

INFORME TÉCNICO

Estimación de la fecundidad de las principales especies de crustáceos de profundidad asociada a los muestreos del proyecto:
metanephrops bringhami





ESTIMACIÓN DE LA FECUNDIDAD DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE CRUSTÁCEOS DE PROFUNDIDAD ASOCIADA A LOS MUESTREOS DEL PROYECTO: METANEPHROPS BRINGHAMI

Equipo de autores y colaboradores

® Universidad del Magdalena	® Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca
Daniel Giovanni Pérez Ferro Jorge Enrique Paramo Granados Yeimy Vargas Castillo Alfredo Rodríguez María Alejandra Atencia Mauricio Hurtado Deiner Marin Olga Jiménez Neider Arango Diana Bustos Montes	María Rosa Angarita Peñaranda Cristhian Eduardo Marrugo Marmolejo Erick José Mercado Pérez Sarina Milena Robles

Esta publicación, es un producto resultado del convenio de cooperación No. 153 de 2020 cuyo objeto: “Determinación de la biología reproductiva de crustáceos de aguas profundas de importancia comercial en el Caribe norte colombiano durante un ciclo biológico completo con fines de medidas para su manejo y aprovechamiento sostenible”, suscrito entre la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca y La Universidad del Magdalena en el año 2020.

Citación sugerida: Pérez, D., Paramo, J., Vargas, Y., Rodríguez, A., Atencia, M., Hurtado, M., Marín, D., Jiménez, O., Arango, N. y D. Bustos-Montes (2021). Estimación de la fecundidad de las principales especies de crustáceos de profundidad asociada a los muestreos del proyecto: *metanephrops bringhami*. AUNAP – UNIMAGDALENA. 15 p

®Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales, sin previa autorización del titular de los derechos de autor, sí y solo sí, se reconocen los créditos de los autores, editores e instituciones que han elaborado el presente documentos.

Las líneas de delimitación, así como los mapas que pudieran presentarse dentro de la publicación, son una representación gráfica aproximada, con fines ilustrativos y no expresan una posición de carácter oficial, por ende, ni los autores ni las instituciones vinculadas, asumen la responsabilidad de las interpretaciones que surjan a partir de estas.

“Se prohíbe la reproducción de este documento para fines comerciales”

Responsabilidad: Las denominaciones empleadas y la presentación del material en esta publicación, no implican la expresión de opinión o juicio alguno por parte de las instituciones participantes. Así mismo, las opiniones expresadas no representan necesariamente las decisiones o políticas de las instituciones participantes, ni la citación de nombres, estadísticas pesqueras o procesos comerciales. Todos los aportes y opiniones expresadas son de la entera responsabilidad de los autores correspondientes. Los documentos que componen este libro han sido editados con previa aprobación de sus autores.



PRODUCTO: ANÁLISIS DE LA ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO REPRODUCTIVO Y DESARROLLO DE OVOCITOS

“DETERMINAR LA BIOLOGIA REPRODUCTIVA DE LAS ESPECIES DE CRUSTÁCEOS DE AGUAS PROFUNDAS DE IMPORTANCIA COMERCIAL EN EL CARIBE NORTE COLOMBIANO DURANTE UN CICLO BIOLÓGICO COMPLETO, CON FINES DE RECOMENDAR MEDIDAS PARA SU MANEJO Y APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE”

GRUPO DE INVESTIGACIÓN CITEPT CONVENIO 153-2020 AUNAP -
UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA Santa Marta, julio de 2021

Convenio de Cooperación de Actividades Científicas y Tecnológicas N° 153 de 2020
Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP – Universidad del Magdalena - UNIMAG

Determinar la biología reproductiva de las especies de crustáceos de aguas profundas de importancia comercial en el Caribe norte colombiano durante un ciclo biológico completo, con fines de medidas para su manejo y aprovechamiento sostenible”

OBJETIVO ESPECÍFICO 3: Estimar la fecundidad por especie, rendimiento reproductivo, tamaño y desarrollo de los ovocitos para proveer información básica concerniente a sus estrategias reproductivas

Actividad 3.2. Hacer la estimación de la fecundidad de las principales especies de crustáceos de profundidad asociada a los muestreos del proyecto

Producto 3.2. Análisis de la estimación de la fecundidad de las especies de crustáceos de profundidad asociada al muestreo

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
Estimación de la fecundidad de las principales especies de Crustáceos de profundidad asociada a los muestreos del Proyecto: <i>Metanephrops bringhami</i>	1
Resumen	1
Introducción	1
Materiales y Métodos	5
Resultados	6
Debate	9
Conclusiones	13

ESTIMACIÓN DE LA FECUNDIDAD DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE CRUSTÁCEOS DE PROFUNDIDAD ASOCIADA A LOS MUESTREOS DEL PROYECTO: *Metanephrops binghami*

Resumen

En este trabajo se describen las relaciones morfométricas y la talla en la madurez sexual de la langosta del Caribe de aguas profundas. Los datos se obtuvieron en el Caribe colombiano en cuatro estudios de arrastre realizados en noviembre y diciembre de 2009 entre 200 y 550 m de profundidad. Se midieron 709 individuos con tallas entre 53,65 y 191,00 mm (TL) (media $121,17 \pm 27,13$ mm). *M. binghami* tuvo un crecimiento alométrico positivo. Las langostas de la familia Nephropidae tienen una distribución mundial y una importancia económica. Se han reportado altos niveles de biomasa de *Metanephrops binghami* en el Caribe colombiano y esta especie podría convertirse en un nuevo recurso potencial para la pesquería del Atlántico Occidental. Sin embargo, antes de desarrollar una nueva pesquería, se necesita más investigación biológica para entender el ciclo de vida de esta especie. Aspectos como el crecimiento, el desove, el reclutamiento, la mortalidad, las zonas de cría y la biodiversidad asociada deben ser estudiados cuidadosamente.

Introducción

Las langostas de la familia Nephropidae son de gran importancia comercial en muchas pesquerías de todo el mundo (Cobb & Wang 1985, Holthuis 1991), y pueden encontrarse desde aguas poco profundas hasta 1.400 metros de profundidad en fondos de arena y barro (Tavares 2002). Dentro de esta familia se encuentra el género *Metanephrops* distribuido en el Indo-Pacífico, el Pacífico Oriental y el Atlántico Occidental (Holthuis 1991, Chan *et al.* 2009, Robey *et al.* 2013). Se ha informado de que algunas especies de este género son de gran importancia económica, como *Metanephrops mozambicus* (Macpherson 1990) capturado por la pesca industrial en África oriental (Robey *et al.* 2013), *Metanephrops japonicus* (Tapparone-Canefri 1873) que presenta un alto valor en las pesquerías locales de Japón (Okamoto 2008) y *Metanephrops binghami* (Boone 1927) que tiene potencial de explotación en aguas venezolanas (Gómez *et al.* 2000, Gómez *et al.* 2005).

En los taludes continentales del noroeste de Australia se explotan comercialmente tres crustáceos de aguas profundas del género *Metanephrops*: *M. boschmai* (Holthuis 1964), *M. andamanicus* (Wood-Mason 1891) y *M. australiensis* (Bruce 1966; Ward y Davis 1987; Wassenberg y Hill 1989). Además, en Nueva Zelanda se ha desarrollado una pesquería de langostas de aguas profundas dirigida a los langostinos (*M. challengerii* Balss 1914; Smith 1999).

La langosta de aguas profundas del Caribe (*M. binghami*) tiene una amplia distribución desde las Islas Bahamas hasta la Guayana Francesa, incluyendo el Golfo de México y el Mar Caribe, y habita en profundidades que oscilan entre los 200 y los 700 m (Holthuis 1991, Tavares 2002). Investigaciones en aguas profundas del Caribe colombiano han reportado el potencial de *M. binghami* para una pesquería de alto valor comercial, pero en la actualidad no existe una pesquería para esta especie y no hay información sobre su biología, dinámica poblacional e historia de vida (crecimiento, reproducción, etc.) (Paramo & Saint-Paul 2012). Sin embargo, para la gestión de las pesquerías es muy importante conocer la estructura de tallas, el crecimiento corporal y la talla en la madurez sexual de las especies de importancia comercial (Hilborn & Walters 1992), que influyen en la estructura y función de los ecosistemas marinos (Haedrich & Barnes 1997, Shin *et al.* 2005). Por lo tanto, el objetivo de este estudio es proporcionar información biológica sobre la estructura de tallas, el tamaño a la madurez sexual y las relaciones morfométricas de la langosta caribeña de profundidad *Metanephrops binghami* en el Caribe colombiano.

Materiales y métodos

Los muestreos se realizaron entre 2020 y 2021 procurando un ciclo anual del recurso. Las muestras se tomaron mediante arrastre (30 minutos de duración del lance) en profundidades que iban de 200 a 550 m, con al menos dos lances por estrato de 100 m de profundidad, en el Caribe colombiano. Se utilizó una ecosonda comercial FURUNO FCV 1150 con un transductor a una frecuencia de 28 kHz para las localizaciones de arrastre, con un total de 87 estaciones muestreadas (**Figura 1**). Las muestras fueron recogidas por un arrastrero comercial de camarones que utilizaba una red de arrastre con una malla de copo de 44,5 mm de nudo a nudo (Paramo & Saint-Paul 2012).

En el laboratorio, se midieron los ejemplares de langosta del Caribe (*M. binghami*) con doce medidas morfométricas del cuerpo con una precisión de 0,01 mm, el peso húmedo total con una precisión de 0,01 g y se determinó el sexo. Las variables morfométricas registradas fueron (1) longitud total (TL), (2) anchura de la espina antenal (ASW), (3) anchura de la espina hepática (HSW), (4) longitud del cefalotórax (CL), (5) longitud diagonal del cefalotórax (DCL), (6) longitud del primer segmento abdominal (FSL), (7) anchura del primer segmento abdominal (FSW), (8) altura del primer segmento abdominal (FSH), (9) longitud del segundo segmento abdominal (SSL), (10) altura del sexto segmento abdominal (SISH), (11) longitud de la cola (TaL) y (12) longitud de la cabeza (HL) (Tzeng et al. 2001, Tzeng & Yeh 2002, Paramo & Saint-Paul 2010). Las diferencias de tallas y pesos entre hembras y machos se analizaron mediante la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$). Las distribuciones de frecuencia de tallas para hembras y machos permitieron calcular la proporción de sexos por clase de tamaño (cada intervalo de 10 mm de longitud). Se realizó una prueba de chi-cuadrado para establecer diferencias significativas entre el número total de hembras y machos y por clase de tamaño con una referencia del 50% de la proporción de sexos. Además, se utilizó un modelo aditivo generalizado (GAM; Hastie & Tibshirani 1990) para analizar la relación entre la proporción de sexos y la clase de tamaño.

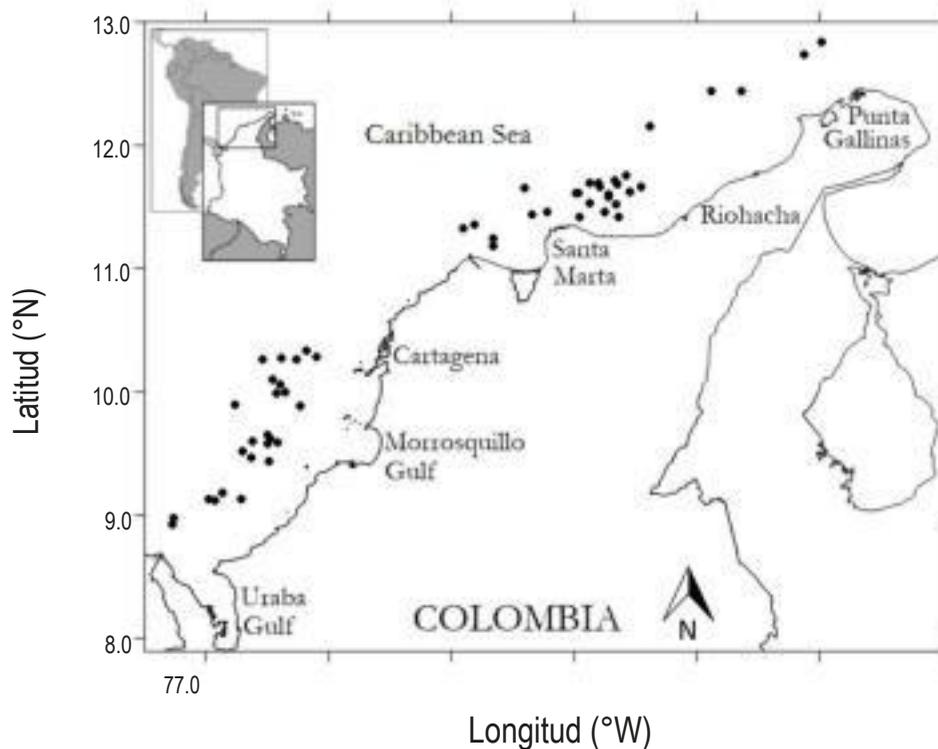


Fig. 1. Área de estudio. Los puntos indican la ubicación de las estaciones muestreadas durante el estudio en el Caribe colombiano.

Se utilizó el suavizado spline (s) con una familia gaussiana para estimar las funciones no paramétricas. El nivel de probabilidad de la contribución no lineal de los términos no paramétricos se realizó con el valor de significación (P) para juzgar la bondad del ajuste (Burnham & Anderson 2003).

La madurez de *M. binghami* se evaluó considerando cinco estadios de madurez macroscópica para las hembras. La clasificación de los ovarios se basó en el color, según Paramo Saint-Paul (2012): estadio 1, blanco-inmaduro; estadio 2, opaco-en desarrollo; estadio 3, amarillo-maduro; estadio 4, verde-maduro; estadio 5, hembra ovípara con huevos en sus pleópodos (adaptado de Mente *et al.* 2009). Consideramos los estadios I y II como inmaduros y los estadios III, IV y V como maduros. Se registró la proporción de individuos maduros en cada intervalo de 10 mm de longitud y se modeló mediante una función logística. Para obtener una estimación de la talla en la madurez sexual (TL50 %) se ajustó la curva por minimización de mínimos cuadrados utilizando una regresión no lineal.

$$(1) \quad P(TL) = \frac{1}{1 + \exp(a + b * TL)}$$

Donde P(TL) es la proporción de hembras maduras, a y b son los parámetros estimados y TL es la longitud total. La talla al 50% de madurez se obtiene mediante TL50 % = (-a/b) (King 2007).

Para analizar el inicio de la madurez morfológica sexual en hembras y machos, se establecieron como medidas morfométricas primarias la longitud total y la longitud del cefalotórax, relacionándola con cada una de las diferentes medidas (Queirós *et al.* 2013). Se utilizó un modelo de regresión con relación segmentada del paquete de segmentos (Muggeo 2003, 2008). Este modelo se basa en las relaciones entre dos variables explicativas que se representan mediante dos líneas rectas conectadas por un punto de ruptura (Muggeo 2003, 2008). El ajuste se basa en la minimización del parámetro gap, que mide el espacio entre las dos líneas de regresión a cada lado del punto de ruptura. Cuando el algoritmo converge, el parámetro "gap" se aproxima a cero, minimizando el error estándar del punto de ruptura (Muggeo 2008). Los puntos de ruptura de las relaciones entre las dos medidas morfométricas se consideraron indicativos del tamaño al inicio de la madurez para hembras y machos siempre que los puntos de ruptura para los que el valor de t asociado al parámetro "gap" fuera inferior a dos (Muggeo 2008). Además, se utilizó el test de Davies para comprobar las diferencias significativas entre las pendientes de los segmentos ajustados (Davies 1987, Muggeo 2008, Queirós *et al.* 2013, Williner *et al.* 2014).

La relación longitud-peso se modeló como una ecuación de ley de potencia mediante la regresión del peso frente a la longitud $W = a L^b$ por transformación logarítmica $\ln W = \ln a + b \ln L$ donde W es el peso total en g, TL es la longitud total en cm,

a es el intercepto y b es el coeficiente de alometría. Como medida de la bondad del ajuste, se utilizó el coeficiente de determinación (r^2). Se estimó el intervalo de confianza del 95 % para b y se realizó la prueba t-student para determinar si la langosta presentaba un crecimiento isométrico ($H_0: b = 3, a = 0,05$). Las relaciones morfométricas se realizaron mediante el ajuste por mínimos cuadrados a la ecuación lineal $Y = a + X*b$ donde; a (intercepto), b (pendiente), Y para el TL y X para las variables independientes (ASW, HSW, CL, DCL, FSL, FSW, FSH, SSL, SISH, TaL y HL). Para evaluar las diferencias en las relaciones lineales entre los sexos se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) (Zar 2009).

Resultados

El tamaño de las hembras de *M. binghami* osciló entre 53,65 y 178,00 mm de LT (media de $118,94 \pm 24,73$ mm) y el de los machos entre 60,17 y 191,00 mm de LT (media de $123,93 \pm 29,52$ mm). El peso de las hembras osciló entre 1,70 y 79,70 g (media de $27,92 \pm 15,38$ mm) y el de los machos entre 2,60 y 115,30 g (media de $34,30 \pm 24,38$ g). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el tamaño y el peso ($p < 0,05$) entre sexos (**Figura 2, Tabla 1**); las hembras eran más pequeñas que los machos.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de la longitud total (mm) y el peso total (g) de las hembras (F) y los machos (M) de *M. binghami*.

Sexo	N	Longitud total (mm)				p-valor	Peso total (g)				
		Min.	Max.	Media	Estándar desviación		Min.	Max.	Desviación media	Estándar	
F	379	53.65	178.00	118.94	24.73	0.04	1.70	79.70	27.92	15.38	0.02
M	330	60.17	191.00	123.93	29.52		2.60	115.30	34.30	24.38	

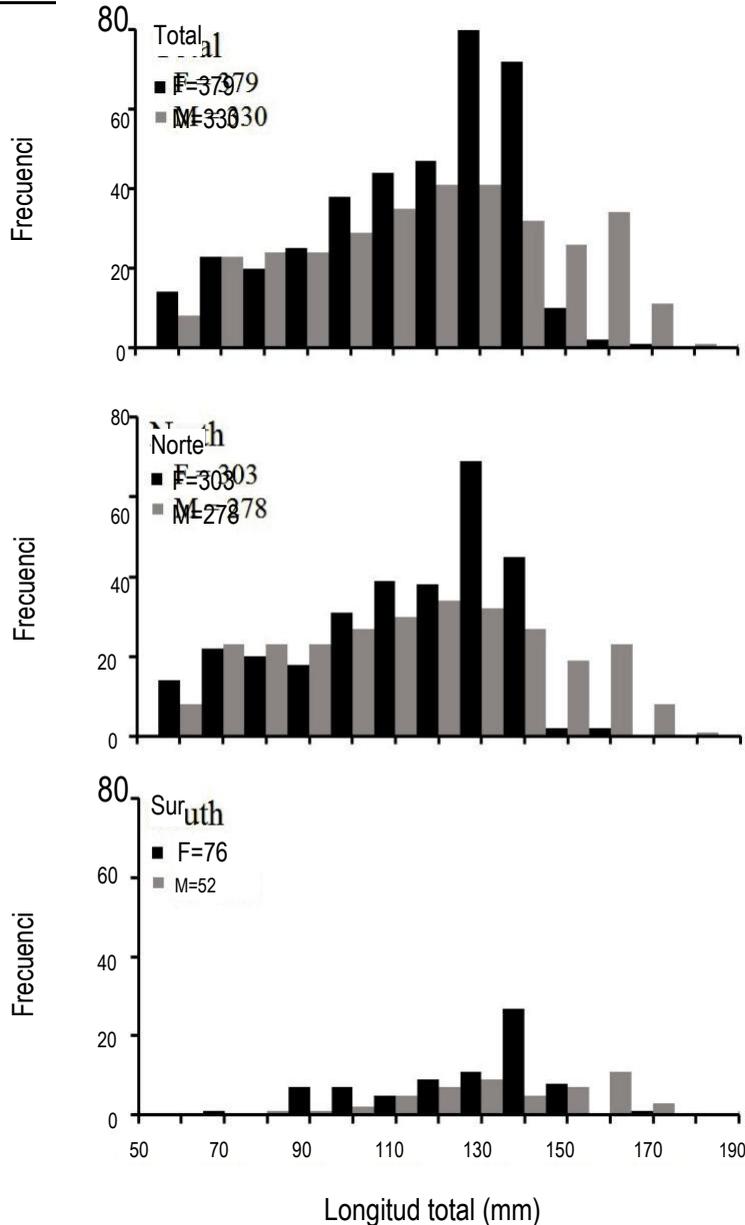
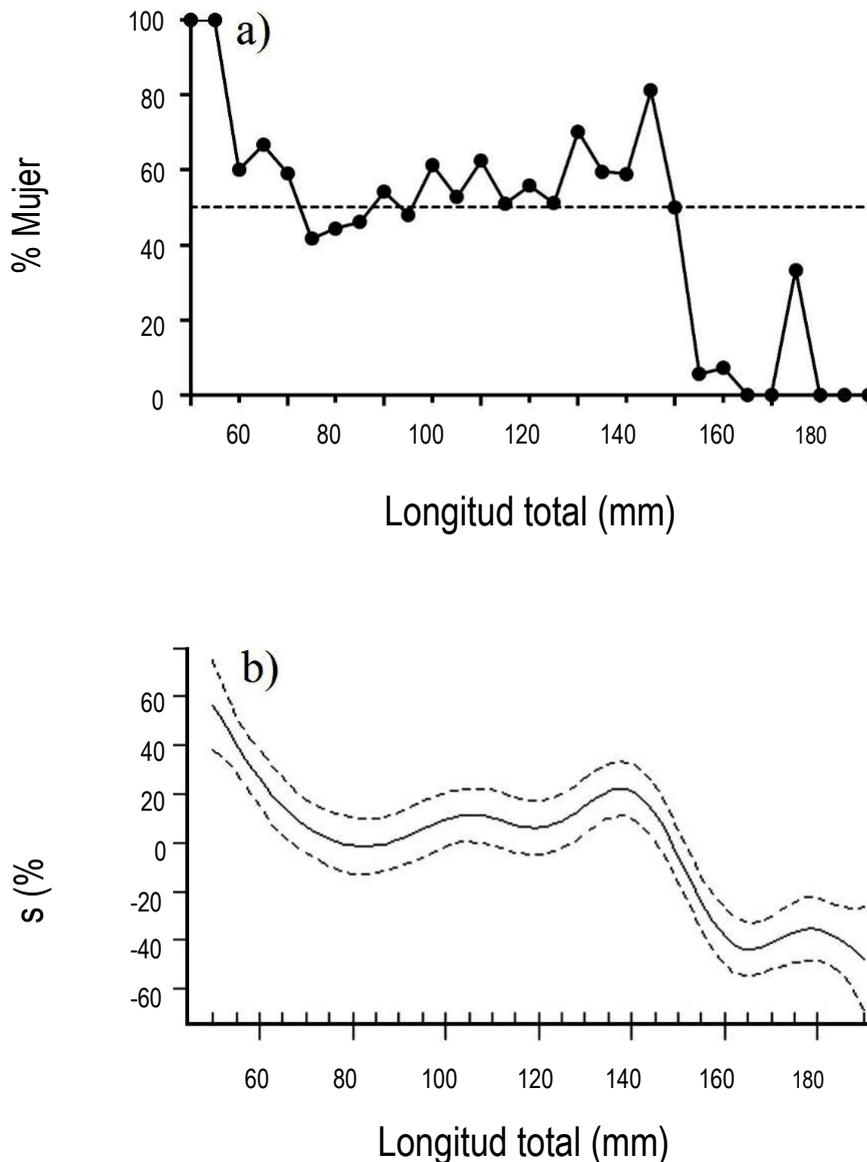


Fig. 2. Distribuciones de frecuencia de la longitud total de *M. binghami* (mm) por sexo para el área total, el área norte y el área sur.

La proporción de sexos mostró diferencias significativas ($p < 0,001$) entre el número total de hembras y machos y por clase de tamaño cuando se comparó con un 50% de proporción sexual. Sin embargo, no hubo diferencias significativas ($p = 0,067$) entre el número de hembras y machos en el rango de tallas de 70 a 140 mm de longitud total. Las hembras mostraron una mayor proporción en las tallas inferiores a 65 mm de longitud total ($p < 0,001$). A continuación, la proporción de sexos disminuyó favoreciendo a los machos en las tallas comprendidas entre 145 y 190 mm de TL ($p < 0,001$) (**Figura 3a**). El ajuste no lineal del GAM fue significativo ($p = 0,000$) mostrando una desviación explicada del 88,7% y la relación entre la proporción de sexos y la longitud total ($r^2 = 0,839$) muestra que la proporción de sexos de esta especie disminuye en función de la longitud total en el Caribe colombiano (**Figura 3b**).

Fig. 3. a) Relación de sexos de la langosta del Caribe (*M. binghami*) en el Caribe colombiano, relación entre la relación de sexos y la longitud total obtenida por modelos GAM con suavizador spline, línea continua: valores ajustados, línea punteada: intervalos de confianza.



La talla de madurez sexual (TL50 %) de las hembras fue de 104,56 mm de TL (31,3 % inmaduras y 68,6% maduras) (Figura 4). Los parámetros del modelo logístico fueron $a = 13,613$ y $b = -0,130$, $r^2 = 0,99$. Se realizaron estimaciones de los puntos de ruptura o inicio de la madurez morfométrica para todas las relaciones. Sin embargo, sólo los valores mostrados en la Tabla 2 corresponden a aquellas estimaciones que mostraron diferencias significativas entre las pendientes (Test Davies, $p < 0,05$) y valores en los que el análisis del punto de ruptura mostró consistencia al momento de variar el rango del valor inicial en el algoritmo "segmento". Las pendientes de los juveniles (primer segmento) fueron siempre

Tabla 2. Resultados del punto de ruptura estimado por regresión segmentada para cada relación morfométrica en machos y hembras de *M. binghami*. El intercepto y la pendiente se presentan para cada segmento. J: juveniles y A: adultos.

Sexo	n	Relación	Punto de ruptura Etapa	Intercepta r	Pendientes	La prueba de Davies Valor p
Mujer	199	HL contra TL	J	2.626	0.473	0.000
			A	8.744	0.415	
		FSH vs TL	J	-2.342	0.144	0.037
			A	1.031	0.112	
		SISH vs TL	J	-0.597	0.080	0.000
			A	0.447	0.070	
		HL contra CL	J	3.110	1.617	0.002
			A	20.800	1.148	
		FSH vs CL	J	-2.337	0.498	0.000
			A	2.576	0.353	
DCL contra CL	J	-2.358	1.226	0.029		
	A	1.005	1.119			
SSL contra CL	J	-0.721	0.200	0.002		
	A	1.916	0.127			
Hombre	164	HSW contra TL	J	-1.713	0.170	0.000
			A	-3.297	0.183	
		SISH vs TL	J	-1.632	0.090	0.011
			A	-0.225	0.077	
		FSW contra CL	J	-1.704	0.569	0.012
			A	4.770	0.424	
SISH vs CL	J	-1.065	0.291	0.040		
	A	2.850	0.201			

mayor que la de los adultos. Sin embargo, para la relación (HL vs TL) en los machos, la pendiente de los adultos fue mayor que la de los jóvenes. Los puntos de ruptura encontrados para HL, FSH, SISH vs TL en las hembras fueron similares. Los realizados por la regresión segmentada con CL como medida principal, oscilaron entre 31,5 y 37,7 mm. Para los machos, los puntos de rotura estimados con TL oscilaron entre 104,40 y 119,2 mm y los estimados con CL entre 43,4 y 44,8 (Tabla 2).

Tabla 3. Estadísticas descriptivas de la longitud total (mm) y el peso total (g) de las hembras (F) y los machos (M) de *M. binghami*.

Sexo	N	a	a (C.I. 95%)	b	b (C.I. 95%)	r2	Prueba t (b)	F (ancova)	valor p (ancova)
F	379	5.93E-06	4,48E-06 a 7,86E-06	3.185	3.126 a 3.245	0.967	0.000	8.988	0.002
M	330	3.45E-06	2,58E-06 a 4.60E-06	3.301	3.241 a 3.361	0.972	0.000		

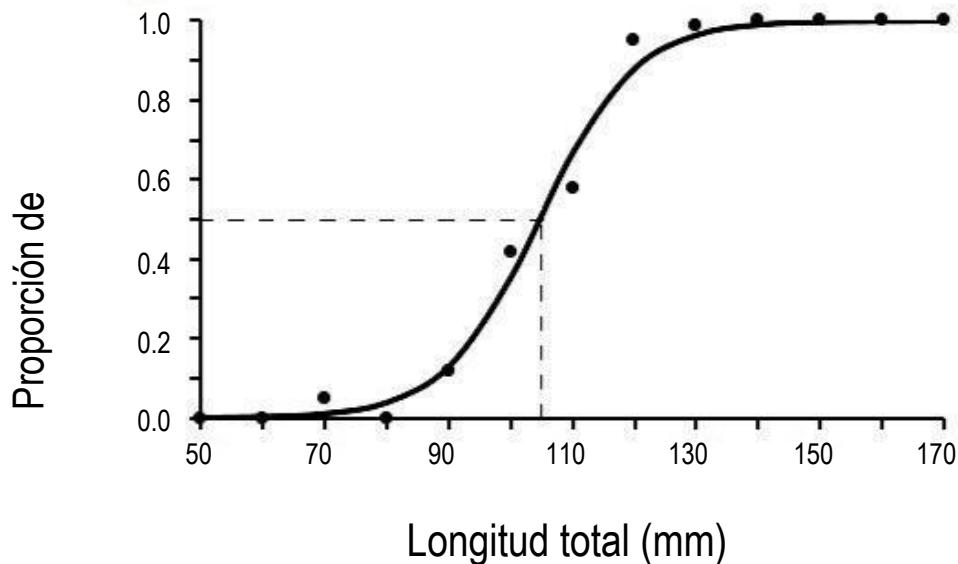


Fig. 4. Talla de madurez sexual (LT50*) de las hembras de *M. binghami* en el Caribe colombiano.

Las relaciones del peso total con la longitud total tanto para las hembras como para los machos fueron significativas ($p < 0,001$) y la variabilidad del peso se explica en aproximadamente $> 90 \%$ para ambos sexos (Tabla 3), mostrando un crecimiento alométrico positivo ($b > 3$), donde el peso aumenta en mayor proporción que la talla. El ANCOVA mostró que existen diferencias significativas entre las pendientes de hembras y machos en la relación peso-talla (Tabla 3; **Figura 5a**). Las relaciones morfométricas entre TL vs ASW, HSW, CL, DCL, FSL, FSW, FSH, SSL, SISH, TaL y HL mostraron altos coeficientes de determinación ($r^2 > 0,80$), indicando una alta correlación entre tallas. El ANCOVA mostró que no hay diferencias estadísticamente significativas entre el paralelismo de las pendientes de hembras y machos en todas las relaciones lineales (**Tabla 4; Figura 5 b-l**).

Debate

Las langostas de aguas profundas tienen un alto valor comercial en los mercados internacionales, y hay muchas pesquerías dirigidas a estos crustáceos (Holthuis 1991, Bell et al. 2013). Nuestros resultados muestran que las tallas de *M. binghami* son similares a las reportadas para otros congéneres como *M. mozambicus*, que es capturado en África Oriental por la pesquería industrial con una longitud de cefalotórax de 45 mm (Robey 2013) y se comercializa a un precio mayor que la langosta espinosa (Chan & Yu 1991). *M. japonicas*, conocido como camarón japonés, con una longitud total de 200 mm, tiene un alto valor económico, y es una pesquería de importancia comercial en la Bahía de Suruga en Japón, donde hay una pequeña población que está sujeta a una alta presión pesquera (Okamoto 2008). *M. binghami* se encuentra en aguas venezolanas con una longitud total de 206 mm y se informa de que tiene potencial para una nueva pesquería (Gómez et al. 2000, Tavares 2002, Gómez et al. 2005).

Tabla 4. Parámetros e intervalos de confianza (95 %) de la relación morfométrica en hembras y machos de *M. binghami*. Grados de libertad para todas las relaciones = 359.

relación	Sexo	N	a	a (C.I. 95%)	b	b (C.I. 95%)	r2	F (ANCOVA)	Valor p (ANCOVA)
TL=ab*	F	379	3.098	0,235 a 5.961	3.392	3.309 a 3.474	0.945	0.105	0.745
	M	330	2.971	0,929 a 5.014	3.356	3.301 a 3.411	0.977		
TL=ab*HL	F	199	-6.131	-9.325 a -2.936	2.161	2.107 a 2.213	0.971	0.717	0.397
	M	164	-4.894	-8.401 a -1.386	2.124	2.069 a 2.178	0.973		
TL = a+b*TaL	199	8.912	M	5.400 a 12.424	1.740	1.688 a 1.793	0.955	0.561	0.454
	164	9.502	F	6.636 a 12.369	1.737	1.696 a 1.778	0.977		
TL = a+b*ASW	7.326	M	164	3.078 a 11.574	6.051	5.833 a 6.270	0.938	0.047	0.827
	6.835	F	199	2.941 a 10.728	6.099	5.909 a 6.289	0.961		
TL = a+b*HSW	19.979	M	164	15.043 a 24.915	5.333	5.083 a 5.583	0.899	0.073	0.786
	22.37	F	199	17.599 a 27.142	5.211	4.984 a 5.437	0.927		
TL = a+b*FSH	14.203	M	164	9.349 a 19.058	7.392	7.068 a 7.715	0.911	2.954	0.086
	20.426	F	199	15.079 a 25.773	6.700	6.378 a 7.021	0.912		
TL = a+b*DCL	5.465	M	164	1,827 a 9.102	2.916	2.827 a 3.005	0.955	0.703	0.402
	7.027	F	199	3.946 a 10.108	2.830	2.760 a 2.900	0.975		
TL = a+b*FSL	13.637	M	164	5.956 a 21.317	46.511	43.299 a 49.723	0.805	0.032	0.857
	8.578	F	199	-0,217 a 17,374	48,035	44.592 a 51,478	0,824		
TL = a+b*FSW	9.386	M	164	5.940 a 12.832	6.167	5.983 a 6.350	0.957	1.826	0.177
	12.973	F	199	9.582 a 16.364	5.980	5.810 a 6.151	0.967		
TL = a+b*SSL	15.242	M	164	9.197 a 21.287	17.430	16.471 a 18.390	0.905	0.829	0.363
	10.099	F	199	4.784 a 15.414	18.347	17.545 a 19.149	0.926		
TL = a+b*SHIS	24.030	M	164	17.114 a 30.947	11.058	10.301 a 11.815	0.808	0.106	0.744
	22.884			16.786 a 28.982	11.031	10.414 a 11.648	0.884		

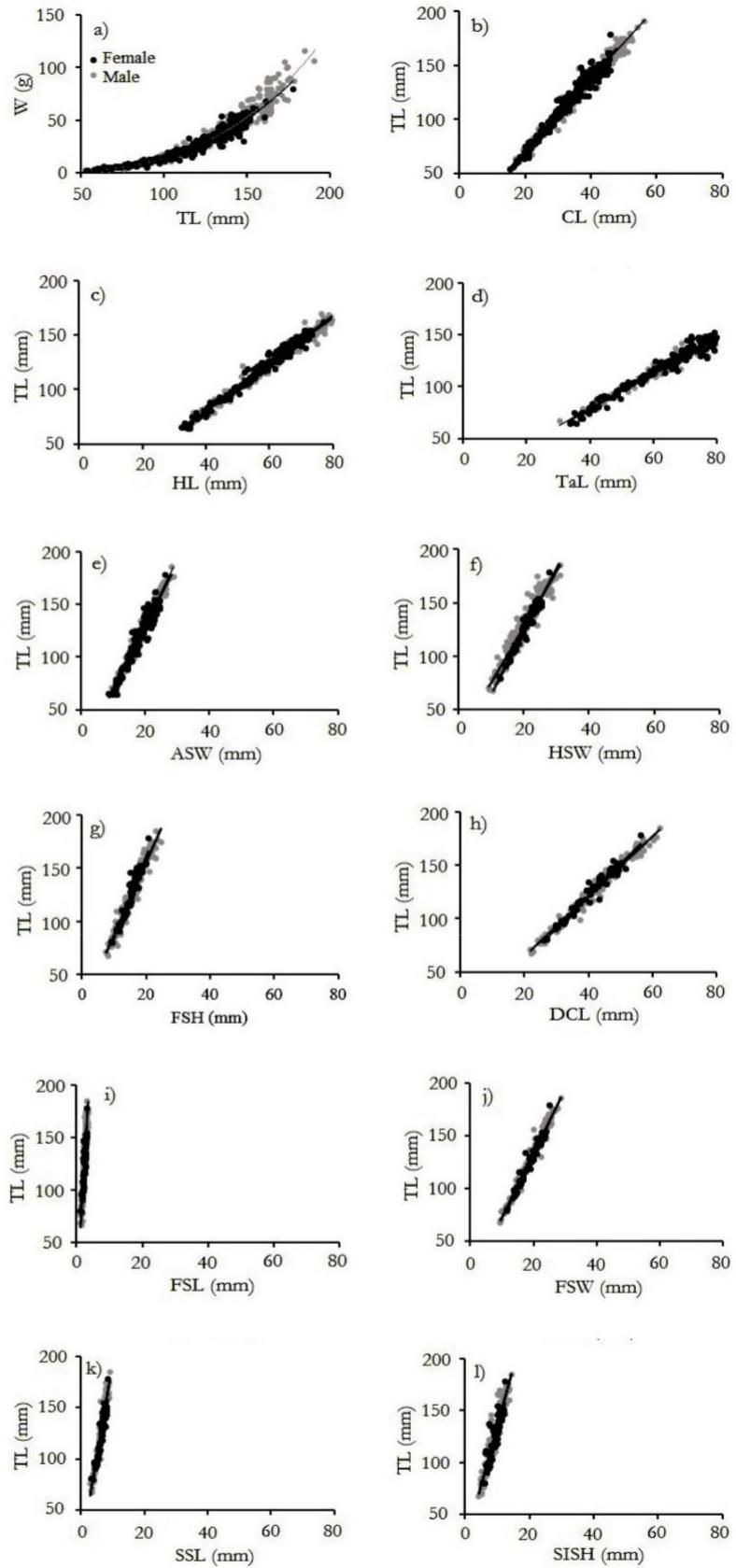


Fig. 5. Relaciones morfométricas en hembras y machos de la langosta del Caribe (*M. binghami*).

En el presente estudio, las hembras de *M. binghami* eran más pequeñas que los machos, de manera similar a lo reportado para *M. rubellus* (Moreira 1903) que muestra tamaños que van de 71.3 a 177.7 de TL en el estado de São Paulo, Brasil (Severino-Rodrigues et al. 2007, Severino-Rodrigues et al. 2016). Durante más de dos décadas *M. rubellus* ha sido capturado en los desembarcos de camarón rosado (*Farfantepenaeus paulensis* y *F. brasiliensis*) en Brasil con tamaños que van de 65 a 186 mm TL (Severino-Rodrigues 1997, 2016).

Algunas causas que se han considerado en los cambios de la proporción de sexos con el tamaño han sido la mortalidad diferencial, la mayor actividad de un sexo en el periodo reproductivo, la restricción alimentaria y el uso de hábitats diferentes por parte de los dos sexos (Company & Sarda 1997, Koeller et al. 2000, Charnov & Hannah 2002, Chiba et al. 2006, Ayza 2010, Ayza et al. 2011, Grabowsky et al. 2014). La razón del cambio en la proporción de sexos con el tamaño puede responder a diferencias sexuales en el crecimiento, la mortalidad o la migración (Siegel et al. 2008). De hecho, las diferencias en la mortalidad natural entre sexos son un factor que contribuye potencialmente a la desigual proporción de sexos (Wenner 1972). En este sentido, si las tasas de crecimiento y mortalidad de machos y hembras fueran las mismas, la proporción de sexos debería permanecer constante; por el contrario, para que se produzcan aumentos y reducciones en determinadas clases de tamaño, deben existir diferencias en las tasas de crecimiento entre hembras y machos. Por tanto, el patrón de la proporción de sexos es el resultado de los efectos mixtos de las diferencias en las tasas de crecimiento entre machos y hembras, las tasas de mortalidad y la composición por edades (Siegel et al. 2008). La talla de madurez sexual se utiliza como parámetro para establecer las tallas mínimas de las capturas. Por lo tanto, la investigación biológica es necesaria para conocer el ciclo reproductivo y los factores que afectan al éxito del desove, que son necesarios para la gestión de las pesquerías. En Brasil, la talla de madurez sexual de las hembras de *M. rubellus* fue de 82,5 mm de longitud total (Severino-Rodrigues et al. 2016), que es inferior a la reportada para *M. binghami* (104,56 de longitud total) en el Caribe colombiano.

Queirós et al. (2013) consideran que la longitud total y la longitud del cefalotórax son buenos predictores para estimar el punto de quiebre. El tamaño al inicio de la madurez en las hembras estimado a partir de los datos morfométricos fue ligeramente superior al estimado con la función logística. Los registros de las hembras ovígeras pueden estar subestimados debido al comportamiento de enterramiento durante el descanso cuando aumenta la luz (Paramo & Saint-Paul, 2012). En el presente estudio, la altura del primer segmento abdominal (FSH) en las hembras tuvo una relación muy estrecha con la talla a la madurez sexual estimada con la función logística (TL50 % = 104,56 mm y FSH vs TL = 106,031 mm TL). De la misma manera, el tamaño al inicio de la madurez estimado por morfometría, tomando como variable principal la CL, dio como resultado un punto de quiebre (FSH vs CL = 33,797 mm CL) similar al reportado por Páramo & Saint-Paul (2012) (30,05 mm CL); este hallazgo indica que la FSH está relacionada con el tamaño al inicio de la madurez sexual. Por lo tanto, el tamaño del abdomen es un buen indicador del inicio de la madurez sexual morfológica ya que tiene relación con la incubación de los huevos.

Las hembras y los machos mostraron una tasa de crecimiento alométrica positiva similar a la encontrada para esta especie en aguas venezolanas (Gómez et al. 2005). En consecuencia, la langosta del Caribe revela cambios asociados a la tasa de crecimiento intrínseca, obteniendo una mayor ganancia de biomasa en relación a la talla (Serrano-Guzmán 2003). Las relaciones morfométricas, además de proporcionar información sobre la variación del crecimiento, también pueden ayudar a predecir el tamaño al inicio de la madurez y el periodo de desove teniendo en cuenta los cambios en la forma y el tamaño del abdomen y los pleópodos durante la maduración de los huevos

(Josileen 2011, Severino-Rodrigues *et al.* 2016). Por lo tanto, es necesario seguir investigando si los índices morfométricos se ven afectados o no por la etapa particular de madurez de la hembra (Queiros *et al.* 2013). Paramo & Saint-Paul (2012) aportaron pruebas de los patrones diarios de *M. binghami* que revelaron un comportamiento nocturno, probablemente para alimentarse, y un comportamiento de enterramiento durante el día, ya que las mayores capturas se realizaron durante las redes de arrastre nocturnas. En consecuencia, se requiere más investigación sobre los patrones estacionales de aparición y proporción de sexos de *M. binghami* en el Caribe colombiano. El conocimiento de las dimensiones de las diferentes partes del cuerpo puede ser útil para los estudios sobre la historia de vida de *M. binghami*. Las relaciones morfométricas presentadas en este trabajo pueden ser muy útiles para estudios poblacionales de la misma especie en diferentes lugares geográficos. La estructura de tallas, la talla a la madurez sexual, el tipo de crecimiento y las relaciones morfométricas son parámetros importantes de la historia de vida, así como de gran utilidad para el manejo de una nueva pesquería de aguas profundas en el Caribe colombiano. Este tipo de información es muy útil para las organizaciones encargadas de establecer estrategias de manejo pesquero en poblaciones que aún se consideran no explotadas. De esta manera, se pueden implementar estrategias de manejo como vedas y controles de artes de pesca, evitando así el agotamiento del recurso (Marasco *et al.* 2007).

Conclusiones

De acuerdo con los resultados encontrados, *M. binghami* es un potencial recurso alternativo para la pesquería del Atlántico Occidental (Cobb & Phillips 1980); sin embargo, antes de iniciar una nueva pesquería, es necesario realizar más investigaciones biológicas para conocer los parámetros del ciclo de vida de la especie como el crecimiento, el desove, el reclutamiento, la mortalidad, las áreas de desove, las áreas de cría y la biodiversidad asociada. Esta información ayudará al desarrollo de estrategias apropiadas para iniciar y sostener una nueva pesquería comercial en el Caribe colombiano teniendo en cuenta la protección y conservación del ecosistema y contribuyendo a la seguridad alimentaria.