



# **Aspectos poblacionales y distribución espacial en la abundancia de la langosta Florida *Nephropsis aculeata* (Smith, 1881) en el Mar Caribe colombiano**

**Julian Andrés Cuestas Mora**

**Universidad del Magdalena**

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Pesquera

Santa Marta D.T.C.H., Colombia

2021



# **Aspectos poblacionales y distribución espacial en la abundancia de la langosta Florida *Nephropsis aculeata* (Smith, 1881) en el Mar Caribe colombiano**

**Julian Andrés Cuestas Mora**

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Pesquero**

Director:

Alfredo Luis Rodríguez Jiménez. Ing. Pesquero, M.Sc.

Codirector:

Jorge Enrique Paramo Granados. Ing. Pesquero, Dr.rer.nat.

Asesor:

Daniel Pérez Ferro. Biol. Marino, Dr.Sc. (c)

Línea de Investigación:

Pesquerías

Grupo de Investigación:

Ciencia y Tecnología Pesquera Tropical (CITEPT)

**Universidad del Magdalena**

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Pesquera

Santa Marta D.T.C.H., Colombia

2021

# Nota de aceptación:

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad del Magdalena para optar al título de Ingeniero Pesquero.

---

Jurado

---

Jurado

Santa Marta, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del \_\_\_\_\_

*Dedico este logro:*

*A mi madre Clara Inés Villegas por apoyarme en todo momento, guiarme en los momentos difíciles y brindarme su apoyo incondicional. A mi tío Juan Carlos Cuestas, por ser esa persona que a pesar de las dificultades me ayudó en los momentos en que más lo necesitaba y a mi padre Pedro Manuel Cuestas por brindarme su apoyo y ayudarme a sacar mi carrera adelante.*

# Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de estudiar en la mejor casa estudio donde pude crecer como persona y como profesional.

Sinceros agradecimientos a todos mis docentes, al formarme como un profesional integro, con ética y plantar esa semilla de basto conocimiento la cual llevaré siempre con orgullo. Al profesor Jorge Páramo Granados que es uno de los docentes que te motiva como investigador y te presiona para que siempre te superes y a Alfredo Rodríguez Jimenez quien me apoyó, guio, explicó y otorgó su tiempo a lo largo del desarrollo de este trabajo. También quiero agradecerle al Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología Pesquera Tropical (CITEPT) por acogerme como un integrante más y brindarme la posibilidad de aprender.

# Tabla de Contenido

	Pág.
<b>1. Resumen.....</b>	<b>8</b>
<b>2. Abstract .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Introducción .....</b>	<b>10</b>
<b>4. Marco Teórico .....</b>	<b>11</b>
<b>5. Objetivos .....</b>	<b>12</b>
5.1. General .....	12
5.2. Específicos.....	12
<b>6. Materiales y Métodos .....</b>	<b>13</b>
6.1. Área de estudio .....	13
6.2. Diseño de muestreo .....	14
6.3. Análisis de información .....	15
<b>7. Resultados y Discusión .....</b>	<b>17</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>25</b>
<b>9. Referencias .....</b>	<b>26</b>

## Lista de Figuras

- Figura 1. Mapa del área de estudio, localizando las estaciones de muestreo (círculos rellenos) de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano. .... 14
- Figura 2. Histograma de distribución de frecuencia de la longitud total (mm) para hembras y machos de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano. .... 17
- Figura 3. Comparación de la longitud total de captura de hembras (a) y machos (b) de la langosta Florida *N. aculeata* en función a los estratos de profundidad en el Mar Caribe colombiano. .... 18
- Figura 4. Relación entre la longitud y el peso total de hembras (a) y machos (b) de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano. La línea sólida representa el modelo potencial ajustado y la línea punteada los intervalos de confianza al 95%. .... 19
- Figura 5. Clasificación de juveniles y adultos en hembras (♀) y machos (♂) de la langosta Florida *N. aculeata*, a partir del análisis de funciones discriminantes. La línea punteada indica el tamaño de madurez sexual y la línea sólida el modelo de regresión ajustado. .... 20
- Figura 6. Clasificación de juveniles y adultos en hembras (♀) y machos (♂) de la langosta Florida *N. aculeata*, a partir del análisis de punto de quiebre. La línea punteada indica el tamaño de madurez sexual (punto de quiebre) y la línea sólida el modelo de regresión ajustado. .... 22
- Figura 7. Variograma omnidireccional de la captura por unidad de área – CPUA ( $\text{kg}/\text{km}^2$ ) ajustado con un modelo esférico de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano. .... 24
- Figura 8. Distribución espacial de la captura por unidad de área – CPUA ( $\text{kg}/\text{km}^2$ ) de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano. .... 24

## Lista de Tablas

- Tabla 1. Valores estimados de tamaño de madurez sexual (L50%) en las relaciones morfométricas de hembras y machos de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano. I.C.: Intervalo de Confianza al 95%. E.E.: Error Estándar. .... 19

# 1. Resumen

La langosta Florida *Nephropsis aculeata* es un crustáceo de profundidad con escasa información biológica y reproductiva. El objetivo de este trabajo fue determinar aspectos poblacionales y reproductivos, así como la distribución espacial de la abundancia de *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano. El tamaño de madurez sexual (L50%) fue estimado a partir de ocho relaciones morfométricas diferenciando entre juveniles y adultos, comparando dos metodologías: i) el punto de quiebre o inicio de madurez morfométrica y ii) análisis de funciones discriminantes. Los datos fueron recolectados en 31 estaciones de arrastre de pesca entre 200 y 600 m de profundidad. La captura total fue de 110 individuos, correspondiente a 55 machos y 50 hembras, los cuales no mostraron diferencias significativas en una proporción de sexos equivalente a 1:1,1 ( $\chi^2 = 0,24$ ,  $p = 0,69$ ). El rango de la longitud total (LT) en hembras varió entre 47,0 y 119,2 mm (promedio: 73,7 mm  $\pm$  18,8) y en machos entre 48,4 y 107,8 mm (promedio: 72,5 mm  $\pm$  12,6), con los mayores tamaños entre 400 y 600 m de profundidad. Esta especie presentó un crecimiento isométrico, con un incremento en el tamaño en proporción al peso corporal ( $b = 2,97$ ;  $p = 0,75$ ). El análisis de funciones discriminantes y el punto de quiebre mostraron valores similares de tamaño de madurez sexual y un alto coeficiente de determinación ( $R^2 > 0,80$ ) para todas las relaciones morfométricas. En hembras, las relaciones morfométricas de peso total (PT), longitud cefalotórax (LC), longitud cola (LCo) vs LT mostraron un rango de L50% entre 72,0 y 74,2 mm, mientras que las relaciones de PT, LT, LCo, longitud cabeza (LCa) vs LC entre 19,0 y 21,6 mm. En machos, las relaciones de PT, LC, LCo vs LT mostraron valores de L50% entre 61,6 y 65,6 mm, y en PT, LT, LCo, LCa vs LC entre 18,0 y 24,7 mm. Los resultados mostraron una clara discriminación entre juveniles y adultos, indicando el tamaño de madurez sexual en poblaciones con datos pobres. El análisis de distribución espacial mostró que las mayores abundancias de *N. aculeata* se localizaron en la zona norte entre Santa Marta y Riohacha (2,2 kg/km<sup>2</sup>). Para esta especie la biomasa total se estimó en 18,8 t. Este trabajo de investigación suministró información relevante de *N. aculeata*, uno de los crustáceos pobremente estudiados en aguas profundas del Mar Caribe colombiano.

**Palabras claves:** *Nephropsis aculeata*, aguas profundas, tamaño de madurez sexual, relaciones morfométricas, poblaciones con datos pobres, distribución espacial.

## 2. Abstract

The Florida lobster *Nephropsis aculeata* is a deep-sea crustacean with little reproductive and biological information. The objective of this work was to determine population and reproductive aspects, as well as the spatial distribution of the abundance of *N. aculeata* in the Colombian Caribbean Sea. The size at sexual maturity (L50%) was estimated from eight morphometric relationships differentiating between juveniles and adults, comparing two methodologies: 1) the breaking point or beginning of morphometric maturity and 2) analysis of discriminant functions. Data were collected in 31 trawl fishing stations between 200 and 600 m depth. The total catch was 110 individuals, corresponding to 55 males and 50 females, which did not show significant differences in a sex ratio equivalent to 1: 1.1 ( $\chi^2= 0.24$ ,  $p = 0.69$ ). The total length range (TL) in females varied between 47.0 and 119.2 mm (mean: 73.7 mm  $\pm$  18.8) and males between 48.4 and 107.8 mm (mean: 72.5 mm  $\pm$  12.6), with the largest sizes between 400 and 600 m depth. This species showed an isometric growth, with an increase in size in proportion to body weight ( $b= 2.97$ ;  $p= 0.75$ ). The discriminant functions analysis and break point showed similar values of size at sexual maturity and a high coefficient of determination ( $R^2 > 0.80$ ) for all the morphometric relationships. In females, the morphometric relationships of total weight (WT), cephalothorax length (CL), tail length (TaL) vs TL showed a range of L50% between 72.0 and 74.2 mm, while the relationships of WT, TL, TaL, head length (HL) vs CL between 19.0 and 21.6 mm. In males, the relationships of WT, CL, TaL vs TL showed values of L50% between 61.6 and 65.6 mm, and in WT, TL, TaL, HL vs CL between 18.0 and 24.7 mm. These results show a clear discrimination between juveniles and adults, indicating the size at sexual maturity in data-poor populations. The spatial distribution analysis showed that the highest abundances of *N. aculeata* were located in the northern zone between Santa Marta and Riohacha (2.2 kg/km<sup>2</sup>). For this species the total biomass was estimated at 18.8 t. This research work provided relevant information of *N. aculeata*, one of the poorly studied crustaceans in deep waters of the Colombian Caribbean Sea.

**Key words:** *Nephropsis aculeata*, Deep-sea waters, size at sexual maturity, morphometric relationships, data-poor population, spatial distribution.

### 3. Introducción

La familia Nephropidae, incluye a los crustáceos comúnmente llamados langostinos o cigalas, los cuales son importantes recursos pesqueros en países del hemisferio norte (King, 2007). En su mayoría las especies pertenecientes a la familia Nephropidae son de profundidad y la falta de desarrollo en las tecnologías de pesca ha limitado la extracción de este tipo de recursos en aguas profundas (Down, 1980).

El género *Nephropsis* (Wood-Manson, 1873), (Decapodos, Nephropidae), presente en el Atlántico occidental está compuesto por cuatro grupos funcionales: *aculeata*, *agassizii*, *neglecta* y *rosea* (Carpenter, 2002), aunque en estudios recientes se han reportado siete nuevas especies de las cuales cuatro fueron halladas en las costas de Taiwán tales como *N. acanthura* (Macpherson, 1990), *N. holthuisi* (Macpherson, 1993), *N. serrata* (Macpherson, 1993), *N. suhmi* (Bate, 1888), así como tres especies en el Mar de la China Meridional, *N. ensirostris* (Alcock, 1901), *N. stewarti* (Wood-Mason, 1872) y *N. suhmi* (Chan y Chan, 2019).

Para este género *Nephropsis* en particular, no se conocen reportes de captura a escala comercial en los océanos Atlántico y Pacífico, aunque algunos de estos crustáceos cuentan con alto potencial biológico y pesquero (Holthuis, 1991). En su mayoría estas especies hacen parte de la captura incidental en las pesquerías que tienen como recurso objetivo al camarón rojo real (*Pleoticus robustus*), ingresando esporádicamente a los mercados locales (Carpenter, 2002). En efecto, barcos de pesca han capturado volúmenes importantes de *N. aculeata* (Smith, 1881), especialmente en áreas del suroeste del Atlántico Norte, Golfo de México y el Mar Caribe (Roe, 1966). Así mismo, la especie *N. rosea*, es una de las más frecuentes y abundantes registradas en el talud continental superior del suroeste en el Golfo de México (Escobar-Briones *et al.*, 2008).

La langosta de Florida *N. aculeata* se distribuye ampliamente por América, desde Massachusetts (USA) y Bermuda, extendiéndose a través del Golfo de México y el Mar Caribe incluidas las Antillas, Guayana Francesa, Surinam y parte de Brasil (Carpenter, 2002). Así mismo, se han encontrado ejemplares frente a la isla Martha en Massachusetts (USA) a una profundidad de 182 m sobre fondos lodosos, frecuentando un rango de profundidades entre 200 y 600 m, especialmente sobre fondos de arena fina o lodos (Holthuis, 1991; Carpenter, 2002).

Actualmente en aguas jurisdiccionales de Colombia se tiene conocimiento de 614 especies de crustáceos decápodos que pertenecen a 81 familias, correspondiendo a un 49,4% de las familias del orden mundial y, en donde *N. aculeata* ha sido

encontrada entre los 137 y 824 m de profundidad en los departamentos de La Guajira y Magdalena (Campos *et al.*, 2010). En el mar Caribe colombiano, la especie *N. aculeata* ha sido una de las más representativas en la abundancia de crustáceos de profundidad (Pérez *et al.*, 2019). No obstante, esta especie tanto a nivel global como local es uno de los crustáceos pobremente estudiados en las aguas profundas, pues la mayoría de la información disponible se refiere a tópicos taxonómicos, mientras que es muy escasa la información en temas sobre el ciclo de vida, dinámica poblacional, reproducción, distribución espacial y abundancia.

En este contexto, el presente trabajo de investigación pretende llenar vacíos de información para este crustáceo de aguas profundas en el Mar Caribe colombiano, en particular respecto a los aspectos poblacionales tales como la proporción sexual, relación longitud-peso, estructura de tallas y el tamaño de madurez sexual, así como en la determinación de los patrones de distribución espacial en la abundancia.

## 4. Marco Teórico

Aproximadamente 35.000 animales marinos son crustáceos, la mayoría son pequeños y muchas especies permanecen planctónicas durante toda su vida, no obstante, las pesquerías comerciales se basan en los crustáceos grandes (King, 2007). Los crustáceos como las langostas han sido objeto de estudio durante las últimas siete décadas y son un recurso marino aprovechado en muchos países del mundo, llamando la atención por su alto valor comercial y su contribución a la economía de algunos países (Radhakrishnan *et al.*, 2019). Se encuentran en la mayoría de los hábitats marinos y algunos han sido hallados a profundidades de 3.000 m, inclusive por debajo de ésta, habitando múltiples hábitats tales como agujeros, arrecifes, rocas, fondos blandos, entre otros (Phillips *et al.*, 1980). Las langostas pertenecen al grupo de las especies más valiosas comparadas con los gasterópodos, cangrejos y camarones, registrando altos volúmenes de captura a nivel mundial, aunque se desconoce si esta tendencia sobre el recurso sea sostenible a largo plazo (FAO, 2018).

En el Pacífico colombiano se desarrolla la única pesquería de crustáceos de aguas profundas, en la cual se explotan especies tales como el camarón pink *Penaeus brevirostris* (Kingsley, 1878), el camarón chocolate *P. californiensis* (Holmes, 1900) y el camarón rojo *Solenocera agassizii* (Faxon, 1893), cuyos desembarcos se han mantenido estables en la última década (Rodríguez *et al.*, 2012). En el Caribe colombiano, si bien no existe una pesquería de crustáceos de aguas profundas, en aguas someras la alta riqueza y abundancia de crustáceos decápodos, juega un papel fundamental en las pesquerías industriales y artesanales, las cuales corren

riesgo de sobreexplotación debido a un manejo inadecuado (Campos *et al.*, 2010). Sin embargo, en el Caribe colombiano existe una variedad de crustáceos de profundidad que cuentan con potencial comercial como la langosta del Caribe *Metanephrops binghami* (Boone, 1927), el camarón rojo gigante *Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827), el camarón rosado manchado *Penaeopsis serrata* (Bate, 1881) y el camarón rojo real *Pleoticus robustus* (Smith, 1885) (Paramo y Saint-Paul, 2012a,b,c; Cusba y Páramo, 2017).

Dentro de estos crustáceos de profundidad también destaca la langosta Florida *N. aculeata*, la cual es una de las especies más representativas en la abundancia en el Caribe colombiano (Pérez *et al.*, 2019). Esta especie de la familia Nephropidae, cuenta con una amplia distribución, desde Massachusetts (USA), el Golfo de México y el Mar Caribe incluyendo las Antillas, Guayana Francesa, Surinam y una parte de Brasil, frecuentando un rango de profundidades entre 200 y 600 m, especialmente sobre fondos de arena fina o lodos (Carpenter, 2002).

En la plataforma continental sur del Golfo de México, *N. aculeata* es la especie más abundante entre los crustáceos de la familia Nephropidae, formando ensamblajes principalmente entre 300 y 500 m de profundidad, aunque no es una especie explotada comercialmente debido a la geomorfología de la plataforma que limita la operación de las pesquerías en aguas profundas (Briones-Fourzán *et al.*, 2020). Respecto al ciclo de vida, esta especie cuenta con un desarrollo larvario corto, caracterizado por solo tres larvas zoeas (Goy, 2014), por lo tanto, los huevos son relativamente grandes (2-2,5 mm de diámetro) y las hembras producen muy pocos huevos durante el desove (Reid y Corey, 1991).

A diferencia de la Florida (USA) y el Golfo de México es muy poco lo que se conoce sobre *N. aculeata*. En el Caribe colombiano, esta especie también ha sido escasamente estudiada, por lo que este trabajo de investigación busca aumentar el estado de conocimiento de este crustáceo de aguas profundas.

## **5. Objetivos**

### **5.1. General**

Evaluar aspectos poblacionales y la distribución espacial en la abundancia de la langosta Florida (*Nephropsis aculeata*) en el Mar Caribe colombiano.

### **5.2. Específicos**

- Determinar la proporción de sexos y la relación longitud-peso de la langosta Florida *Nephropsis aculeata*.

- Describir la estructura de tallas por sexos y estrato de profundidad de la langosta Florida *Nephropsis aculeata*.
- Estimar el tamaño de madurez sexual a partir de un análisis de relaciones morfométricas de la langosta Florida *Nephropsis aculeata*.
- Determinar la biomasa y distribución espacial en la abundancia de la langosta Florida *Nephropsis aculeata*.

## 6. Materiales y Métodos

### 6.1. Área de estudio

El área de estudio comprendió el Mar Caribe colombiano, entre los 200 y 600 m, de profundidad, con cubrimiento entre Punta Gallinas en La Guajira (12°10'N - 71°14'W) y el Golfo de Urabá (9°03'N - 76°53'W) (Figura 1). En La Guajira, hacia la zona nororiental de la costa colombiana, la plataforma continental es amplia (14.298 km<sup>2</sup>), y se comprende la costa entre la desembocadura del río Palomino y Punta Castilletes, y en su parte más ancha se extiende unos 46 km mar adentro desde la línea de costa (Álvarez-León *et al.*, 1995). En la Península de La Guajira la isobata de los 100 m se ubica a unas 10 millas náuticas (mn) de la costa y frente a Punta Gallinas a solo unas 3 mn, en dirección oeste la plataforma continental se vuelve más estrecha hasta casi desaparecer en el sector del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT), y se amplía nuevamente en 12 mn en inmediaciones de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) en el departamento del Magdalena (Quintero, 1992; Álvarez-León *et al.*, 1995). Más hacia el sur se encuentra el golfo de Urabá, cuya franja costera tiene una extensión cercana a 543 km de borde litoral. El golfo de Urabá forma parte de la región del Darién colombiano, conocida por sus condiciones de alta humedad, gran biodiversidad, relieve montañoso y depresiones fluviales (García-Valencia, 2007).

Respecto a la oceanografía, el Caribe colombiano está influenciado por el movimiento norte-sur de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), donde los patrones de circulación atmosférica favorecen la surgencia estacional de aguas profundas entre los meses de diciembre y abril (temporada seca), especialmente en frente de La Guajira donde se presenta con máxima intensidad (Pujos *et al.*, 1986; Andrade y Barton, 2005; Bastidas-Salamanca y Figueroa-Casas, 2014). Durante la temporada seca la precipitación anual promedio asciende a 270 mm, mientras que en promedio la temperatura superficial del mar (TSM) es de 26,6 °C. Entre mayo y julio se presenta una época de transición con vientos variables conocida como 'Veranillo de San Juan'. La época de lluvias o temporada húmeda se extiende desde agosto hasta noviembre y se caracteriza por vientos débiles de orientación variable y un régimen de lluvias abundantes (Bastidas-Salamanca y

Figuroa-Casas, 2014). En esta temporada húmeda la precipitación anual promedio se sitúa entre 2.000-2.500 mm, con una TSM promedio de 28,6 °C (Andrade y Barton, 2005). La alta productividad biológica existente favorece la disponibilidad de recursos marinos como peces y crustáceos, muchos de los cuales tienen alto potencial pesquero (Paramo *et al.*, 2003; Paramo, 2011; Paramo y Sain-Paul, 2011, 2012; Rodríguez y Paramo, 2012; Pérez *et al.*, 2018, 2019).

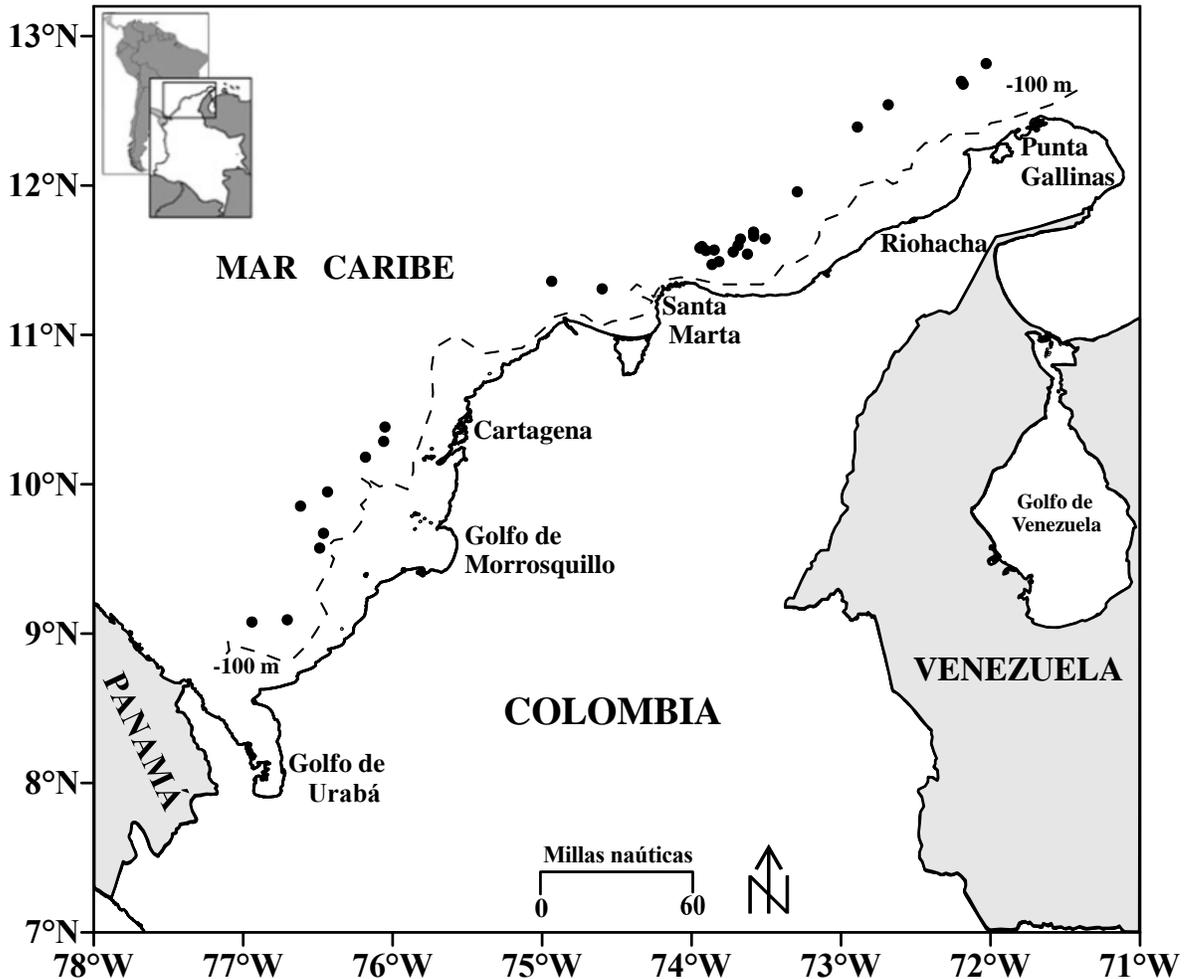


Figura 1. Mapa del área de estudio, localizando las estaciones de muestreo (círculos rellenos) de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano.

## 6.2. Diseño de muestreo

Los datos fueron colectados en cuatro cruceros de investigación realizados entre agosto de 2009 y mayo de 2010 en el Mar Caribe colombiano. En los cruceros se aplicó un diseño de muestreo sistemático, obteniendo una captura positiva de *N. aculeata* en un total de 31 estaciones de pesca con redes de arrastre (30 minutos por estación) ubicadas entre 200 y 600 m de profundidad (Figura 1). Las estaciones de muestreo fueron georreferenciadas con un GPS Garmin MAP 76CSx, mientras

que la profundidad en metros fue registrada con una ecosonda comercial FURUNO FCV 1150 con transductor de frecuencia 28 kHz. En el laboratorio, cada individuo capturado de *N. aculeata* fue diferenciado por sexos. En total se tomaron cinco características morfométricas en consideración: longitud total (LT), longitud cefalotórax (LC), longitud cola (LCo), longitud cabeza (LCa) y peso total del cuerpo (PT). Todas las medidas de longitudes fueron registradas con un calibrador electrónico con precisión de 0,01 mm y el peso total fue determinado con una balanza electrónica con precisión de 0,01 g.

### 6.3. Análisis de información

La proporción entre sexos fue determinada en *N. aculeata* y la significancia a una razón esperada de 1:1, se evaluó mediante una prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) con simulación Monte Carlo (2.000 interacciones) de los valores de probabilidad (Agresti, 2007; Zar, 2010). La estructura de longitudes de hembras y machos fue evaluada por estrato de profundidad: i) 200-300 m, ii) 300-400 m, iii) 400-500 y iv) 500-600. Una vez evaluados los supuestos de normalidad de datos con el test de Shapiro-Wilk (Gavrilov y Pusev, 2014) y homogeneidad de varianza con el test de Levene's (Fox y Weisberg, 2011), se aplicó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas de la longitud total respecto a los estratos de profundidad y los sexos. La relación morfométrica entre longitud total (LT) y el peso total (PT) fue determinada para hembras y machos, y se evaluó el tipo de crecimiento isométrico ( $b=3$ ) o alométrico ( $b \neq 3$ ) mediante una prueba t-student (Froese, 2006).

El tamaño de madurez sexual (L50%) se estimó para siete relaciones morfométricas (LT vs PT, LC, LCo, y LC vs PT, LT, LCo, LCa), considerando un enfoque de pesquerías con datos pobres y en la que se aplicaron dos metodologías a saber: 1) el punto de quiebre o inicio de madurez morfométrica y 2) análisis de funciones discriminantes. En el primer método, se analizó el inicio de la madurez sexual morfológica mediante modelos de regresión lineal, comparando los valores de la pendiente de juveniles y adultos para detectar y visualizar el punto de quiebre en las regresiones (Muggeo, 2003, 2008). En los modelos de regresión, las relaciones entre la variable respuesta o dependiente y la variable independiente son lineales por partes, es decir que, están representadas por dos o más líneas rectas conectadas en puntos de quiebre, considerado en este caso como el punto o tamaño de inicio de madurez morfométrica para *N. aculeata* (Muggeo, 2003). El segundo método asociado a funciones discriminantes (Corgos y Freire, 2006), correspondió a un análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) para distinguir los grupos de juveniles y adultos, asignando los individuos a cada grupo mediante un procedimiento de clasificación jerárquica (clúster jerárquico), según las cargas de individuos en los dos ejes del PCA. Utilizando los

resultados de la clasificación (PCA + cluster jerárquico), se realizó un análisis de función discriminante para clasificar a juveniles y adultos en base a las variables morfométricas seleccionadas. El tamaño de madurez sexual (L50%) se estimó como la longitud a la que un individuo elegido al azar tiene un 50% de probabilidad de ser maduro (Somerton, 1980; Roa *et al.*, 1999, Corgos y Freire, 2006). Para obtener L50% las variables morfométricas fueron ajustadas de acuerdo a la siguiente función logística (King, 2007):

$$P(L) = \frac{1}{1 + e^{-bo+b1*L}}$$

Donde  $P(L)$  es la probabilidad que un individuo inicie la madurez a determinada longitud,  $bo$  (intercepto) y  $b1$  (pendiente) son los parámetros estimados.  $L50\% = -bo/b1$ .

Finalmente, se determinó la estructura espacial de la abundancia de *N. aculeata*, mediante un análisis geostadístico (Rivoirard *et al.*, 2000). La abundancia relativa se calculó en términos de la captura por unidad de área – CPUA (kg/km<sup>2</sup>) para cada estación de muestreo. El análisis espacial involucró la construcción de un variograma experimental definido con la diferencia cuadrática media de dos puntos separados por una distancia  $h$ :

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

donde  $\hat{\gamma}(h)$  es el variograma en función de la distancia ( $h$ , medida en km);  $N$  es el número de pares de datos separados por  $h$ ;  $Z(x_i)$  es el valor de la variable en la muestra ( $x_i$ );  $Z(x_i + h)$ , es el valor de la variable separada por  $x_i$  y  $h$ . Se ajustaron modelos gaussiano, esférico y exponencial al variograma experimental y se escogió el mejor modelo mediante la validación cruzada que produjo el menor valor del cuadrado medio del error (Bez, 2002). La biomasa en toneladas fue calculada como el producto entre la densidad media  $Z(x,y)$  estimada por Kriging y el área de distribución espacial de *N. aculeata*. Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el lenguaje R aplicando las siguientes librerías: normtest, car, FSA, segmented, sizeMat, geoR (Corgos y Freire, 2006; Muggeo, 2008; Fox y Weisberg, 2011; Gavrilov y Pusev, 2014; Ribeiro y Diggle, 2016; Ogle *et al.*, 2019; R Core Team, 2021).

## 7. Resultados y Discusión

Se analizaron un total de 110 individuos de la langosta Florida *N. aculeata*, correspondiente a 50 (45,5%) hembras, 55 (50,0%) machos y 5 (4,5%) individuos con sexo indeterminado. La proporción de sexos obtenida fue de 1:1,1, es decir que por cada hembra hay 1,1 machos, y en la cual no se encontraron diferencias significativas entre los sexos ( $\chi^2= 0,24$ ;  $p= 0,69$ ). El rango de longitud total (LT) en hembras varió entre 47,0 y 119,2 mm (promedio: 73,7 mm  $\pm$  18,8), mientras que en machos de 48,4 hasta 107,8 mm (promedio: 72,5 mm  $\pm$  12,6) (Figura 2). Lo anterior indicó que las hembras son más grandes que los machos, coincidiendo con lo reportado para la especie en el sur del Golfo de México (Briones-Fourzán *et al.*, 2020). Esta especie no presentó dimorfismo sexual o variaciones en el tamaño, a razón que no se detectaron diferencias significativas al comparar las longitudes entre hembras y machos (K-W= 0,16,  $p= 0,69$ ). La comparación de las longitudes de captura respecto a la profundidad, mostró que en ambos sexos los individuos adultos se encontraron en los estratos de mayor profundidad de 400-500 m y 500-600 m (K-W= 15,66,  $p= 0,00$  en hembras y K-W= 16,68,  $p= 0,00$  en machos) (Figura 3). Por lo general, en crustáceos de la familia Nephropidae el tamaño de los individuos tiende a decrecer con la profundidad, a excepción de *N. aculeata*, especie en la cual se presenta el comportamiento inverso, incrementando el tamaño corporal en las zonas más profundas (Briones-Fourzán *et al.*, 2020).

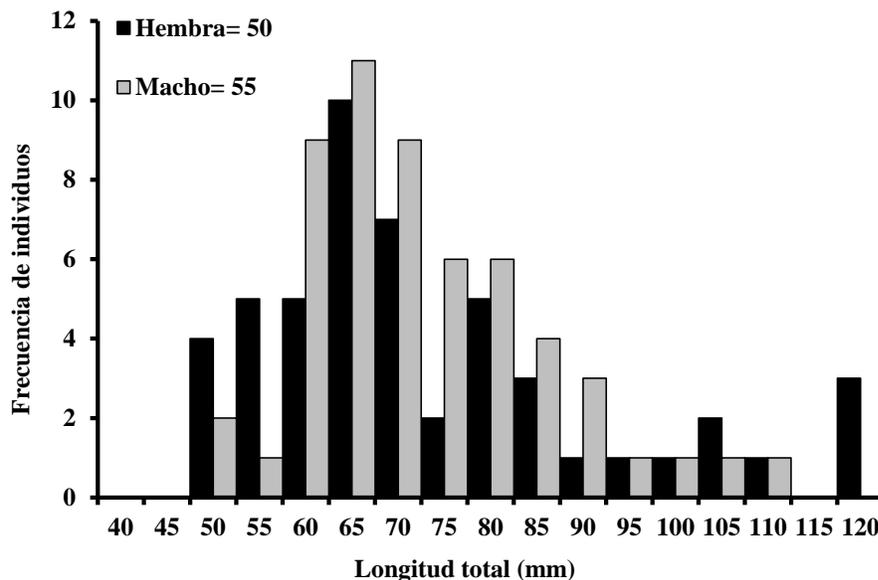
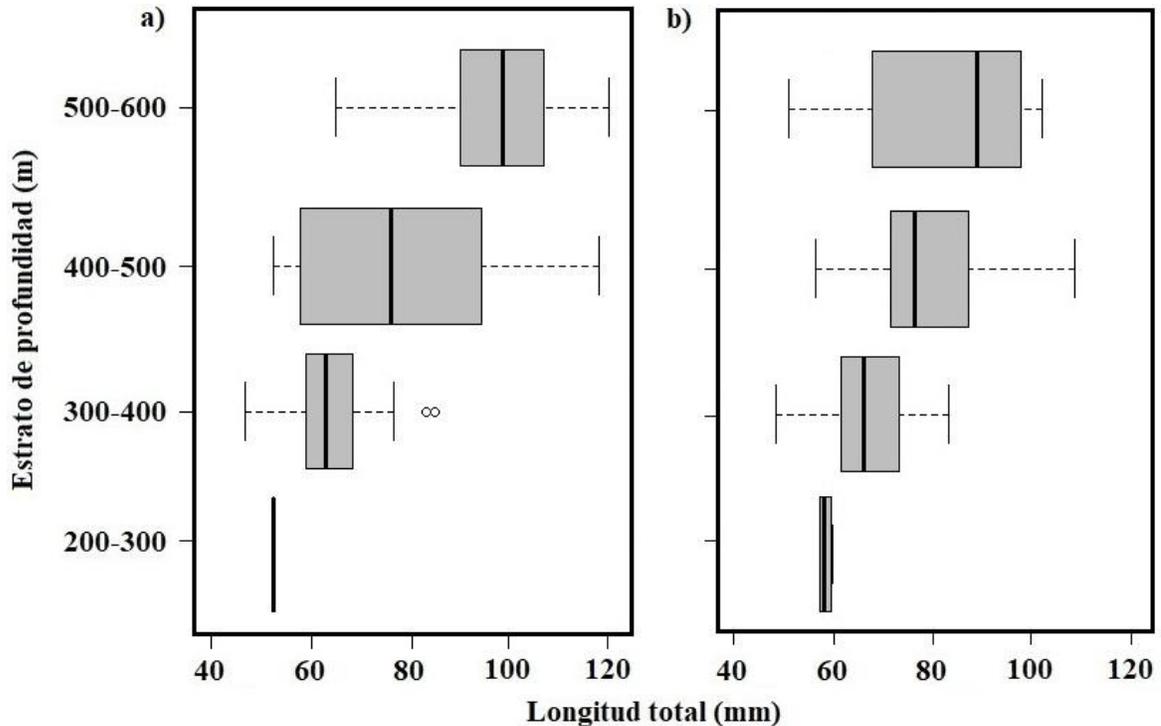


Figura 2. Histograma de distribución de frecuencia de la longitud total (mm) para hembras y machos de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano.



**Figura 3. Comparación de la longitud total de captura de hembras (a) y machos (b) de la langosta *Florida N. aculeata* en función a los estratos de profundidad en el Mar Caribe colombiano.**

El análisis de la relación longitud vs peso no mostró diferencias significativas en el valor de la pendiente ( $b=3$ ) obtenido para hembras ( $b= 2,87$ ;  $p= 0,21$ ) y machos ( $b= 2,97$ ;  $p= 0,84$ ), evidenciando un crecimiento isométrico, es decir que en ambos sexos esta especie presentó un crecimiento proporcional en el tamaño respecto al peso corporal, lo cual coincide con lo reportado por Briones-Fourzán *et al.* (2020) para el sur del Golfo de México (Figura 4). El análisis de funciones discriminantes y el punto de quiebre mostraron valores similares de tamaño de madurez sexual y un alto coeficiente de determinación ( $R^2 > 0,80$ ) para todas las relaciones morfométricas (Tabla 1). En hembras, las relaciones morfométricas de peso total (PT), longitud cefalotórax (LC), longitud cola (LCo) vs LT mostraron un rango de L50% entre 72,0 y 74,2 mm, mientras que las relaciones de PT, LT, LCo, longitud cabeza (LCa) vs LC entre 19,0 y 21,6 mm (Tabla 1; Figura 5; Figura 6). En machos, las relaciones de PT, LC, LCo vs LT mostraron valores de L50% entre 61,6 y 65,6 mm, y en PT, LT, LCo, LCa vs LC entre 18,0 y 24,7 mm (Tabla 1; Figura 5; Figura 6). En general, los resultados demostraron una clara discriminación entre juveniles y adultos de *N. aculeata*, indicando el tamaño de madurez sexual en crustáceos marinos que cuentan con datos pobres.

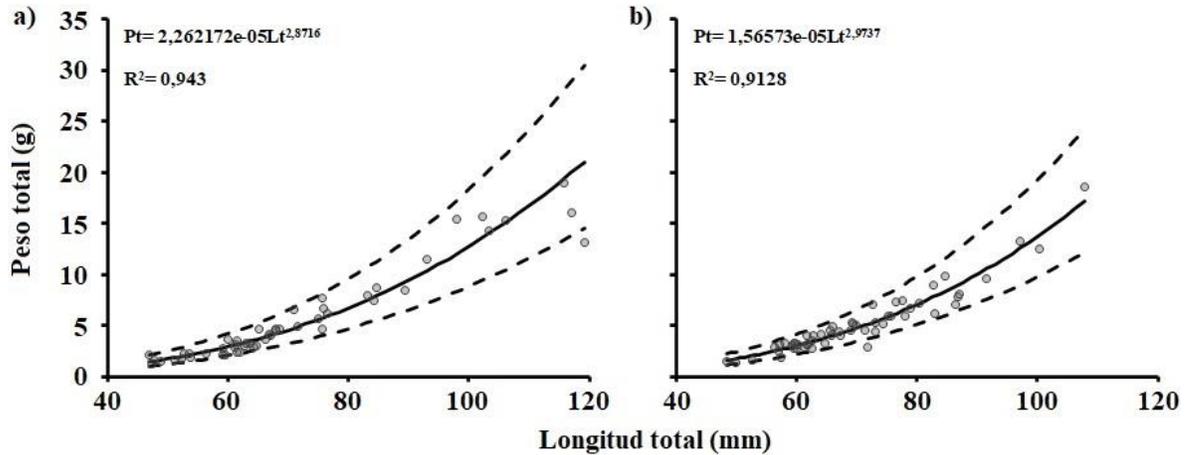


Figura 4. Relación entre la longitud y el peso total de hembras (a) y machos (b) de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano. La línea sólida representa el modelo potencial ajustado y la línea punteada los intervalos de confianza al 95%.

Tabla 1. Valores estimados de tamaño de madurez sexual (L50%) en las relaciones morfométricas de hembras y machos de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano. I.C.: Intervalo de Confianza al 95%. E.E.: Error Estándar.

Sexo	n	Relación morfométrica	Funciones discriminantes		Punto de quiebre		R <sup>2</sup>
			L50% (mm)	I.C. inferior – superior	L50% (mm)	E.E.	
Hembras	50	PT vs LT	74,2	70,9 - 77,5	-	-	0,90
		LC vs LT	73,1	70,2 - 75,7	73,5	20,8	0,92
		LCo vs LT	72,0	68,9 - 75,7	72,1	10,7	0,87
		PT vs LC	21,6	20,7 - 22,4	-	-	0,90
		LT vs LC	21,2	20,8 - 21,5	20,9	2,8	0,93
		LCo vs LC	20,5	19,8 - 21,5	20,7	3,2	0,89
		LCa vs LC	20,3	19,6 - 20,9	19,0	2,9	0,92
Machos	55	PT vs LT	64,0	62,2 - 66,1	65,6	9,87	0,80
		LC vs LT	-	-	61,6	17,6	0,86
		LCo vs LT	64,4	63,6 - 65,1	64,7	10,3	0,89
		PT vs LC	18,0	17,6 - 18,4	19,9	2,3	0,86
		LT vs LC	22,5	22,2 - 22,6	21,0	2,5	0,89
		LCo vs LC	21,6	21,2 - 22,3	19,0	2,6	0,87
		LCa vs LC	19,3	18,8 - 19,9	24,7	5,6	0,85

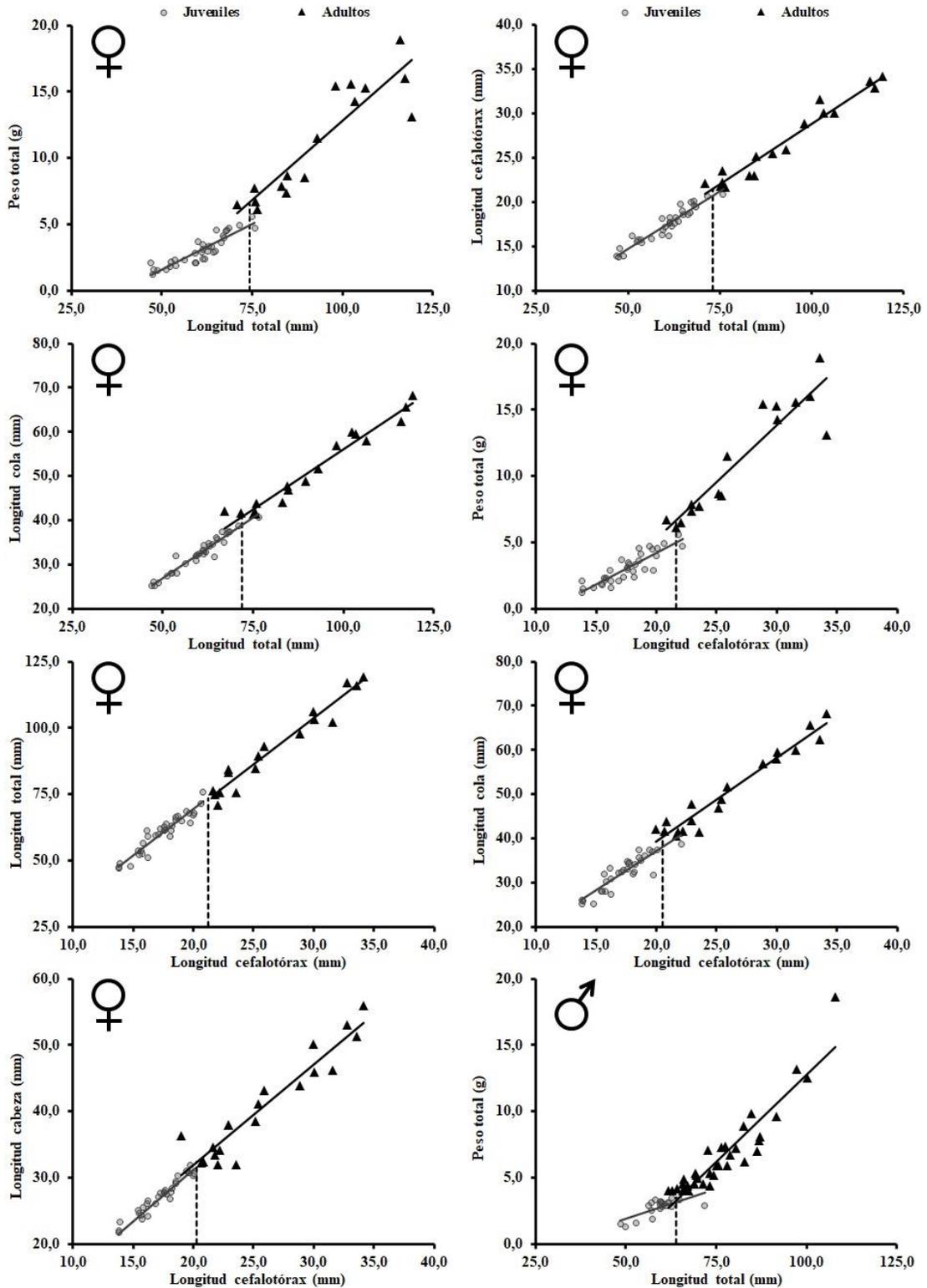


Figura 5. Clasificación de juveniles y adultos en hembras (♀) y machos (♂) de la langosta Florida *N. aculeata*, a partir del análisis de funciones discriminantes. La línea punteada indica el tamaño de madurez sexual y la línea sólida el modelo de regresión ajustado.

Continuación Figura 5.

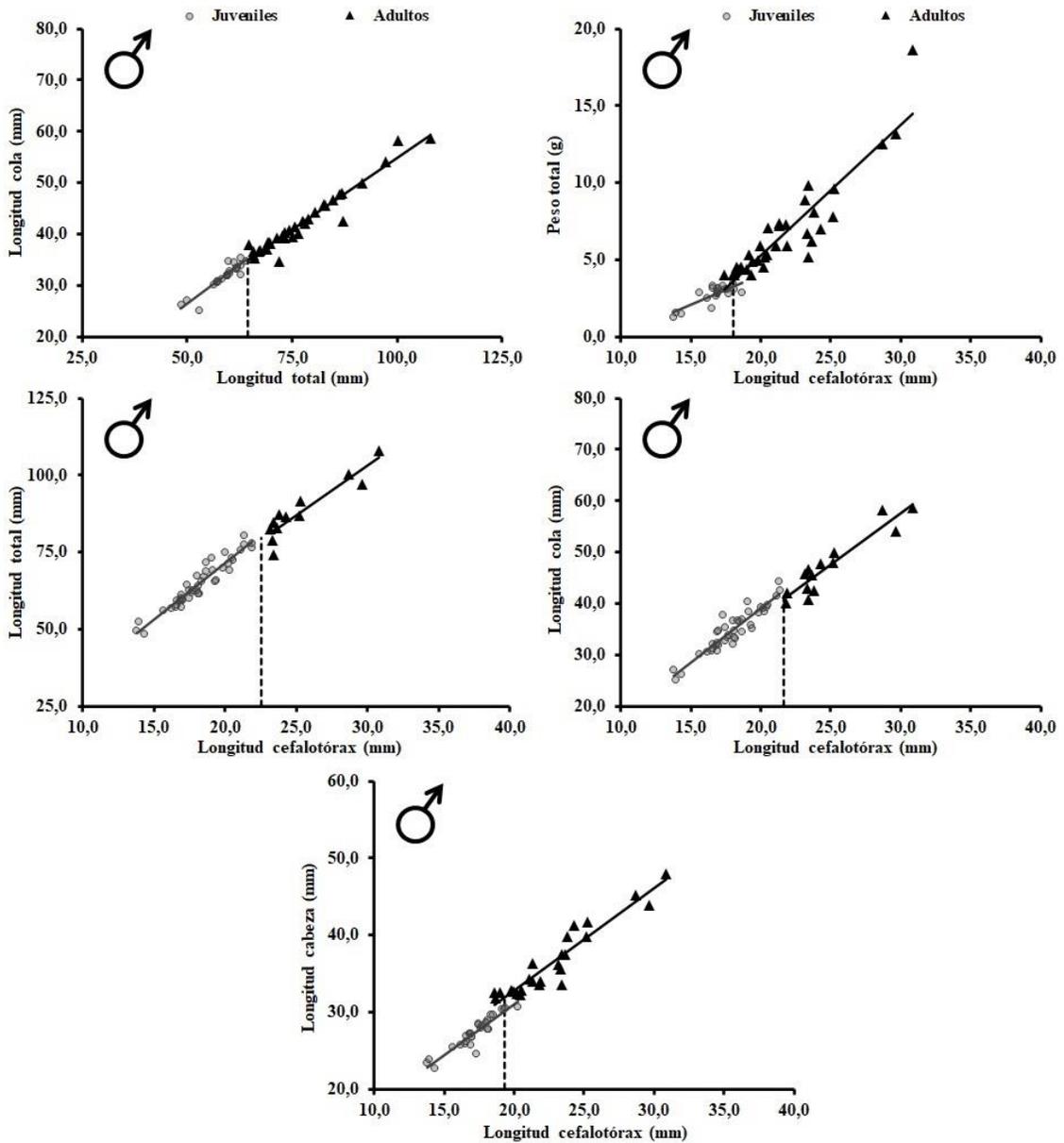


Figura 5. Clasificación de juveniles y adultos en hembras (♀) y machos (♂) de la langosta Florida *N. aculeata*, a partir del análisis de funciones discriminantes. La línea punteada indica el tamaño de madurez sexual y la línea sólida el modelo de regresión ajustado.

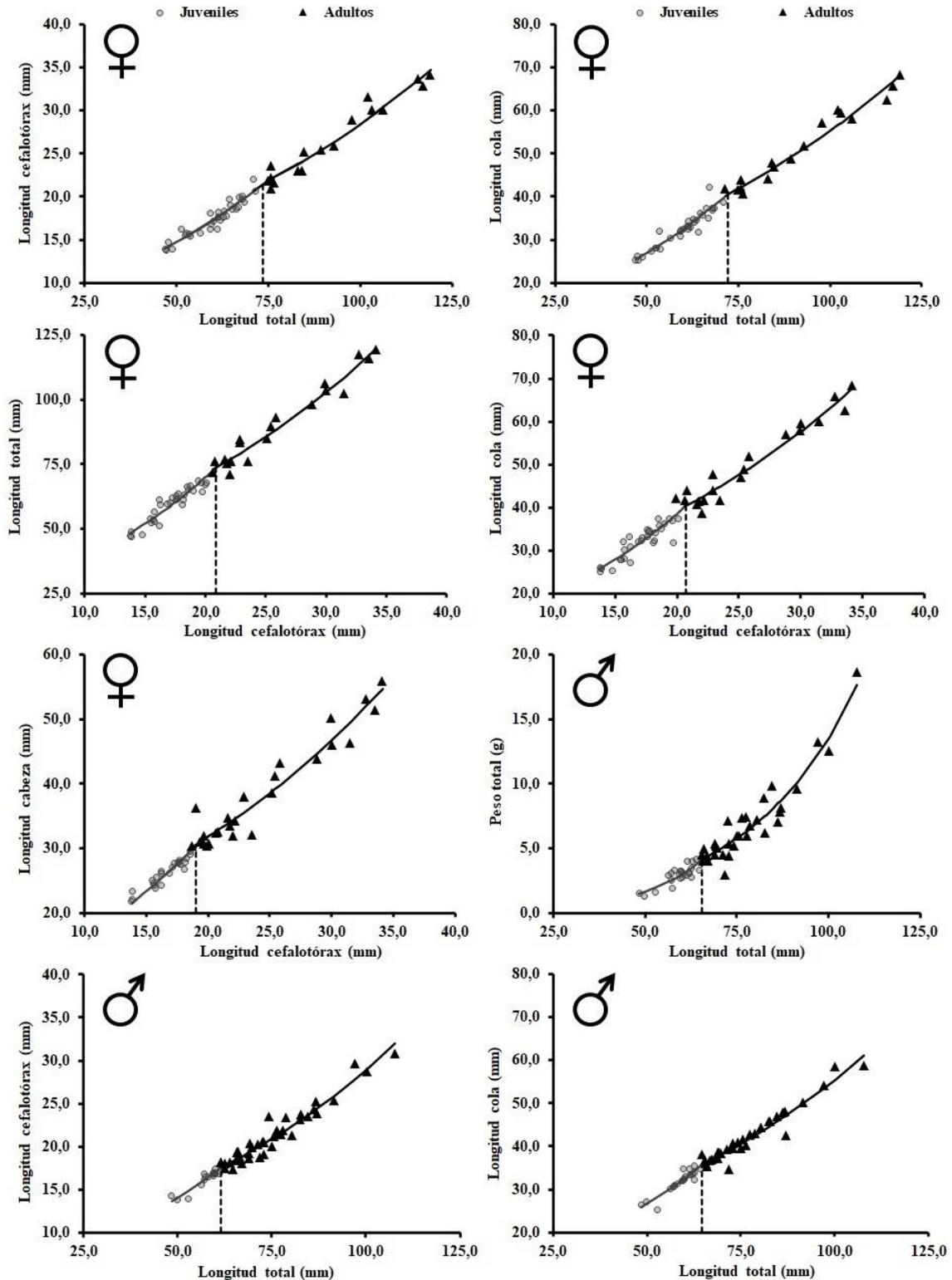
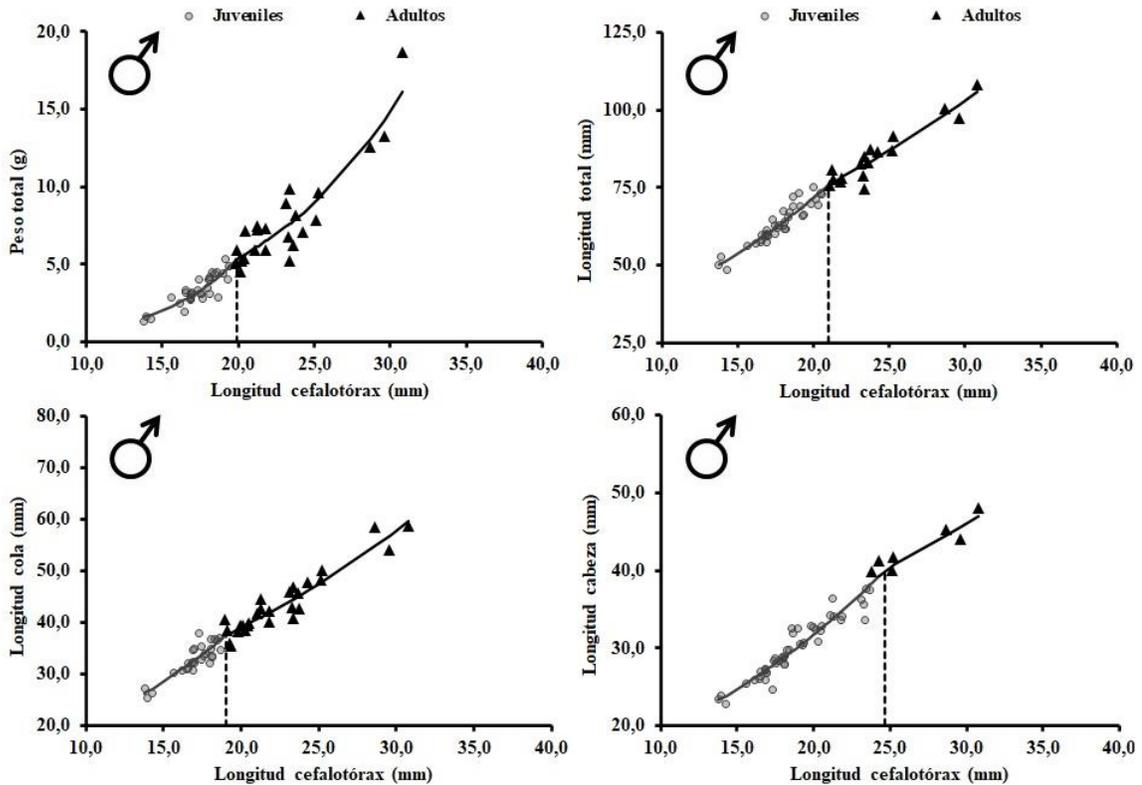


Figura 6. Clasificación de juveniles y adultos en hembras (♀) y machos (♂) de la langosta Florida *N. aculeata*, a partir del análisis de punto de quiebre. La línea punteada indica el tamaño de madurez sexual (punto de quiebre) y la línea sólida el modelo de regresión ajustado.

**Continuación Figura 6.**



**Figura 6. Clasificación de juveniles y adultos en hembras (♀) y machos (♂) de la langosta Florida *N. aculeata*, a partir del análisis de punto de quiebre. La línea punteada indica el tamaño de madurez sexual (punto de quiebre) y la línea sólida el modelo de regresión ajustado.**

La estructura espacial en la abundancia en términos de la captura por unidad de área - CPUA de *N. aculeata* fue explicada por un variograma omnidireccional isotrópico ajustado con un modelo esférico (Figura 7). El rango de autocorrelación fue de 207,4 km, indicando el tamaño de los parches de densidad en la langosta Florida. Esta especie mostró en la zona norte, entre Santa Marta y Riohacha, varios parches con las densidades más altas (2,2 kg/km<sup>2</sup>), mientras que en la zona sur del área de estudio los valores fueron intermedios (~1,2 kg/km<sup>2</sup>) (Figura 8). La biomasa total se estimó en 18,8 t (CV= 36,5%), a partir de una densidad media de 0,84 kg/km<sup>2</sup> y un área efectiva de distribución espacial de 22.427 km<sup>2</sup>.

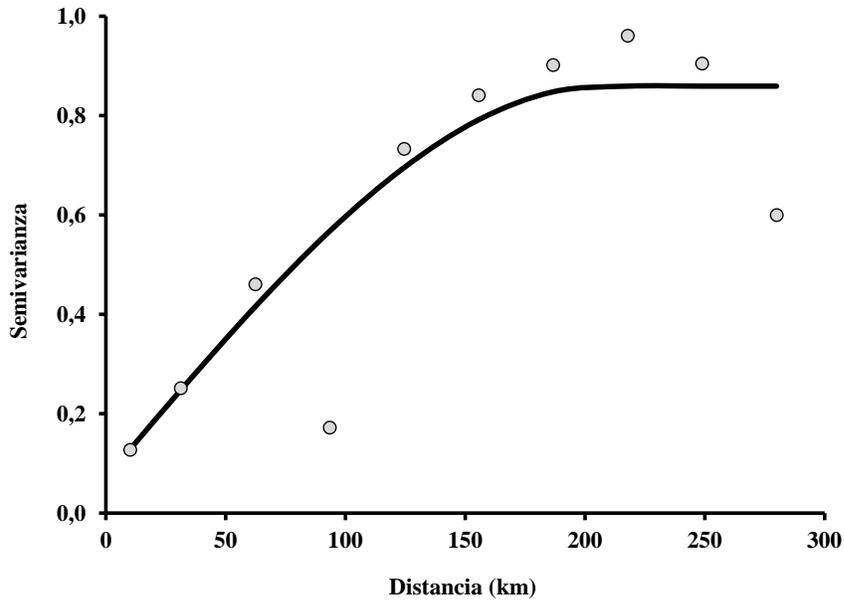


Figura 7. Variograma omnidireccional de la captura por unidad de área – CPUA (kg/km<sup>2</sup>) ajustado con un modelo esférico de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano.

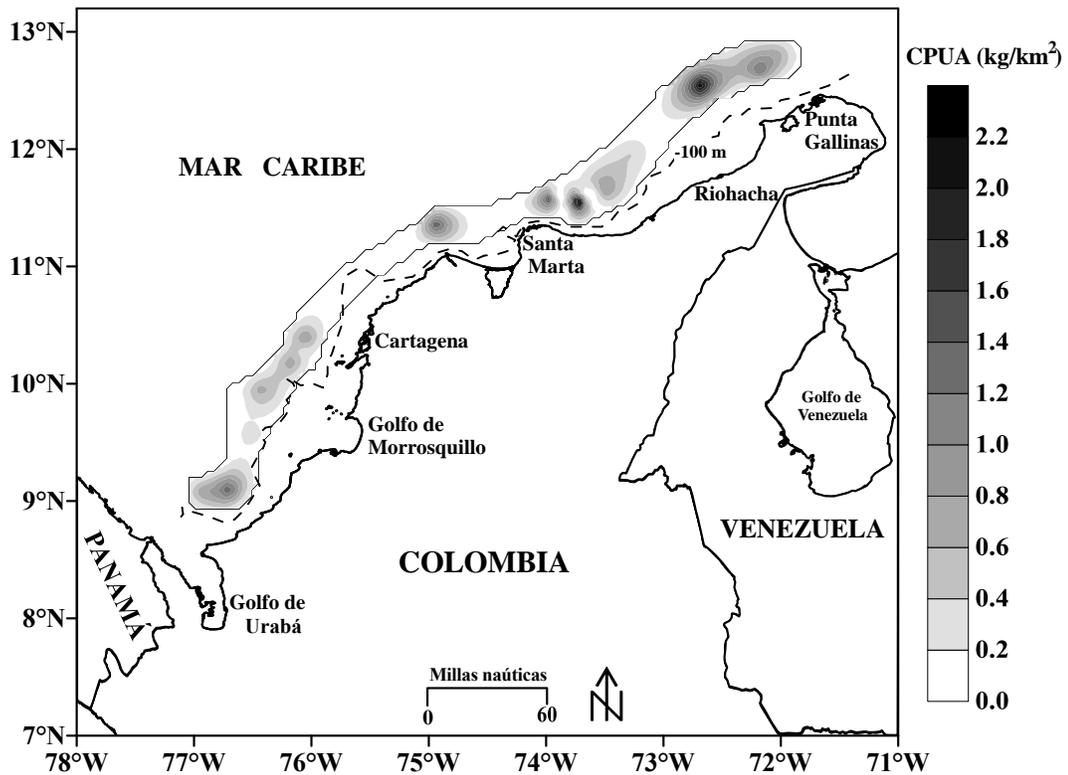


Figura 8. Distribución espacial de la captura por unidad de área – CPUA (kg/km<sup>2</sup>) de la langosta Florida *N. aculeata* en el Mar Caribe colombiano.

## 8. Conclusiones

Este trabajo de investigación suministró información científica relevante sobre la langosta Florida *N. aculeata*, uno de los crustáceos pobremente estudiados en aguas profundas del Mar Caribe colombiano. Entre los principales hallazgos se encontraron los siguientes:

- La langosta Florida *N. aculeata* es un crustáceo que no difirió significativamente en su proporción sexual hembra:macho (1:1,1), y además no presentó dimorfismo sexual.
- La langosta Florida *N. aculeata* mostró un crecimiento isométrico en hembras y machos, es decir, que aumentan el tamaño proporcionalmente al peso corporal.
- Los individuos de mayores tamaños (adultos) de *N. aculeata* se localizaron en los estratos de mayor profundidad entre 400-500 m y 500-600 m, mientras que los juveniles a menores profundidades entre 200 y <400 m.
- A partir de un enfoque de análisis de poblaciones con datos pobres y siete relaciones morfométricas se estimó el tamaño de madurez sexual de *N. aculeata*. En hembras, el tamaño de madurez sexual varió entre 72,0 y 74,2 mm de LT, y entre 19,0 y 21,6 mm de LC. Por su parte, los machos mostraron un rango entre 61,6 y 65,6 mm de LT, y entre 18,0 y 24,7 mm de LC.
- La distribución espacial de *N. aculeata* mostró que las mayores abundancias se localizaron en la zona norte entre Santa Marta y Riohacha (2,2 kg/km<sup>2</sup>), estimando para esta especie una biomasa total de 18,8 t en el Mar Caribe colombiano.

## 9. Referencias

- Agresti, A. (2007). An Introduction to Categorical Data Analysis. 2nd Ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 373p.
- Álvarez-León, R., Aguilera-Quiñónez, J., Andrade-Amaya, C., & Nowak, P. (1995). Caracterización general de la zona de surgencia en La Guajira colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 19(75), 679-694.
- Andrade, C., & Barton, E. (2005). The Guajira upwelling system. *Continental Shelf Research*, 25, 1003-1022.
- Bastidas-Salamanca, M.L., & Figueroa-Casas, A. (2014). Seguimiento satelital de las condiciones océanoatmosféricas asociadas a los eventos de precipitación en Colombia durante el evento La Niña 2010-2011. *Boletín Científico CIOH*, 32, 123-134.
- Bez, N. (2002). Global fish abundance estimation from regular sampling: the geostatistical transitive method. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 59, 1921-1931.
- Briones-Fourzán, P., Lozano-Álvarez, E., Vázquez-Bader, A.R., & Gracia, A. (2020). Deep-Sea Lobsters (Polychelidae and Nephropidae) from the Continental Slope of the Southern Gulf of Mexico: Distribution and Morphometric Relationships. Pp. (311-341). In, Hendrickx, M.E. (Ed.). (2020). *Deep-Sea Pycnogonids and Crustaceans of the Americas*. Springer Nature Switzerland AG. 708p.
- Campos, N., Rodríguez-Salcedo, N., & Bermúdez, A. (2010). Crustáceos decápodos del Caribe Colombiano. Pp. (228-315). En INVEMAR (Eds.). (2010). *Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano*. Serie de Publicaciones Especiales, Invemar No. 20 p. 458.
- Carpenter, K.E. (ed.) (2002). The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 1: Introduction, molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes, and chimaeras. *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5*, Rome. 600pp.
- Chan, Su-Ching., & Chan, Tin-Yan. (2019). On the clawed lobsters of the genus *Nephropsis* Wood-Mason, 1872 recently collected from deepsea cruises off Taiwan and the South China Sea (Crustacea, Decapoda, Nephropidae). *ZooKeys*, 833, 41-58.
- Corgos, A., & Freire, J. (2006). Morphometric and gonad maturity in the spider crab *Maja brachydactyla*: a comparison of methods for estimating size at maturity in Species with determinate growth. *ICES Journal of Marine Science*, 63(5), 851-859.
- Cusba, J., & Paramo, J. (2017). Morphometric relationships and size at sexual maturity of the deep-sea Caribbean lobster *Metanephrops binghami* (Decapoda: Nephropidae) in the Colombian Caribbean. *Universitas Scientiarum*, 22(2), 145-160.

- Down, R. L. (1980). The clawed lobster fisheries. En J. Cobb., Phillips. B (Ed.), The biology and management of lobsters volume II (pp. 265-313). London; United Kingdom: Academic Press.
- Escobar-Briones, E., Gaytan-Caballero, A., & Legendre P. (2008). Epibenthic megacrustaceans from the continental margin, slope and abyssal plain of the Southwestern Gulf of Mexico: Factors responsible for variability in species composition and diversity. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 55 (24-26), 2667-2678.
- FAO. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma.
- Fox, J., & Weisberg, S. (2011). *An R Companion to Applied Regression*, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. 474 p. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of applied ichthyology*, 22(4), 241-253.
- García-Valencia, C. (Ed). (2007). Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –Invemar– y Gobernación de Antioquia. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar N° 12. Santa Marta, Colombia. 180p.
- Gavrilov, I., & Pusev, R. (2014). normtest: Tests for Normality. R package version 1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=normtest>.
- Goy, J.W. (2014). Astacidea. In: Martin, J.W., Olesen. J., Hoeg, J.T. (Eds). Atlas of crustacean larvae. Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp 256-264.
- Holthuis, L.B. (1991). FAO Species Catalogue. Vol. 13. Marine lobsters of the world. An annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries known to date. FAO Fish. Synop. 125(13):292p. Rome: FAO.
- King, M. (2007). *Fisheries biology, assessment, and management*. Oxford, United Kingdom: Blackwell Publishing. 400p.
- Muggeo, V.M.R. (2003). Estimating regression models with unknown break-points. *Statistics in Medicine*, 22, 3055-3071.
- Muggeo, V.M.R. (2008). Segmented: an R package to fit regression models with broken-line relationships. *R News*, 8/1, 20-25.
- Ogle, D.H., Wheeler, P., & Dinno, A. (2019). FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version 0.8.25, <https://github.com/droglenc/FSA>.
- Paramo, J., Quiñones, R.A., Ramírez, A., & Wiff, R. (2003). Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information. *Aquatic Living Resources*, 16(3), 239-245.
- Paramo, J. (2011). Deep-sea fishery in the Colombian Caribbean Sea: Management and conservation strategies for an ecosystem approach to fisheries. Doctoral Thesis. Faculty of Biology and Chemistry. Universität Bremen. Germany. 153p.
- Paramo, J., & Saint-Paul, U. (2012a). Deep-sea shrimps *Aristaeomorpha foliacea* and *Pleoticus robustus* (Crustacea: Penaeoidea) in the Colombian Caribbean Sea as a

- new potential fishing resource. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(4), 811-818.
- Paramo, J., & Saint-Paul, U. (2012b). Spatial structure of the pink speckled deep-sea shrimp *Penaeopsis serrata* (Bate, 1881) (Decapoda, Penaeidae) during november-december 2009 in the colombian Caribbean Sea. *Crustaceana*, 85(1), 103-116.
- Paramo, J., & Saint-Paul, U. (2012c). Spatial structure of deep-sea lobster (*Metanephrops binghami*) in the Colombian Caribbean Sea. *Helgoland Marine Research*, 66, 25-31.
- Pérez, D., Franco, A., & Paramo, J. (2018). Composición y distribución de los crustáceos de profundidad capturados con nasas en el área marina del departamento de Magdalena, Caribe Colombiano. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 22(2), 132-143.
- Pérez, D., Paramo, J., & Wolff, M. (2019). Distribution, abundance and fishing potential of mega-invertebrates in the sub-euphotic zone (150–535 m) in the Colombian Caribbean. *Regional Studies in Marine Science*, 32, 1-12.
- Phillips, B.F., Scobb, J.S., & George, R.W. (1980). General Biology. En B.F Phillips. (Ed.), *The Biology and Management of Lobsters* (pp. 2-462). New York, United States of America: Academic Press.
- Pujos, M., Plagliardini, J., Steer, R., Vernet, G., & Wever, O. (1986). Influencia de la contracorriente norte colombiana para la circulación de las aguas en la plataforma continental: su acción sobre la dispersión de los efluentes en suspensión del río Magdalena. *Boletín Científico Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas*, 6, 3-15.
- Quintero, R. (1992). Crucero evaluación recursos demersales por el método de área barrida -Fase Caribe colombiano. *Mem. VIII Sem. Nal. Cien. Técn. Mar. Tomo II. Santa Marta*: 818-829.
- Radhakrishnan, E.V., Kizhakoodan, J.K., & Phillips, B.F. (2019). Introduction to Lobster: Biology, Fisheries and Aquaculture. Pp. (1-33), In: Radhakrishnan., E.V. Phillips, B.F., & Achanveetil, G. (Eds.). 2019. *Lobsters: Biology, Fisheries and Aquaculture*. Perth, Australia: Springer. 677p.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL, <https://www.R-project.org/>.
- Reid, D.M., & Corey, S. (1991). Comparative fecundity of decapod crustaceans, III. The fecundity of fifty-three species of Decapoda from tropical, subtropical, and boreal waters. *Crustaceana*, 61, 308-316.
- Ribeiro Jr, P.J. & Diggle, P.J. (2016). *geoR: Analysis of Geostatistical Data*. R package version 1.7-5.2. <https://CRAN.R-project.org/package=geoR>.
- Rivoirard, J., Simmonds, J., Foote, K.G., Fernandes, P., & Bez, N. (2000). *Geostatistic for estimating fish abundance*. Blackwell Science Ltd. London. 205p.
- Roa, R., Ernst, B., & Tapia, F. (1999). Estimation of size at sexual maturity: an evaluation of analytical and resampling procedures. *Fisheries Bulletin*, 97, 570-580.

- Rodriguez, A., & Paramo, J. (2012). Distribución espacial del pargo rayado *Lutjanus synagris* (Pisces: Lutjanidae) y su relación con las variables ambientales en el Caribe colombiano. *Actualidades Biológicas*, 34(96), 55-66.
- Rodríguez, A., Rueda, M., Viaña, J., García, C., Rico, F., García, L., & Girón, A. (2012). Evaluación y manejo de la pesquería de camarón de aguas profundas en el Pacífico colombiano 2010-2012. INVEMAR, COLCIENCIAS, INCODER. Serie de publicaciones generales del INVEMAR No. 56. Santa Marta. 114p.
- Roe, R. (1966). Potentially commercial Nephropsids from the Western Atlantic. *Transactions of the American Fisheries Society*, 95(1), 92-98.
- Somerton, D.A. (1980). A computer technique for estimating the size of sexual maturity in crabs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 1488-1494.
- Zar, J.H. (2010). *Biostatistical Analysis*. 5th Ed. Prentice Hall, New Jersey. 944p.