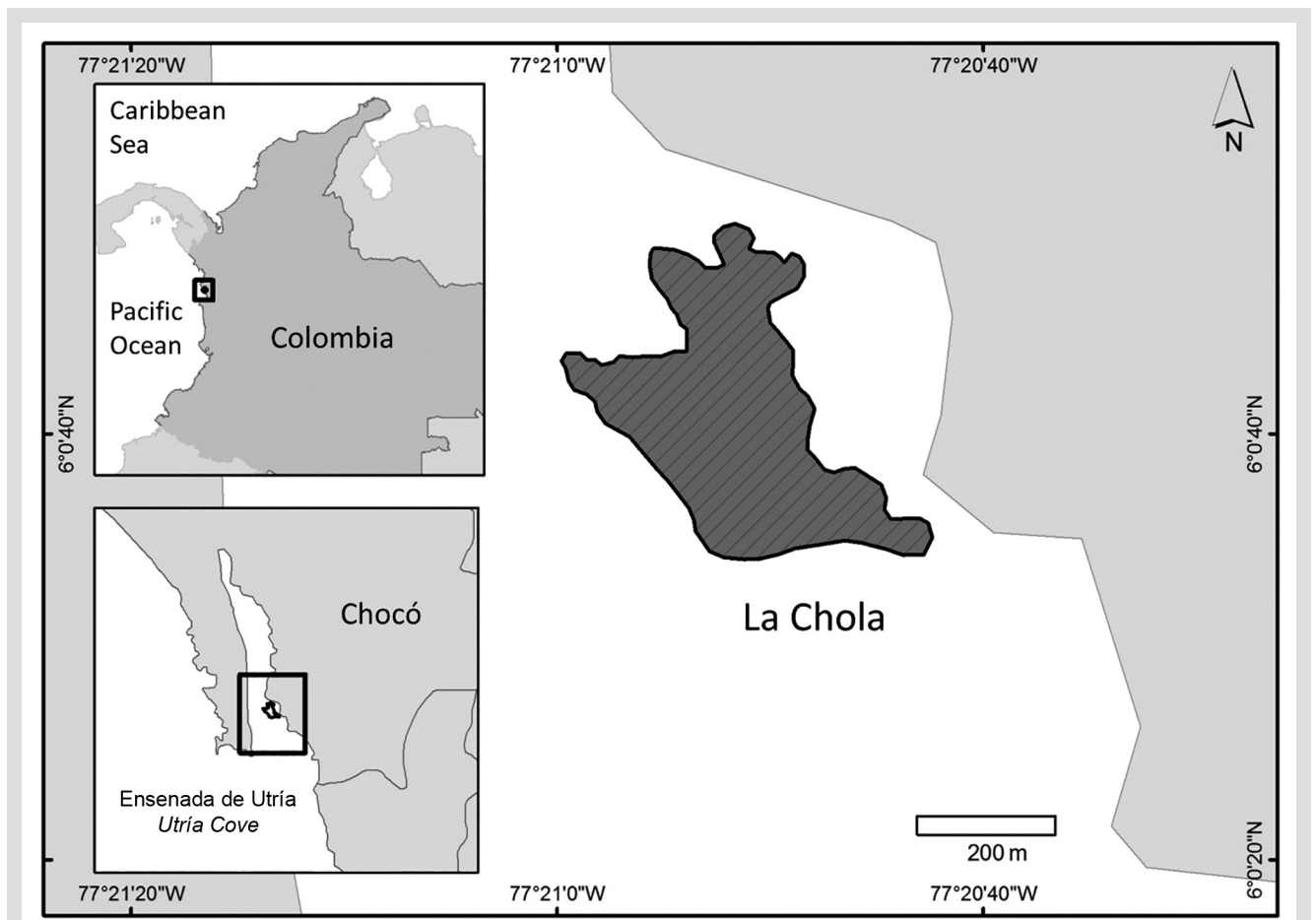


Figura 1. Mapa actualizado del arrecife de La Chola (ensenada de Utría) indicando su posición relativa en el Chocó y en Colombia.

Figure 1. Up-to-date map of La Chola Reef (Utría cove) indicating its relative position in Choco and Colombia.

Se encontró una reducción significativa de cerca de 20% en la cobertura coralina entre 2002 y 2013 [$t(7)=3.53$; $p=0.009$; Fig. 2] y un incremento significativo de 9% en la cobertura de algas coralinas durante el mismo período [$t(7)=-4.28$; $p=0.003$; Fig. 2]. Las algas frondosas y los tapetes algales, en cambio, no mostraron variaciones significativas en su cobertura [$t(7)=0.65$; $p=0.533$].

A significant reduction of approximately 20% occurred in the live coral coverage between 2002 and 2013 [$t(7) = 3.53$; $p = 0.009$; Fig. 2], and a significant increase of 9% occurred mainly in the coverage of coralline algae during the same period [$t(7) = -4.28$; $p = 0.003$; Fig. 2]. The fleshy algae and the turf algae mats, on the other hand, did not show significant temporal variation in their coverage [$t(7) = 0.65$; $p = 0.533$].

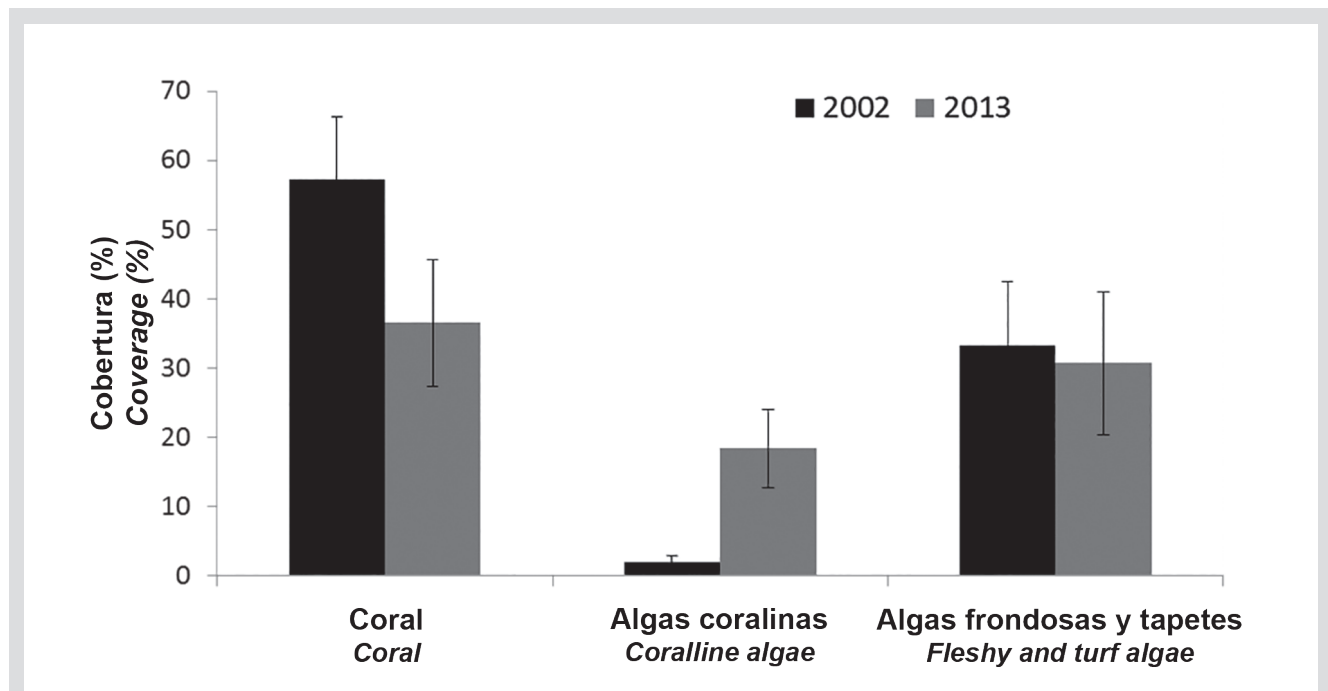


Figura 2. Cobertura promedio (± 1 SE) de los principales componentes bentónicos del arrecife de La Chola en 2002 y 2013, con base en todos los transectos originales (2002) encontrados en 2013 ($n = 8$). Los datos de 2002 provienen de la base de datos del SIMAC (INVEMAR), a partir de Garzón-Ferreira *et al.* (2002, 2003).

Figure 2. Average cover (± 1 SE) of the main benthic components of La Chola Reef in 2002 and 2013, based on data from all the original transects (2002) found in 2013 ($n = 8$). Data from 2002 provided by the data base of SIMAC (INVEMAR), based on Garzón-Ferreira *et al.* (2002, 2003).

La especie de coral dominante en las estaciones someras fue *Pocillopora damicornis* (Linnaeus), con una cobertura promedio de 54.3% del sustrato ($n =$ nueve transectos), mientras que *Psammocora stellata* fue codominante en algunas estaciones profundas del arrecife, con una cobertura promedio de 10% (vs. 15% alcanzado por *P. damicornis* en este sector; $n =$ nueve transectos) (Fig. 3).

Los datos de temperatura del agua en el arrecife muestran dos épocas contrastantes en el año (Fig. 4). Una de aguas frías que empieza a finales de enero y termina a comienzo de mayo, período en el que las variaciones diarias son muy marcadas y la temperatura alcanza valores tan bajos como 22°C, y un período de aguas tibias, correspondiente al período comprendido entre los meses de mayo y enero, y en el que hay muy pocas variaciones diarias de temperatura, con promedios alrededor de 28°C.

The dominant coral species in the shallow stations was *Pocillopora damicornis* (Linnaeus), with an average coverage of 54.3% of the substrate ($n = 9$ transects), whereas *Psammocora stellata* was codominant on some deep stations of the reef, with an average coverage of 10% (vs. 15% reached by *P. damicornis* in this sector, $n = 9$ transects) (Fig. 3).

The temperature data of the reef water showed two contrasting periods in the year (Fig. 4). One period, beginning at the end of January and ending at the beginning of May, with cold water (as low as 22 °C) and marked daily variation, and a second period, corresponding to the months of May to January, with warm water (average temperature of approximately 28 °C) and little daily variation.

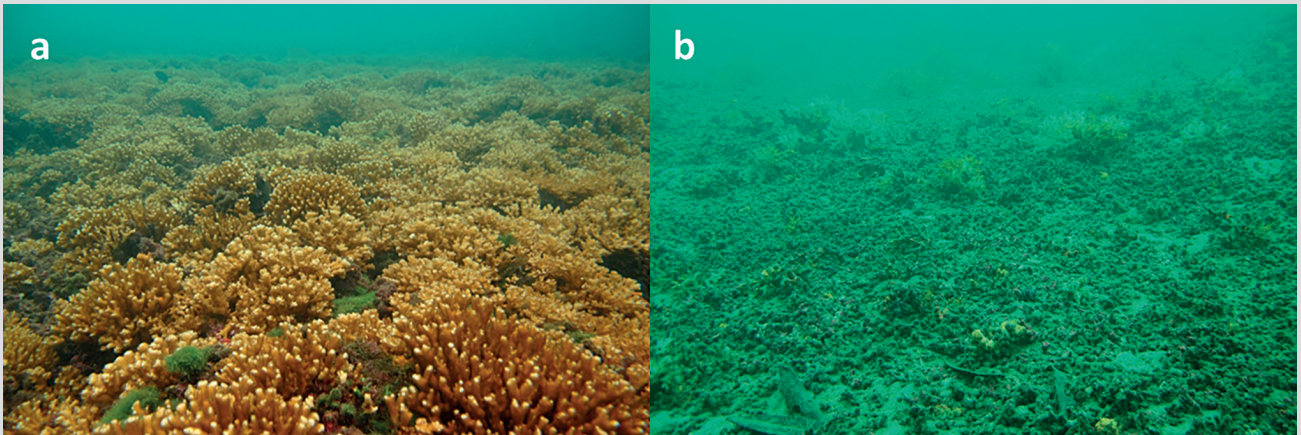


Figura 3. Panorámicas del arrecife de La Chola en 2013: (a) Hábitat somero, dominado por *Pocillopora damicornis*. (b) Hábitat profundo, donde predominan los escombros de coral y colonias dispersas de *Psammocora stellata* y *P. damicornis*.

Figure 3. La Chola Reef landscapes in 2013: (a) Shallow habitat dominated by *Pocillopora damicornis*. (b) Deep habitat dominated by coral rubble and disperse colonies of *Psammocora stellata* and *P. damicornis*.

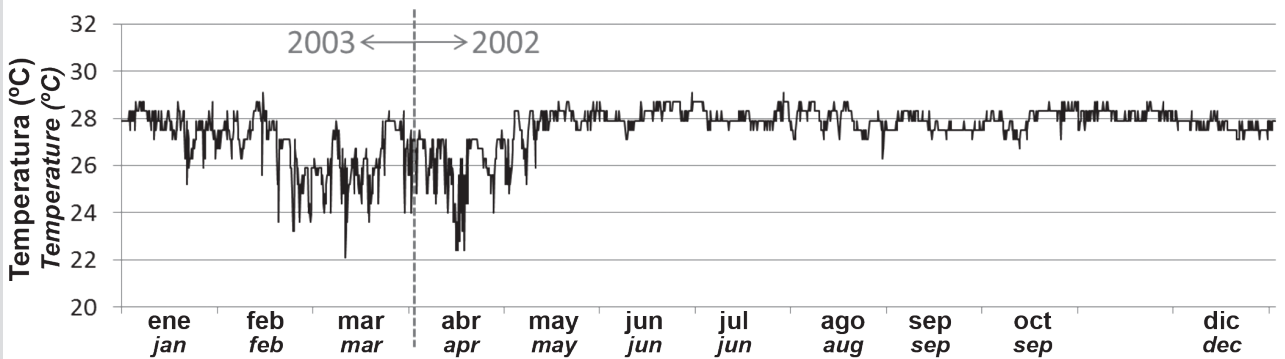


Figura 4. Variación anual de la temperatura, a 6 m de profundidad, en el arrecife de La Chola. Datos colectados por un sensor de registro continuo, entre marzo de 2002 y marzo de 2003. Los datos fueron organizados en la secuencia de meses de un año calendario, empezando en enero.

Figure 4. Annual temperature variation, at 6 m depth, at La Chola Reef. Data collected with a data-logger, between March 2002 and March 2003. Data were organized in the sequence of months for a calendar year, starting in January.

DISCUSIÓN

La extensión del arrecife de La Chola se ha mantenido constante desde 1988-1989, cuando Vargas-Ángel (1996) la estimó, por primera vez, en 10.5 ha (vs. 11 ha estimadas durante el presente estudio). En cambio, la cobertura coralina parece haber disminuido durante las últimas décadas, según los distintos promedios registrados por diferentes autores (Vargas-Ángel, 1996, 2003; Garzón-Ferreira *et al.*, 2002, 2003; Vargas-Ochoa y Ramírez-Gallego, 2008). A pesar de que todos esos estudios emplearon métodos equivalentes para estimar la cobertura (Tabla 1), los transectos fueron ubicados en sitios diferentes, lo que dificulta sacar conclusiones de manera rigurosa sobre la tendencia en el tiempo. No obstante, a partir de esos diferentes estimativos es posible concluir que

DISCUSSION

The extension of La Chola reef has remained constant since 1988-1989, when Vargas-Ángel (1996) estimated it, for the first time, at 10.5 ha (vs. the 11 ha estimated during the present study). On the other hand, the coral cover seems to have decreased during recent decades, according to the different averages recorded by different authors (Vargas-Ángel, 1996, 2003; Garzón-Ferreira *et al.*, 2002, 2003; Vargas-Ochoa and Ramírez-Gallego, 2008). Although all of these studies used equivalent methods to estimate the coverage (Table 1), the transects were established in different places, which makes it difficult to draw rigorous conclusions about trends over time. However, from these different estimates,

en la última década se ha producido una disminución de la cobertura coralina viva de aproximadamente 20%.

Tabla 1. Comparativo entre coberturas del arrecife de La Chola, a partir de varios estudios, con métodos equivalentes pero con transectos ubicados en distintos sitios del arrecife.

Estudio <i>Study</i>	Método empleado <i>Method used</i>	Cobertura coralina promedio (%) <i>Average coral cover (%)</i>
Vargas-Ángel (1996)	Transectos de cadena paralelos a la playa <i>Chain transects parallel to the beach</i>	32.4
Garzón-Ferreira <i>et al.</i> (2002, 2003)	Transectos de cadena en estaciones fijas <i>Chain transect in fixed stations</i>	57.2
Vargas-Ochoa y Ramírez-Gallego (2008)	Transectos de cadena ubicados por zonas del arrecife <i>Chain transects located according to reef zones</i>	35.4
Este estudio, 2013 <i>This study, 2013</i>	Transectos de cadena en estaciones fijas <i>Chain transects in fixed stations</i>	36.5

No hay suficiente información disponible como para atribuir este descenso en la cobertura a un factor en particular, pero al menos se pueden sugerir algunas posibles causas, con base en observaciones anteriores (Vargas-Ángel, 1996, 2003) y actuales. La más evidente sería la excesiva sedimentación, ya que se trata de una de las regiones más lluviosas del mundo (Poveda y Mesa, 2000), donde además ha aumentado la deforestación y, con ella, la carga de sedimentos en los ríos, todo ello debido al incremento de actividades ilegales (Dávalos *et al.*, 2011); en el arrecife fue evidente la sedimentación en el agua después de fuertes aguaceros. Otra causa sería el exceso de agua dulce de la quebrada que desemboca directo al arrecife, y que logra caudales importantes durante y después de los aguaceros. En ambos casos, se trata de factores que han estado ahí desde hace mucho tiempo, pese a lo cual el arrecife se desarrolló y se mantiene (el agua dulce forma una capa superficial que afecta, sobre todo, la parte somera del arrecife, que es el sector que presentó menores cambios en cobertura; ver Anexo 2).

Adicionalmente a estos dos factores mencionados, Vargas-Ángel (1996) sugiere que fenómenos de El Niño y de mareas bajas extremas pueden ser responsables de los cambios en coberturas coralinas en La Chola pero, entre 2002 y 2013, no hubo mayores efectos en los arrecifes coralinos del Pacífico colombiano atribuibles al fenómeno de El Niño, y las mareas bajas extremas son una perturbación frecuente a la que están expuestos estos arrecifes. Además, las mareas bajas extremas afectan en especial a los sectores someros, y esos fueron los que menores cambios en la cobertura coralina viva presentaron entre los dos periodos evaluados (los más afectados fueron los profundos, donde el efecto de esas mareas bajas extremas no opera). Por ejemplo, en los arrecifes de Gorgona es notoria una mortandad coralina en los sectores someros, atribuible a la exposición aérea durante mareas bajas extremas (Zapata *et*

in the last decade, a decrease in live coral coverage of approximately 20% can be concluded.

Table 1. Comparisons of coral cover estimates at La Chola reef based on several studies with similar methods, but on transects located at different sites on the reef.

Not enough information is available to attribute this decline in live coral coverage to a particular factor, but at least some possible causes can be suggested based on previous (Vargas-Ángel, 1996, 2003) and current observations. The most obvious cause would be excessive sedimentation because it is one of the rainiest regions in the world (Poveda and Mesa, 2000), where deforestation and the associated sediment load in the rivers have increased, all due to an increase in illegal activities (Dávalos *et al.*, 2011); in the reef, sedimentation in the water was evident after heavy downpours. Another cause could be the excess of fresh water from the stream that flows directly into the reef, with significant flows occurring during and after the downpours. In both cases, these stressors have existed for a long time, and the reef developed and remains under these conditions (the fresh water forms a superficial layer that affects, above all, the shallow part of the reef, which is the sector that presented minor changes in coverage, see Appendix 2).

In addition to the two above mentioned factors, Vargas-Ángel (1996) suggested that El Niño phenomena and extreme low tides may be responsible for changes in coral cover at La Chola reef. However, between 2002 and 2013 no major effects of El Niño were observed and extreme low tides are a frequent disturbance in Colombian Pacific coral reefs. In addition, the extremely low tides affect especially the shallow sectors, and those were the ones that presented fewer changes in the living coral cover between the two periods evaluated (the most affected were the deep ones, where the effect of extreme low tides does not operate). For example, in the reefs of Gorgona Island coral mortality is notorious in the shallow sectors, attributable to sub-aerial exposure during extreme low tides (Zapata *et al.*, 2001,

al., 2001, 2010; Zapata 2017), pero en el arrecife de La Chola fueron los sectores profundos (y no los someros) los que presentaron reducción en la cobertura durante la última década (ver Anexo 2).

A partir de las limitadas observaciones y los registros de temperatura, se propone otro escenario que podría explicar estos cambios en cobertura. El arrecife de La Chola presentó una marcada estacionalidad en cuanto a la temperatura del agua, tal y como ocurre en los arrecifes del golfo de Panamá (D'Croz *et al.*, 1991; D'Croz y Robertson, 1997), Gorgona (Díaz *et al.*, 2001) o Malpelo (Zapata *et al.*, 2011), donde las temperaturas pueden descender a comienzo de año hasta 16°C. Estos descensos de temperatura en la cuenca del Pacífico colombiano obedecen a un fenómeno de surgencia estacional, generado por masas de aguas frías que se desplazan hacia el sur, desde Panamá, empujadas por los vientos alisios (Rodríguez-Rubio y Giraldo, 2011). En las formaciones coralinas de Malpelo, por ejemplo, estas bajas temperaturas han sido asociadas con fenómenos de blanqueamiento y mortalidad coralina (Zapata *et al.*, 2011). Las marcadas variaciones diarias en la temperatura de La Chola pueden ser atribuidas a la entrada y salida de masas frías de agua con los cambios de marea.

Frentes particularmente fríos de masas de agua, por ejemplo durante años de La Niña, podrían ser la principal causa de la reducción en cobertura coralina en los sectores más profundos del arrecife, además de ser el principal tensor que limita el desarrollo en profundidad de los arrecifes coralinos, no solo en este arrecife, sino en esta región del Pacífico oriental. A pesar de que se observó una marcada estacionalidad en cuanto a la temperatura, por tratarse de los primeros datos, con base en un solo año de muestreo, estos resultados deben tomarse con cautela y se debe buscar evidencia circunstancial o experimental de las bajas temperaturas como una limitante para el desarrollo de estos arrecifes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al personal del Parque Nacional Natural Utría por el apoyo logístico prestado y al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras por compartir los datos del muestreo del SIMAC en el arrecife de La Chola de 2002. Nuestro agradecimiento especial a J. L. García, K. Mejía y C. G. Muñoz por su apoyo durante la salida de campo, y a J. Olaya por suministrarnos la fotografía aérea oblicua del arrecife de La Chola. Los evaluadores hicieron acertados comentarios y correcciones, que ayudaron a sintetizar y mejorar el manuscrito. Esta investigación contó con el apoyo del Fondo Patrimonio Natural (Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas).

2010; Zapata, 2017), but in La Chola reef the deep sectors (and not the shallow ones) showed a reduction in coverage over the last decade (see Appendix 2).

From the limited observations and temperature records, another scenario is proposed that could explain these changes in coverage. The coral reef of La Chola presented a marked seasonality in terms of water temperature, as it occurs in the reefs of the Gulf of Panama (D'Croz *et al.*, 1991; D'Croz and Robertson, 1997), Gorgona (Díaz *et al.*, 2001), and Malpelo (Zapata *et al.*, 2011), where temperatures can fall at the beginning of the year to as low as 16°C. These temperature drops in the Colombian Pacific basin are due to seasonal upwelling, generated by masses of cold water that move south from Panama, pushed by the trade winds (Rodríguez-Rubio and Giraldo, 2011). In the coral formations of Malpelo, for example, these low temperatures have been associated with coral bleaching and mortality (Zapata *et al.*, 2011). The marked daily variation in the temperature of La Chola reef can be attributed to the entry and exit of cold-water masses caused by tidal fluctuations.

Fronts of particularly cold water masses, for example, during La Niña years, could be the main cause of the reduction in coral cover in the deepest sectors of the reef, in addition to being the main stressor limiting coral reef development at greater depths, not only on this reef but in this region of the eastern Pacific. Although a marked seasonality was observed in terms of temperature, because these are the first data collected and are based on a single year of sampling, these results must be taken with caution, and circumstantial or experimental evidence of low temperatures as a limiting factor for the development of these reefs must be sought.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the staff of the Utría Natural National Park for logistical support and the Marine and Coastal Research Institute (Invemar) for sharing the 2002 SIMAC sampling data from La Chola reef. Our special thanks are given to J. L. García, K. Mejía, and C. G. Muñoz for their assistance during the field work and to J. Olaya for supplying the oblique aerial photography of La Chola reef. The reviewers made accurate comments and corrections, which helped us revise and improve the manuscript. This research was supported by the Natural Heritage Fund (Fund for Biodiversity and Protected Areas).

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Cortés, J. 2003. Coral reefs of Latin America. Elsevier Science, Amsterdam. 512 p.
- Dávalos, L. M., A.C. Bejarano, M.A. Hall, H.L. Correa, A. Corthals and O.J. Espejo. 2011. Forests and drugs: coca-driven deforestation in tropical biodiversity hotspots. *Envir. Sci. Tech.*, 45(4): 1219-1227.
- D’Croz, L. and D.R. Robertson. 1997. Coastal oceanographic conditions affecting coral reefs on both sides of the Isthmus of Panama. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.*, 2: 2053-2058.
- D’Croz, L., J.B. Del Rosario and J.A. Gómez. 1991. Upwelling and phytoplankton in the Bay of Panamá. *Rev. Biol. Trop.*, 39: 233-241.
- Díaz, J.M., L.M. Barrios, M.H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G.H. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Ángel, F.A. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR, Santa Marta, Serie Publicaciones Especiales 5. 176 p.
- Díaz, J.M., J. Pinzón, A. Perdomo, L.M. Barrios y M. López-Victoria. 2001. Generalidades: 17-26. En: Barrios, L.M. y M. López-Victoria. (Eds.). *Gorgona marina: Contribución al conocimiento de una isla única*. Invemar, Santa Marta, Serie Publicaciones Especiales, 7: 160 p.
- Garzón-Ferreira, J. and A. Rodríguez-Ramírez. 2010. SIMAC: Development and implementation of a coral reef monitoring network in Colombia. *Rev. Biol. Trop.*, 58(Suppl. 1): 67-80.
- Garzón-Ferreira, J., A. Rodríguez-Ramírez, S. Bejarano-Chavarro, R. Navas-Camacho y C. Reyes-Nivia. 2003. Estado de los arrecifes coralinos. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia-año 2002. Serie de Publicaciones Periódicas Invemar, 9: 84-113.
- Garzón-Ferreira, J.M., C. Reyes-Nivia y A. Rodríguez-Ramírez. 2002. Manual de métodos del SIMAC: Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos en Colombia. Invemar, Santa Marta. 57 p.
- IDEAM. 2005. Atlas climatológico de Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá.
- IDEAM. 2014. Pronóstico de pleamares y bajamares en la costa Pacífica colombiana 2015. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá.
- Poveda, G. and O.J. Mesa. 2000. On the existence of Lloró (the rainiest locality on Earth): enhanced ocean-land-atmosphere interaction by a low-level jet. *Geo. Res. Let.*, 27(11): 1675-1678.
- Prahl, H.v. y H. Erhardt. 1985. Colombia: corales y arrecifes coralinos. Editorial Presencia, Bogotá. 295 p.
- Rodríguez-Rubio, E. y A. Giraldo. 2011. Características oceanográficas en la isla Malpelo y su relación con la cuenca oceánica del Pacífico colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 40 (Supl. Esp.): 19-32.
- Vargas-Ángel, B. 1988. Contribución al conocimiento de las formaciones coralinas del litoral Pacífico colombiano: 562-570. *Mem. VI Sem. Nal. Cienc. Mar*, Bogotá, Comisión Col. Oceanogr. 636 p.
- Vargas-Ángel, B. 1996. Distribution and community structure of the reef corals of Ensenada de Utría, Pacific coast of Colombia. *Rev. Biol. Trop.*, 44: 643-651.
- Vargas-Ángel, B. 2003. Coral community structure off the Pacific coast of Colombia: onshore vs. offshore coral reefs. *Atoll Res. Bull.*, 499: 1-21.
- Vargas-Ángel, B., F.A. Zapata, H. Hernández and J.M. Jiménez. 2001. Coral and coral reef responses to the 1997-98 El Niño event on the Pacific coast of Colombia. *Bull. Mar. Sci.*, 69(1): 111-132.
- Vargas-Ochoa, A.F. y C. Ramírez-Gallego. 2008. Caracterización estructural de formaciones coralinas en la ensenada de Utría, Parque Nacional Natural de Utría, Pacífico-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 11: 7-16.
- Von Prahl, H. y H. Erhardt. 1985. Colombia: corales y arrecifes coralinos. Editorial Presencia, Bogotá. 295 p.
- Zapata, F.A. 2017. Temporal dynamics of coral and algal cover and their drivers on a coral reef of Gorgona Island, Colombia (Eastern Tropical Pacific). *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 41(160):298-310.
- Zapata, F.A. and B. Vargas-Ángel 2003. Corals and coral reefs of the Pacific coast of Colombia: 419-447. En Cortés, J. (Ed.). *Coral reefs of Latin America*. Elsevier Science, Amsterdam. 497 p.
- Zapata, F.A., B. Vargas-Ángel y J. Garzón-Ferreira. 2001. Salud y conservación de las comunidades coralinas: 41-50. En: Barrios, L.M. y M. López-Victoria. (Eds.). *Gorgona marina: contribución al conocimiento de una isla única*. INVEMAR, Santa Marta, Serie Publicaciones Especiales Nr. 7.
- Zapata, F.A., A. Rodríguez-Ramírez, C. Caro-Zambrano and J. Garzón-Ferreira. 2010. Mid-term coral-algal dynamics and conservation status of a Gorgona Island (Tropical Eastern Pacific) coral reef. *Rev. Biol. Trop.*, 58(Supl. 1): 81-94.
- Zapata, F.A., J. Jaramillo-González and R. Navas-Camacho. 2011. Extensive bleaching of the coral *Porites lobata* at Malpelo Island, Colombia, during a cold water episode in 2009. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 40(Supl. Esp.): 185-193.
- Zar, J. H. 2010. Biostatistical analysis. 5^a edición. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 960 p.