

Ecología poblacional de *Cittarium pica* (Gastropoda: Trochidae) de San Andrés Isla, Reserva Internacional de Biósfera, Seaflower

Jeimmy Paola Rico Mora¹, José Ernesto Mancera-Pineda¹ & Luis Alberto Guerra Vargas²

1. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 45 N° 26-85 Bogotá, Colombia; jpricom@unal.edu.co, jemancerap@unal.edu.co
2. CORALINA Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Vía San Luis, Bigth, Km 26 San Andrés Isla, Colombia; luisguerra@gmail.com

Recibido 09-IX-2016. Corregido 22-V-2017. Aceptado 23-VI-2017.

Abstract: Population ecology of *Cittarium pica* (Gastropoda: Trochidae) of San Andrés Island, International Biosphere Reserve, Seaflower. *Cittarium pica* is a conspicuous gastropod of the rocky coastlines of the Caribbean. Given its importance in the diet of Caribbean communities, it has been over-exploited, even reaching extinction in some places, and the species has been included in the red lists of marine invertebrates in some countries. Its fishery in San Andres Island-Colombia is artisanal without any regulation, leading to a decrease in its population. Taking into account the socio-economic, cultural and ecological importance of *C. pica* and its vulnerability to extinction, it is urgent to develop management actions directed to increase the resilience of the species and its sustainability as a fishery resource. To assess the current population state of *C. pica* from San Andrés Island, we estimated size structure, sex structure, maturation size, and growth parameters, based on length-frequency data analysis. From September to December 2013, and January to March 2014, we randomly collected 458 individuals at eight representative sites of the rocky shores of the island. We measured the longest diameter of the shell base, determined the sex by the color of the gonad, and thus determined the minimum maturation size. We found, that 80 % of the population consisted of small individuals < 25.5 mm sizes. The sex ratio was 1:1 except in November, where males were more abundant. The minimum size at the beginning of maturity for both sexes was 14.07 mm. The growth parameters of von Bertalanffy: K (0.730 yr^{-1}), L_{∞} (110.78 mm) and Φ (3.95) were higher when compared to other populations of the Caribbean. The total mortality was 3.39 yr^{-1} , while natural and fishing mortalities were 1.02 yr^{-1} and 2.36 yr^{-1} , respectively. The maximum annual recruitment pulse was estimated for June, and the maximum exploitation rate for a sustainable yield was between 0.563 and 0.640, when the catch size was greater than 40 mm or 50 mm, respectively. The exploitation rate was estimated in 0.70, suggesting a strong extractive resource pressure. With these results we recommend the closure of the fishery and constant monitoring to promote and the population recovery is verified. Until a monitoring shows that the population recovers on the island. Rev. Biol. Trop. 65 (4): 1496-1506. Epub 2017 December 01.

Key words: *Cittarium pica*, population structure, growth parameters, minimum size of maturity, Seaflower International Biosphere Reserve.

Cittarium pica (Linnaeus, 1758) es un gasterópodo marino que habita en la zona intermareal de los litorales rocosos del Gran Caribe (Bell, 1992; Toller & Gordon, 2005). En Colombia esta especie se encuentra en el Darién, Bolívar y Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, Magdalena, Parque Nacional Natural Tayrona, La Guajira y Archipiélago de San Andrés, Providencia

y Santa Catalina (Díaz & Puyana, 1994; Osorno-Arango, Gil-Agudelo, & Gómez-Lemos, 2009). Esta especie vive entre los 0.3 y 1-m por encima y por debajo del nivel medio del agua, respectivamente; y se encuentra en costas expuestas o moderadamente protegidas de rocas calcáreas y no calcáreas (Robertson, 2003). La temperatura y salinidad del agua, y la pendiente y naturaleza del sustrato,

son los factores físico-químicos que determinan la presencia y distribución de ésta especie (Osorno-Arango et al., 2009).

A lo largo del gran Caribe, *C. pica* es el segundo molusco más consumido después del caracol pala (*Strombus gigas*), lo que ha llevado a una disminución drástica de sus poblaciones (Schmidt, Wolff, & Vargas, 2002; Mancera-Pineda et al., 2014). En consecuencia, se han llevado a cabo varios estudios en países como Costa Rica, Colombia, Puerto Rico e Islas Vírgenes, con el fin de establecer programas de manejo (Schmidt et al., 2002; Osorno-Arango et al., 2009). En Colombia, la especie ha sido incluida en El Libro Rojo de Invertebrados Marinos Amenazados, y fue catalogada como vulnerable (Ardila, Navas, & Reyes, 2002).

En la isla de San Andrés, la pesca artesanal de *C. pica* ha sido una actividad sociocultural y económica muy importante desde los primeros asentamientos urbanos, y ha contribuido significativamente a la seguridad alimentaria y la generación de empleo (Murcia, 2008; Mancera-Pineda et al., 2014). Sin embargo, se ha encontrado una disminución progresiva de la densidad poblacional (3.57 ind.m^{-2}), con abundancia de individuos de tallas inferiores a 20 mm (Murcia, 2008), lo cual ha generado alarma y necesidad de conocer el estado actual de la población, para poder generar medidas de manejo. El objetivo del presente estudio fue describir la estructura poblacional por tallas y por sexo para la población de *C. pica* de la isla de San Andrés, y estimar la talla mínima de maduración y los parámetros de crecimiento y mortalidad basados en el análisis de datos de frecuencia de tallas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio: La isla de San Andrés es parte de la Reserva Internacional de Biósfera Seaflower, localizada en el suroeste del Gran Caribe ($12^{\circ}28'58''$ - $12^{\circ}35'55''$ N - $81^{\circ}40'49''$ - $81^{\circ}43'23''$ W) (IGAG, 1986). Con un área superficial de aproximadamente 27 Km² es la isla más grande del Archipiélago de San

Andrés, Providencia y Santa Catalina. La isla se encuentra en la zona de transición entre los climas húmedo y seco tropicales. La influencia de los vientos alisios mitigan las condiciones cálidas y secas creando un clima semihúmedo (Sánchez-Núñez & Mancera-Pineda, 2012). El archipiélago es de origen volcánico, el hundimiento de la base volcánica y su cubrimiento simultáneo con depósitos calcáreos durante el terciario y el cuaternario dio origen a la isla actual (Díaz et al., 1996). La plataforma marina en el lado oriental es poco profunda y llega a los arrecifes de coral en el océano abierto, lo que mitiga el impacto de las olas. El lado occidental de la isla de San Andrés es dominado por litoral rocoso, y corresponde a los afloramientos de la formación San Luis. Dicha formación se originó en el Pleistoceno y está constituida por calizas coralinas arrecifales (Vargas, 2004). La temperatura media anual es de 27.4 °C y la precipitación media anual es de 1 797.8 mm, presentándose una estación seca (enero-abril), con vientos más fuertes, y una temporada de lluvias (octubre-diciembre) (Barrera, Gavio, & Mancera, 2016). Durante el período de mayo a julio, las lluvias son moderadas en intensidad (IDEAM, 1995). Las mareas son mixtas y tienen una amplitud que varía entre 30 y 60 cm (Geister, 1973). Los vientos alisios tienen una dirección principal Este (E) y en segundo lugar Noreste (NE), que influye fuertemente en las corrientes marinas de la región (Geister, 1973). Los vientos soplan con intensidad y dirección constante a través de toda el área del Mar Caribe, antes de pasar por el Archipiélago de San Andrés y Providencia, y produce olas largas, que rompen en los arrecifes de barlovento del Caribe occidental (Geister, 1973) y la corriente enfrenta al archipiélago por el oriente, con velocidades entre 0.5 y 1 m/s (Díaz et al., 1996).

Con el fin de cubrir la extensión de los litorales rocosos y teniendo en cuenta los registros de CORALINA (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina), se escogieron ocho estaciones de muestreo, INFOTEP ($12^{\circ}35'32.4''$ N - $81^{\circ}42'05.7''$ W),

Sarie bay - Proactiva No 3 (12°35'32.8" N - 81°42'34.0" W), Morris Landing (12°34'39.9" N - 81°43'21.0" W), Casa Museo (12°33'32.8" - 81°43'49.6" W), Schooner Bight (12°32'31.4" N - 81°43'54.9" W), Cove Green (12°31'45.0" N - 81°44'05.8" W), Piscinita (12°30'32.5" N - 81°43'48.1" W) y Universidad Cristiana (12°29'32.2" N - 81°44'07.3" W). La distancia entre una estación y otra varía entre 0.8 y 2.5 Km.

Muestras: Durante septiembre a diciembre 2013, y enero y marzo 2014, fueron recolectados al azar 458 individuos de la zona supra y mesolitoral de los litorales rocos, 10 individuos por estación en cada campaña. Los especímenes fueron fijados en solución Davidson (formaldehído al 37 %, alcohol etílico al 95 %, ácido acético glacial) y transportados al laboratorio. El diámetro de la concha de cada espécimen, el cual corresponde al diámetro más largo de la base de la concha pasando por la mitad del ombligo (*ombilicus*) hasta la parte más externa del labio (Osorno et al., 2009), fue medido con un calibrador Vernier (0.01 mm). Se realizó la disección fracturando la concha y retirando con cuidado todo el cuerpo blando. Los individuos fueron sexados de acuerdo con el color de la gónada, verde para las hembras y crema para los machos (Bell, 1992; Randall, 1964). Los individuos fueron clasificados en cuatro grupos según su estado de madurez (Randall, 1964; Correa, Toro, & Rosique, 2012): Inmaduros (La gónada presenta una coloración gris o café y no sobrepasan los 33 mm de longitud de concha), Maduros (la gónada presentó el 70 % de la coloración verde o crema), Reproductivos (la gónada presentó del 70 al 100 % de la coloración verde o crema) y en desove (la gónada se encontró vacía y los individuos con diámetro de concha mayor a 33 mm).

Estructura poblacional por tamaño y por sexo: Los datos de longitud de la concha fueron agrupados por época de muestreo y se estimó el promedio y la desviación estándar (DE). Se determinó la frecuencia de individuos por rango de tallas, y se consideró una marca

de clase de 5 mm por intervalo, siendo la talla mínima 5.5 mm y la máxima 110.5 mm. Se determinó el porcentaje de machos, hembras e individuos indeterminados, así como la proporción de machos a hembras (machos:hembras) para cada época. Se aplicó una prueba de Chi cuadrado (χ^2) con un grado de libertad y un alfa de 0.05 con el fin de establecer posibles diferencias significativas en las proporciones encontradas entre épocas.

Para estimar el tamaño mínimo de maduración, se utilizó el método propuesto por Udupa (1986), el cual usa la ecuación de Spearman-Kraeber para hallar la talla mínima de maduración (m) a partir de los datos de frecuencias por rango de talla, la frecuencia de individuos que están totalmente maduros por cada clase de talla y la talla a la cual empiezan a estar todos los individuos totalmente maduros $\ln m = X_k + (x/2)(X \cdot \sum P_i)$, donde $X_k = \ln$ de la primera talla a la cual el 100 % de los individuos están totalmente maduros, $X = \ln$ del incremento promedio en la talla, $P_i =$ proporción de individuos completamente maduros por clase y $m =$ antilogaritmo de m .

Parámetros poblacionales: Con base en la distribución de frecuencias de tallas se calcularon los parámetros de crecimiento, mortalidad, reclutamiento y rendimiento, utilizando el programa FISAT II (Gayanilo, Sparre, & Pauly, 2005). La tasa de crecimiento anual (K) y la longitud asintótica o crecimiento máximo (L_∞) fueron estimadas usando el análisis de progresión de Von Bertalanffy (Función de crecimiento de VBGF) a través del paquete ELEFAN I (Electronic Length Frequency Analysis) (Sparre & Venema, 1997). $L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})$ Donde L_t corresponde a la longitud en el tiempo t , L_∞ es la longitud asintótica; K es la constante crecimiento, t_0 es la edad a la longitud 0; que en este caso fue considerada como nula debido a que no se tiene información específica de la edad absoluta en esta longitud (Appeldoorn, 1998; Schmidt et al., 2002). El índice de desempeño de crecimiento en términos de talla (Φ), que permite comparar el desempeño de crecimiento de poblaciones en condiciones

similares, se calculó con los valores de K y L_{∞} , como indican Pauly y Munro (1984): $\Phi = \log_{10} K + 2 \log_{10} L_{\infty}$.

La tasa instantánea de mortalidad total fue estimada por el método de Ault y Ehrhardt, ya que este modelo no supone una vida infinita para los individuos de la población, y hace uso de K , L_{∞} , la longitud promedio (L_p), la marca de clase del límite inferior de la longitud mínima (L') y la longitud máxima (L_{max}) registrada, para este caso 5.5 y 109.9 mm, respectivamente, describiendo la ecuación $[(L_{\infty}-L_{max}) / (L_{\infty}-L')]^{z/k} = [(Z(L' - L_p) + K(L_{\infty}-L_p)) / (Z(L_{max} - L_p) + K(L_{\infty} - L_p))]$ (Ault & Ehrhardt, 1991).

La mortalidad natural (M) fue estimada usando el método empírico de Pauly descrito por la ecuación $\log M = 0.0066 - 0.279 \log_{10} K + 0.4634 \log_{10} T$ (Pauly, 1980), donde K y L_{∞} corresponden a los parámetros de crecimiento y T a la temperatura media del agua (29 °C). La mortalidad por pesca (F) se calculó restando la mortalidad natural de la mortalidad total ($F = Z - M$) (Appeldoorn, 1984) y la tasa de explotación (E) se calculó como $E = F / Z$ (Mancera & Mendo, 1996; Schmidt et al., 2002).

El patrón de reclutamiento anual fue estimado de acuerdo con lo descrito por Pauly (1983) y Moreau y Cuende (1991), el cual permite establecer el número de pulsos anuales de reclutamiento. El rendimiento relativo sostenible por captura (Y'/R), se calculó siguiendo el modelo de Beverton y Holt, en donde Y' / R se estima a partir de la tasa de explotación, los parámetros de crecimiento K , L_{∞} , la mortalidad natural M y la talla de la primera captura L_c . Adicionalmente se estimó la biomasa relativa por captura (B' / R) a través de la relación $B' / R = (Y' / R) / F$, donde F es la mortalidad por pesca (Beverton & Holt, 1956; Sparre & Venema, 1997). Para este estudio se estimó Y'/R y B'/R para la talla real de captura (30 mm) y para dos tallas superiores (40 mm y 50 mm) con el fin de dejar que los individuos se reproduzcan al menos una vez. Se estimó la tasa de explotación máxima (E_{max}) que corresponde a la máxima tasa que produce el mayor

rendimiento, la tasa de explotación a la cual el aumento marginal del rendimiento relativo por captura es 1 / 10 de su valor cuando $E = 0$ ($E-10$), y la tasa a la cual la biomasa no explotada de la población se ha reducido en un 50 % ($E-50$) (Beverton & Holt, 1956).

RESULTADOS

La población de *C. pica* en la Isla de San Andrés estaba conformada por individuos con tallas entre 6.0 a 109.9 mm (tallas mínimas y máximas registradas) con un promedio de 24.18 mm (± 8.97). No se presentaron diferencias significativas entre meses (Nov-7: 22.88 \pm 5.82 mm, Nov-25: 23.13 \pm 5.82 mm, Dic: 21.01 \pm 5.96 mm, Ene: 24.58 \pm 6.80 mm y Mar: 24.75 \pm 5.46 mm, $\alpha = 0.05$), exceptuando en septiembre, donde el promedio fue de 28.59 mm (± 16.15). En cuanto a la frecuencia de tallas, se encontró que más del 80 % de la población estaba conformada por individuos pequeños, con longitudes de concha entre 15.5 y 25.5 mm. Individuos medianos (41.3 a 73.3 mm) y grandes (> 73.3 mm) fueron casi ausentes con cinco y tres registros, respectivamente (Fig. 1).

La proporción de machos a hembras varió levemente en el tiempo, mostrando una tendencia hacia una mayor proporción de hembras, exceptuando en noviembre y marzo cuando los machos fueron más abundantes (Cuadro 1). La prueba Chi cuadrado indica que las diferencias encontradas en las proporciones no son estadísticamente significativas; por lo tanto, la población de la isla tiene una proporción entre sexos de uno a uno (1:1) excepto en noviembre, en el cual los machos fueron un poco más de la mitad que el número de hembras. Se encontraron 158 individuos de ambos sexos, completamente maduros, y se estimó la talla mínima de maduración en 14.07mm (Cuadro 2). No fue posible determinar el sexo de individuos con longitudes inferiores a 16 mm, debido a que sus gónadas no estaban completamente desarrolladas.

Usando el paquete ELEFANT I se obtuvieron los parámetros de crecimiento $L_{\infty} = 110.78$ mm, $K = 0.730$ mm.año⁻¹ y $\Phi = 3.95$.

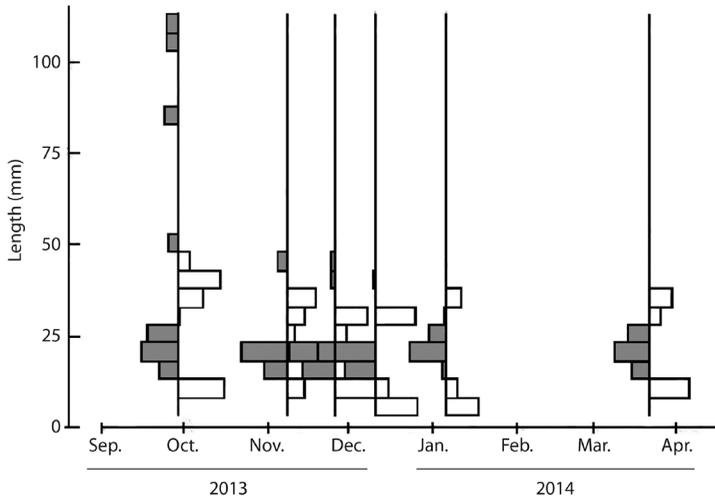


Fig. 1. Frecuencia de longitud y curva de crecimiento del modelo de Von Bertalanffy. Las barras grises y blancas representan los datos reestructurados que están por encima y por debajo de la talla promedio.

Fig. 1. Length frequencies and growth curves von Bertalanffy model. The gray and white bars represent the restructured data that are above and below the mean length.

CUADRO 1

Distribución por sexos de *C. pica* para cada muestreo y comparación entre proporciones según el test Chi cuadrado ($\alpha=0.05$) durante septiembre 2013 - marzo 2014

TABLE 1

Distribution by sex of *C. pica* for each sampling and comparison of proportion according to the Chi square test ($\alpha=0.05$) during September 2013 - March 2014

Muestreo	Machos		Hembras		Indeterminado		Proporción Machos:Hembras	Prueba χ^2		
	Nº ind.	%	Nº ind.	%	Nº ind.	%		GL	χ^2	Valor p
Sep	33	41.25	41	51.25	6	7.50	0.8:1	1	0.865	0.352
Nov-07	28	34.57	45	55.55	8	9.87	0.62:1	1	3.959	0.046
Nov-25	45	56.25	33	41.25	2	2.50	1.36:1	1	1.846	0.174
Dic	26	36.62	36	50.70	10	14.08	0.72:1	1	1.612	0.204
Ene	29	39.19	35	47.35	10	13.51	0.83:1	1	0.562	0.453
Mar	35	49.30	30	42.25	6	8.45	1.16:1	1	0.385	0.535
Total	196	42.86	220	48.06	42	9.32				

CUADRO 2

Talla mínima de maduración (m) para la población de *C. pica* de la isla de San Andrés

TABLE 2

Minimum size of maturity (m) for *C. pica* population of the San Andres Isla

n Clase	Mli	ln Mli	Ni	Ni - 1	Mi	$P_i=M_i/N_i$	$\ln M_{i+1}-\ln M_i$	$1-P_i$	$P_i*(1-P_i/N_i-1)$
1	5.5	1.705	3	2	0	0.000	0.647	1.000	0.000
2	10.5	2.351	27	26	0	0.000	0.389	1.000	0.000
3	15.5	2.741	111	110	0	0.000	0.280	1.000	0.000
4	20.5	3.020	159	158	30	0.189	0.218	0.811	0.001

CUADRO 2 (Continuación) / TABLE 2 (Continued)

n Clase	Mli	ln Mli	Ni	Ni - 1	Mi	$P_i = M_i/N_i$	$\ln M_{li} + 1 - \ln M_{li}$	$1 - P_i$	$P_i * (1 - P_i / N_i - 1)$	
5	25.5	3.239	93	92	73	0.785	0.179	0.215	0.002	
6	30.5	3.418	42	41	34	0.810	0.152	0.190	0.004	
7	35.5	3.570	12	11	11	0.917	0.132	0.083	0.007	
8	40.5	3.701	4	3	3	0.750	0.116	0.250	0.063	
9	45.5	3.818	3	2	3	1.000	0.104	0.000	0.000	
10	50.5	3.922	1	0	1	1.000	0.094	0.000		
11	55.5	4.016	0	0	0		0.086	0.000		
12	60.5	4.103	0	0	0		0.079	0.000		
13	65.5	4.182	0	0	0		0.074	0.000		
14	70.5	4.256	0	0	0		0.069	0.000		
15	75.5	4.324	0	0	0		0.064	0.000		
16	80.5	4.388	0	0	0		0.060	0.000		
17	85.5	4.449	1	0	1	1.000	0.057	1.000		
18	90.5	4.505	0	0	0		0.054	0.000		
19	95.5	4.559	0	0	0		0.051	0.000		
20	100.5	4.610	1	0	1	1.000	0.049	1.000		
21	105.5	4.659	1	0	1	1.000	0	1.000		
			$\sum M_i = 158$		$\sum P_i = 8.450$		$X = 0.148$			
$X_k = 3.818$			$\ln m = X_k + X/2 - (X * \sum P_i) = 2.644$					$m = 14.067$ (mm)		

Mli=marca del límite inferior de cada clase, ln=logaritmo natural, Ni=número total de individuos en cada clase, Mi=número de individuos maduros al 100 % en cada clase, Pi=proporción de individuos completamente maduros por clase.
 Mli=up to the mark the lower limit of each class, ln=natural logarithm, Ni=total number of individuals in each class, Mi=number of mature individuals at 100 % in every class, Pi=proporción of individuals completely mature class.

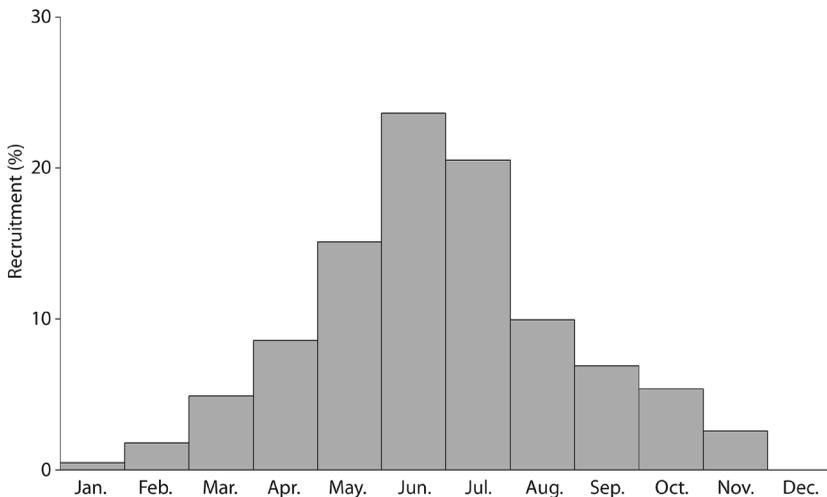


Fig. 2. Patrón de reclutamiento anual. / Fig. 2. Annual recruitment pattern.

La mortalidad total (Z) se estimó en 3.39 año⁻¹, la mortalidad natural fue de 1.02 año⁻¹. La mortalidad por pesca (F) fue 2.36 año⁻¹, siendo más del doble de la mortalidad natural, y la tasa de explotación (E) fue de 0.70 año⁻¹.

Se encontró que el patrón anual de reclutamiento describe una tendencia monomodal, en el cual se presenta un aumento significativo de nuevos reclutas para mayo, junio y julio, mientras que en diciembre el reclutamiento es nulo

(Fig. 2). El rendimiento relativo sostenible por captura (Y' / R) describe una curva cuadrática, en la cual el rendimiento aumenta hasta la E_{max} y posteriormente decrece, adicionalmente, se observa que entre mayor sea la talla mínima de captura, la E_{max} y el R / Y' son mayores (Fig. 3 A, Fig. 3B y Fig. 3C). La biomasa por reclutamiento (B' / R) es mayor, cuando la tasa de explotación es menor y decrece lentamente cuando la talla de la primera captura es mayor.

DISCUSIÓN

Para poblaciones de *C. pica* del Caribe colombiano tanto continental como insular, se han reportado tallas promedio de 25.08 mm y 36.36 mm, respectivamente (Osorno et al., 2009). Este resultado puede ser consecuencia de dos factores: características propias del litoral y preferencias de la especie, y actividad extractiva para autoconsumo por parte de los pobladores. En cuanto al primer factor, se sabe que *C. pica* presenta un gradiente de distribución en el cual el tamaño de la concha disminuye en dirección a la costa, encontrándose individuos pequeños en la zona supra y mesolitoral, y los más grandes en la zona submareal bajo rocas y dentro de grietas (Osorno et al., 2009). En el presente estudio, pudo presentarse una subestimación de individuos grandes, debido a que el muestreo no incluyó la zona submareal. Adicionalmente, la exposición al oleaje también influye en la distribución de tallas en el litoral, encontrándose a menudo ejemplares pequeños en zonas protegidas con oleaje bajo o moderado, y los especímenes más grandes en zonas expuestas, donde la fuerza de la ola es mayor (Toller & Gordon, 2005). En este estudio, la mayoría de los sitios de muestreo presentaron exposición moderada al oleaje, con excepción de la estación INFO-TEP, que se caracteriza por presentar oleaje moderado a fuerte y en donde se registraron las mayores tallas. En cuanto al segundo factor, Murcia (2008) reportó que a pesar de las tallas pequeñas de los caracoles y a que la presión de pesca es menor (debido a las bajas densidades del caracol), en la isla se presenta extracción

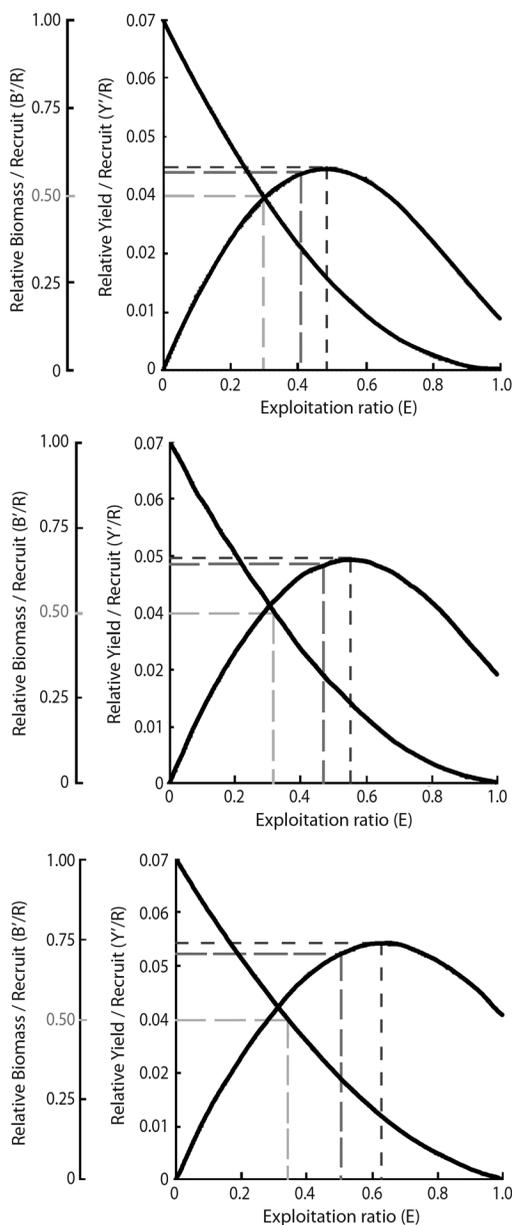


Fig. 3. Rendimiento relativo sostenible estimado para tres tallas de captura: 30 mm (A), 40 mm (B) y 50 mm (C), respectivamente. En el eje Y primario se tiene el rendimiento relativo por captura (Y' / R), y en el secundario la biomasa relativa por captura (B' / R). En el eje X se tiene la tasa de explotación E. Las líneas punteadas corresponden a E-10 (gris medio), E-50 (gris claro) y E_{max} (gris oscuro)

Fig. 3. Sustainable yield estimated relative to capture three sizes: 30 mm (A), 40 mm (B) and 50 mm (C), respectively. In the primary Y axis must capture the relative yield (Y' / R), and secondary capture the relative biomass (B' / R). The X axis is the rate of exploitation E. The dashed lines, are E-10 (medium gray), E-50 (light gray) and E_{max} (dark gray).

manual del recuso; adicionalmente, informó que los pobladores atribuyen las bajas densidades y la disminución de tamaño de *C. pica*, a la sobre explotación en años anteriores y deterioro de los litorales por erosión y contaminación. En este estudio se evidenció que la explotación mencionada por Murcia (2008) se mantiene, pues las tallas pequeñas predominan y la tasa de mortalidad por pesca es alta (2.36 año^{-1}).

Como se mencionó anteriormente, la estructura poblacional por sexos no difiere significativamente de otras poblaciones para el Caribe, sin embargo, se esperaría que los cambios mes a mes en las proporciones macho:hembra, se deban a la aleatoriedad del muestreo y no a condiciones ambientales. Por otro lado, se encontró que la talla mínima de madurez para la población de la isla (14.07 mm) es muy baja en comparación con otros sitios del Gran Caribe. Correa et al. (2012) y Schmidt et al. (2002) estimaron, por el mismo método, tallas de 29.22 mm y 29.20 mm, respectivamente, siendo estas el doble de la talla encontrada para la isla. Estas diferencias pueden deberse a que por medio del método de coloración, individuos pequeños ($< 25.5 \text{ mm}$) fueran clasificados como completamente maduros. Adicionalmente, al comparar los resultados con un estudio paralelo de histología gonadal de los individuos de la isla de San Andrés, los individuos clasificados como completamente maduros con tallas entre 20.5 y 28 mm, realmente corresponden a individuos en proceso de maduración, ya que sus células gaméticas están en desarrollo (Mancera-Pineda et al., 2014). Con lo anterior se observa una deficiencia en el método de coloración y por tanto, es recomendable hacer estudios histológicos.

Aunque para la isla se reporta una de las tallas promedio más bajas del Caribe y el índice de desempeño de crecimiento ($\Phi = 3.95$) es muy similar a los reportados para la especie, $\Phi = 3.31\text{-}3.48$ (Schmidt et al., 2002). La tasa de crecimiento ($K = 0.730 \text{ mm.año}^{-1}$) es el doble respecto a la estimada para las Bahamas (0.30-0.36) (Debrot, 1990), y en comparación con las estimaciones para Costa Rica (0.19-0.20) y Puerto Rico (0.14-0.25) es muy alta

(Randall, 1964; Schmidt et al., 2002). Esto puede estar relacionado con la gran diversidad de macroalgas presentes en los litorales de la isla, y que pueden generar una gran oferta alimenticia para este gasterópodo (Barrera et al., 2016). De igual manera, la máxima longitud ($L_{\infty} = 110.78 \text{ mm}$) es mayor que en las poblaciones de las Bahamas: 91.15-96.90 y Costa Rica: 104.00 (Debrot, 1990; Schmidt et al., 2002), lo que indica que pueden encontrarse individuos con tallas superiores a los 105 mm. Sin embargo, se observa que los caracoles de gran tamaño son muy escasos en la isla, y sólo se encuentran en sitios de difícil acceso y con oleaje fuerte; esto evidencia que aunque las condiciones ambientales sean muy favorables para la especie, la presión pesquera tiene un efecto negativo en la población de la isla.

La tasa de mortalidad natural para *C. pica* en la isla de San Andrés ($M = 1.02 \text{ año}^{-1}$) está dentro del rango reportado para Costa Rica ($M = 1.47 \text{ año}^{-1}$) (Schmidt et al., 2002), pero está por encima del estimado para las Bahamas ($M = 0.67\text{-}0.83 \text{ año}^{-1}$) (Debrot, 1990). Adicionalmente, la tasa de explotación estimada y la mortalidad por pesca estimadas, sugieren que en la isla se está presentando sobreexplotación del recurso. Lo anterior podría verse reflejado en la abundancia de individuos de tallas pequeñas y confirmar la pesca intensiva en la isla.

El patrón anual de reclutamiento para la población de la isla de San Andrés describe un sólo pulso de ingreso de nuevos reclutas. Murcia (2008) reportó un porcentaje considerable (28.9 %) de individuos de tallas entre los 0.7 y 10.77 mm durante agosto para la isla, mientras que en este estudio, menos del 5 % de los individuos presentaron estas tallas, y ninguno de los individuos se catalogó en estado de desove o post-desove. Bell (1992) reporta que aproximadamente dos semanas después de la eclosión de huevo, la larva pasa por el proceso de metamorfosis que le permite desarrollar el pie y adherirse al sustrato, y los individuos jóvenes con tamaños entre los 1.2 y 2 mm ya adquieren el color característico de la especie, y son visibles al ojo humano aproximadamente al mes. Por tanto, se podría

pensar que el pico reproductivo de la especie en la isla de San Andrés se presenta entre mayo y julio, probablemente siendo mayor en mayo, de tal manera que el mayor reclutamiento se de en junio y sea un poco menor en julio, y no entre agosto y noviembre como se describe para otras poblaciones del Caribe (Bell, 1992; Osorno, 2005). Este pico reproductivo puede estar directamente relacionado con el cambio de estacionalidad; en mayo se presenta un aumento en la precipitación acompañado en un cambio de salinidad del agua y un aumento en la disponibilidad de alimento (Santos et al., 2012), que en conjunto pueden inducir a la liberación masiva de los gametos. Adicionalmente, si se hace una proyección y se tiene en cuenta la tasa de crecimiento reportada por Castell (1987) y una talla de asentamiento cercana a 1.2 mm se puede pensar que la estimación del patrón de reclutamiento refleja correctamente la dinámica de la población ya que durante los meses muestreados, el 30.7 % de los caracoles presentaron tallas que corresponderían a los individuos reclutados entre mayo y junio 2013. El 13 % tenía tallas que podrían corresponder a los reclutas de mayo, junio y julio 2012, y en enero 2013 pudo presentarse otro gran reclutamiento, ya que el 54.5 % de los individuos recolectados presentaron tallas entre 20.5 y 30.4 mm. No obstante, se debe tener en cuenta que las estimaciones hechas en FiSAT II, son aproximaciones que se fundamentan en dos supuestos que raramente se cumplen; uno establece que todos los individuos de la muestra crecen describiendo un único conjunto de parámetros de crecimiento y el otro asume que durante un mes del año el reclutamiento es cero (Pauly, 1983; Sparre & Venema, 1997). Por ejemplo, para este estudio se determinó que en el mes de diciembre no hay reclutamiento, pero haciendo una estimación, basada en la tasa de crecimiento, la época de reclutamiento de individuos con tallas entre 30.5 y 45.4 mm, probablemente en diciembre 2012 haya ocurrido un evento reproductivo y el reclutamiento se haya dado en enero. Además, se debe tener presente que es probable que los individuos de tamaños inferiores a 10 mm hayan sido subestimados

en la muestra, y las estimaciones en cuanto al reclutamiento fueran poco acertadas, o puede ser, que el reclutamiento varíe anualmente como menciona Schmidt et al. (2002), al igual que las épocas reproductivas, ya que el desove depende de factores como los cambios de marea, los cambios de fase de la luna, estrés ambiental, temperatura, entre otros (Bell, 1992; Osorno et al., 2009).

Para que el rendimiento relativo sostenible por captura en la isla de San Andrés sea eficiente, sin que se vea afectada la biomasa de la población y que la tasa de explotación no sea tan alta, es necesario dejar que los individuos se reproduzcan por lo menos una vez. En este estudio se encontró que una talla óptima de captura puede ser de 50 mm, ya que esto permitiría que los individuos maduraran por completo, desovarán por lo menos una vez y se restableciera la población.

Con lo estimado en el presente trabajo se puede concluir que los parámetros de crecimiento para la población de *C. pica* de la isla de San Andrés son mayores respecto a otras poblaciones del Caribe colombiano, lo que indica que los individuos podrían alcanzar tallas grandes. No obstante, esta población está conformada en su mayoría por individuos de tallas pequeñas, posiblemente debido a efectos de la sobrepesca. Por lo tanto es necesario que se establezcan normas para regular la captura de la especie. A pesar de que los modelos y métodos como los de von Bertalanffy, Pauly, y Beverton y Holt, inicialmente fueron hechos para peces, son herramientas que pueden ayudar a entender la dinámica de la población de invertebrados de interés pesquero a través del tiempo.

Los resultados de este estudio muestran claras señales de alta presión pesquera para *C. pica*. Si bien, tanto las condiciones ecológicas del hábitat de la especie, como el continuo e intenso oleaje, y la predominancia de individuos de tamaños muy pequeños, contribuyen a disminuir la mortalidad por pesca, es fundamental implementar acciones de manejo que contribuyan a la recuperación y sostenimiento de *C. pica* en la isla de San Andrés.

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda vedar por completo la captura manual de *C. pica*, hasta que los individuos presenten tallas grandes y la abundancia poblacional permita sostener el uso del recurso en la isla. Se deben realizar monitoreos mensuales para evaluar la efectividad de la veda y hacer un seguimiento de la estructura poblacional a través del tiempo, y a su vez, entender la dinámica reproductiva de esta especie en la isla. Adicionalmente, es necesario establecer un programa de educación ambiental para sensibilizar a la población de la isla sobre la necesidad de proteger el recurso, y llegar a acuerdos viables sobre el manejo del recurso una vez se retire la veda.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Brigitte Gavio por su ayuda en el proceso de muestreo, a Xavier Marquinez y Carlos López por sus observaciones y ayuda en la logística de la fase de laboratorio. A la Universidad Nacional de Colombia y a la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina CORALINA por la financiación de este proyecto a través del convenio 088 de 2013.

RESUMEN

Ecología poblacional de *Cittarium pica* (Gastropoda: Trochidae) en la isla de San Andrés, Reserva Internacional de Biósfera, Seaflower. *Cittarium pica* es un gasterópodo conspicuo de los litorales rocosos del Caribe. Dada su importancia en la dieta de las comunidades del Caribe, éste ha sido sobreexplotado, incluso en algunos lugares se ha extinguido, por lo cual algunos países lo han incluido dentro de la lista roja de invertebrados marinos. En la isla de San Andrés Colombia la pesca es artesanal y no tiene regulaciones, conllevando a una disminución de su población. Teniendo en cuenta la importancia socioeconómica, cultural y ecológica de *C. pica*, así como su grado de vulnerabilidad a la extinción, es urgente desarrollar acciones de manejo que incrementen la resiliencia de la especie y el sostenimiento del recurso. Para evaluar el estado de la población de *C. pica* de la isla, se estimó la estructura por talla y por sexo, talla de maduración, y los parámetros de crecimiento a partir del análisis de datos de frecuencia de tallas. De septiembre a diciembre 2013 y de

enero a marzo 2014, se recolectaron al azar 458 ejemplares en ocho estaciones representativas del litoral rocoso de la isla. Se midió el diámetro de la base de la concha, se determinó el sexo y el tamaño mínimo de maduración. El 80 % de la población consistió de individuos pequeños < 25.5 mm. La proporción de sexos fue de 1:1, excepto en noviembre y el tamaño mínimo de inicio de la madurez para sexos combinados fue de 14.07 mm. Los parámetros de von Bertalanffy K (0.730 año⁻¹), L_{∞} (110.78 mm) y Φ (3.95) son mayores respecto a otras poblaciones del Caribe. La mortalidad total fue de 3.39 año⁻¹, la mortalidad natural y por pesca fue de 1.02 año⁻¹ y 2.36 año⁻¹, respectivamente. El máximo reclutamiento se estimó para junio y la tasa de explotación máxima entre 0.563 y 0.640, para tamaños de captura de 40 y 50 mm. La tasa de explotación se estimó en 0.70, lo que sugiere una fuerte presión sobre el recurso. Por lo anterior, se recomienda vedar por completo la captura manual de *C. pica* hasta que un monitoreo evidencie que la población se recupera en la isla.

Palabras clave: *Cittarium pica*, estructura poblacional, parámetros de crecimiento, talla mínima de maduración, Reserva de Biosfera Seaflower.

REFERENCIAS

- Appeldoorn, R. S. (1984). The effect of size on mortality of small juvenile conchs (*Strombus gigas* L. and *S. costatus* G.). *Journal Shellfish Research*, 4, 37-43.
- Appeldoorn, R. S. (1998). Age determination, growth, mortality and age of first reproduction in adult Queen Conch, *Strombus Gigas* L., off Puerto Rico. *Fisheries Research*, 6, 363-378.
- Ardila, N., Navas, G. R., & Reyes, J. (2002). *Libro rojo de invertebrados marinos de Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR, Ministerio de Ambiente.
- Ault, J. S., & Ehrhardt, N. M. (1991). Correction to the Beverton and Holt Z-Estimator for truncated catch length-frequency distributions. *Fishbyte*, 9(1), 37-39.
- Barrera, J. Gavio, B., & Mancera, J. (2016). Macroalgas asociadas al hábitat del gasterópodo *Cittarium pica* (Linnaeus, 1758), en la isla de San Andrés. En N. H. Campos, & P. Acero (Eds.), *Contribuciones en ciencias del Mar de la Universidad Nacional de Colombia-2015* (p. 14). Santa Marta, Colombia: CECIMAR, Universidad Nacional de Colombia.
- Bell, L. J. (1992). Reproduction and larval development of the west Indian Topshell, *Cittarium pica* (Trochidae), in the Bahamas. *Bulletin of Marine Science*, 51(2), 250-266.
- Beverton, R. J. H., & Holt, S. J. (1956). A review of methods for estimating mortality rates in exploited fish populations, with special reference to sources of bias in catch sampling. *Rapp.P-V. Réun. CIEM*, 140, 67-83.

- Castell, L. (1987). *Algunos Aspectos de la Biología y Ecología de *Cittarium pica* (L.), "Quigua" (Prosobranchia, Trochidae), en el Parque Nacional Archipiélago de Los Roques* (Tesis de Biología). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Correa, T., Toro, B., & Rosique, J. (2012). Some aspects of the bioecology of the West Indian Topshell *Cittarium pica* (Mollusca:Gasteropoda) in the Darien Colombian Caribbean. *Boletín Científico - Centro de Museos - Museo de Historia Natural*, 16(2), 162-172.
- Debrot, A. (1990). Temporal aspects of population dynamics and dispersal behavior of the West Indian Topshell, *Cittarium pica* (L.), At selected sites in the exuma cays, Bahamas. *Bulletin of Marine Science*, 47(2), 431-447.
- Díaz, J., & Puyana, M. (1994). *Moluscos del Caribe Colombiano. Un catálogo ilustrado*. Bogotá, Colombia: Colciencias, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR).
- Díaz, J. M., Días-Pulido, Garzón-Ferreira, J., Geister, J., Sanchez, J., & Zea, S. (1996). *Atlas de los arrecifes coralinos del Caribe colombiano. I Complejos arrecifales oceánicos*. Santa Marta, Colombia: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR).
- Gayanilo, F. C., Sparre, P., & Pauly, D. (2005). *FAO-ICLARM Stock Assessment Tools II (FiSAT II). User's guide*. Rome, Italy: Computerized Information Series (Fisheries).
- Geister, J. (1973). Los arrecifes de la isla de San Andrés (Mar Caribe, Colombia). *Mitt. Instituto colombiano de Investigaciones Científicas*, 7, 211-228.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1986). *San Andrés y Providencia: Aspectos Geográficos*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). (1995). *Datos de las variables climáticas de la isla de San Andrés, Providencia y Santa Catalina*. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Mancera, J., & Mendo, J. (1996). Population dynamics of the oyster *Crassostrea rhizophorae* From the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Fisheries Research*, 26, 139-1348.
- Mancera-Pineda, J., Gavio, B., Jerez-Martinez, A., Guerra-Vargas, L., Rico-Mora, J., Barrera-Velandia, J., & Vega-Rojas, J. (2014). *Aspectos Bioecológicos del Caracol *Cittarium pica* de la Isla de San Andrés, Durante su Periodo Reproductivo*. Bogotá, Colombia.
- Moreau, J., & Cuende, F. X. (1991). On improving the resolution of the recruitment patterns of Fishes. *Fishbyte*, 9(1), 45-46.
- Murcia, G. (2008). *Monitoreo de Wilks *Cittarium pica* (Linnaeus, 1758)(Mollusca: Gasteropoda Trochidae) en las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina*. Isla San Andrés, Colombia: Coralina report.
- Osorno, A. (2005). *Bioecología de la "cigua" o "burgao" *Cittarium pica* (Linnaeus, 1758) (Mollusca: Gasteropoda: Trochidae) en la costa continental del Caribe colombiano* (Tesis Biología Marina). Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia.
- Osorno, A., Gil-Agudelo, D. L., & Gómez, L. A. (2009). *Plan de investigación para la conservación de *Cittarium pica**. Santa Marta, Colombia: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR).
- Pauly, D. (1980). On the Interrelationships Between Natural Mortality, Growth Parameters and Mean Environmental Temperature in 175 Fish Stocks. *Journal du Conseil / Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*, 39(3), 175-192.
- Pauly, D. (1983). Length-converted catch curves: a powerful tool for fisheries research in the tropics (Part I). *Fishbyte*, 1, 9-13.
- Pauly, D., & Munro, J. L. (1984). Once More on The Comparison of Growth in Fish and Invertebrates. *ICLARM Fishbyte*, 2, 1-21.
- Randall, H. A. (1964). A Study of the growth and other aspects of the biology of the West Indian Topshell, *Cittarium pica* (Linnaeus). *Bulletin of Marine Science of the Gulf and Caribbean*, (558), 424-443.
- Robertson, R. (2003). Natural history of *Cittarium pica*. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 153, 27-47.
- Sánchez-Núñez, D., & Mancera-Pineda, J. (2012). Pollination and fruit set in the main neotropical mangrove species from the Southwestern Caribbean. *Aquatic Botany*, 103, 60-65.
- Santos, A., Mancera, J., Castro, E., Sjøgreen, M., Bent, H., & Torres, J. (2012). *Propuesta Para el Plan de Manejo Pesquero de la Zona Sur del Area Marina Protegida en la Reserva de Biosfera Seaflower*. Bogotá, Colombia: Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Universidad Nacional de Colombia.
- Schmidt, S., Wolff, M., & Vargas, J. A. (2002). Population Ecology and Fishery of the Gastropod *Cittarium pica* Along the Caribbean Coast of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 50(3/4), 1079-1090.
- Sparre, P., & Venema, S. C. (1997). *Introduction to Tropical Fish Stock Assessment*. Rome, Italy, FAO.
- Toller, W., & Gordon, S. (2005). *A population survey of the west indian Topshell or welk (*Cittarium pica*) in the U. S. Virgin Islands* (Final Report). U.S. Virgin Islands: Department of Planning and Natural Resources Government.
- Udupa, K. S. (1986). Statistical Method of Estimating the size at First Maturity in Fishes. *Fishbyte*, 4, 8-10.
- Vargas, G. (2004). Geología y Aspectos Geográficos de la Isla de San Andrés, Colombia. *Geología Colombiana*, (29), 73-89.