

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Universidad Nacional de Costa Rica**  
**Universidad Estatal a Distancia**  
**Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo**



**Dinámica y estructura poblacional del camarón de aguas someras *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis*, en el Caribe colombiano con fines de manejo y conservación**

**Tesis sometida a consideración del tribunal evaluador como requisito para optar por el grado de Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo, con énfasis en Gestión de Recursos Naturales**

**Argiro de Jesús Ramírez Aristizábal**

**Universidad Nacional de Costa Rica**

**Agosto de 2021**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Universidad Nacional de Costa Rica**  
**Universidad Estatal a Distancia**  
**Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo**

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

**UNA**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
COSTA RICA



**Dinámica y estructura poblacional del camarón de aguas someras**  
***Penaeus notialis*, en el Caribe colombiano con fines de manejo y**  
**conservación**



Tesis sometida a consideración del tribunal evaluador como requisito  
para optar por el grado de Doctor en Ciencias Naturales para el  
Desarrollo, con énfasis en Gestión de Recursos Naturales

Estudiante:

**Argiro de Jesús Ramírez Aristizábal**

Director de tesis:

**Jorge Enrique Paramo Granados, PhD.**

**Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica**

**Agosto de 2021**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Universidad Nacional de Costa Rica**  
**Universidad Estatal a Distancia**  
**Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo**

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

**UNA**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
COSTA RICA



**Dinámica y estructura poblacional del camarón de aguas someras *Penaeus notialis*, en el Caribe colombiano con fines de manejo y conservación**

Tesis sometida a consideración del tribunal evaluador como requisito para optar por el grado de Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo, con énfasis en Gestión de Recursos Naturales

**Argiro de Jesús Ramírez Aristizábal**

Sustentante

Aprobado por los miembros del Tribunal evaluador

**Nombre Apellido**

\_\_\_\_\_

Cargo:

**Nombre Apellido**

\_\_\_\_\_

Cargo:

**Jorge Enrique Paramo Granados**

\_\_\_\_\_

Director de tesis

**Luis Manuel Sierra Sierra**

\_\_\_\_\_

Asesor de tesis

**John Josephraj Selvaraj**

\_\_\_\_\_

Asesor de tesis

## **Agradecimientos**

A la Subgerencia de Pesca y Acuicultura del Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER) y a la Universidad del Magdalena que, en el marco de un convenio de cooperación técnica, se permitió financiar los muestreos de campo durante 12 meses en la Costa del Caribe colombiano, entre junio de 2012 y mayo de 2013. A la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) y a la Universidad del Magdalena, que en el marco de un segundo convenio de cooperación técnica se logró la realización de un crucero de investigación pesquera en todo el Caribe colombiano, durante el mes de septiembre de 2013.

De igual manera agradezco al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias, Hoy Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación – MinCiencias, por permitirme, durante mi desempeño profesional, el espacio para poder atender compromisos académicos. A la Universidad Nacional de Costa Rica, por todo el apoyo y las enseñanzas impartidas. A la Corporación Centro de Excelencia en Ciencias del Mar (CEMarin) por el apoyo financiero como joven investigador, para el desarrollo de esta investigación.

De igual manera agradezco a los profesores Luis Manuel Sierra, Ruperto Quezada y Sayra Munguía, del Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo – DOCINADE, por todo el apoyo, orientación y comprensión para sacar a delante mis estudios de doctorado. Al Biólogo Carlos Guillermo Barreto por su apoyo con información y orientación en el manejo de software para los análisis biológicos y pesqueros, al funcionario de la AUNAP en Cartagena, Eric Martínez, por la información estadística pesquera de camarones del Caribe brindada, al Dr. John Josephraj Selvaraj de la Universidad Nacional de Colombia por la codirección de esta investigación y al Dr. Jorge Enrique Paramo por la dirección de esta investigación, orientaciones y demás enseñanzas, pero sobre todo por la confianza

y amistad brindada. Al grupo de investigación en Ciencia y Tecnología Pesquera Tropical – CITEP, de la universidad del Magdalena por todo el apoyo para el desarrollo de este trabajo. Finalmente, quiero agradecer a todas y cada una de las personas que de alguna manera me dieron el apoyo, orientación y ánimo para poder culminar la presente investigación.

## **Dedicatoria**

A mi esposa María Cristina y mi hija Lina Marcela, que sin el apoyo y motivación de ellas no hubiera sido posible seguir adelante con mis estudios. A mis padres Manuel José y Olga QEPD, por el buen ejemplo en casa, los consejos y orientaciones durante todo el tiempo que la vida nos permitió compartir. A mi hermano Byron, quien es el motor de la familia y la persona con la que hemos compartido tantas alegrías y preocupaciones, pero con su sabiduría y tranquilidad, me ha orientado y apoyado para mantener la motivación y empeño. A mi tío Francisco Luis, con quien he compartido muchos momentos de la vida y quien me ha orientado, motivado y apoyado para el logro de las diferentes metas que me he propuesto.

## Tabla de contenido

Agradecimientos .....	i
Dedicatoria .....	iii
Tabla de contenido.....	iv
Lista de tablas.....	vii
Lista de figuras .....	ix
Resumen.....	1
Abstract .....	2
1 Introducción .....	3
1.1 Justificación del problema.....	5
1.2 Propósito de la investigación .....	8
1.3 Objetivos .....	10
1.3.1 Objetivo General .....	10
1.3.2 Objetivos específicos.....	10
1.4 Hipótesis de trabajo .....	11
2 Marco teórico.....	11
3 Metodología.....	18
3.1 Área de estudio y diseño de muestreo .....	18
3.2 Muestreo mensual a bordo de barco camaronero .....	20
3.3 Muestreo a bordo del crucero de prospección pesquera.....	21
3.4 Procesamiento de las muestras en el laboratorio .....	22
3.5 Determinación de la estructura de tallas.....	23
3.6 Determinación de la relación Longitud – Peso.....	24
3.7 Determinación del factor de condición.....	25
3.8 Determinación de los estadios de madurez.....	25
3.9 Determinación de la talla media de madurez .....	26
3.10 Determinación de los parámetros de crecimiento para machos, hembras y la especie de <i>Penaeus (Farfantepenaeus) notialis</i> , a partir de los datos de monitoreo mensual y del crucero de prospección pesquera. ....	27
3.11 Determinación de Mortalidad Total (Z), Mortalidad Natural (M), Mortalidad por pesca (F) y Tasa de Explotación (E) para machos, hembras y la especie de <i>Penaeus (Farfantepenaeus) notialis</i> , a partir de los datos de monitoreo mensual y del crucero de prospección pesquera....	28

3.12	Análisis de cohorte de Jones, basado en las tallas del camarón <i>P. notialis</i> de la costa Caribe colombiana. ....	28
3.13	Análisis predictivo de Thompson y Bell basado en las tallas del camarón <i>Penaeus notialis</i> de la costa Caribe colombiana. ....	30
3.14	Estimación de la biomasa total a partir de la prospección pesquera .....	32
3.14.1	Análisis exploratorio de los datos espaciales .....	33
3.14.2	Análisis geoestadístico a través del software “R” .....	33
3.14.3	Modelación espacial.....	34
3.14.4	Interpolación por Kriging.....	35
3.15	Determinación de la estructura espacial de tallas del camarón rosado <i>Penaeus (Farfantepenaeus) notialis</i> en el Caribe colombiano. ....	37
3.16	Estimación del Rendimiento Máximo Sostenible.....	37
3.17	Relación de la abundancia y tallas de camarón <i>P. notialis</i> con las variables de hábitat... ..	38
3.17.1	Relación de la abundancia (Kg / Km <sup>2</sup> ) de Camarón de Aguas Someras con la profundidad.....	38
3.17.2	Relación de la abundancia (Kg / Km <sup>2</sup> ) de Camarón de Aguas Someras con la distancia de costa .....	38
3.17.3	Relación de la abundancia y la talla media de Camarón de Aguas Someras por sexo, con las variables temperatura, salinidad, profundidad y distancia de costa.....	39
3.17.4	Relación de las tallas medias de la longitud total con los estratos de profundidad. ....	41
4	Resultados .....	42
4.1	Estructura de tallas.....	42
4.1.1	Estructura de tallas y pesos de machos y hembras acumulados durante el año de monitoreo mensual (junio de 2012 a mayo de 2013).....	42
4.1.2	Estructura de tallas para machos y hembras mensualmente, durante el monitoreo de junio de 2012 a mayo de 2013. ....	42
4.1.3	Estadística descriptiva de tallas, pesos y desviaciones estándar por sexos para cada uno de los meses de muestreo de junio de 2012 a mayo de 2013.....	44
4.1.4	Estructura de tallas y estadísticas descriptiva para hembras y machos de <i>P. notialis</i> de los datos del crucero .....	45
4.1.5	Proporción de sexos por rango de tallas y para cada mes de muestreo de junio de 2012 a mayo de 2013. ....	46
4.2	Relación talla – peso.....	48
4.2.1	Relación Longitud Total (LT) – Peso Total (PT) para machos y hembras y para la especie y el consolidado durante los meses de muestreo de junio de 2012 a mayo de 2013 y del crucero de prospección pesquera de septiembre de 2014.....	48
4.3	Factor de condición .....	51

4.3.1	Determinación del factor de condición.....	51
4.4	Madurez .....	51
4.4.1	Estadios de madurez y determinación de la talla media de madurez .....	51
4.5	Determinación de parámetros de crecimiento.....	54
4.5.1	Estimación de los diferentes parámetros de crecimiento .....	54
4.6	Determinación de parámetros de mortalidad .....	56
4.6.1	Estimación de los parámetros de mortalidad .....	56
4.7	Evaluación de la pesquería mediante modelos analíticos .....	57
4.7.1	Análisis de cohorte de Jones, basado en las tallas del camarón <i>P. notialis</i> de la costa Caribe colombiana.....	57
4.7.2	Análisis predictivo de Thompson y Bell basado en las tallas del camarón <i>P. notialis</i> de la costa Caribe colombiana. ....	58
4.8	Estimación de biomasa.....	59
4.8.1	Exploración de datos .....	59
4.8.2	Análisis geoestadístico .....	61
4.8.3	Interpolación y modelación espacial.....	63
4.9	Estimación del Rendimiento Máximo Sostenible.....	66
4.10	Estructura espacial de tallas.....	67
4.11	Relación de la abundancia y tallas con variables ambientales .....	69
4.11.1	Abundancia en relación con la profundidad .....	69
4.11.2	Abundancia en relación con la distancia de costa .....	70
4.11.3	Relación de tallas medias con estratos de profundidad .....	71
5	Discusión .....	75
6	Conclusiones.....	82
7	Recomendaciones .....	84
8	Referencias Bibliográficas .....	85

## Lista de tablas

Tabla 1. Estadística descriptiva mensual de la estructura de tallas (longitud total, LT en mm) de hembras y machos de <i>P. notialis</i> , durante el monitoreo. ....	44
Tabla 2. Estadísticas descriptivas de la longitud total (LT, mm) y peso total (PT, g) para hembras (H) y machos (M) de <i>P. notialis</i> en el Caribe colombiano. ....	45
Tabla 3. Estadística descriptiva para los datos de tallas totales de hembras (H) y machos (M) de <i>P. notialis</i> de los datos del monitoreo y crucero de prospección pesquera. ....	46
Tabla 4. Parámetros de la relación de talla-peso mensual en hembras y machos de <i>P. notialis</i> . ....	49
Tabla 5. Relación Longitud Total – Peso Total, para machos y hembras y para la especie durante el muestreo y el crucero de prospección pesquera. ....	49
Tabla 6. Parámetros estimados de la Talla Media de Madurez sexual ( $L_{50\%}$ ) (LC: Longitud Cefalotórax; LT: Longitud Total) para ambos sexos (H: hembras; M: machos) de <i>P. notialis</i> . I.C. indica los Intervalos de Confianza. ....	54
Tabla 7. Parámetros de crecimiento para hembras, machos y la especie de <i>P. notialis</i> en el Caribe colombiano, a partir de datos de monitoreo y crucero de prospección pesquera (temperatura considerada para los cálculos 27 °C). ....	56
Tabla 8. Parámetros de mortalidad total (Z), mortalidad natural (M), mortalidad por pesca (F) y tasa de explotación (E) para hembras y machos de <i>P. notialis</i> en el Caribe colombiano a partir de datos de monitoreo y crucero de prospección pesquera. ....	56
Tabla 9. Cuadrado Medio del Error (CME), a partir de la Media del Error de Predicción (MEP) y la varianza del error de predicción, como indicador del mejor ajuste del modelo teórico. ....	65
Tabla 10. Parámetros de los modelos teóricos de variogramas ajustados y sus porcentajes de varianza no explicada por cada uno de ellos (% del Sill). ....	65
Tabla 11. Área de los polígonos de distribución del camarón de aguas someras del Caribe colombiano <i>Penaeus (Farfantepenaeus) notialis</i> , densidad media y biomاسas para las zonas norte y sur. ....	66
Tabla 12. Intervalos de confianza de la biomasa del camarón de aguas someras ( <i>F. notialis</i> ) para las zonas norte y sur del Caribe colombiano y biomasa total. ....	66
Tabla 13. Rendimiento Máximo Sostenible en toneladas para el caribe colombiano, por zonas norte y sur, a partir de la tasa de mortalidad total estimada de los muestreos mensuales y del crucero de prospección pesquera. ....	67
Tabla 14. Estadísticas descriptivas de la estructura de longitud de <i>P. notialis</i> , TL (mm), para todos los rangos de profundidad y estratos (m) a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013). ....	72
Tabla 15. Resultados de la preferencia de rangos mediante pruebas de asociación entre CPUA, longitud total, TL, (hembra y macho) de <i>P. notialis</i> y temperatura, salinidad, distancia de costa y profundidad a partir de los datos de los monitoreos mensuales a bordo (junio de 2012 a mayo de 2013). ....	73

Tabla 16. Resultados de las pruebas de los rangos de preferencia de la Captura Por Unidad de Área (CPUA) y Longitud Cefalotórax (LC) (Hembras y Machos) de *P. notialis* en relación con la profundidad y distancia de costa. El número debajo del valor P, es el rango de preferencia para la variable ambiental a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013). ..... 75

## Lista de figuras

Figura 1. Etapas del desarrollo de la pesquería de camarón de aguas someras en el Caribe colombiano (fuente: INDERENA, INPA, INCODER y AUNAP), actualizado de Paramo & Saint-Paul (2010). .....	7
Figura 2. Área de estudio del Caribe colombiano en el que se desarrolla la pesquería de camarones de aguas someras ( <i>P. notialis</i> ). Tomado de Paramo y Saint-Paul (2010).....	13
Figura 3. Camarón rosado <i>P. notialis</i> (Pérez Farfante, 1967), modificado de Fischer, <i>et al.</i> 1981. ..	14
Figura 4. Mapa de distribución de <i>P. notialis</i> , tomado de: Computer Generated Map for <i>P. notialis</i> (southern pink shrimp). <a href="http://www.aquamaps.org">www.aquamaps.org</a> . .....	15
Figura 5. Ciclo de vida de los camarones Penaeidos, tomado de: <a href="http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/affris/img/monoF4.jpg">http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/affris/img/monoF4.jpg</a> . .....	17
Figura 6. Área de estudio y estaciones de muestreo durante el monitoreo mensual. Fuente: Grupo CITEPT (Centro de Investigación y Tecnologías Pesqueras Tropicales).....	21
Figura 7. Área de estudio y trayecto del crucero de prospección pesquera del muestreo sistemático en el Caribe colombiano, adaptado de (Paramo, <i>et al.</i> 2010). .....	22
Figura 8. Puntos de muestreo y profundidades durante el crucero de prospección pesquera para el estudio del camarón de aguas someras ( <i>Penaeus (Farfantepenaeus) notialis</i> ) en el Caribe colombiano en el mes de septiembre de 2013.....	33
Figura 9. Distribuciones de frecuencia de a) longitud total (mm) y b) peso total (g) para hembras (H) y machos (M) de <i>P. notialis</i> en el monitoreo junio 2012 a mayo 2013 en el Caribe colombiano. ....	42
Figura 10. Histograma de frecuencia de tallas por sexos de los individuos de <i>P. notialis</i> , obtenidos durante los muestreos mensuales desde junio de 2012 hasta mayo de 2013.....	43
Figura 11. Estructura de tallas para hembras y machos de <i>P. notialis</i> de los datos del crucero de prospección pesquera. ....	46
Figura 12. Proporción de sexos a) por clase de tallas y b) mensual, para <i>P. notialis</i> en el Caribe colombiano.....	47
Figura 13. Relación entre la Longitud Total (mm) y el Peso Total (g) de hembras (H) en color negro y machos (M) en color gris para <i>P. notialis</i> entre 2012-2013 en el Caribe colombiano. ....	50
Figura 14. Relación de la longitud total frente al peso total para hembras (negro) y machos (gris) del camarón rosado <i>P. notialis</i> . La línea continua indica el modelo ajustado para cada sexo a partir de los datos del crucero de prospección pesquera.....	50
Figura 15. Factor de condición (K) para hembras y machos de <i>P. notialis</i> .....	51
Figura 16. Estadios de madurez para hembras, en relación con la longitud total de <i>F. notialis</i> a partir de los datos del monitoreo mensual junio 2012 a mayo 2013. ....	52

Figura 17. Estadios de madurez en hembras de <i>F. notialis</i> , agrupados (I y II como inmaduros y III, IV y V como maduros, a partir de los datos del monitoreo mensual junio 2012 a mayo 2013. ....	53
Figura 18. Talla media de madurez P (L <sub>50%</sub> ) de la Longitud Cefalotórax (LC) y Longitud Total (LT) para machos y hembras de <i>Penaeus notialis</i> . Los puntos representan las observaciones y las líneas continuas el modelo logístico ajustado.....	54
Figura 19. Crecimiento en a) longitud total y b) peso total para hembras y machos de <i>P. notialis</i> . 55	
Figura 20. Sobrevivientes y tasas de mortalidad por pesca (F) por cada rango de tallas de camarón <i>P. notialis</i> en el Caribe colombiano, a partir del análisis de cohortes de Jones (monitoreos mensuales de junio de 2012 a mayo de 2013).....	57
Figura 21. Rendimiento, Biomasa y valor económico del camarón <i>P. notialis</i> en el Caribe colombiano, de acuerdo con la variación del factor de mortalidad por pesca, obtenido mediante el modelo de Thompson y Bell basado en tallas (datos de monitoreo mensual entre junio de 2012 y mayo de 2013).....	59
Figura 22. Variogramas experimentales con estimadores clásico (superior izquierdo), modulus ó robusto (superior derecho), clásico con ajuste de lambda=0,4 (inferior izquierdo) y robusto con ajuste de lambda=0,4 (inferior derecho) a distancia máxima de 150 km.....	60
Figura 23. Variogramas teóricos ajustados a los variogramas experimentales omnidireccionales, con estimador clásico y distancias de separación de 10.8 km (superior izquierdo), 10.9 km (superior derecho), 11.0 km (inferior izquierdo) y 11.10 (inferior derecho), a distancia máxima de 120 km.....	61
Figura 24. Ajuste de varios modelos de variogramas teóricos (matern, esférico, gaussiano y exponencial) con la estimación de los parámetros del modelo, a distancia máxima de 120 km. ....	62
Figura 25. Modelos teóricos de variograma ajustados al variograma experimental.....	63
Figura 26. Densidad de distribución de la abundancia (kg/km <sup>2</sup> ) del camarón de aguas someras del Caribe colombiano <i>Penaeus (Farfantepenaeus) notialis</i> . ....	64
Figura 27. Distribución especial de la Longitud Cefalotórax LC (mm) de hembras y machos de <i>P. notialis</i> en septiembre de 2013 en el Caribe colombiano. ....	68
Figura 28. Relación Biomasa vs Profundidad – Latitud, a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013). ....	69
Figura 29. Relación Biomasa vs Distancia de la costa – Latitud, a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013). ....	70
Figura 30. Estructuras de tallas por estratos de profundidad de <i>P. notialis</i> , a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013). ....	71
Figura 31. Funciones de Densidad Acumulada (FDA) de las variables de hábitat temperatura, salinidad, profundidad y distancia a la costa con respecto a la Captura Por Unidad de Área - CPUA y longitud total (hembras y machos) de <i>P. notialis</i> ; f (t) línea gruesa negra, g (t) línea delgada gris, d es la diferencia absoluta entre g (t) y f (t) línea de puntos, a partir de los datos de los monitoreos mensuales a bordo (junio de 2012 a mayo de 2013).....	73

Figura 32. Función de Densidad Acumulada (FDA) de la profundidad y distancia de costa  $f(t)$ , de la Captura Por Unidad de Área CPUA ( $\text{kg}/\text{km}^2$ ) y la Longitud Cefalotórax (mm)  $g(t)$ , (Hembras y Machos) de *Penaeus notialis*.  $f(t)$  línea gruesa negra,  $g(t)$  línea delgada gris, línea punteada (d) es la diferencia absoluta entre  $g(t)$  y  $f(t)$ . Las preferencias de profundidad y distancia de costa se muestran en el rectángulo gris a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013)..... 74

## Resumen

La especie *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis* es la que soporta la pesquería industrial de camarón de aguas someras del Caribe colombiano. Desde el año 1986 se llegó a un estado de sobreexplotación, que se agudizó en 1996, llevando a una reducción drástica del esfuerzo pesquero a partir del año 2006. Con el fin de determinar la dinámica y estructura poblacional de esta pesquería y llegar a hacer recomendaciones adecuadas para una buena administración, se llevó a cabo la presente investigación, con muestreos mensuales de la pesquería, a bordo, durante un año (junio de 2012 a mayo de 2013) y un crucero de prospección pesquera en toda el área de pesca, en el Caribe colombiano, durante 25 días (septiembre de 2013).

A partir de los muestreos mensuales, utilizando la estructura de tallas y análisis de progresiones modales, se estimaron los parámetros biológicos y pesqueros como datos de entrada para la aplicación de los modelos analíticos talla-estructurados (modelo predictivo de Jones y prospectivo de Thompson y Bell); con el fin de estimar el Rendimiento Máximo Sostenible- RMS y el Rendimiento Máximo Económico - RME. Con los datos del crucero de prospección pesquera y utilizando métodos geostatísticos se estimó la distribución de la estructura de tallas y la biomasa instantánea en todo el Caribe colombiano para la estimación del RMS. De igual manera se estimaron las Tallas Medias de Madurez - TMM para ambos sexos y se realizaron los análisis de las abundancias y tallas en relación con las variables ambientales, temperatura (°C), salinidad (psu), profundidad (m) y distancia de costa en millas náuticas (mn).

Los parámetros biológicos y pesqueros estimados para la especie con los datos del monitoreo mensual ( $L_{\infty}=178.6$  mm,  $k=1.8/\text{año}$ ,  $t_0=-0.100$  y  $W_{\infty}=48.47$  gr, Fi prima =2.76;  $Z=2.84/\text{año}$ ,  $M=2.67/\text{año}$ ,  $F=0.17/\text{año}$ ,  $E=0.06$  y  $b=3.053$ ), fueron utilizados como datos de entrada en el modelo de Jones, en el que se obtuvo el número de reclutas  $N_R=44.36$  millones de camarones *P. notialis* y la mortalidad por pesca  $F$  para cada rango de tallas. La mayor mortalidad por pesca se dio para el rango de tallas mayores a 150 mm de Longitud Total (LT). Los datos de salida del modelo de Jones ( $N_R$  y  $F$ ) y precios en dólares americanos de la captura permitieron estimar, a partir del modelo de Thompson y Bell, que, aun cuadruplicando el esfuerzo pesquero actual de 10 a 40 embarcaciones no se alcanza el Rendimiento Máximo Sostenible. Sin embargo, el Rendimiento Máximo Económico se alcanza con un incremento del 1.8 del esfuerzo pesquero actual (pasando de 10 a 18 embarcaciones).

El RMS, estimado a partir de los datos de crucero de prospección pesquera y utilizando la mortalidad total estimada a partir de estos datos ( $Z=1.91/\text{año}$ ), alcanzó el valor de 1797.86 toneladas en todo el Caribe, siendo el RMS para la zona norte de 198.37 toneladas y RMS para la zona sur de 1599.49 toneladas. La longitud total media de captura para hembras y machos en todo el Caribe colombiano fue de 137.79 mm y 115.86 mm respectivamente, encontrando las mayores tallas para hembras y machos a partir profundidades mayores a 40 metros (141.24 mm y 118.78 mm respectivamente). La Talla Media de Madurez – TMM, estimada para machos y hembras fue de 94.93 mm de LT y 117.58 mm LT respectivamente. Las mayores abundancias (kg/km<sup>2</sup>) de camarones durante el monitoreo estuvieron asociadas a rangos entre 25.83 y 49.33 m de profundidad, 3.89 a 7.69 mn de distancia de costa, 28.74 a 29.30 °C de temperatura y salinidades de 35.55 a 36.09 psu. Mientras tanto, para los datos del crucero de prospección pesquera las mayores abundancias estuvieron asociadas a rangos de 31.33 a 45.23 m de profundidad y de 4.77 a 7.38 mn de distancia de costa.

Con los resultados de la presente investigación se logró determinar que hay una recuperación de la pesquería del camarón de aguas someras del Caribe Colombiano. Esto se refleja en distribución de tallas grandes a mayores profundidades, bajas tasas de explotación estimadas, tallas medias de captura por encima de las tallas medias de madurez, que garantizan la reproducción de la especie. Por lo anterior se recomienda incrementar el esfuerzo pesquero hasta máximo 40 embarcaciones, establecer cuotas de pesca por zonas de pesca, zona norte y sur, y restringir la pesca dentro de las primeras 3 mn de la costa.

## Abstract

The *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis* species supports the industrial shallow-water shrimp fishery in the Colombian Caribbean. Since 1986 a state of overexploitation was reached, worsened in 1996, leading to a drastic reduction in the fishing effort as of 2006. The present investigation was carried out to determine the population dynamics and structure of this fishery and to make suitable recommendations for a good administration of marine resources. For this reason, monthly samplings of the fishery were conducted on board for one year (June 2012 to May 2013) as well as a fishing prospecting cruise in the entire fishing area in the Colombian Caribbean for 25 days (September 2013).

From the monthly samplings, using the size structure and analysis of modal progressions, biological and fishing parameters were calculated as input data for the application of the analytical length-structured models (predictive model of Jones and prospective model of Thompson and Bell) to estimate the Maximum Sustainable Yield - MSY and the Maximum Economic Yield - MEY. With the data from the fishing prospecting cruise and applying geostatistical methods, the distribution of the size structure and the instantaneous biomass in the entire Colombian Caribbean were estimated to determine the MSY. In the same way, the Mean Maturity Sizes - MMS for both sexes were calculated and analyzes of the abundances and sizes were conducted considering the environmental variables: temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity (psu), depth (m), and distance of coast in nautical miles (nm).

The biological and fishing parameters estimated for the species with the monthly monitoring data ( $L_{\infty} = 178.6$  mm,  $k = 1.8$  / year,  $t_0 = -0.100$  and  $W_{\infty} = 48.47$  gr,  $F_i$  prima = 2.76;  $Z = 2.84$  / year,  $M = 2.67$  / year,  $F = 0.17$  / year,  $E = 0.06$  and  $b = 3.053$ ) were used as input data in the Jones model, in which the number of recruits  $N_R = 44.36$  million *P. notialis* shrimp and the fishing mortality  $F$  for each size range were obtained. The results obtained demonstrated that the highest fishing mortality occurred for the range of sizes greater than 150 mm Total Length (TL). Similarly, the output data of the Jones model ( $N_R$  and  $F$ ) and prices in US dollars of the catch allowed us to estimate, from the Thompson and Bell model, that even quadrupling the current fishing effort from 10 to 40 vessels, the Maximum Sustainable Performance is not reached. However, the Maximum Economic Yield is reached with an increase of 1.8 in the current fishing effort (going from 10 to 18 vessels).

The MSY, estimated from the fishing survey cruise data and using the total mortality estimated from these data ( $Z = 1.91$  / year), reached the value of 1797.86 tons throughout the Caribbean, being the MSY for the area north of 198.37 tons and MSY for the southern zone of 1599.49 tons. The mean total length of catch for females and males in the entire Colombian Caribbean was 137.79 mm and 115.86 mm, respectively, with the largest sizes for females and males from depths greater than 40 meters (141.24 mm and 118.78 mm, respectively). The Mean Maturity Size - MMS estimated for males and females was 94.93 mm TL and 117.58 mm TL, respectively. The highest abundances (kg /  $\text{km}^2$ ) of shrimp during monitoring were associated with ranges between 25.83 and 49.33 m depth, 3.89 to 7.69 m distance from the coast, 28.74 to 29.30  $^{\circ}\text{C}$  of temperature, and salinities of 35.55 to 36.09 psu. On the other hand, regarding the data from the fishing prospecting cruise, the highest abundances were associated with ranges from 31.33 to 45.23 m in depth and from 4.77 to 7.38 nm from the coast.

With the results of the present investigation, it was possible to determine that there is a recovery of the shallow water shrimp fishery in the Colombian Caribbean. This is evidenced in the distribution of large sizes species at greater depths, low estimated exploitation rates, and average catch sizes above the average sizes at maturity, which guarantee the reproduction of the species. Therefore, it is recommended to increase the fishing effort to a maximum of 40 vessels, establish fishing quotas for fishing zones, north and south, and restrict fishing within the first 3 nm from the coast.

## 1 Introducción

A nivel mundial hay una creciente preocupación por los mares y su aprovechamiento sostenible, es así como en los Objetivos de Desarrollo Sostenible – 2030 (ODS), aprobados por Naciones Unidas en 2015 en la Conferencia de las Partes (COP 21), se establece un objetivo específico (ODS 14) en relación con la vida submarina, para conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible (Rivera-Arriaga, *et al.* 2019). Recientemente la Asamblea General de Naciones Unidas, a partir del trabajo conjunto de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) y la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), proclamó la década de las ciencias oceánicas para el desarrollo sostenible 2021 - 2030 (UNESCO, 2017).

El sector pequero contribuye de manera importante con la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), al proveer alimentos, nutrición y empleo. La producción de la pesca marina mundial en 2018 aportó 84.4 millones de toneladas, presentando un pequeño incremento con la producción de captura marina en 2017 que alcanzó 81.2 millones de toneladas, pero un poco por debajo de la producción de pesca marina de 1996, que tuvo su máxima producción de 86.4 millones de toneladas. Del total de la captura marina mundial para 2018, la de crustáceos fue de 5.9 millones de toneladas, representando el 7.1% (FAO, 2018; 2020).

Hay mucha preocupación a nivel mundial por el creciente incremento de la explotación pesquera marina, llegando a niveles insostenibles. En el Atlántico centro-occidental el 61.4% de las poblaciones pesqueras evaluadas en 2017 se explotaron dentro de los niveles biológicamente sostenibles y muchas otras poblaciones se están explotando más allá del máximo rendimiento sostenible, afectando la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas con efectos negativos en lo social y económico (FAO, 2020).

En Colombia, a partir de la Constitución Política de 1991, se da una mayor importancia a la investigación científica, tal como se establece en los artículos 27, 65, 69, 70, 71 (Const., 1991). En el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018 – 2022, el gobierno nacional colombiano plantea, en su política, varios pactos entre los que se tienen el pacto por la Ciencia, Tecnología e Innovación, y la sostenibilidad, productividad y equidad de las regiones, incluyendo la Región Caribe y Región Océanos (Departamento Nacional de Planeación, 2018). El actual gobierno, con el fin de impulsar la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, creó la Misión Internacional de Sabios en 2019, en la que trabajaron 46 investigadores nacionales e internacionales e hicieron las recomendaciones para llegar a una Colombia que base su desarrollo en el conocimiento. En diciembre de 2019 se creó el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias), como la entidad rectora del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTel), encargada de liderar las recomendaciones de esta misión (Misión Internacional de Sabios, 2019). Recientemente se acaba de aprobar, por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), el documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), conocido como documento Conpes 3990 “Colombia potencia bioceánica y sostenible, que es la hoja de ruta para el desarrollo de nuestros mares (Departamento Nacional de Planeación, 2020), con el fin de poder hacer un aprovechamiento responsable en todo sentido, incluido el aprovechamiento sostenible de nuestras pesquerías.

Las principales pesquerías de camarones y crustáceos tropicales del mundo, que fueron en su momento, una actividad económica importante, hoy se encuentran en niveles de plena explotación o sobreexplotadas (Gillett, 2010), en Colombia esta situación no es diferente. Las principales pesquerías de camarones están en niveles de explotación altos o sobreexplotadas, como es el caso de la pesquería industrial de camarón de aguas someras del Caribe colombiano, por lo que se requiere con urgencia, de la evaluación biológica y pesquera, con muestreos dependientes e independientes de las pesquerías, que permitan conocer el estado de los stocks

pesqueros de camarones para la toma de medidas de manejo (Paramo & Saint-Paul, 2010; Paramo, *et al.* 2012).

### 1.1 Justificación del problema

La pesquería de camarón de aguas someras en el Caribe colombiano tiene como principal especie en las capturas, al camarón rosado *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis*, (Pérez Farfante, 1967), en una proporción hasta del 80%, estando conformado el otro 20% por las especies *Penaeus (Farfantepenaeus) brasiliensis* (Latreille, 1817), *Penaeus (Farfantepenaeus) subtilis* (Pérez Farfante, 1967) y *Penaeus (Litopenaeus) schmittii* (Burkenroad, 1936), siendo este último de distribución muy costera. La pesquería de camarones de aguas someras del Caribe colombiano es la de mayor importancia socioeconómica, pero por la falta de información biológica, pesquera, económica y de seguimiento y control, la ha llevado a un estado de sobrepesca y colapso (Paramo & Saint-Paul, 2010). El manejo de esta pesquería debe darse bajo un enfoque precautorio de acuerdo con el código de conducta para la pesca responsable (FAO, 1995), considerando información básica sobre su biología, tales como parámetros de crecimiento, tasas de mortalidad, tasas de explotación y estados reproductivos entre otros (Haddon, 2011; Quinn & Deriso, 1999), así como datos de la pesquería (captura, esfuerzo y estructura de tallas), con el fin de obtener los insumos para la evaluación de stocks que permitan recomendar la explotación óptima, permitiendo niveles de captura en el largo plazo con rendimientos máximos sostenibles en peso de la pesquería (Sparre & Venema, 1995).

La sobrepesca del recurso camarón, debido al incremento del esfuerzo pesquero sobre un amplio rango de especies y tallas y a la falta de medidas de manejo (Paramo & Saint-Paul, 2010), ha tenido como consecuencia bajos rendimientos y la posterior disminución de la flota pesquera industrial en las últimas décadas. La disminución del esfuerzo pesquero se ha dado por el efecto de los bajos rendimientos pesqueros y económicos, sumado a los altos costos de operación y la

caída del precio de venta del producto en los mercados internacionales (Barreto & Borda, 2008; Gillett, 2010).

La explotación comercial del camarón comenzó a principios de la década de 1970, con una etapa de crecimiento en la que el esfuerzo de pesca (días de pesca) fue bajo, pero con altos niveles de captura (desembarques en toneladas) y, por lo tanto, también altos niveles de captura por unidad de esfuerzo (CPUE). A medida que aumentaba el esfuerzo de pesca, a principios de 1980 (etapa de plena explotación), las capturas fluctuaban y la CPUE mostraba una pequeña disminución, llegando a la sobreexplotación en el periodo 1986 - 1996. Dado que el esfuerzo pesquero se mantuvo alto hasta comienzos del año 2000, las capturas y la captura por unidad de esfuerzo bajaron a niveles críticos, llegando al colapso de esta pesquería, saliendo muchas embarcaciones de la actividad (reducción drástica del esfuerzo pesquero). A partir del año 2006 el esfuerzo pesquero, en número de barcos pescando (días de pesca), fue de los más bajos de la historia de la pesquería hasta ese momento y continuó bajando, por lo que se cree que el stock del recurso camarón deben tener una ligera recuperación (Figura 1), (Paramo & Saint-Paul, 2010).

La Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), es la actual entidad adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), encargada de la administración y fomento de la pesca y la acuicultura en Colombia, se creó con el Decreto Ley 4181 de 2011 y entró en funcionamiento en enero de 2013. Después de una serie de cambios institucionales a nivel nacional, pasando por entidades como el INDERENA, INPA, INCODER, ICA, INCODER nuevamente, hasta llegar a la AUNAP. En cada una de estas transiciones entre entidades, se ha ido reduciendo la planta de personal y el presupuesto, limitando la implementación de evaluaciones pesqueras de los principales recursos. Actualmente para mantener una mediana administración de los principales recursos pesqueros se han limitado a monitoreos intermitentes en puertos de desembarque, no contando con datos confiables para el conocimiento del estado de las pesquerías y mucho menos poder hacer una

buena administración de estas. Para el desarrollo de las investigaciones pesqueras en el país, la AUNAP ha tenido que recurrir a convenios intermitentes de cooperación con universidades e institutos de investigación, que generalmente se ve limitada en los muestreos por falta de recursos financieros. Para el desarrollo de esta investigación nos apoyamos en un convenio de cooperación entre la AUNAP y la Universidad del Magdalena, al tiempo que se contó con financiación a través de las convocatorias de Investigación del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – COLCIENCIAS en Colombia, hoy Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación - MinCiencias, para llevar a cabo los muestreos mensuales a bordo de un barco de la flota camaronera (muestreos dependientes de la pesquería) como también el desarrollo de un crucero de prospección pesquera (crucero de investigación independiente de la pesquería).

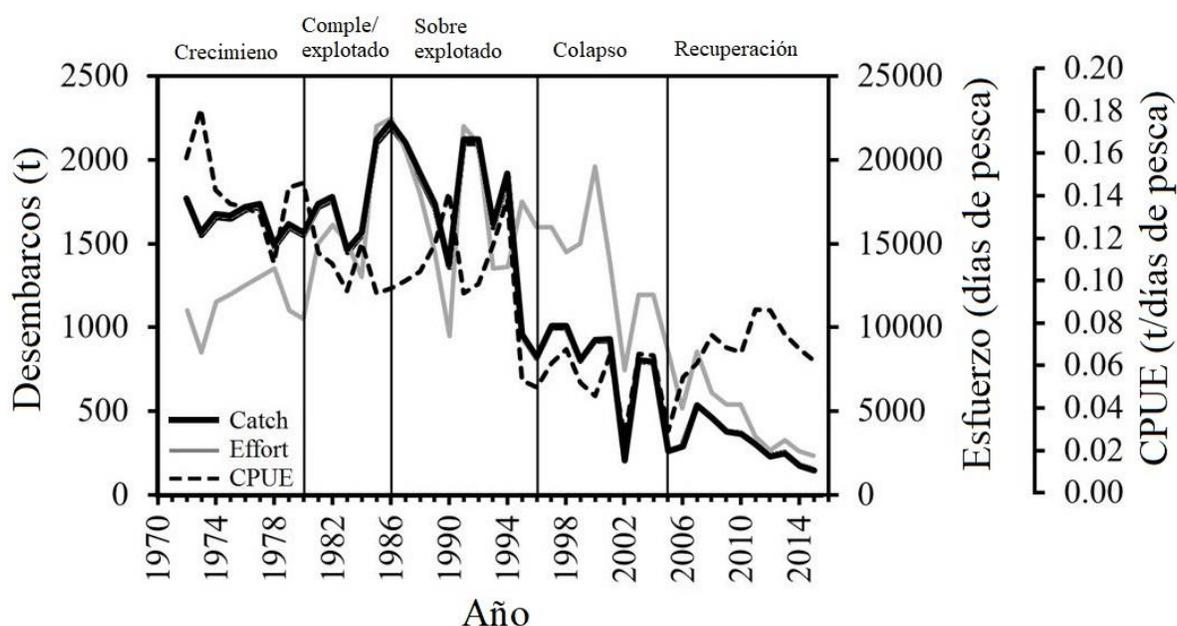


Figura 1. Etapas del desarrollo de la pesquería de camarón de aguas someras en el Caribe colombiano (fuente: INDERENA, INPA, INCODER y AUNAP), actualizado de Paramo & Saint-Paul (2010).

## 1.2 Propósito de la investigación

Con el fin de poder hacer las recomendaciones adecuadas para una buena administración pesquera, se requiere hacer la evaluación de la pesquería de camarones de aguas someras del Caribe colombiano, centrada principalmente en la especie *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis* (aprovechada a nivel de pesca industrial), con muestreos a bordo de una embarcación pesquera (datos dependientes de la pesquería), así como con un crucero de investigación con cobertura de todo el Caribe colombiano (datos independientes de la pesquería). Con esta investigación se busca conocer el estado actual para un eficiente manejo por parte de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). Teniendo en cuenta la situación de colapso a la que llegó esta pesquería a partir del año 1996 hasta el año 2006, con la reducción drástica del esfuerzo pesquero a partir del año 2006 hasta el presente, por lo que se presume que el recurso se debe encontrar en un estado de recuperación (Paramo y Saint-Paul, 2010).

Con el fin de tener el esfuerzo de pesca estandarizado en esta investigación, tanto los 12 muestreos mensuales (una faena por mes) entre los meses de junio de 2012 a mayo de 2013 como en el crucero de prospección pesquera llevado a cabo en septiembre de 2013, se utilizó la misma embarcación (Motonave Adriatic). La ventaja de haber podido hacer los muestreos a bordo es que nos permitió tener la ubicación geográfica de cada uno de los lances de pesca, hora de calada y levantada de la red y de esta manera el tiempo de cada lance de pesca para la medición precisa del esfuerzo pesquero, así como el volumen total de la captura de la especie objeto (*Penaeus (Farfantepenaeus) notialis*) por lance y de esa manera poder tomar la muestra de todo el rango de tallas (dado que se evitó el descarte de tallas pequeñas). De igual manera se tomó el registro de datos biológicos por individuo (sexo, talla total, talla cola, peso total, peso cola, estado de madurez gonadal), y de parámetros ambientales (profundidad y distancia de la costa de cada lance de pesca).

Dados los muestreos a bordo, se contó con datos de entrada de series de tiempo mensuales de frecuencias de tallas por zonas de pesca durante un año, para la estimación más precisa de los parámetros de crecimiento de machos, hembras y para la especie. A partir de los parámetros de crecimiento se puede determinar las tasas de mortalidad natural, mortalidad por pesca, mortalidad total y tasa de explotación. De igual manera se pudo contar, tanto con la captura total de la especie en la embarcación de muestreo, como el total desembarcado por mes de la flota pesquera, logrando así extrapolar la muestra al total de la captura en el Caribe colombiano, tanto en peso como en la estructura de tallas y utilizando los datos biológicos de la especie, poder utilizar los modelos analíticos de población virtual estructurado por tallas (modelo retrospectivo), estimar la selectividad del arte, tasas de mortalidad por pesca por cada rango de tallas y número de reclutas de la pseudo-cohorte, que fueron los datos de entrada para el modelo predictivo de rendimiento de Thompson y Bell, que nos permite, en función del esfuerzo pesquero y el número de reclutas de la cohorte, predecir el Rendimiento Máximo Sostenible - RMS, como una medida de manejo. A partir de datos satelitales, y teniendo en cuenta que se cuenta con las posiciones geográficas precisas, se puede determinar los parámetros ambientales de temperatura y salinidad por cada sitio de muestreo para entender el comportamiento de la abundancia en relación con estos.

A partir del muestreo del crucero de investigación (datos independientes de la pesquería) a bordo de la misma embarcación pesquera, se pudo tener la toma de información biológica, pesquera, ambiental en tiempo real durante 25 días de manera sistemática (transeptos prediseñados) con cobertura de toda el área de distribución del recurso en la plataforma continental colombiana, para la estimación instantánea de la biomasa total en toneladas, usando la proyección geoestadística, así como determinar la estructura espacial de la especie por tallas, sexos y estados de madurez y la relación con las variables ambientales, que permiten hacer las recomendaciones de manejo para un aprovechamiento racional del recurso.

Los resultados de esta investigación serán de mucha utilidad para la actualización de varios actos administrativos de las diferentes entidades de administración pesquera en el pasado (Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente – INDERENA y el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura - INPA), que aun hoy en día, estos actos administrativos, siguen vigentes por falta de información técnica actualizada. El INDERENA operó desde 1968 a 1994 y el INPA desde 1991 a 2003 y en su momento establecieron zonificaciones para la pesca industrial de camarones, sin contar con los suficientes soportes técnicos, y sin que hasta el momento se hayan vuelto a revisar, como son la resolución 726 de 1974 y los acuerdos 24 de 1983 y 54 de 1988 del INDERANA, acuerdo 12 de 1995 del INPA, que en términos generales prohíben la pesca en los departamentos Córdoba y Sucre a menos de 5 millas náuticas de la línea de baja marea y en el departamento de La Guajira por dentro de las 15 millas de distancia de la costa.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo General

Determinar la dinámica y estructura poblacional del camarón rosado de aguas someras *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis*, en el Caribe colombiano, como base para la recomendación de medidas de manejo para el aprovechamiento sustentable de esta pesquería.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Obtener los parámetros poblacionales del camarón de aguas someras, que permitan establecer, a partir de modelos analíticos, los rendimientos máximos sostenibles y económicos a un esfuerzo óptimo.

- Estimar la biomasa total y estructura espacial del camarón de aguas someras en el área de estudio, para establecer, a partir de modelos holísticos, el rendimiento máximo sostenible.
- Establecer la relación entre los patrones de distribución de la abundancia espacial del camarón de aguas someras con las variables del hábitat.

#### 1.4 Hipótesis de trabajo

- La tasa de explotación (E) del camarón de aguas someras (*P. notialis*) en el Caribe colombiano ( $E = \text{mortalidad por pesca} / \text{mortalidad total}$ ), determina que la pesquería se está recuperando.
- Entre las 3 y 5 millas de distancia de la costa (medida desde la línea de baja marea), se encuentran importantes abundancias del recurso camarón de aguas someras (*P. notialis*) para el aprovechamiento pesquero.

## 2 Marco teórico

El objetivo del manejo pesquero es, por un lado, el de maximizar el rendimiento económico y por otro lado mantener las medidas de protección de la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema. Los ecosistemas marinos se alterarán al modificar las interacciones y composiciones de las especies, reducir la variabilidad genética y modificar la estructura de tamaños y estructura de edades de las poblaciones (Paramo, *et al.* 2010; Atencia-Galindo, *et al.* 2021).

Las mayorías de las pesquerías de camarones tropicales del mundo están sobreexplotadas, y son el principal objetivo de los administradores pesqueros en su trabajo por la recuperación (Gillett, 2010; Paramo, *et al.* 2020). Las dificultades para un buen manejo pesquero son el afán de los empresarios por el incremento de las tasas de captura como una respuesta a la gran presión sociopolítica para obtener grandes capturas en el corto plazo y la intrínseca incertidumbre de los sistemas

pesqueros (Botsford, *et al.* 1997; Pauly, *et al.* 2002; Pauly, *et al.* 2003). El manejo pesquero requiere de un balance entre extracción, estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Pikitch, *et al.* 2004; Bianchi, 2008; Stokstad, 2009; Zhou, *et al.* 2010), el manejo pesquero debe considerar el suministro de alimentos, ingresos y bienestar a los pescadores (Bianchi, 2008). Por otro lado, un buen manejo pesquero requiere la promoción de incentivos a los pescadores para la conservación y tener fuertes estrategias de manejo (Beddington, *et al.* 2007; Worm, *et al.* 2009), basados en las características del hábitat y de los mismos organismos.

El desarrollo histórico de esta pesquería en la costa norte colombiana se ha dado en unas temporadas hacia el sur del Caribe (Cartagena – frontera con la república de Panamá) y en otras temporadas hacia el norte del Caribe (Cartagena – frontera con la república de Venezuela), con su centro de operaciones en la ciudad de Cartagena. Los caladeros de pesca o zonas de pesca han sido identificados, de acuerdo con los fondos arrastrables y la forma y ancho de la plataforma continental del Caribe. En los últimos años, la situación que se ha presentado a nivel mundial, con altos costos de operación, bajos precios de venta del producto y revaluación del peso frente al dólar, también ha afectado la pesquería de camarones en Colombia, volviéndose una actividad económica poco rentable, sumado a la sobrepesca a la que se ha llevado a este recurso (Gillett, 2010; Barreto & Borda, 2008).

Con respecto al área de distribución del camarón de aguas someras en el Caribe colombiano, esta especie está delimitada principalmente hasta una profundidad de 100 metros. En el análisis del ancho de la plataforma continental con respecto al veril de profundidad de los 100 metros, al norte de la Península de la Guajira la plataforma es muy estrecha, presentando el contorno de los 100 metros (m) a unas 10 millas náuticas (mn) de la costa y frente a Punta Gallinas a solo unas 3 mn. Hacia el oeste, desde el Cabo de la Vela la plataforma se ensancha y alcanza un máximo de 15 mn frente a Riohacha, luego en inmediaciones del río Palomino vuelve a reducirse y prácticamente desaparece en el sector del Parque Nacional Natural Tayrona y Santa Marta. Frente a la Ciénaga Grande de Santa Marta la plataforma

se amplía nuevamente a 12 mn, para ser más amplia después de Puerto Colombia (30 mn) y reducirse cerca de Cartagena. El área frente al Golfo de Morrosquillo es la de mayor plataforma (aproximadamente 60 mn), la cual se reduce frente al Golfo de Urabá (INVEMAR, 2000) (Figura 2).

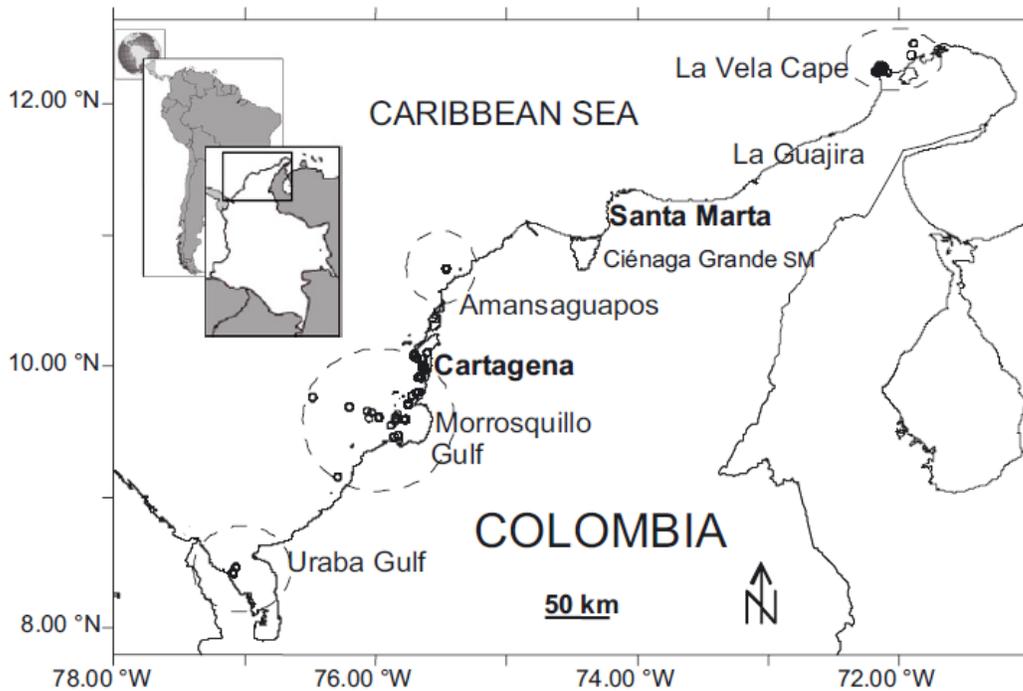


Figura 2. Área de estudio del Caribe colombiano en el que se desarrolla la pesquería de camarones de aguas someras (*P. notialis*). Tomado de Paramo y Saint-Paul (2010).

Las plataformas continentales sostienen los mayores niveles de producción biológica y están fuertemente influenciadas por procesos físicos como olas, mareas, corrientes, su geomorfología, erosión y entradas de material desde el continente por aporte de ríos y desde la superficie por cambios en la productividad primaria (Kaiser, *et al.* 2005).

La alta productividad de las plataformas continentales en las regiones de surgencia se ve reflejada en las mayores pesquerías mundiales (Pauly & Christensen, 1995; Paramo, *et al.* 2003; Kaiser, *et al.* 2005; Ward, *et al.* 2006; Allsopp, *et al.* 2009). El Caribe colombiano, en la zona norte, está dividido en tres ecorregiones: Tayrona (acantilados, bahías y ensenadas, surgencia estacional, mosaicos coralinos);

Palomino (playas de arenas, ríos, manglares y pastos marinos) y Guajira (área influenciada por la surgencia, elevada productividad primaria, fanerógamas y algas) (INVEMAR, 2000).

El camarón rosado (*P. notialis*) perteneciente al grupo de los crustáceos decápodos de la familia Penaeidae, de mayor importancia comercial para la pesca industrial en el Caribe colombiano (Paramo & Saint-Paul, 2010). Se caracteriza por presentar un caparazón liso, rostrum con ocho a nueve dientes en el margen dorsal, ojos pedunculados, seis segmentos abdominales, cinco pares de apéndices caminadores (pereiópodos), cinco apéndices nadadores (pleópodos), tres pares de apéndices torácicos modificados (maxilípedos) utilizados para la alimentación, un par de anténulas y antenas que tienen función sensorial y el telson y urópodos en el extremo posterior del abdomen, que sirven para la natación o propulsión (Figura 3). *P. notialis* presenta dimorfismo sexual, las hembras de mayor tamaño llegan a medir hasta 200 milímetros y los machos hasta 175 milímetros de longitud total. Su coloración puede ser marrón claro, amarillenta o rosada, hasta marrón oscuro en algunas localidades. Habita en fondos blandos desde los 3 a los 100 m y presenta sus mayores abundancias en aguas someras entre los 10 a 75 m de profundidad (Fischer, *et al.* 1981; Cervigón, *et al.* 1992; Tavares, 2002).

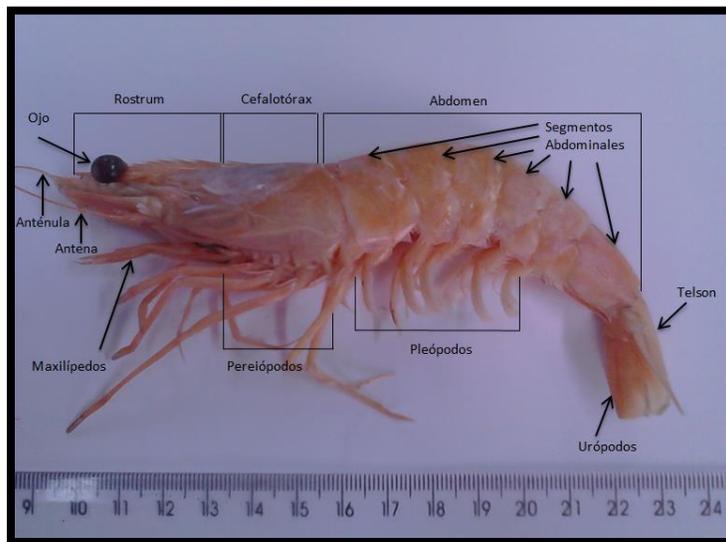


Figura 3. Camarón rosado *P. notialis* (Pérez Farfante, 1967), modificado de Fischer, *et al.* 1981.

Esta especie (*P. notialis*) se distribuye a lo largo de la costa del mar Caribe, la costa de América del Sur hasta Brasil, y también se encuentra en la costa de África Occidental desde Mauritania hasta Angola (Figura 4) (Tavares, 2002).



Figura 4. Mapa de distribución de *P. notialis*, tomado de: Computer Generated Map for *P. notialis* (southern pink shrimp). [www.aquamaps.org](http://www.aquamaps.org).

Los adultos de camarones penaeidos desovan fuera de la costa y las larvas migración hacia las regiones de crianza, que incluyen lagunas costeras, manglares y estuarios. Las zonas de crianza proporcionan alimento y refugio contra los predadores. La migración comprende una fase estuarina, cuando la post-larva entra a las desembocaduras de los ríos, donde se mantienen hasta la etapa juvenil y luego migran hacia el mar como sub-adultos, el cual es un período caracterizado por el rápido crecimiento y migración continua (García M., 1984; García & LeReste, 1986; Dall, *et al.* 1990; Fischer, *et al.* 1995). El camarón de aguas someras *P. notialis* pertenece a las especies que desovan frente a la costa, a profundidades que varían aproximadamente de 10 a 80 metros. Los machos depositan unas capsulas que contienen los espermatozoides (espermatoforos) en el órgano sexual de la hembra (télico) durante la cópula. Posteriormente la hembra expulsa los huevos (óvulos) los cuales son fecundados al salir de su cuerpo, los huevos eclosionan al término de

unas horas liberando las larvas al medio, en donde pasan por 11 estadios larvales: 5 estadios de nauplio, 3 de protozoa y 3 de mysis. Las larvas planctónicas son transportadas por las corrientes hacia la costa, las cuales llegan en un estadio de postlarvas, esto ocurre aproximadamente 3 semanas después del desove, cuando los animales han alcanzado entre 6 y 14 mm de longitud total y presentan ya un aspecto de camarón. Las postlarvas penetran a los esteros, abandonan su modo de vida planctónico y pasan a formar parte del bento (organismos asociados a los fondos marinos) en las zonas litorales someras o de poca profundidad (Fischer, *et al.* 1995; Lee, 1999; Loneragan & Bunn, 1999). En estos fondos, ricos en alimentos (detritos, algas bentónicas, pequeños crustáceos), atraviesan una fase de crecimiento alcanzando rápidamente el estadio juvenil, y a medida que aumenta su talla, van regresando gradualmente a las desembocaduras de lagunas o de estuarios donde se convierten en sub-adultos (García & LeReste, 1986; Minello & Zimmerman, 1991). Poco después estos camarones migran mar afuera, siguiendo su proceso de crecimiento, para finalmente alcanzar los lugares de reproducción y completar su ciclo de vida (Figura 5). Generalmente las especies de la familia penaeidae alcanzan su madurez sexual antes de haber cumplido el año (Cervigón, *et al.* 1992; Fischer, *et al.* 1995; Pérez & Paramo, 2014; Paramo, *et al.* 2014).

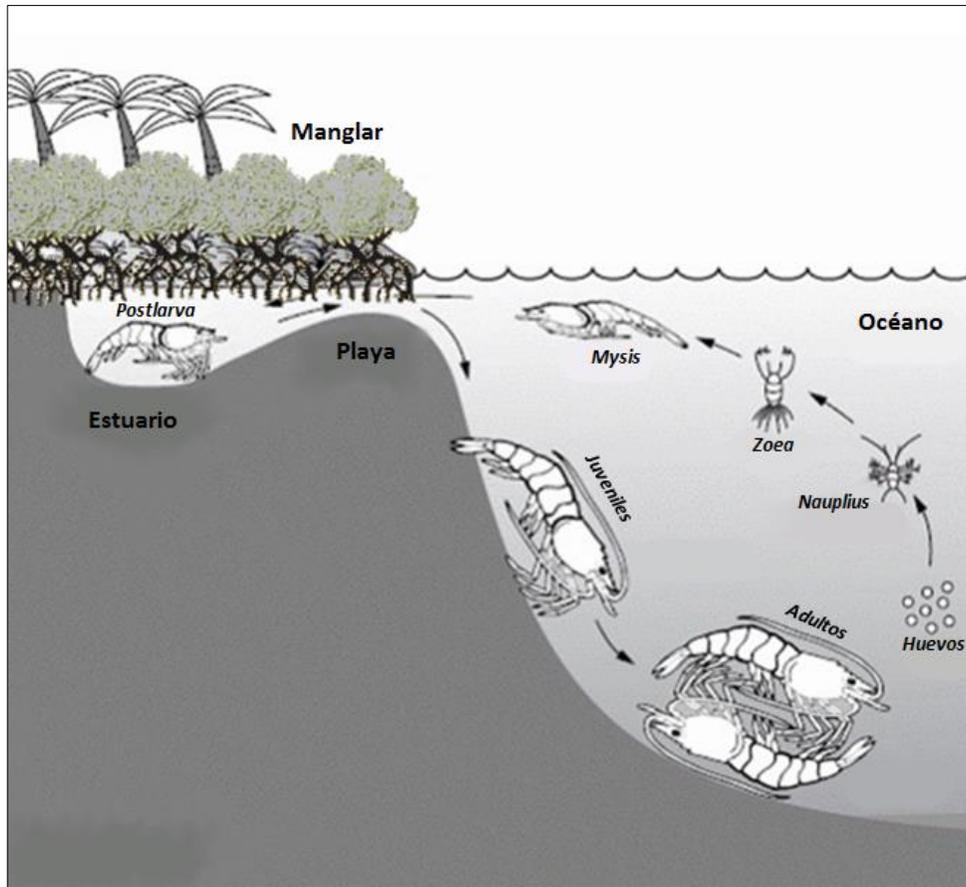


Figura 5. Ciclo de vida de los camarones Penaeidos, tomado de:  
[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/affris/img/monoF4.jpg](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/affris/img/monoF4.jpg).

El camarón rosado (*P. notialis*) presenta dimorfismo sexual, las hembras se diferencian de los machos por tener una estructura denominada thelycum (télico), que es una modificación de la parte ventral del cefalotórax a la altura del 3°, 4° y 5° par de pereiópodos. Las coxas de estos dos últimos pares de apéndices están mucho más separadas que el resto, en esta estructura es donde el macho deposita su espermatóforo. En los machos se presenta una estructura denominada petasma, que es una modificación de los endopoditos del primer par de pleópodos, ambos se unen por un borde interno membranoso que tiene una serie de estructuras quitinosas, dando la impresión de un cierre relámpago. En animales pequeños, si bien existe esta estructura los endopoditos, pueden estar separados (Fischer, *et al.* 1995).

Para administrar responsablemente una pesquería se debe entender la estructura espacial de la población, distribución del esfuerzo de pesca, parámetros de crecimiento y mortalidad, lo cual es vital para diseñar regulaciones de manejo en pesquerías donde se extraen diferencialmente múltiples stocks y existe conflicto de aprovechamiento sostenible (artesanal e industrial) (Sparre & Venema, 1995).

Es el momento oportuno para la realización de esta investigación y poder hacer las recomendaciones de manejo a tiempo, que le permitan al estado colombiano tomar las medidas de administración adecuadas para un aprovechamiento sostenible de esta actividad pesquera. Los estudios biológicos y pesqueros, independientes de la pesquería, permitirán determinar la biomasa disponible, el Rendimiento Máximo Sostenible - RMS, el esfuerzo óptimo y la estructura poblacional de la especie en el área de distribución para permitir un manejo adecuado por parte del gobierno colombiano.

### **3 Metodología**

#### **3.1 Área de estudio y diseño de muestreo**

El área de estudio comprendió el Caribe colombiano, desde Puerto Estrella en la Guajira, límites con Venezuela, hasta el Golfo de Urabá en límites con Panamá y hasta el veril de profundidad de los 100 metros, considerando las diferentes características de la plataforma continental (Pacheco, *et al.* 2010).

De acuerdo con un estudio de morfometría se encontró un solo stock pesquero de *P. notialis* en el Caribe colombiano (Paramo & Saint-Paul, 2010), Sin embargo, en un estudio genético reciente se encontró que en el Caribe colombiano existen tres poblaciones superpuestas de *P. notialis* que están distribuidas a lo largo de toda la costa (Atencia-Galindo, *et al.* 2021), siendo muy difícil la separación en las capturas, por lo que las muestras fueron analizadas como un solo stock. Los muestreos se realizaron mensualmente de las faenas de pesca a bordo y del crucero de

prospección pesquera, en la misma embarcación, para contar con el esfuerzo de pesca estandarizado. Para la determinación de los parámetros biológicos (de crecimiento, mortalidad y madurez) se requirió tener la estructura de tallas por sexos, la relación talla-peso y los estadios de madurez mensualmente. A partir del método de progresión modal y utilizando la estructura de tallas tanto mensuales del monitoreo como la estructura de tallas del crucero de prospección pesquera en todo el Caribe colombiano, se procedió a la determinación de los parámetros de crecimiento y a partir de los parámetros de crecimiento se determinaron los parámetros de mortalidad y tasas de explotación. Utilizando los parámetros biológicos, y elevando los datos de la captura en el muestreo a la captura total desembarcada en el año de trabajo, se pudieron utilizar los modelos analíticos estructurados por tallas para determinar el tamaño absoluto del stock y la mortalidad por pesca para cada grupo de tallas. Estos datos de salida del modelo de Jones se utilizaron como datos de entradas en el modelo de Thompsom y Bell para predecir la biomasa del stock y el Rendimiento Máximo Sostenible - RMS.

Durante el crucero de prospección pesquera sistemática, a lo largo de todo el Caribe colombiano (en toda el área de distribución de la especie en el Caribe colombiano), además de contar con la posición geográfica de cada lance, datos de estructura de tallas de *P. notialis*, se pudo contar con datos de captura de camarón por lance de pesca (Kilos), esfuerzo de pesca (en horas de arrastre y área barrida en kilómetros cuadrados) y datos biológicos y ambientales. Con todos los datos recolectados en el crucero de prospección pesquera y utilizando métodos geoestadísticos, se estimó la biomasa en tiempo real de la especie, como la estructura espacial y a partir de estos se pudo estimar el Rendimiento Máximo Sostenible para hacer las recomendaciones de manejo.

A partir de las abundancias de la especie *P. notialis*, estimadas en kilos capturados por hora de arrastre en toda el área de estudio y con la información de parámetros ambientales por cada sitio de muestreo (salinidad, temperatura, profundidad y

distancia de costa) se estableció la relación de los patrones de distribución en función de los parámetros ambientales.

### 3.2 Muestreo mensual a bordo de barco camaronero

Se realizó un monitoreo mensual durante 1 año (junio de 2012 a mayo de 2013), en los sitios donde opera normalmente la flota camaronera en el Caribe colombiano, a bordo de la Motonave Adriatic, usando una red de arrastre camaronera con tamaño de malla al final del copo de 44.5 mm de nudo a nudo, (Figura 6). Se realizaron en total 141 estaciones de muestreo. Para la evaluación de los fondos arrastrables se usó un ecosonda FURUNO FCV 1150 y un transductor de 28 KHz. La duración aproximada de cada arrastre comercial fue de 4 horas, en los cuales se tomaron datos de hora inicial y final de cada lance, posición inicial y final de cada lance, usando para ello un GPS marca Garmin GPSmap76CSx, profundidad inicial y final del lance y distancia de costa. También se anotó la captura total del lance, la captura total de la especie objetivo (Longitud Total - LT, Longitud Cola- Lc, Longitud Cefalotórax – LC, Peso total - PT, peso cola -Pc y estadio de madurez macroscópica). De cada lance exitoso se tomó una muestra de aproximadamente dos kilos y medio, unos 50 individuos, siendo este el tamaño mínimo de la muestra. Los individuos colectados, fueron separados, identificados, conservados con bisulfito de sodio y guardados en bolsas debidamente rotuladas para su análisis en laboratorio del Centro de Desarrollo Pesquero y Acuícola en Taganga de la Universidad del Magdalena.

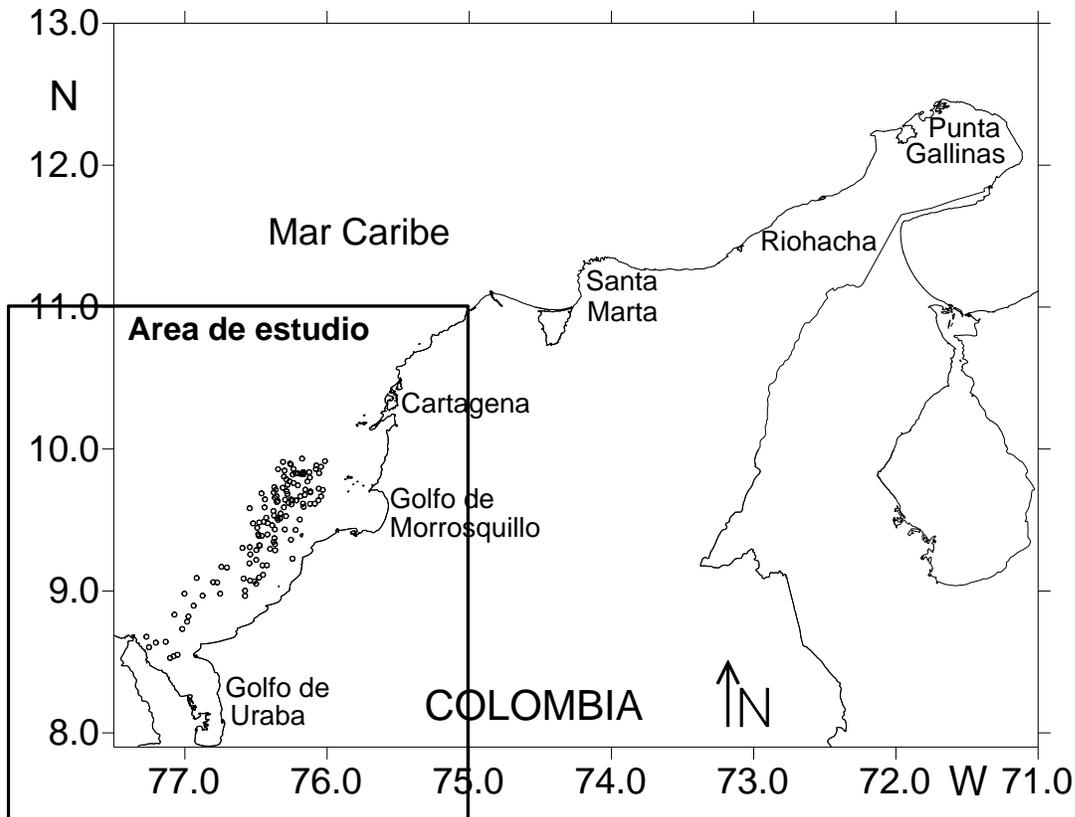


Figura 6. Área de estudio y estaciones de muestreo durante el monitoreo mensual. Fuente: Grupo CITEPT (Centro de Investigación y Tecnologías Pesqueras Tropicales).

### 3.3 Muestreo a bordo del crucero de prospección pesquera.

Durante este crucero de prospección pesquera, en todo el Caribe colombiano en el mes de septiembre de 2013 durante 25 días, a bordo de la misma embarcación camaronera (Motonave Adriatic) (Figura 7), se realizaron un total de 64 estaciones de muestreo, para lo cual se procedió a la localización del fondo arrastrable, utilizando para ello un ecosonda comercial FURUNO FCV 1150, con transductor de 28 kHz. Una vez ubicado el sitio se procedió al arrastre estandarizado a 60 minutos y se estimó la distancia arrastrada por la red a través de un GPS Garmin MAP 76CSx. De igual manera se tomaron datos de hora inicial y final de cada lance, posición inicial y final de cada lance, profundidad inicial y final del lance y distancia de costa, datos de captura total del lance, captura total de la especie objetivo (Longitud Total, Longitud Cola, Peso Total, Peso cola y estadio de madurez

macroscópica). De cada lance exitoso se tomó una muestra de aproximadamente dos kilos y medio, estos fueron separados, identificados, conservados con bisulfito de sodio y guardados en bolsas debidamente rotuladas para su análisis en laboratorio

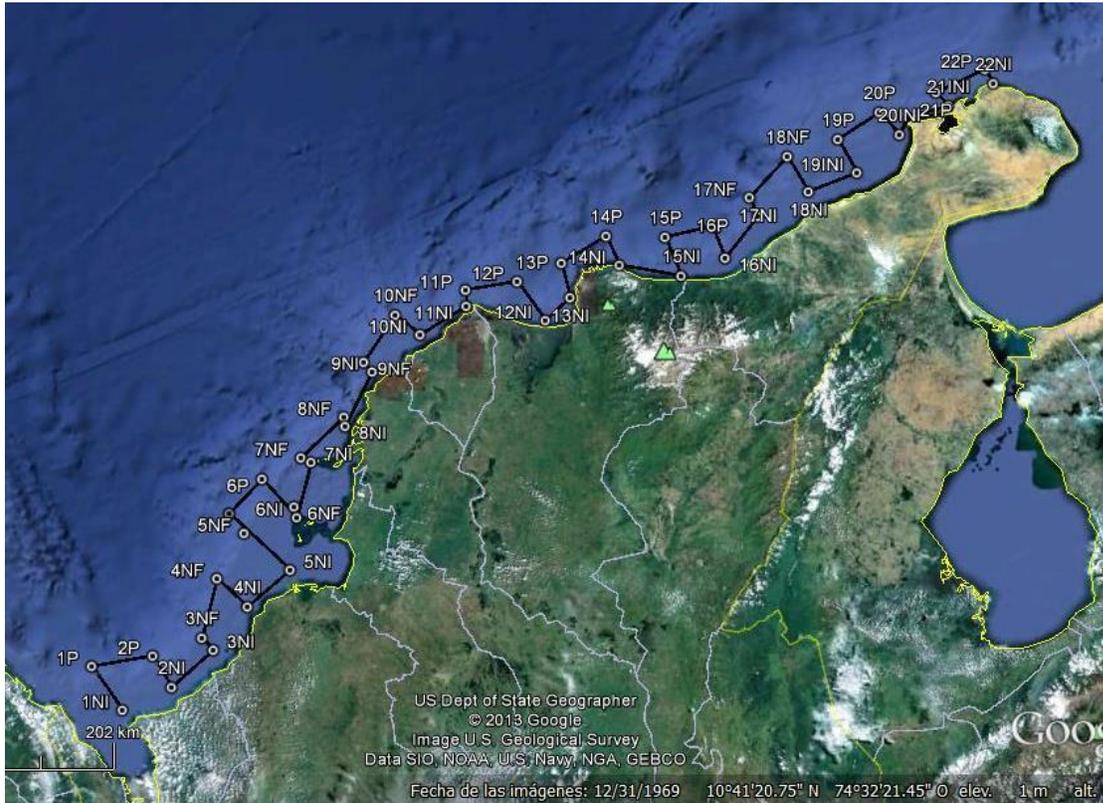


Figura 7. Área de estudio y trayecto del crucero de prospección pesquera del muestreo sistemático en el Caribe colombiano, adaptado de (Paramo, *et al.* 2010).

### 3.4 Procesamiento de las muestras en el laboratorio

En el laboratorio se procedió a realizar, a cada individuo de camarón separado por sexo (machos o hembras), todas las mediciones de tallas en milímetros, utilizando para ello un calibrador digital de 12" UPM (módulo de presión universal) con precisión de 0.001 mm, de igual manera se tomaron los pesos en gramos, utilizando una balanza analítica marca Ohaus Pioneer de precisión de 0.1 miligramos. A cada individuo de camarón se le midió la longitud total (tomada desde la punta del rostro hasta la punta del telson), longitud cola (tomada desde el primer somite abdominal

hasta la punta del telson), peso total y peso cola. Para cada uno de los individuos de camarón se procedió a determinar el estadio de madurez gonadal macroscópico, de acuerdo con la tabla propuesta por Pérez y Paramo (2014).

### 3.5 Determinación de la estructura de tallas

Para la determinación de la estructura de tallas, se procedió a realizar la separación de los datos de tallas por cada uno de los lances, tanto de los monitoreos mensuales durante junio de 2012 a mayo de 2013, como los del crucero de investigación realizado en septiembre de 2013. En el caso del monitoreo, se separaron los datos de tallas para cada uno de los sexos (machos y hembras) por mes de muestreo, agrupando todos los lances de esa faena mensual para un total de 12 estructuras de tallas para machos y 12 estructuras de tallas para hembras, así como el consolidado de todos los meses de estructura de tallas para machos y hembras. En el caso del crucero de investigación, se mantuvieron todos los lances en un solo análisis, separados por sexos. Para la construcción de los histogramas de frecuencia, se procedió a manejar intervalos de 5 milímetros, partiendo del dato de talla más pequeño hasta el más grande y agrupando de acuerdo con el número de individuos dentro de cada intervalo de tallas, para convertirlo a porcentaje, de acuerdo con el número total de individuos de cada mes del monitoreo y del total de los datos del crucero de investigación.

Las diferencias de tamaño y peso entre hembras y machos se analizaron mediante la prueba no paramétrica U Mann-Whitney (Gotelli & Ellison, 2004). Las distribuciones de frecuencia de tallas para hembras y machos permitieron calcular la proporción de sexos por clase de tamaño mensualmente (para cada intervalo de 5 mm de longitud). Se realizó una prueba de ji 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.

### 3.6 Determinación de la relación Longitud – Peso

Para la determinación de la relación longitud – peso se partió de la función matemática establecida para la mayoría de los organismos así:

$$W_i = a * L_i^b$$

Con el fin de poder determinar los parámetros de factor de condición  $a$  y el parámetro de isometría  $b$ , se procede a la linealización de la función para llevarla a una ecuación de la recta, tipo  $Y = a + b * X$ , para lo cual se procedió a utilizar la aplicación de logaritmos naturales a ambos lados de la ecuación así:

$$Y = a + b * X$$

$$\ln W_i = \ln a + b * \ln L_i$$

Donde la variable dependiente  $Y$  corresponde al logaritmo natural del peso en gramos ( $\ln W_i$ ) y la variable independiente  $X$  corresponde al logaritmo natural de la longitud en milímetros  $\ln L_i$ . Una vez se tuvieron los logaritmos naturales del peso en gramos y la talla en milímetros de cada individuo, se realizó la regresión lineal, obteniendo la pendiente  $b$  que corresponde al parámetro de isometría y para obtener el factor de condición  $a$  se procedió a sacar el exponencial del valor de la constante de la regresión ( $\ln a$ ) así ( $a = e^{(\ln a)}$ ).

Para la determinación de los límites de confianza del 95% tanto para el factor de condición  $a$ , como el parámetro de isometría  $b$ , se requirió la utilización de la varianza ( $S^2$ ) para obtener la desviación estándar ( $S$ ) y el valor de probabilidad de la tabla t-student con  $(n - 2)$  grados de libertad así:

$$a - S_a * t_{(n-2)} ; a + S_a * t_{(n-2)}$$

$$b - S_b * t_{(n-2)} ; b + S_b * t_{(n-2)}$$

Con el fin de poder determinar si el crecimiento de la especie *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis* es de tipo isométrico (parámetro de isometría estadísticamente igual a  $b = 3$ ), se realizaron las pruebas de hipótesis al nivel de significancia del 95% así:

$$H_0 : b = 3$$

$$H_1 : b \neq 3$$

Siendo aceptada la hipótesis nula de crecimiento isométrico cuando la probabilidad  $P > 0.05$ , de lo contrario, cuando  $P \leq 0.05$ , se acepta la hipótesis alterna de crecimiento alométrico. De igual manera se utilizó el coeficiente de determinación  $r^2$  para calcular la bondad de ajuste de la relación de las variables (Zar, 2009).

### 3.7 Determinación del factor de condición

Con el fin de poder evaluar el comportamiento del factor de condición de *P. notialis* de machos y hembras en relación con los meses de muestreo, se utilizó el factor de Fulton ( $K$ ) que expresa el crecimiento somático de la especie así:

$$K = \frac{\bar{W}}{\bar{L}^b} * 1000 \left( \frac{\text{gramos}}{\text{mm}} \right)$$

Donde:

$K$  = Factor de condición de Fulton

$\bar{W}$  = Peso promedio

$\bar{L}$  = Longitud promedio

$b$  = Parámetro de alometría.

### 3.8 Determinación de los estadios de madurez

Para la descripción macroscópica de los estados de madurez se separaron las hembras y machos de la especie *P. notialis* y se determinó la madurez gonadal macroscópica de manera visual in situ de las hembras y machos de camarón de acuerdo con (Paramo & Saint-Paul, 2010; Paramo, *et al.* 2014; Pérez & Paramo, 2014), siendo para las hembras la escala así:

- I) Ovarios inmaduros, translúcidos,
- II) En desarrollo, ovarios opacos,
- III) Casi maduros, ovarios de color amarillo anaranjado,
- IV) Maduros, ovarios agrandados en color verde oliva y algunas veces marrón, y
- V) Ovarios engendrados, vacíos

### 3.9 Determinación de la talla media de madurez

Las etapas I y II se consideraron como inmaduros y las etapas III, IV y V como maduros (Paramo y Saint-Paul, 2010). La proporción de madurez en longitud ( $P(l)$ ) se modeló ajustando la función logística de una proporción del espécimen maduro con 5 mm de intervalo de tamaño de LT. La curva se ajustó por minimización de mínimos cuadrados utilizando una regresión no lineal para obtener los parámetros estimados y  $LT_{50\%}$ .

$$P(l) = \frac{1}{1 + e^{(\alpha + \beta * LT)}}$$

Donde,  $P(l)$  es la proporción de hembras maduras a la longitud,  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros estimados y LT es la longitud total. El tamaño al 50% de la madurez se calculó entonces como  $LT_{50\%} = (-\alpha / \beta)$  (King, 2007).

Para evaluar las diferencias entre los sexos en las relaciones lineales, se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) a una vía, una vez evaluados los supuestos de homocedasticidad de las pendientes (Zar, 2009)

Los datos de captura de crustáceos en cada arrastre del crucero independiente de la pesquería se transformaron en biomasa (Kg/Km<sup>2</sup>). El área barrida por la red se estimó a partir de la abertura de la red y la velocidad de la embarcación (2.5 nudos) (Gunderson, 1993; King, 2007). Se determinó la relación Longitud Total (LT) vs Peso Total (PT) y se utilizó el coeficiente de correlación ( $r$ ) como índice de la fuerza de asociación lineal. La prueba de t-student fue usada para comprobar la hipótesis de isometría ( $b = 3$ ). Para evaluar las diferencias entre los sexos en las relaciones lineales se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) a una vía, una vez los supuestos de homocedasticidad de las pendientes (paralelismo) fueron encontrados con los datos transformados en logaritmo (Zar, 2009). Se calculó la proporción de individuos maduros e inmaduros mensualmente de *P. notialis* por sexo.

### 3.10 Determinación de los parámetros de crecimiento para machos, hembras y la especie de *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis*, a partir de los datos de monitoreo mensual y del crucero de prospección pesquera.

Para la determinación de los parámetros de crecimiento de *P. notialis*, se utilizó el programa FAO-ICLARM Stock Assessment Tools II – FiSAT II, versión 1.2.2. (Gayanilo, *et al.* 2005), mediante el análisis de progresiones modales de la estructura de tallas, utilizando el método de Bhattacharya's para la descomposición de las diferentes cohortes de cada una de las muestras mensuales de los camarones. De esta manera se obtuvo la talla media, la desviación estándar y el número de individuos de cada una de las cohortes, así como el índice de separación de las diferentes distribuciones normales. Una vez obtenidos los parámetros de las diferentes cohortes, se usó el programa NORMSEP, con el fin de ajustar por el método de máxima verosimilitud, las separaciones de estas cohortes, afinando los cálculos (Sparre & Venema, 1995; Quinn & Deriso, 1999; Haddon, 2011).

Mediante la técnica Linking of Means se hizo el seguimiento de las cohortes en el tiempo, ajustando la secuencia de las diferentes tallas medias de cada una de las distribuciones normales. Con el fin de obtener la estimación de la longitud asintótica  $L_{\infty}$ , se utilizó el ploteo de Powell-Wetherall mediante la curva de pseudo captura, una vez obtenida la longitud asintótica  $L_{\infty}$ , mediante el ploteo de Gulland and Holt, se estimó la constante de curvatura  $k$ . El parámetro  $t_0$  se estimó a partir de los parámetros  $L_{\infty}$  y  $k$ , pasando de edades relativas a edades absolutas (Sparre & Venema, 1995; Tresierra, *et al.* 1995).

De esta manera, se lograron ajustar los parámetros de crecimiento para machos, hembras y la especie a partir de los datos de estructura de tallas de los monitoreos mensuales tomados entre el mes de junio de 2012 y mayo de 2013. De igual manera, con los datos de estructura de tallas tomados en el crucero de prospección pesquera, durante el mes de septiembre de 2013 en todo el Caribe colombiano, se determinaron los parámetros de crecimiento para machos, hembras y la especie.

Con el fin de hacer la comparación de las diferentes curvas de crecimiento entre machos y hembras de *P. notialis* se utilizó el parámetro  $F_1$  prima.

3.11 Determinación de Mortalidad Total ( $Z$ ), Mortalidad Natural ( $M$ ), Mortalidad por pesca ( $F$ ) y Tasa de Explotación ( $E$ ) para machos, hembras y la especie de *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis*, a partir de los datos de monitoreo mensual y del crucero de prospección pesquera.

A partir de los parámetros de crecimiento, mediante las longitudes convertidas a curvas de captura, se estimó la mortalidad total  $Z$ . De la extrapolación de probabilidades y con la estimación de la mortalidad natural  $M$  (a partir de la fórmula empírica de Pauly), se obtuvo la mortalidad por pesca  $F$  y la tasa de Explotación  $E$  (Sparre & Venema, 1995).

3.12 Análisis de cohorte de Jones, basado en las tallas del camarón *P. notialis* de la costa Caribe colombiana.

Para hacer el análisis retrospectivo de la pesquería de camarones de aguas someras en el Caribe colombiano, a partir de los datos de capturas en los muestreos mensuales durante un año (junio de 2012 a mayo de 2013), se utilizaron las estructuras de tallas de la especie *P. notialis* del muestreo por rango de tallas, elevadas a la captura total desembarcada durante el periodo de estudio.

Para cada uno de los rangos de talla se obtuvo el total de individuos de la captura del periodo (2012 a 2013), que conjuntamente con los parámetros de crecimiento, (mortalidad por pesca, natural y total, tasas de explotación y los parámetros  $a$  y  $b$  de la relación talla – peso), obtenidos previamente, se utilizaron como entradas para el modelo de análisis de cohorte de Jones, con el fin de estimar a partir de la mortalidad por pesca terminal, las diferentes mortalidades por pesca para cada uno de los rangos de tallas y el número de individuos para el menor rango de tallas (número de reclutas).

Durante el procedimiento de los cálculos, los grupos de tallas se convierten en edades mediante la ecuación inversa de von Bertalanffy así:

$$t_{(L1)} = t_0 - \frac{1}{k} * \ln \left[ 1 - \frac{L_1}{L_\infty} \right]$$

Luego, a partir de la reorganización de esta ecuación se puede obtener el delta de edades a los respectivos rangos de tallas así:

$$\Delta t = t_{(L2)} - t_{(L1)} = \frac{1}{k} * \ln \left[ \frac{L_\infty - L_1}{L_\infty - L_2} \right]$$

Posteriormente se calcula el factor de mortalidad natural para cada uno de los rangos de tallas:

$$H_{(L1,L2)} = \left[ \frac{L_\infty - L_1}{L_\infty - L_2} \right]^{\frac{M}{2K}}$$

Para obtener la captura en cada uno de los rangos de talla usamos la ecuación:

$$C_{(L1,L2)} = N_{(L1)} * \frac{F}{Z} * [1 - e^{(-Z*\Delta t)}]$$

Cuando  $\Delta t$  tiende teóricamente a infinito en el grupo de mayor talla y las acumuladas,  $e^{(-Z*\Delta t)}$  tiende a "0" y la ecuación para estimar la captura queda así:

$$C_{(L1,\infty)} = N_{(L1)} * \frac{F}{Z} * [1 - 0]$$

Y simplificando tenemos que el número de sobrevivientes del último grupo (grupo plus) queda así:

$$N_{(L1)} = \frac{C_{(L1,\infty)}}{\frac{F}{Z}}$$

El número de sobrevivientes de los grupos de tallas penúltimo hasta el primero se calculan retrospectivamente de la siguiente manera:

$$N_{(L1)} = [N_{(L1)} * H_{(L1,L2)} + C_{(L1,L2)}] * H_{(L1,L2)}$$

Para la estimación de la tasa de explotación ( $\frac{F}{Z}$ ) del grupo plus, se parte de la F terminal y la mortalidad natural calculada en análisis previos y a partir del penúltimo hasta el primer grupo de tallas se calcula así:

$$\frac{F_{(L1,L2)}}{Z_{(L1,L2)}} = \frac{C_{(L1,L2)}}{[N_{(L1)} - N_{(L2)}]}$$

La tasa de mortalidad para cada uno de los grupos de tallas se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$F = M * \frac{\left(\frac{F_{(L1,L2)}}{Z_{(L1,L2)}}\right)}{\left(1 - \frac{F_{(L1,L2)}}{Z_{(L1,L2)}}\right)}$$

Y la mortalidad total igual a  $Z = F + M$ .

### 3.13 Análisis predictivo de Thompson y Bell basado en las tallas del camarón *Penaeus notialis* de la costa Caribe colombiana.

Durante el análisis de cohorte de Jones, basado en las tallas, obtuvimos la estimación del número de reclutas (número de individuos a la talla más pequeña), así como la mortalidad por pesca correspondiente a cada uno de los rangos de tallas. Con el fin de hacer el cálculo predictivo, nos basamos en los datos de salida del análisis de cohorte de Jones, utilizando el número de reclutas, la mortalidad por pesca (F) para cada rango de tallas, la fracción de mortalidad natural por rango de tallas, los parámetros de crecimiento, la relación talla – peso de la especie, el precio en dólares americanos por kilo de camarón por cada rango de tallas, el factor (X) de la mortalidad por pesca (F) y la estimación de la mortalidad natural (M), a partir de los parámetros de crecimiento de la especie.

Considerando los intervalos de tallas  $i = (L_i - L_{i+1})$ , la mortalidad total  $Z_i = M + X * F_i$ , siendo X un factor de la mortalidad por pesca que nos permite ver las diferentes variaciones del esfuerzo de pesca, que para nuestro caso se estableció desde 0,0 hasta 4, en que el valor de 0,0 nos dice que es lo que sucede cuando no hay un esfuerzo de pesca, pasando por 1,0 que es lo que sucede con el esfuerzo de pesca actual evaluado, hasta 4,0 que es cuando el esfuerzo se incrementa a tal nivel que podamos predecir los cambios en los rendimientos pesqueros, la biomasa y el valor económico total de producción pesquera.

Con el fin de calcular el número de peces para cada rango de tallas, partimos de la ecuación:

$$N_{(Li+1)} = N_{(Li)} * \frac{(1/H_i) - X * (F_i/Z_i)}{X_i - X * (F_i/Z_i)}$$

De donde;

$$H_{(i)} = \left[ \frac{L_{\infty} - L_{(i)}}{L_{\infty} - L_{(i+1)}} \right]^{\frac{M}{2K}}$$

A partir del número de individuos de camarones calculados para cada uno de los rangos de tallas, estimamos la captura por rango de tallas así:

$$C_{(i)} = [N_{Li} - N_{Li+1}] * X * F_i/Z_i$$

Para calcular el rendimiento en peso por grupo de tallas, la captura en número se debe convertir a peso, utilizando la relación talla peso de la especie así:

$$\bar{w} = q * [(L_i - L_{i+1})/2]^b$$

De esta manera el rendimiento por grupo de talla queda determinado por:

$$Y_i = C_i * \bar{w}_i$$

La valoración económica del rendimiento queda determinada por:

$$V_i = Y_i * \bar{v}_i$$

El número medio de sobrevivientes de  $N_{L1} - N_{L2}$  por cada grupo de tallas se calcula así:

$$\bar{N}_i * \Delta t_i = [N_{Li} - N_{Li+1}]/Z_i$$

De esta manera la estimación de la biomasa media multiplicada por el  $\Delta t_i$  es:

$$\bar{B}_i * \Delta t_i = \bar{N}_i * \Delta t_i * \bar{w}_i$$

Para la estimación del rendimiento anual, la biomasa anual y la valoración económica, se procede a la suma total de estos por cada uno de los rangos de talla así:

$$Y = \sum Y_i \quad V = \sum V_i \quad \text{y} \quad \bar{B} = \sum B_i * \Delta t_i$$

### 3.14 Estimación de la biomasa total a partir de la prospección pesquera

Para la estimación de la biomasa instantánea en todo el Caribe colombiano, se llevó a cabo un crucero de prospección pesquera con transeptos sistemáticos, paralelos entre sí y perpendiculares a la costa, con separación entre ellos de 10 millas náuticas (mn), desde la parte alta de La Guajira en frontera con Venezuela hasta el Golfo de Urabá en frontera con la república de Panamá, durante el mes de septiembre de 2014 en la motonave Adriatic en el que se realizaron 64 estaciones de muestreo a lo largo de toda la costa, considerando la profundidad máxima de 100 metros (Figura 8).

Para conocer los patrones de distribución de la variable Captura Por Unidad de Área – CPUA, se utilizó la geoestadística a partir de datos georreferenciados (Moral-García, 2004; Gallardo, 2006). Durante el desarrollo de este trabajo geoestadístico, se establecieron tres etapas: Análisis exploratorio de datos (que permitió conocer el comportamiento de los datos), análisis estructural (que nos permitió conocer la continuidad de los datos de la variable regionalizada) y predicciones, para las estimaciones de los puntos no muestreados (Isaaks & Srivastava, 1989). Mediante el semivariograma o variograma simple, el cual nos permitió expresar la información espacial de manera resumida (Cressie & Hawkins, 1980).

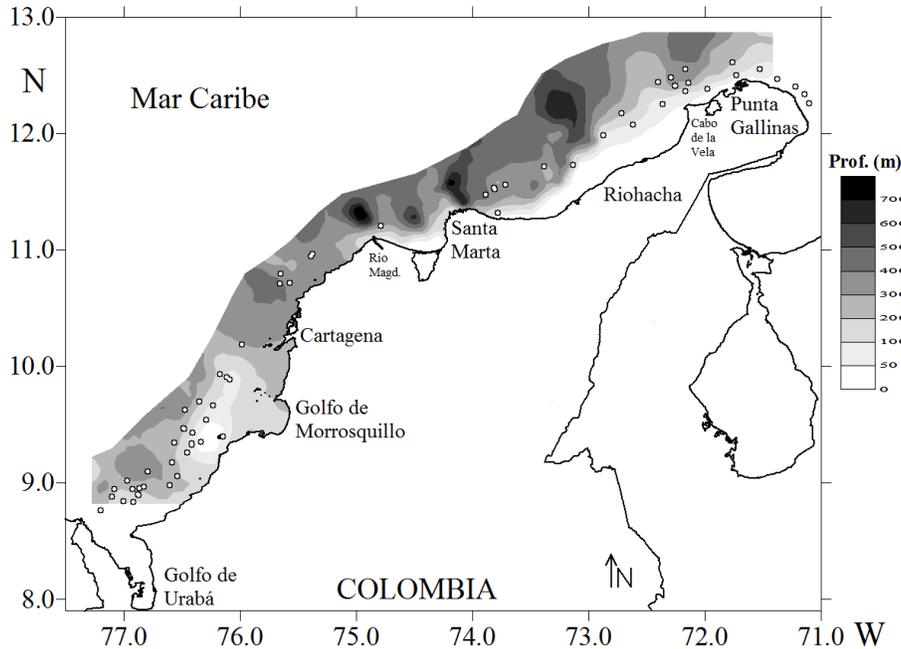


Figura 8. Puntos de muestreo y profundidades durante el crucero de prospección pesquera para el estudio del camarón de aguas someras (*Penaeus (Farfantepenaeus) notialis*) en el Caribe colombiano en el mes de septiembre de 2013.

### 3.14.1 Análisis exploratorio de los datos espaciales

Se inicio con la tabulación de los datos de la variable regionalizada Captura por Unidad de Área (kg/km<sup>2</sup>), en la que se revisó la distribución, el valor mínimo, máximo, recorrido entre otros. Posteriormente se hicieron los gráficos de la variable regionalizada en función de la posición geográfica para ver su ubicación en la zona de estudio, de igual manera se revisó la ubicación de la Captura Por Unidad de Área – CPUA, en función de la latitud y longitud al igual que se hizo la revisión de la frecuencia de distribución de la CPUA a través de un histograma de frecuencias.

### 3.14.2 Análisis geoestadístico a través del software “R”

Mediante la utilización del software estadístico “R” se hizo la programación y desarrollo de los comandos para correr el programa en función de los requerimientos de análisis. Se fueron haciendo todos los ajustes y variaciones en

los parámetros para probar diferentes distancias y ajustes en el proceso de encontrar el mejor y más apropiado modelo.

### 3.14.3 Modelación espacial

Una vez convertidos los datos de latitud y longitud a unidades universales mercator en kilómetros, se procedió a realizar los diferentes variogramas experimentales con los datos de la variable regionalizada, CPUA en kg/km<sup>2</sup>, probando varias distancias de separación de la variable, y diferentes tipos de estimadores (clásico y robusto), con el fin de encontrar el mejor variograma, para proceder a realizar los ajustes de los diferentes modelos de variogramas teóricos. Para los ajustes de los modelos teóricos de variogramas se trabajó con los modelos esférico, gaussiano y exponencial, encontrando los parámetros de nugget, sill y rango de cada uno de ellos, para poder determinar, a partir del menor valor del Cuadrado Medio del Error – CME, el variograma de modelo teórico más apropiado para este análisis.

Una vez se tuvieron los diferentes variogramas experimentales, se procedió a hacer el ajuste de los diferentes modelos teóricos de variogramas utilizamos las siguientes funciones:

Modelo esférico

$$\hat{\gamma}_{(h)} = C_o + C \left\{ \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right\} \text{ para } 0 < h \leq a$$

$$\hat{\gamma}_{(h)} = C_o + C \text{ para } h > a$$

Modelo exponencial

$$\hat{\gamma}_{(h)} = C_o + C \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{h}{a} \right) \right\}$$

Modelo gaussiano

$$\hat{\gamma}_{(h)} = C_o + C \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{h^2}{a^2} \right) \right\}$$

### 3.14.4 Interpolación por Kriging

A partir de los parámetros del mejor modelo de variograma teórico, se procedió a realizar la interpolación de la variable regionalizada CPUA en kg/km<sup>2</sup>, con el fin de estimar valores de la variable en una grilla dentro del área de estudio, con una continuidad tal como lo describió el modelo, para llegar posteriormente a la estimación de la biomasa del recurso camarón de aguas someras del Caribe colombiano.

La distribución espacial de la densidad se llevó a cabo utilizando el modelo geoestadístico (Rivoirard, *et al.* 2000; Paramo & Roa, 2003), teniendo como variable regionalizada la biomasa por estación de muestreo de *P. notialis* (Kg / Km<sup>2</sup>). El variograma experimental se define como la varianza de la diferencia entre valores que están separados por h unidades.

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

Donde  $\hat{\gamma}(\mathbf{h})$  es la semivarianza,  $\mathbf{h}$  es un vector de distancia y dirección,  $N(\mathbf{h})$  es el número de pares de observaciones a la distancia  $\mathbf{h}$  y dirección dada,  $z(x_i)$  es la densidad de los camarones (Kg / Km<sup>2</sup>) de *P. notialis* para el  $i$ th punto de datos. Finalmente, se utilizó el punto kriging ordinario para reproducir los procesos estocásticos en la región de interés, es decir, la densidad media dentro del área de distribución espacial (Isaaks & Srivastava, 1989; Cressie N. A., 1993). Para estimar la varianza de la densidad media de peces, se aplicó el método geoestadístico intrínseco, en el que la varianza depende de la geometría en el área de distribución espacial, el diseño de muestreo y la estructura del variograma (Rivoirard, *et al.* 2000). El análisis espacial se llevó a cabo en el software R (biblioteca geoR) (Ribeiro & Diggle, 2001).

Para la determinación del Cuadrado Medio del Error – CME, se procedió de la siguiente manera:

$$CME = MEP^2 + var_r$$

Donde:

$CME$  = Cuadrado Medio del Error

$MEP^2$  = Media del Error Ponderado

$var_r$  = Varianza

$$CME = \left( \frac{1}{v} \sum_{j=1}^v \{z_j^* - z_j\} \right)^2 + \frac{1}{v-1} \sum_{j=1}^v \{z_j^* - z_j\}^2$$

$v$  = Número total de observaciones.

$z_j^*$  = Valor estimado de la densidad en la ubicación  $j$  cuando el valor se ha eliminado del conjunto de datos.

$z_j$  = Valor observado de la densidad en la ubicación  $j$ .

Para determinar el porcentaje de la semivarianza no explicada se procedió de la siguiente manera:

$$\% Sill = \left[ \left[ 1 - \left( \frac{Sill}{Sill - Nugget} \right) \right] * 100 \right]$$

Donde:

$Sill$  = Parámetro del variograma que corresponde al valor máximo alcanzado de la semivarianza en el eje de las ordenadas.

$Nugget$  = Parámetro del variograma que corresponde al valor de la intersección con el eje de las ordenadas (semivarianza).

$\% Sill$  = Porcentaje de semivarianza no explicada.

### 3.15 Determinación de la estructura espacial de tallas del camarón rosado *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis* en el Caribe colombiano.

Utilizando la misma metodología geoestadística, pero en este caso con la variable regionalizada de tallas (longitud total en milímetros), tanto para hembras como para machos de *P. notialis*, se procedió a realizar el análisis exploratorio de los datos de acuerdo con la ubicación geográfica, para determinar su distribución, valor mínimo, máximo y recorrido, así como su frecuencia de distribución a través de histogramas de frecuencias. Se procedió a la construcción de los variogramas experimentales y utilizando los estimadores clásicos y robustos, se ajustaron los variogramas teóricos y a partir del Cuadrado Medio del Error se escogió el mejor variograma teórico con sus parámetros de nugget, sill y rango. Utilizando la validación cruzada, a partir de los parámetros del modelo de variograma teórico se estimó el mejor modelo a partir del CME más bajo. Posteriormente se procedió con la interpolación de la variable regionalizada (tallas) para estimar las densidades de distribución en el área de estudio, de acuerdo con los polígonos definidos y las grillas de trabajo establecidas (Paramo & Roa, 2003; Pacheco, *et al.* 2010).

### 3.16 Estimación del Rendimiento Máximo Sostenible

Para la estimación del Rendimiento Máximo Sostenible – RMS, se utilizó la fórmula de Cadima, teniendo en cuenta que se trata de una población pesquera explotada (Sparre & Venema, 1995). La fórmula utilizada para la estimación del RMS fue:

$$RMS = 0.5 * Z * B$$

Donde:

*RMS* = Rendimiento Máximo Sostenible

*Z* = Mortalidad total estimada a partir de la estructura de tallas

*B* = Biomasa instantánea, estimada en el crucero de prospección pesquera.

Constante de la formula = 0.5

Dado que metodológicamente se hizo la estimación de la biomasa para la zona sur y norte del caribe colombiano, y se puede determinar los límites de confianza, también se precedió a determinar el Rendimiento Máximo Sostenible – RMS, para cada una de las zonas y el rango de estimación.

Por otro lado, se logró determinar tanto la tasa de mortalidad total - Z, a partir de los datos del monitoreo mensual como a partir de los datos del crucero de prospección pesquera, por lo que se procede a la utilización del parámetro Z de ambas estimaciones para el cálculo del RMS.

### 3.17 Relación de la abundancia y tallas de camarón *P. notialis* con las variables de hábitat

#### 3.17.1 Relación de la abundancia (Kg / Km<sup>2</sup>) de Camarón de Aguas Someras con la profundidad

Para analizar la relación de la densidad de las Capturas Por Unidad de Área - CPUTA en (Kg / Km<sup>2</sup>) de Camarón de Aguas Someras en relación con la profundidad medida en metros, se tuvo en cuenta la posición de la latitud de cada uno de los valores de abundancia y dicha profundidad. Los valores de la CPUTA fueron transformados con logaritmos y ponderados por mínimos cuadrados para proceder a graficarlos, estableciendo una escala de concentración desde < -1 hasta > 3, con el fin de poder hacer una mejor interpretación del gráfico.

#### 3.17.2 Relación de la abundancia (Kg / Km<sup>2</sup>) de Camarón de Aguas Someras con la distancia de costa

Para analizar la relación de la densidad de las Capturas Por Unidad de Área - CPUTA en (Kg / Km<sup>2</sup>) de Camarón de Aguas Someras en relación con la distancia de costa medida en millas náuticas (mn), se tuvo en cuenta la posición de la latitud de cada uno de los valores de abundancia y la distancia de la costa. Los valores de la CPUTA fueron transformados con logaritmos y ponderados por mínimos cuadrados para

proceder a graficarlos, estableciendo una escala de concentración desde  $< 0$  hasta  $> 4$ , cubriendo así todo el rango de valores de la variable CPUA con el fin de poder hacer una mejor interpretación del gráfico.

### 3.17.3 Relación de la abundancia y la talla media de Camarón de Aguas Someras por sexo, con las variables temperatura, salinidad, profundidad y distancia de costa.

Se utilizó un método de frecuencia acumulativa (Perry & Smith, 1994), para evaluar la relación entre la densidad Captura Por Unidad de Área ( $\text{Kg} / \text{Km}^2$ ) y la longitud total (en milímetros) para hembras y machos de *P. notialis* con las variables de hábitat (temperatura, salinidad, distancia de la costa y profundidad). La temperatura y la salinidad se extrajeron para la profundidad de arrastre correspondiente, utilizando el ArcGIS 10.5 de un modelo de análisis y pronóstico global de alta resolución a escala global (Mercator PSY4V3R1, producto marino de Copernicus: ANÁLISIS GLOBAL PRONÓSTICO PHY 001 024). Este conjunto de datos, denominado reanálisis de CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service), se distribuyó en una resolución temporal y espacial diaria de 1/12 grados. Este nuevo análisis se basó en NEMO (Nucleus for European Modeling of the Ocean) con técnicas sofisticadas de asimilación de datos y la calidad se validó. (<http://cmems-resources.cls.fr/documents/PUM/CMEMS-GLO-PUM-001-024.pdf>) (Lellouche, *et al.* 2013). Primero, se calculó la Distribución de Frecuencia Acumulativa relativa (DFA) para cada una de las variables ambientales. Posteriormente, ponderamos la DFA para cada variable ambiental con la biomasa y tamaño de Captura Por Unidad de Área - CPUA. La comparación del DFA no ponderada de la variable ambiental con el DFA ponderado de la variable ambiental proporciona evidencia de si la población está asociada con la variable ambiental o no. Si la población se distribuye aleatoriamente en relación con la variable ambiental, las dos curvas no serán significativamente diferentes. En contraste, si la población está asociada con una variable ambiental específica, la pendiente del DFA ponderado debería ser más pronunciada que la de la variable ambiental no

ponderada (D'Amours, 1993; Paramo, *et al.* 2003). Por lo tanto, para determinar la significación estadística (valor P) de la diferencia entre las curvas, se calcularon las curvas de distancia vertical absoluta máxima, y se evaluó su probabilidad bajo la hipótesis de una relación aleatoria entre ambos DFAs mediante 2000 aleatorizaciones del remuestreo Monte Carlo para CPUA, longitud total (hembras y machos) y las variables de hábitat. Las DFA para las variables ambientales se calcularon de la siguiente manera:

$$f_{(t)} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n I(x_i)$$

Con la función indicadora

$$I(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{si } x_i \leq t, \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

Donde  $t$  representa un índice que va desde el valor más bajo hasta el valor más alto de la variable de hábitat, en un tamaño apropiado para la resolución deseada para relacionar las variables ambientales con la densidad de captura (Captura Por Unidad de Área – CPUA) y de tallas de camarones. Luego usamos la Distribución de Frecuencia Acumulada de la variable ambiental, multiplicada por la densidad de captura y tallas de camarones así:

$$g_{(t)} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\bar{y}} I(x_i)$$

Donde  $y_i$  es la variable de densidad de camarones específica en el conjunto  $i$  dentro del rango  $t$  de la variable ambiental y  $\bar{y}$  es la densidad media de camarones.

Para determinar la significancia estadística  $P$  de la diferencia entre las dos curvas del máximo de la distancia vertical absoluta entre  $f_{(t)}$  y  $g_{(t)}$  se utilizó la fórmula:

$$\text{Max } \Delta_t |g_{(t)} - f_{(t)}| = \text{Max } \Delta_t \left| \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i - \bar{y}}{\bar{y}} \right) I(x_i) \right|$$

Bajo la hipótesis de una relación aleatoria entre ambas Distribución de Frecuencia Acumulada.

#### 3.17.4 Relación de las tallas medias de la longitud total con los estratos de profundidad

Con el fin de poder hacer los análisis de las tallas medias de las longitudes totales de los camarones *P. notialis*, se procedió a separar la especie por sexos (hembras y machos). Como paso seguido se estimaron las estadísticas descriptivas por sexos de tallas medias de la longitud total para el total de hembras y machos (número total, media, valor mínimo, máximo y desviación estándar). Se establecieron los rangos de profundidades en cuatro estratos así:

- 0 – 20 metros de profundidad
- 20 – 40 metros de profundidad
- 40 – 60 metros de profundidad y de
- 60 – 80 metros de profundidad.

Para cada uno de los estratos de profundidad, tanto para hembras como para machos, se determinaron también las estadísticas descriptivas.

Se utilizó una prueba U de Mann-Whitney no paramétrica para probar las posibles diferencias entre los tamaños de los sexos, y una prueba de Kruskal-Wallis no paramétrica multimuestra para probar las diferencias de tamaño por sexo y estrato de profundidad (0-20, 20- 40, 40-60 y 60-80 m) (Gotelli & Ellison, 2004).

## 4 Resultados

### 4.1 Estructura de tallas

#### 4.1.1 Estructura de tallas y pesos de machos y hembras acumulados durante el año de monitoreo mensual (junio de 2012 a mayo de 2013).

El tamaño de las hembras de *P. notialis* osciló entre 79.47 y 192.80 mm LT ( $148.21 \pm 17.75$ ) y para los machos entre 79.00 y 181.83 mm LT ( $122.52$  mm,  $\pm 12.55$ ). El peso total osciló entre 4.38 y 69.06 gramos para hembras ( $29.08 \pm 2.88$ ) y entre 4.02 y 45.68 gramos para los machos ( $14.90 \pm 1.48$ ). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre los sexos para todo el año de muestreo (Figura 9).

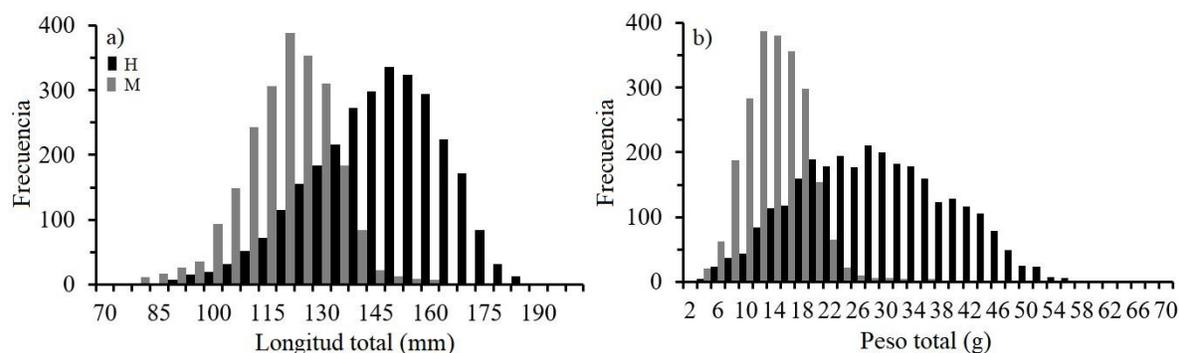


Figura 9. Distribuciones de frecuencia de a) longitud total (mm) y b) peso total (g) para hembras (H) y machos (M) de *P. notialis* en el monitoreo junio 2012 a mayo 2013 en el Caribe colombiano.

#### 4.1.2 Estructura de tallas para machos y hembras mensualmente, durante el monitoreo de junio de 2012 a mayo de 2013.

En la figura 10, se puede observar que las hembras a lo largo de todos los meses presentan una mayor proporción de individuos de mayores tallas que los machos de *P. notialis*.

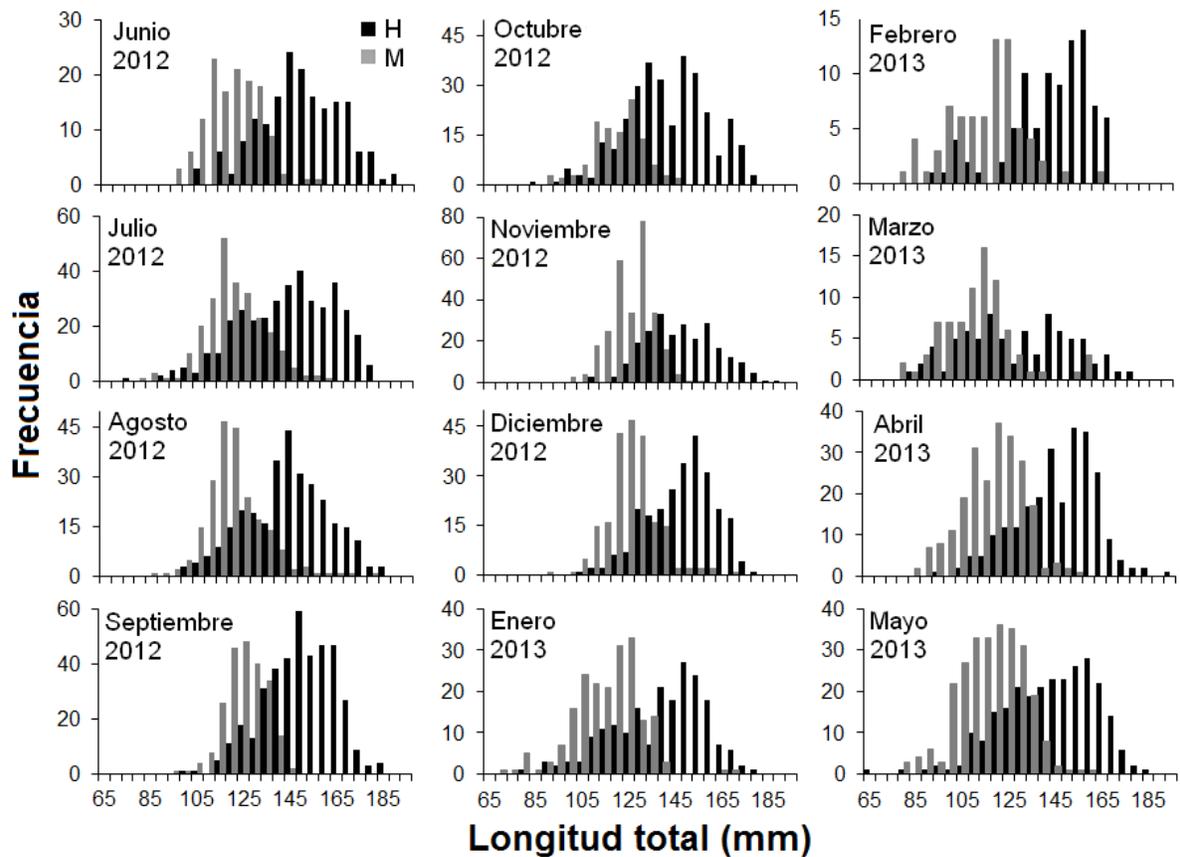


Figura 10. Histograma de frecuencia de tallas por sexos de los individuos de *P. notialis*, obtenidos durante los muestreos mensuales desde junio de 2012 hasta mayo de 2013.

Esta información se puede ver en los análisis estadísticos de la tabla 1, en la cual se tienen las estadísticas descriptivas y las pruebas estadísticas respectivas en la cual para cada uno de los meses la talla media de las hembras es mayor que la de los machos, es decir hay dimorfismo sexual ( $P= 0.00$ ).

Tabla 1. Estadística descriptiva mensual de la estructura de tallas (longitud total, LT en mm) de hembras y machos de *P. notialis*, durante el monitoreo.

Año	Mes	Sexo	N	Media	Min.	Max.	Desv.Est.	CV(%)	p
2012	Junio	H	178	152.152	105.150	187.680	17.125	11.255	0.000
		M	131	120.706	95.880	152.510	10.959	9.079	
	Julio	H	373	147.051	79.470	184.630	20.004	13.603	
		M	248	122.248	84.020	163.440	12.616	10.320	
	Agosto	H	301	147.184	101.450	187.670	17.613	11.967	
		M	218	122.851	88.410	181.830	12.889	10.492	
	Septiembre	H	399	152.466	102.640	188.150	14.828	9.725	
		M	224	127.663	99.700	147.700	8.657	6.781	
	Octubre	H	312	145.758	95.160	183.520	17.596	12.072	
		M	117	121.577	92.160	145.820	11.062	9.099	
	Noviembre	H	236	150.962	110.100	192.800	14.996	9.934	
		M	277	127.267	101.400	155.000	9.094	7.146	
Diciembre	H	251	150.812	109.600	182.600	13.959	9.256		
	M	210	127.473	90.200	172.000	10.622	8.333		
2013	Enero	H	202	142.435	82.390	182.160	19.515	13.701	
		M	194	117.490	79.000	142.940	13.230	11.261	
	Febrero	H	86	148.863	97.060	174.000	17.975	12.075	
		M	73	116.805	83.810	151.330	14.684	12.571	
	Marzo	H	78	134.860	88.260	180.510	23.196	17.200	
		M	79	115.048	80.500	161.540	15.039	13.072	
	Abril	H	245	149.917	98.040	185.830	16.308	10.878	
		M	224	120.647	85.360	158.990	13.322	11.042	
	Mayo	H	260	146.425	84.010	185.950	18.811	12.847	
		M	263	119.662	81.090	164.930	13.526	11.304	

#### 4.1.3 Estadística descriptiva de tallas, pesos y desviaciones estándar por sexos para cada uno de los meses de muestreo de junio de 2012 a mayo de 2013.

En todos los meses, las hembras fueron significativamente más grandes y pesadas que los machos ( $p = 0,000$ ). El tamaño medio de captura mensual de las hembras fue mayor entre junio y diciembre de 2012 (~ 150 mm de LT) y disminuyó en enero, marzo y mayo (~ 135mm de LT), mostrando diferencias significativas entre estos dos períodos (Tabla 1) ( $p = 0,000$ ). El tamaño de captura mensual promedio de machos aumentó de junio a septiembre de 2012 (~ 127 mm de LT) y disminuyó de enero a marzo de 2013 (~ 115 mm de LT), mostrando diferencias significativas entre los meses de muestreo ( $p = 0,000$ ) (Tabla 1).

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de la longitud total (LT, mm) y peso total (PT, g) para hembras (H) y machos (M) de *P. notialis* en el Caribe colombiano.

Sexo	Año	Mes	n	LT (mm)				WT (g)			
				Min.	Max.	Media	DE	Min.	Max.	Media	DE
H	2012	Junio	178	105.150	187.680	152.152	17.125	8.730	56.900	30.020	11.107
M			131	95.880	152.510	120.706	10.959	5.010	22.500	13.301	3.635
H	2012	Julio	373	79.470	184.630	147.051	20.004	6.340	57.570	28.297	11.405
M			248	84.020	163.440	122.248	12.616	4.650	37.550	14.468	5.038
H	2012	Agosto	301	101.450	187.670	147.184	17.613	7.400	61.230	27.888	10.674
M			218	88.410	181.830	122.851	12.889	4.900	45.680	14.559	5.389
H	2012	Septiembre	399	102.640	188.150	152.466	14.828	7.780	69.060	32.518	9.928
M			224	99.700	147.700	127.663	8.657	7.050	25.240	16.826	3.544
H	2012	Octubre	312	95.160	183.520	145.758	17.596	7.100	55.260	27.593	9.936
M			117	92.160	145.820	121.577	11.062	6.370	22.830	14.423	3.242
H	2012	Noviembre	236	110.100	192.800	150.962	14.996	10.870	59.700	31.375	9.795
M			277	101.400	155.000	127.267	9.094	8.080	33.890	17.229	3.452
H	2012	Diciembre	251	109.600	182.600	150.812	13.959	10.700	52.570	31.884	8.735
M			210	90.200	172.000	127.473	10.622	6.720	43.510	16.950	4.307
H	2013	Enero	202	82.390	182.160	142.435	19.515	4.380	53.590	27.063	10.777
M			194	79.000	142.940	117.490	13.230	4.020	22.750	13.244	4.104
H	2013	Febrero	86	97.060	174.000	148.863	17.975	7.510	47.180	28.839	9.314
M			73	83.810	151.330	116.805	14.684	5.480	27.160	14.264	4.076
H	2013	Marzo	78	88.260	180.510	134.860	23.196	5.310	53.200	22.012	11.019
M			79	80.500	161.540	115.048	15.039	6.010	40.750	12.919	5.427
H	2013	Abril	245	98.040	185.830	149.917	16.308	9.590	54.470	31.655	10.228
M			224	85.360	158.990	120.647	13.322	5.320	37.170	15.588	4.871
H	2013	Mayo	260	84.010	185.950	146.425	18.811	5.240	53.430	29.811	11.005
M			263	81.090	164.930	119.662	13.526	5.350	41.240	14.988	5.158

#### 4.1.4 Estructura de tallas y estadísticas descriptiva para hembras y machos de *P. notialis* de los datos del crucero

En la figura 11 se puede apreciar que, si bien se obtienen en las capturas del crucero, tallas más pequeñas que en los monitoreos mensuales (46.36 mm para hembras y 44.86 mm para machos), las hembras alcanzan tallas más grandes que los machos (figura 11, tabla 3)

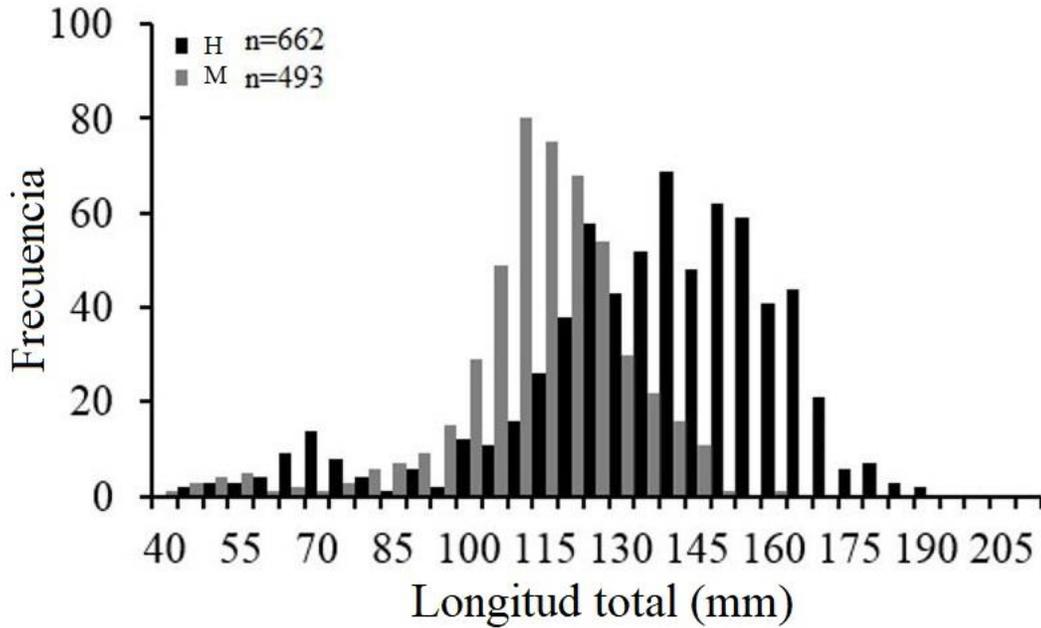


Figura 11. Estructura de tallas para hembras y machos de *P. notialis* de los datos del crucero de prospección pesquera.

Por otro lado, también para los datos del crucero se comprueba que existe diferencia significativa de tallas entre machos y hembras, siendo las hebras las que alcanzan mayores tallas (191.86 mm en hembras y 163.87 mm en machos), como se aprecia en la tabla 3.

Tabla 3. Estadística descriptiva para los datos de tallas totales de hembras (H) y machos (M) de *P. notialis* de los datos del monitoreo y crucero de prospección pesquera.

	Sexos	N	LT Media	Minima	Maxima	Desv. Estan.	C.V.	P
<b>MONITOREO</b>	H	2921	148.21	79.47	192.80	4.92	3.32	< 0.010
	M	2258	122.52	79.00	181.83	4.19	3.42	
<b>CRUCERO</b>	H	674	137.79	46.36	191.86	26.50	19.23	0.000
	M	493	115.86	44.86	163.87	17.60	15.19	

#### 4.1.5 Proporción de sexos por rango de tallas y para cada mes de muestreo de junio de 2012 a mayo de 2013.

La proporción de sexos mostró diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre el número total de hembras y machos por clase de longitud total en comparación con un 50%

de la proporción sexual (Fig. 12a). Sin embargo, al comienzo del rango de clase de tamaño (70-75 mm TL) y en el rango de clase de 130-135 mm LT no hubo diferencias significativas ( $p = 0.572$ ). En el rango de clase de 75-130 mm LT, la proporción sexual fue inferior al 40% a favor de los machos. Sin embargo, desde el rango de clase de 135-140 mm LT, la proporción sexual fue superior al 76%, superando el 90% en las clases mayores a 140 mm LT, favoreciendo a las hembras (Figura 12a).

La proporción de sexos mensual mostró diferencias significativas entre el número de hembras y machos ( $p = 0.047$ ) (Fig. 12b). Sin embargo, durante los meses entre junio y octubre, la proporción sexual fue mayor al 58%, con una mayor proporción de hembras que de machos ( $p = 0,001$ ). Sin embargo, de noviembre a mayo, la proporción de sexos fue la misma para hembras y machos ( $p = 0,978$ ) (Figura 12b) (Ramírez & Paramo, 2020).

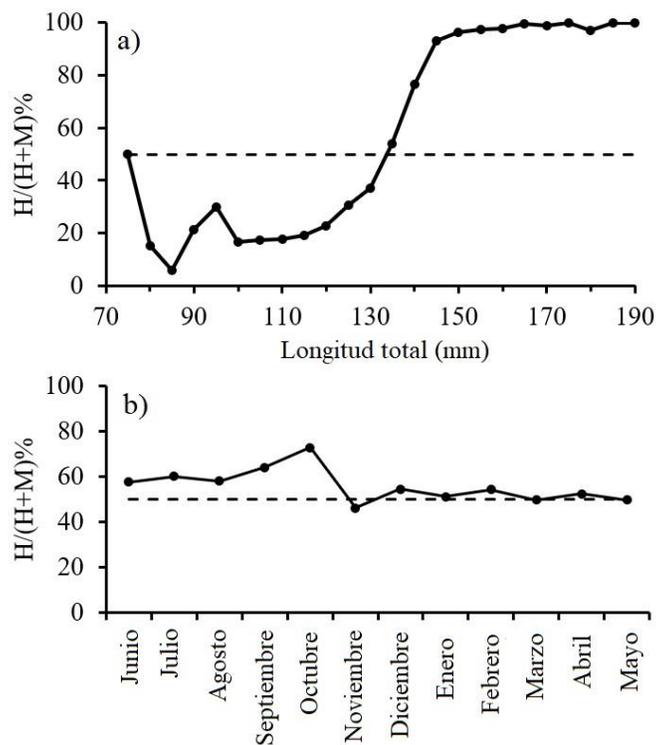


Figura 12. Proporción de sexos a) por clase de tallas y b) mensual, para *P. notialis* en el Caribe colombiano.

## 4.2 Relación talla – peso

### 4.2.1 Relación Longitud Total (LT) – Peso Total (PT) para machos y hembras y para la especie y el consolidado durante los meses de muestreo de junio de 2012 a mayo de 2013 y del crucero de prospección pesquera de septiembre de 2014.

La variación en el monitoreo mensual en el tipo de crecimiento en las hembras mostró un crecimiento alométrico positivo ( $b > 3$ ,  $p < 0.01$ ) en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y enero, pero un crecimiento alométrico negativo ( $b < 3$ ,  $p < 0.05$ ) solo en diciembre. En los meses de octubre, noviembre, febrero, marzo, abril y mayo, el crecimiento fue isométrico para las hembras ( $b = 3$ ,  $p > 0.05$ ). En los machos el crecimiento fue isométrico ( $b = 3$ ,  $p > 0.05$ ) entre junio y septiembre. Sin embargo, el crecimiento fue alométrico negativo entre octubre y mayo ( $b < 3$ ,  $p < 0.01$ ) (Tabla 4).

Los modelos que describen la relación entre la Longitud Total vs el Peso Total, tanto en los datos del monitoreo como en los del crucero, para hembras y machos, fueron significativos ( $p < 0.05$ ) y la variabilidad del peso se explica en el 89% y 95% por la longitud en ambos sexos para los análisis del monitoreo mensual como para el análisis de los datos del crucero de prospección respectivamente. En las hembras, el crecimiento fue isométrico ( $p > 0.05$ ), tanto en el monitoreo como en el crucero, mientras que en los machos el crecimiento fue alométrico negativo ( $p < 0.05$ ) (Tabla 5). ANCOVA mostró que hubo diferencias significativas entre los sexos en el parámetro  $b$  (pendiente) de la relación de la longitud y el peso (Tabla 5).

Tabla 4. Parámetros de la relación de talla-peso mensual en hembras y machos de *P. notialis*.

Sexo	Año	Mes	a	a (I.C. 95%)	b	b (I.C. 95%)	R <sup>2</sup>	t-test (b)	F (ANCOVA)	p (ANCOVA)
H	2012	Junio	0.000	0.000 - 0.000	<b>3.312</b>	3.173 - 3.452	0.925	0.000	7.745	0.006
M			0.000	0.000 - 0.000	2.800	2.564 - 3.036	0.809	0.096		
H	2012	Julio	0.000	0.000 - 0.000	<b>3.120</b>	3.050 - 3.191	0.953	0.001	55.360	0.000
M			0.000	0.000 - 0.000	3.107	2.999 - 3.214	0.929	0.051		
H	2012	Agosto	0.000	0.000 - 0.000	<b>3.335</b>	3.258 - 3.413	0.960	0.000	21.173	0.000
M			0.000	0.000 - 0.000	2.964	2.823 - 3.105	0.888	0.615		
H	2012	Septiembre	0.000	0.000 - 0.000	<b>3.222</b>	3.150 - 3.294	0.951	0.000	75.992	0.000
M			0.000	0.000 - 0.000	2.950	2.788 - 3.113	0.852	0.547		
H	2012	Octubre	0.000	0.000 - 0.000	2.918	2.810 - 3.025	0.902	0.131	44.841	0.000
M			0.001	0.000 - 0.003	<b>2.008</b>	1.733 - 2.284	0.641	0.000		
H	2012	Noviembre	0.000	0.000 - 0.000	3.043	2.931 - 3.155	0.924	0.446	58.445	0.000
M			0.000	0.000 - 0.000	<b>2.411</b>	2.226 - 2.596	0.704	0.000		
H	2012	Diciembre	0.000	0.000 - 0.000	<b>2.826</b>	2.661 - 2.992	0.819	0.040	118.850	0.000
M			0.000	0.000 - 0.000	<b>2.404</b>	2.208 - 2.600	0.736	0.000		
H	2013	Enero	0.000	0.000 - 0.000	<b>3.183</b>	3.069 - 3.297	0.937	0.002	47.717	0.000
M			0.000	0.000 - 0.000	<b>2.778</b>	2.655 - 2.900	0.912	0.000		
H	2013	Febrero	0.000	0.000 - 0.000	2.808	2.603 - 3.013	0.897	0.066	8.248	0.005
M			0.002	0.000 - 0.011	<b>1.846</b>	1.490 - 2.201	0.595	0.000		
H	2013	Marzo	0.000	0.000 - 0.000	3.002	2.802 - 3.201	0.921	0.987	1.655	0.200
M			0.000	0.000 - 0.001	<b>2.323</b>	2.018 - 2.629	0.745	0.000		
H	2013	Abril	0.000	0.000 - 0.000	3.103	2.980 - 3.227	0.909	0.101	17.789	0.000
M			0.000	0.000 - 0.000	<b>2.686</b>	2.528 - 2.844	0.834	0.000		
H	2013	Mayo	0.000	0.000 - 0.000	3.061	2.948 - 3.174	0.917	0.289	29.099	0.000
M			0.000	0.000 - 0.000	<b>2.602</b>	2.420 - 2.784	0.751	0.000		

Tabla 5. Relación Longitud Total – Peso Total, para machos y hembras y para la especie durante el muestreo y el crucero de prospección pesquera.

Muestreo	Sexo	n	a	a (IC 95%)	b	b (IC 95%)	r <sup>2</sup>	P (T-Student) Isometría	P (Ancova)	
	Especie	5176	0.00000646	0.00000560	0.00000740	3.053	3.02	3.08	0.89	0.000
Monitoreo	Machos	2244	0.00005181	0.00003946	0.00006802	2.613	2.56	2.67	0.78	0.000
	Hembras	2932	0.00000871	0.00000705	0.00000108	<b>3.000</b>	2.95	3.04	0.87	
	Especie	1149	0.00000919	0.00000753	0.00001123	<b>2.982</b>	2.94	3.02	0.95	0.219
Crucero	Machos	487	0.00002487	0.00001731	0.00003572	2.762	2.69	2.84	0.91	0.000
	Hembras	662	0.00000953	0.00000744	0.00001221	<b>2.981</b>	2.93	3.03	0.95	

En las figuras 13 y 14 se puede apreciar que el comportamiento de la relación Talla – Peso, tanto para los datos del monitoreo mensual entre 2012 – 2013 y en el crucero de prospección pesquera en septiembre de 2013, tienen un comportamiento similar, descrito por una relación de potencia, que tiene un mayor rango de tallas, que se ve claramente en el gráfico de los datos del crucero en el cual comienza a partir de los 46 mm de longitud total, mientras en el monitoreo las capturas de menores tallas estuvieron alrededor de los 78 mm de longitud total.

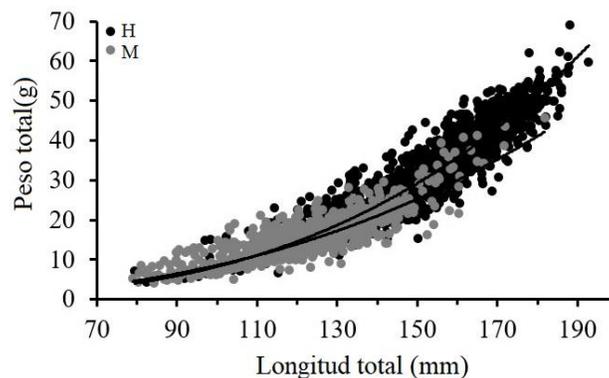


Figura 13. Relación entre la Longitud Total (mm) y el Peso Total (g) de hembras (H) en color negro y machos (M) en color gris para *P. notialis* entre 2012-2013 en el Caribe colombiano.

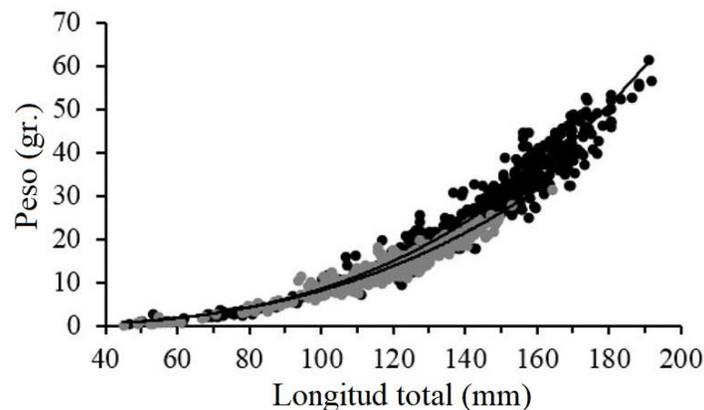


Figura 14. Relación de la longitud total frente al peso total para hembras (negro) y machos (gris) del camarón rosado *P. notialis*. La línea continua indica el modelo ajustado para cada sexo a partir de los datos del crucero de prospección pesquera.

### 4.3 Factor de condición

#### 4.3.1 Determinación del factor de condición

El factor de condición (K) calculado para las hembras varió de 0.0002 a 0.0023 (media =  $0.0009 \pm 0.0007$ ) y para los machos varió de 0.0005 a 0.2179 (media =  $0.0316 \pm 0.0642$ ). El factor de condición en las hembras aumentó en octubre, noviembre, diciembre y febrero, mientras que en los machos aumentó en octubre y febrero (Figura 15).

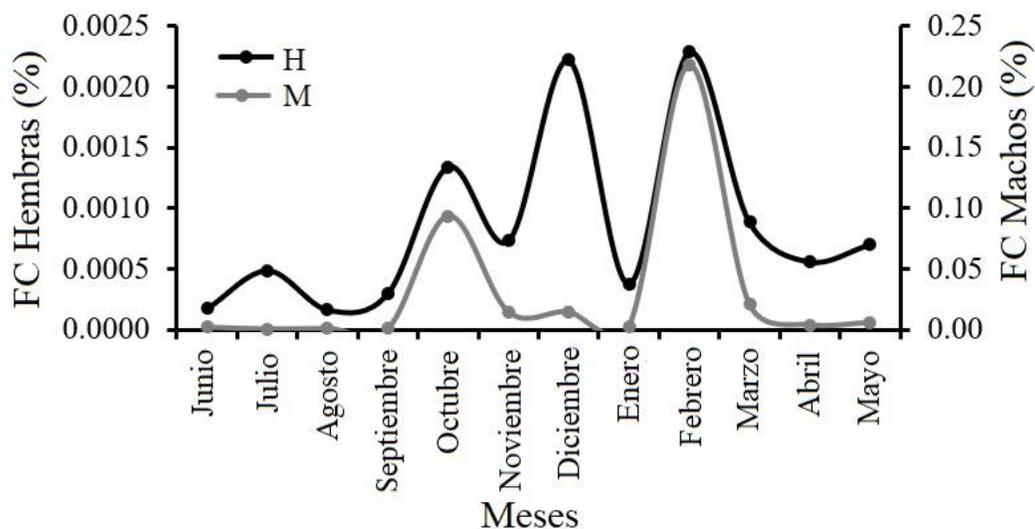


Figura 15. Factor de condición (K) para hembras y machos de *P. notialis*.

### 4.4 Madurez

#### 4.4.1 Estadios de madurez y determinación de la talla media de madurez

La frecuencia de individuos maduros se comienza a presentar de manera incipiente a partir de la talla (LT) 110 mm, siendo más significativos a partir de la longitud total 120 mm. Posterior a los 120 mm de longitud total, la proporción de individuos en estadio I comienza a disminuir, manteniéndose una porción baja de la población en

estadio II, que a partir de la longitud total 155 mm comienzan a desaparecer de las capturas (Figura 16).

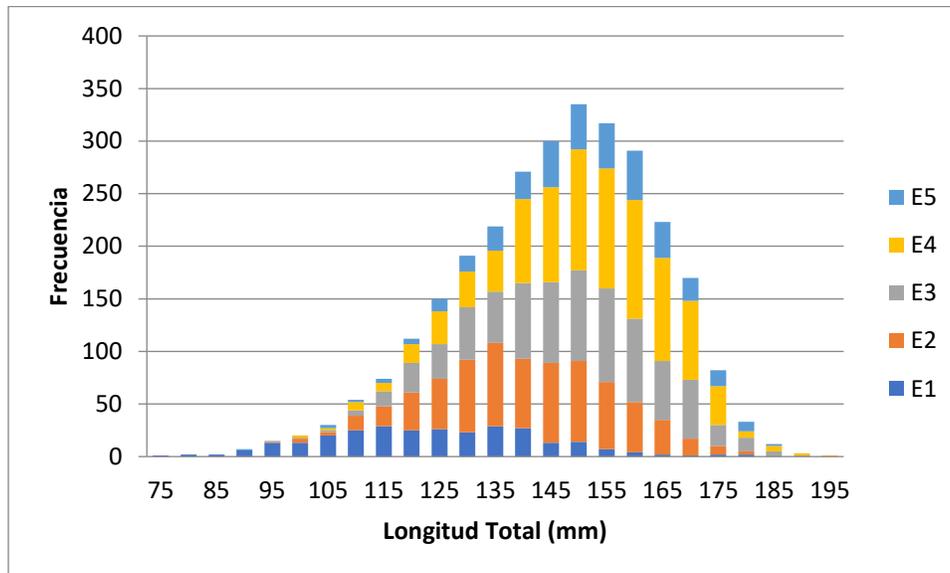


Figura 16. Estadios de madurez para hembras, en relación con la longitud total de *F. notialis* a partir de los datos del monitoreo mensual junio 2012 a mayo 2013.

El análisis de los datos agrupados en inmaduros (estadios I y II) y maduros (estadios III, IV y V), muestra claramente como a partir de la talla 125 mm de longitud total, las proporciones entre maduros y maduros se hacen aproximadamente iguales y continúan haciéndose mayores los maduros en la medida que aumenta la talla (Figura 17). Se puede observar en la figura que la talla media de madurez para las hembras esta alrededor de 130 mm de longitud total y es coherente con la calculada a partir de la función logística, que es 129,34 mm (Paramo, *et al.* 2014). Los diferentes estadios macroscópicos de madurez gonadal de hembras de *F. notilis*, fueron validados con estudios histológicos para la determinación de estos de manera microscópica, siendo coincidentes y facilitando así que estos puedan ser evaluados a simple vista con la observación del desarrollo de la gonadal (Pérez y Paramo, 2014)

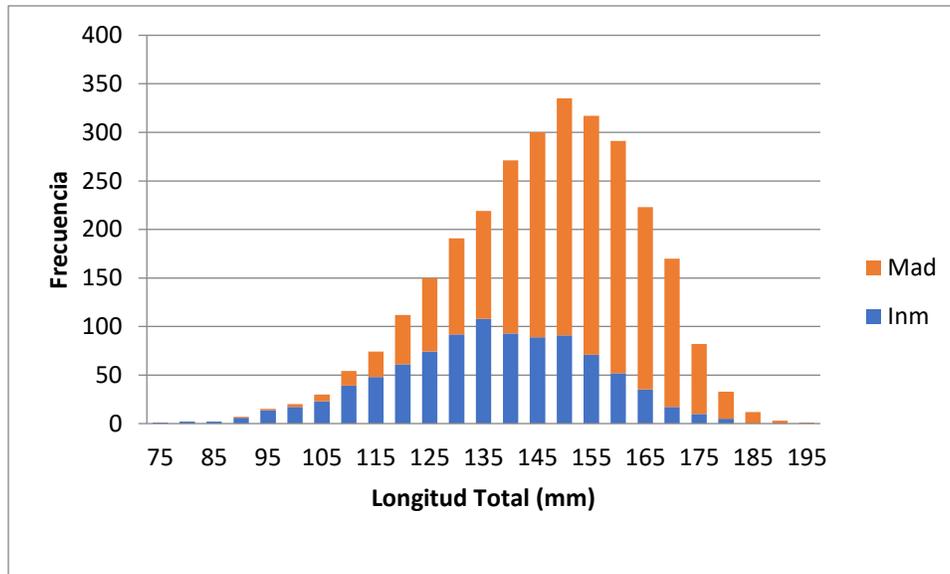


Figura 17. Estadios de madurez en hembras de *F. notialis*, agrupados (I y II como inmaduros y III, IV y V como maduros, a partir de los datos del monitoreo mensual junio 2012 a mayo 2013.

A partir de los datos del crucero de prospección pesquera se estimó los datos de talla media de madurez sexual para machos y hembras. El tamaño en la madurez sexual en las hembras fue de 117.582 mm LT ( $\alpha = 6.896$ ,  $\beta = -0.059$ ,  $r^2 = 0.980$ ), en los machos fue de 94.929 mm LT ( $\alpha = 8.916$ ,  $\beta = -0.094$ ,  $r^2 = 0.960$ ) (Figura 18). El tamaño en la madurez sexual en las hembras fue de 26.486 mm LC ( $\alpha = 7.981$ ,  $\beta = -0.301$ ,  $r^2 = 0.99$ ), en los machos fue de 15.134 mm LC ( $\alpha = 6.132$ ,  $\beta = -0.405$ ,  $r^2 = 0.986$ ) (Figura 18, Tabla 6).

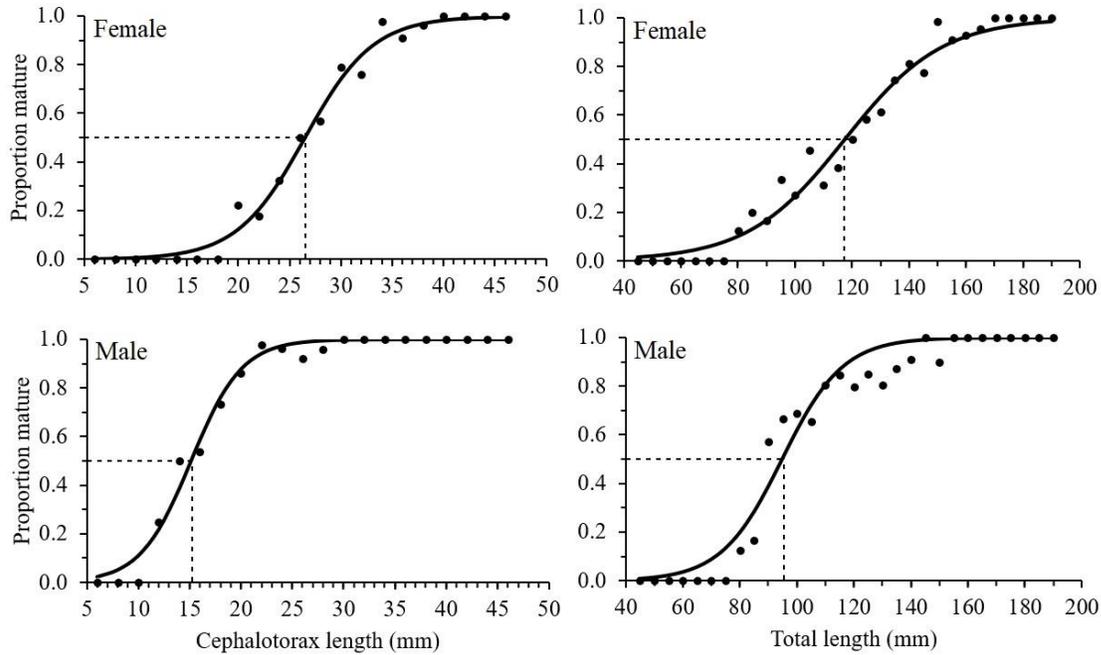


Figura 18. Talla media de madurez P ( $L_{50\%}$ ) de la Longitud Cefalotórax (LC) y Longitud Total (LT) para machos y hembras de *Penaeus notialis*. Los puntos representan las observaciones y las líneas continuas el modelo logístico ajustado.

Tabla 6. Parámetros estimados de la Talla Media de Madurez sexual ( $L_{50\%}$ ) (LC: Longitud Cefalotórax; LT: Longitud Total) para ambos sexos (H: hembras; M: machos) de *P. notialis*. I.C. indica los Intervalos de Confianza.

Parámetros	Sexos	$\alpha$	$\alpha$ (I.C. 95%)	$\beta$	$\beta$ (I.C. 95%)	$r^2$	$L_{50\%}$ (mm)
LC	H	7.981	6.735 a 9.226	-0.301	-0.348 a -0.255	0.990	26.486
LC	M	6.132	4.960 a 7.304	-0.405	-0.481 a -0.329	0.986	15.134
LT	H	6.896	5.938 a -7.854	-0.059	-0.067 a -0.051	0.980	117.582
LT	M	8.916	6.641 a -11.190	-0.094	-0.118 a -0.070	0.960	94.929

#### 4.5 Determinación de parámetros de crecimiento

##### 4.5.1 Estimación de los diferentes parámetros de crecimiento

La estimación de la longitud asintótica ( $LT^\infty$ ) y del peso asintótico ( $PT^\infty$ ) mostró que las hembras crecen a un tamaño y peso mayores que los machos (Figura 19). Las

hembras mostraron un mayor coeficiente de crecimiento (K) que los machos (Tabla 7).

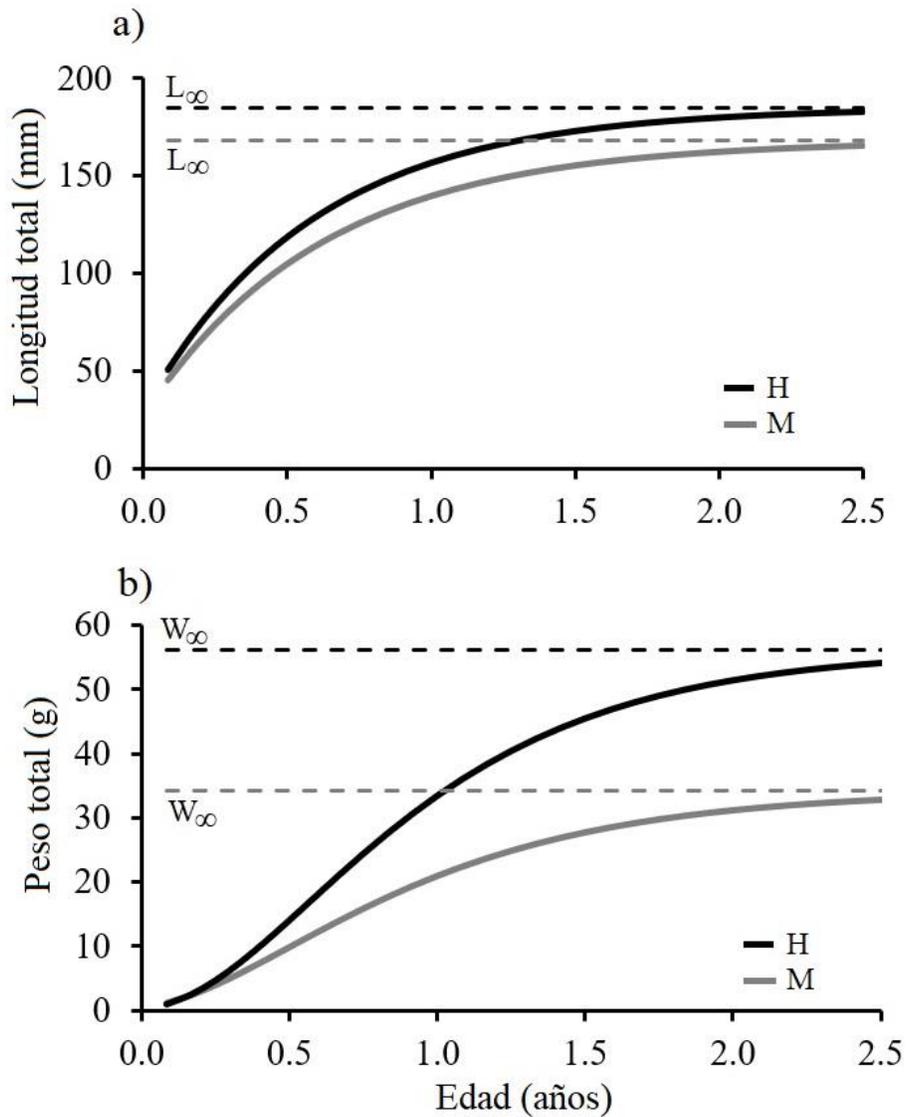


Figura 19. Crecimiento en a) longitud total y b) peso total para hembras y machos de *P. notialis*.

Tabla 7. Parámetros de crecimiento para hembras, machos y la especie de *P. notialis* en el Caribe colombiano, a partir de datos de monitoreo y crucero de prospección pesquera (temperatura considerada para los cálculos 27 °C).

Muestreo	Sexo	$L_{\infty}$	K	To	$W_{\infty}$	Fi prima
	Especie	178.6	1.8	-0.100	48.47	2.76
Monitoreo	Machos	168.0	1.6	-0.114	33.75	2.65
	Hembras	185.0	1.7	-0.105	55.00	2.76
	Especie	181.6	1.0	-0.183	50.03	2.52
Crucero	Machos	170.0	1.0	-0.186	35.99	2.46
	Hembras	185.0	1.2	-0.150	54.70	2.61

#### 4.6 Determinación de parámetros de mortalidad

##### 4.6.1 Estimación de los parámetros de mortalidad

Tabla 8. Parámetros de mortalidad total (Z), mortalidad natural (M), mortalidad por pesca (F) y tasa de explotación (E) para hembras y machos de *P. notialis* en el Caribe colombiano a partir de datos de monitoreo y crucero de prospección pesquera.

Muestreo	Sexo	Z	M	F	E
	Especie	2.84	2.67	0.17	0.06
Monitoreo	Machos	3.22	2.46	0.76	0.24
	Hembras	2.83	2.53	0.30	0.11
	Especie	1.91	1.68	0.24	0.13
Crucero	Machos	2.82	1.70	1.12	0.40
	Hembras	2.47	1.93	0.54	0.22

## 4.7 Evaluación de la pesquería mediante modelos analíticos

### 4.7.1 Análisis de cohorte de Jones, basado en las tallas del camarón *P. notialis* de la costa Caribe colombiana.

El análisis de cohorte de Jones nos permitió determinar que para mantener la pesquería en el periodo 2012 – 2013, el número de reclutas estimado debió ser de 199.969.144 individuos de camarón rosado *P. notialis*. Durante el análisis de cohortes podemos apreciar que el esfuerzo pesquero  $F$  es muy variable y que la mayor presión pesquera recae sobre grupos de tallas entre 160 y 175 milímetros de longitud total, lo que garantiza que la especie se alcance a reproducir y se permita mantener la biomasa en niveles altos. Si bien, se aprecia una extinción exponencial del número de individuos de camarones de aguas someras, esta no es tan marcada y permite que se capturen principalmente tallas medianas a grandes (Figura 20).

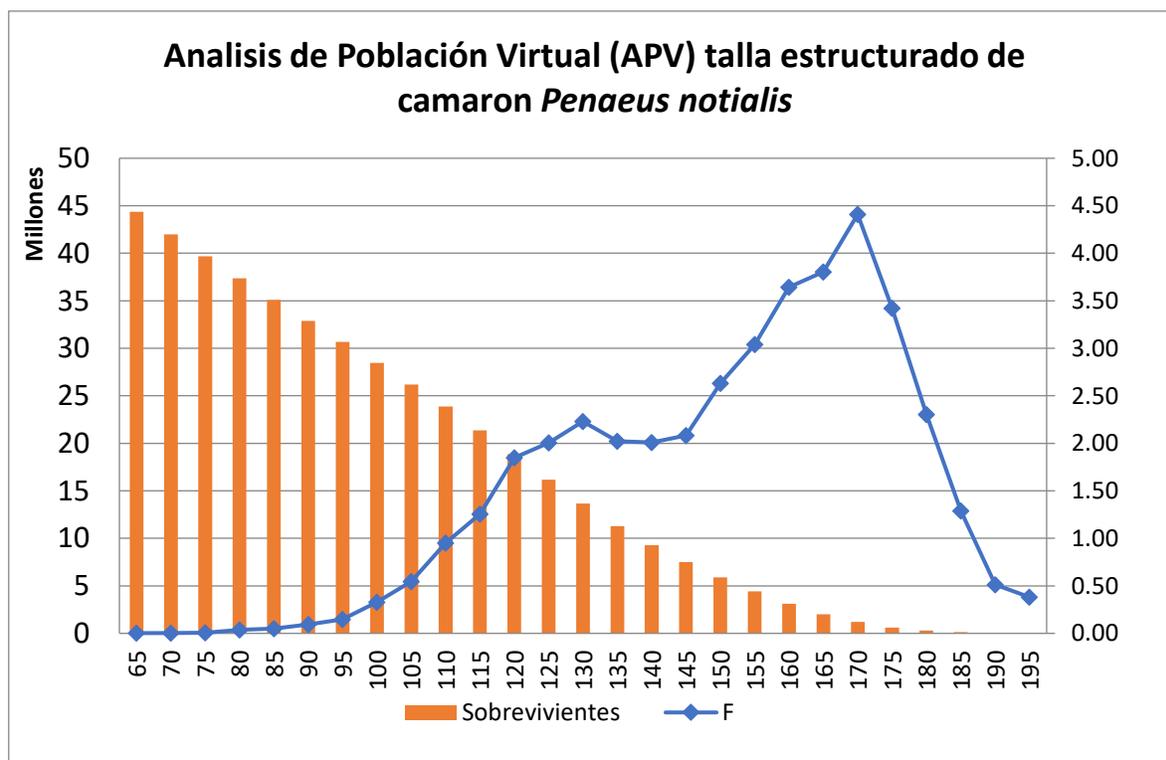


Figura 20. Sobrevivientes y tasas de mortalidad por pesca ( $F$ ) por cada rango de tallas de camarón *P. notialis* en el Caribe colombiano, a partir del análisis de cohortes de Jones (monitoreos mensuales de junio de 2012 a mayo de 2013).

#### 4.7.2 Análisis predictivo de Thompson y Bell basado en las tallas del camarón *P. notialis* de la costa Caribe colombiana.

Con base en el número de reclutas obtenidos del modelo retrospectivo (análisis de cohorte de Jones), las mortalidades por pesca por rango de tallas, los parámetros de crecimiento y el valor de la captura por kilo por rango de tallas, se hicieron los análisis prospectivos de Thompson y Bell para determinar lo que puede suceder con la pesquería dependiendo del cambio del esfuerzo pesquero.

Considerando la variación del esfuerzo pesquero, representada en un factor de la mortalidad por pesca desde 0.0 hasta 4.0, se puede apreciar que el Rendimiento Máximo Sostenible (***RMS***) no se alcanza, aunque el esfuerzo pesquero se incremente en el factor de 4.0 (es decir se puede cuadruplicar). Desde el punto de vista económico, se aprecia que este se alcanza cuando el esfuerzo pesquero se incrementa en un 80%, llegando a un Rendimiento Máximo Económico (***RME***) de U\$ 3.000.000 de dólares americanos. Con lo anterior se puede apreciar que esta pesquería de camarones de aguas someras de Caribe colombiano *P. notialis* ha presentado una recuperación ostensible (Figura 21).

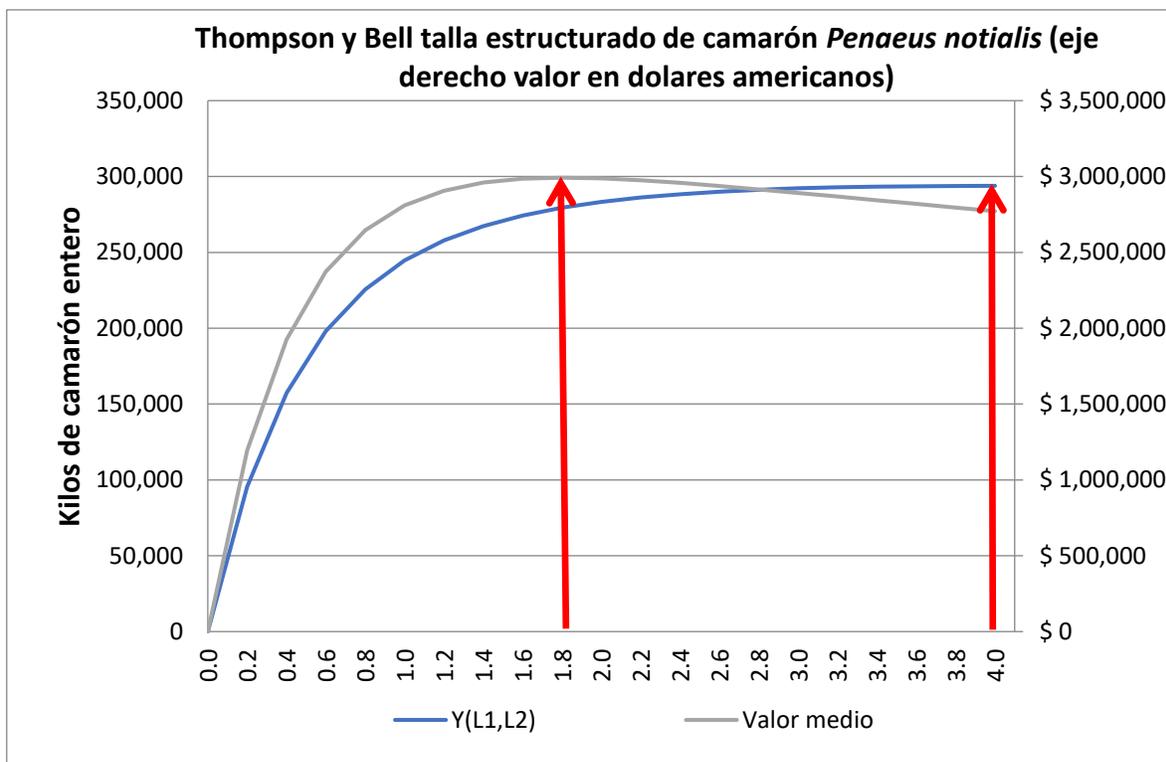


Figura 21. Rendimiento, Biomasa y valor económico del camarón *P. notialis* en el Caribe colombiano, de acuerdo con la variación del factor de mortalidad por pesca, obtenido mediante el modelo de Thompson y Bell basado en tallas (datos de monitoreo mensual entre junio de 2012 y mayo de 2013).

## 4.8 Estimación de biomasa

### 4.8.1 Exploración de datos

En la fase inicial de exploración de los datos se procedió a realizar los diferentes análisis de la variable regionalizada, CPUA en función de la posición geográfica, encontrando un comportamiento uniforme a lo largo de la costa Caribe colombiana con distribución de frecuencia log normal de la variable. Utilizando la transformación de los datos con una lambda de 0.4 se logró la normalización de la variable CPUA ( $\text{kg}/\text{km}^2$ ), en función de la posición geográfica, presentando así las zonas de mayor concentración del recurso pesquero, una al Noreste y otra de mayor área al

Suroeste, con concentraciones importantes del recurso camarón de aguas someras. A partir de los variogramas experimentales agregados, con diferentes estimadores y ajustes, se logró encontrar una tendencia, con el valor promedio de todos los puntos separados por una cierta distancia, utilizando los estimadores clásicos y modulus o robusto sin y con una lambda de 0,4 siendo el estimador clásico y robusto con lambda de 0,4 el que nos dio una distancia máxima de 150 km (Figura 22).

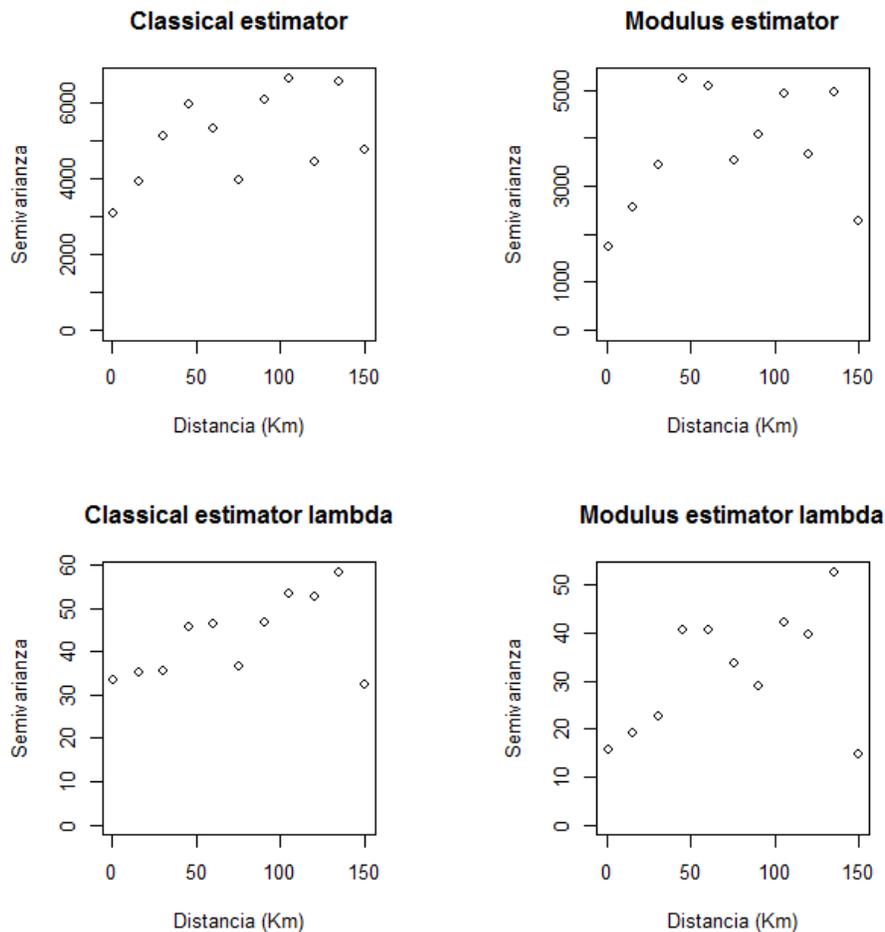


Figura 22. Variogramas experimentales con estimadores clásico (superior izquierdo), modulus ó robusto (superior derecho), clásico con ajuste de lambda=0,4 (inferior izquierdo) y robusto con ajuste de lambda=0,4 (inferior derecho) a distancia máxima de 150 km.

Una vez obtenido el variograma experimental, nos quedamos con el estimador clásico y procedemos a realizar el ajuste del variograma teórico esférico, probando

diferentes distancias de separación de los datos, para encontrar un mejor ajuste del modelo. A partir de los análisis exploratorios de los datos pudimos obtener información importante referente a los máximos y mínimos de los valores, así como a las distancias de separación máximas en kilómetros (Figura 23).

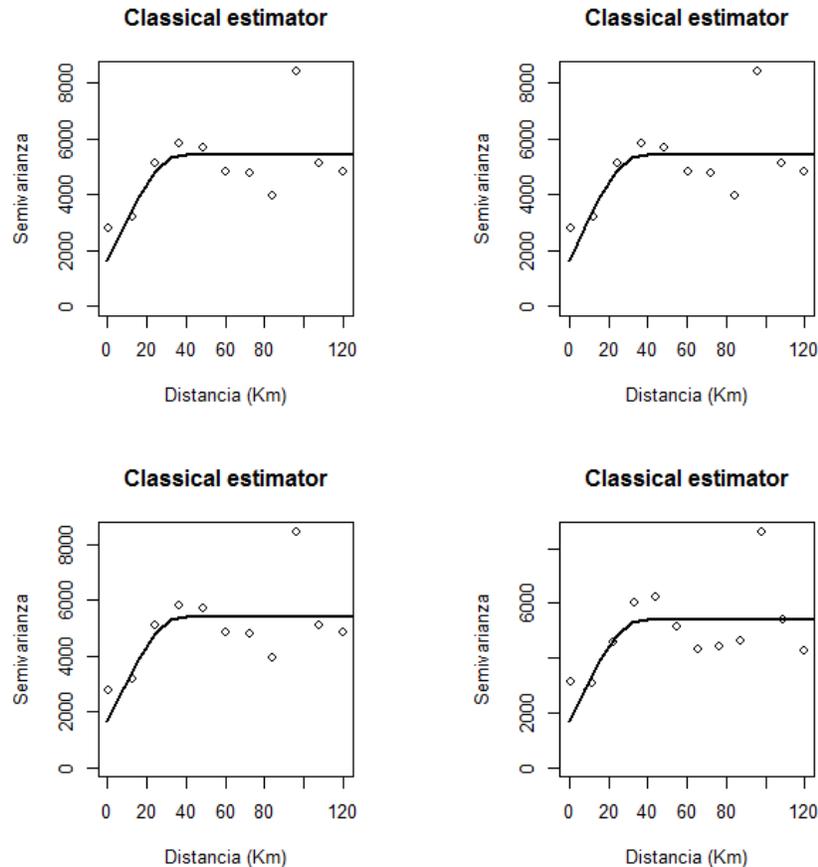


Figura 23. Variogramas teóricos ajustados a los variogramas experimentales omnidireccionales, con estimador clásico y distancias de separación de 10.8 km (superior izquierdo), 10.9 km (superior derecho), 11.0 km (inferior izquierdo) y 11.10 (inferior derecho), a distancia máxima de 120 km.

#### 4.8.2 Análisis geoestadístico

Una vez identificada la distancia que mejor ajuste del modelo teórico nos dio, se realizó el ajuste de varios modelos teóricos, para determinar los parámetros (nugget,

sill y rango) para cada uno de ellos, así como la varianza y el error para proceder con el estimado del Cuadrado Medio del Error (CME), como indicador de mejor ajuste (Figura 24).

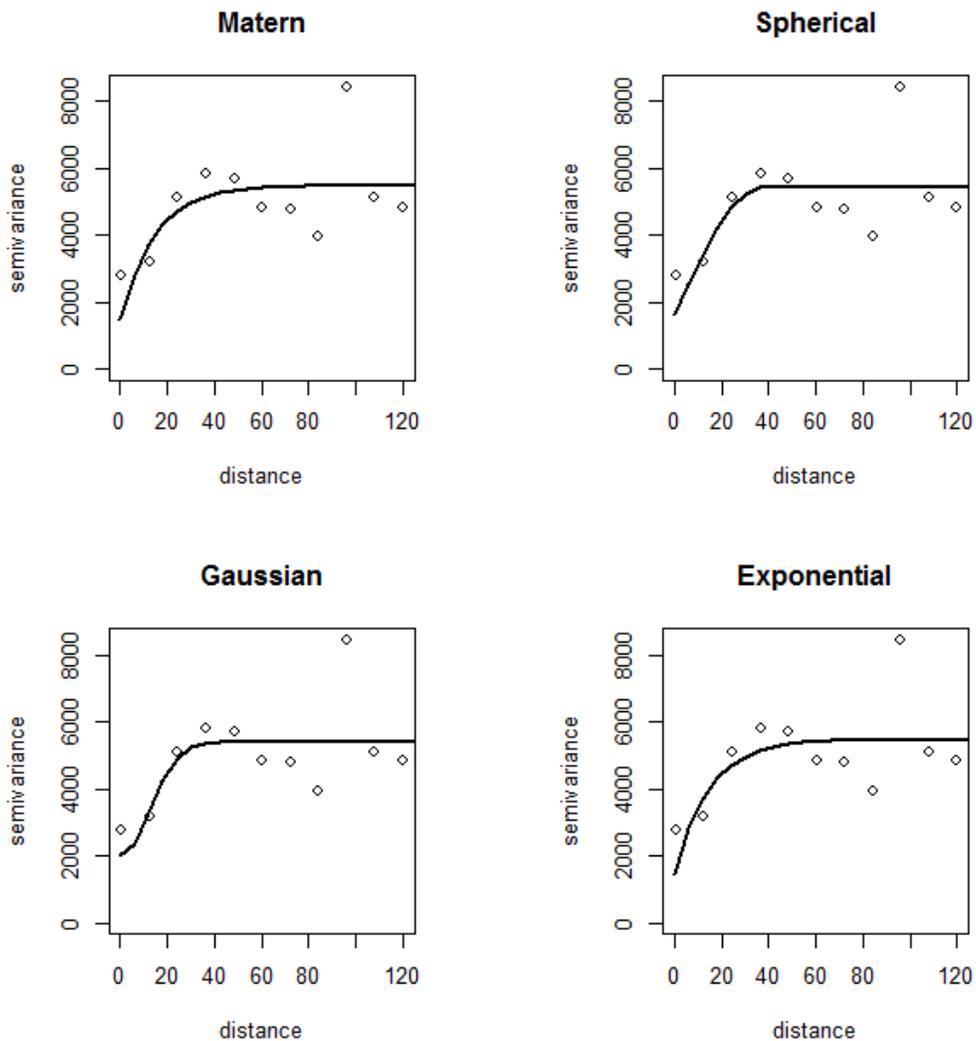


Figura 24. Ajuste de varios modelos de variogramas teóricos (matern, esférico, gaussiano y exponencial) con la estimación de los parámetros del modelo, a distancia máxima de 120 km.

En un gráfico conjunto (figura 25), podemos ver tres de los modelos ajustados, el esférico, gaussiano y exponencial, con un ajuste muy similar a simple vista, que nos permitiría escoger alguno de ellos para los posteriores análisis. A partir de la

validación cruzada, utilizando los parámetros de cada uno de los modelos teóricos, se determinó el mejor modelo a partir del valor más bajo del Cuadrado Medio del Error (CME).

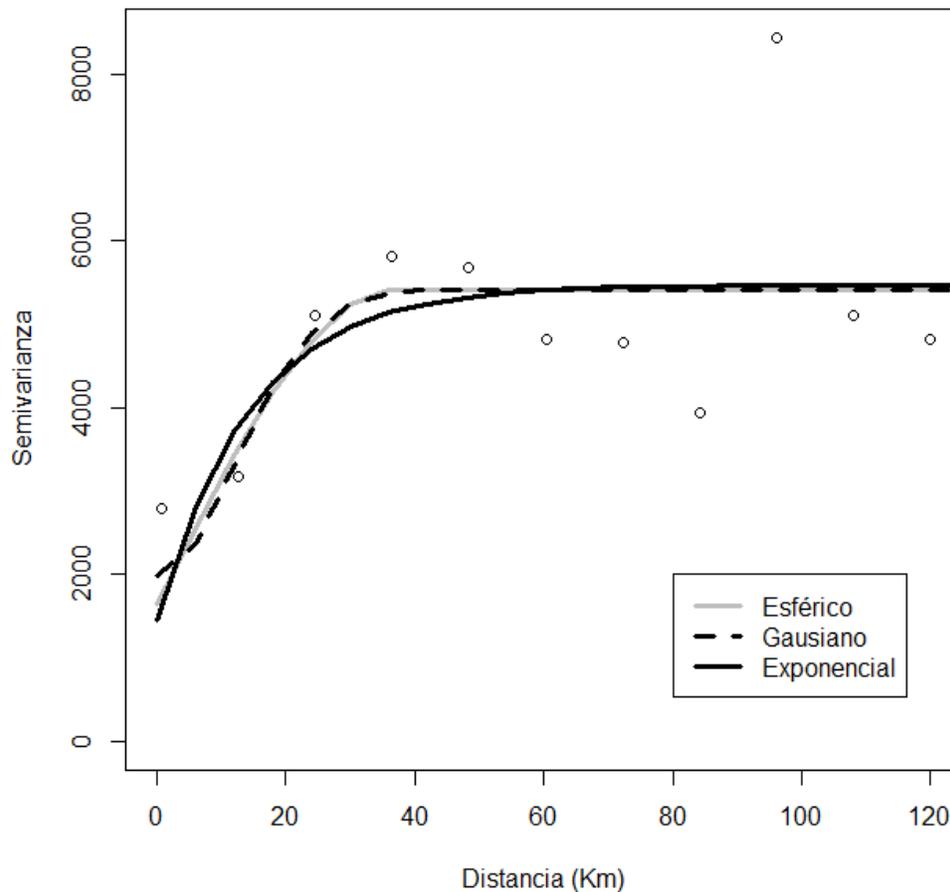


Figura 25. Modelos teóricos de variograma ajustados al variograma experimental.

#### 4.8.3 Interpolación y modelación espacial

Durante un análisis de validación cruzada, que consistió en la eliminación de un valor conocido y estimación de este a partir de cada uno de los modelos, nos permitió ver cuál de ellos da una estimación más aproximada a la realidad.

Una vez seleccionado el mejor modelo de variograma teórico con sus respectivos parámetros (nugget, sill y rango), se procede a determinar los polígonos de distribución de los núcleos de concentración del recurso camarón de aguas someras, para proceder con la interpolación de los valores en toda la grilla determinada y obtener los valores en todos los puntos no muestreados. Una vez se tiene la interpolación de los datos se procede a realizar el mapa con la suavización de los datos de CPUA en  $\text{kg}/\text{km}^2$ , de acuerdo con el modelo seleccionado y podemos ver cómo está distribuida la especie en el área de estudio y los focos de concentración espacial (Figura 26).

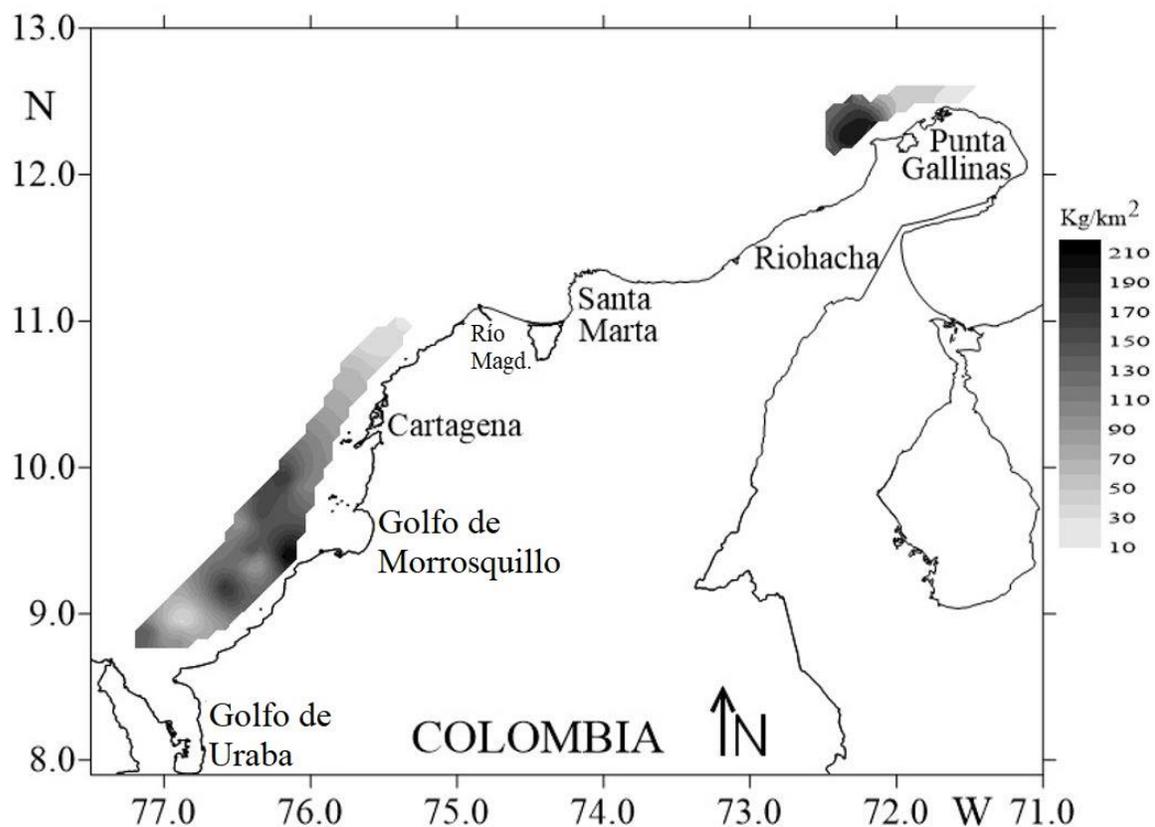


Figura 26. Densidad de distribución de la abundancia ( $\text{kg}/\text{km}^2$ ) del camarón de aguas someras del Caribe colombiano *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis*.

Tabla 9. Cuadrado Medio del Error (CME), a partir de la Media del Error de Predicción (MEP) y la varianza del error de predicción, como indicador del mejor ajuste del modelo teórico.

Característica	Esferico	Gausiano	Exponencial
MEP	-1.19E+00	-1.34E+00	-4.85E-01
Des Est EP	69.7	69.1	67.5
CME	4861.63	4775.57	4551.33

En la tabla 9, podemos ver como a partir del Cuadrado Medio del Error, el modelo que mejor describe la situación es el exponencial, al tener el menor valor de CME, a partir de la Media del Error Ponderado (MEP) y la varianza  $CME = MEP^2 + Var.$

Tabla 10. Parámetros de los modelos teóricos de variogramas ajustados y sus porcentajes de varianza no explicada por cada uno de ellos (% del Sill).

Parametros	Esferico	Gausiano	Exponencial
Nugget	1638.2	1994.9	1451.24
Sill	3772.5	3421.6	4019.00
Rango (Km)	36.7	30.2	43.41
% sill	30.3	36.8	26.53

En la tabla 10, tenemos los parámetros de los tres modelos utilizados, tomando los del modelo exponencial como los que mejor representan la situación de distribución de la variable regionalizada CPUA en  $kg/km^2$ , y que fueron los valores utilizados en la interpolación por kriging para la determinación de la biomasa final del recurso camarón de aguas someras del Caribe colombiano.

Tabla 11. Área de los polígonos de distribución del camarón de aguas someras del Caribe colombiano *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis*, densidad media y biomasa para las zonas norte y sur.

Zona	Area (Km2)	Media (Kg/km2)	Biomasa (Kg)	Biomasa (Ton)
Norte	3744	55.48	207,718.07	207.72
Sur	19061	87.87	1,674,862.19	1674.86
				1882.58

Tabla 12. Intervalos de confianza de la biomasa del camarón de aguas someras (*F. notialis*) para las zonas norte y sur del Caribe colombiano y biomasa total.

Característica	Norte	Sur
Media (Kg/Km <sup>2</sup> )	55.5	87.9
Varianza	456.6	1765.5
IC inf Media	54.8	86.7
IC sup Media	56.2	89.1
Biomasa (ton)	207.7	1674.9
IC inf B (ton)	205.1	1651.9
IC sup B (ton)	210.3	1697.9
<b>Biomasa total (ton)</b>	<b>1882.6</b>	

#### 4.9 Estimación del Rendimiento Máximo Sostenible

A partir de la fórmula de Cadima para poblaciones explotadas y teniendo en cuenta la biomasa instantánea como la biomasa inicial y la mortalidad total tanto para datos del monitoreo como del crucero, se estimó el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) total y para cada una de las zonas (norte y sur del Caribe colombiano) y sus límites de confianza así:

Tabla 13. Rendimiento Máximo Sostenible en toneladas para el caribe colombiano, por zonas norte y sur, a partir de la tasa de mortalidad total estimada de los muestreos mensuales y del crucero de prospección pesquera.

	MONITOREO		CRUCERO PROSPECCIÓN	
<b>RMS medio Caribe Colombiano</b>	<b>2673.26</b>		<b>1797.86</b>	
<b>Intervalo de confianza</b>	2636.94	2709.64	1773.44	1822.33
<b>RMS medio ZN</b>	<b>294.96</b>		<b>198.37</b>	
<b>Intervalo de confianza</b>	291.24	298.63	195.87	200.84
<b>RMS medio ZS</b>	<b>2378.30</b>		<b>1599.49</b>	
<b>Intervalo de confianza</b>	2345.70	2411.02	1577.56	1621.49

RMS (Rendimiento Máximo Sostenible); ZN (Zona Norte); ZS (Zona Sur)

Usando la mortalidad total estimada (Z) a partir de los datos del crucero de prospección pesquera y la biomasa total estimada, el Rendimiento Máximo Sostenible estimado es 1797.86 toneladas, diferenciado en 198.37 toneladas para la zona norte y 1599.49 toneladas para la zona sur, donde tradicionalmente se lleva a cabo la pesca de Camarón de Aguas Someras *P. notialis*. A partir de la estimación de Z con los datos del monitoreo y la biomasa instantánea estimada, el RMS determinado para todo el Caribe colombiano fue de 2673.26 toneladas, siendo 294.96 toneladas para la zona norte y 2378.30 toneladas para la zona sur (Tabla 13).

#### 4.10 Estructura espacial de tallas

La distribución espacial de la longitud del cefalotórax en las hembras mostró que los tamaños más grandes se encontraron al oeste de Punta Gallinas y frente a la costa entre Cartagena y el Golfo de Morrosquillo. Tamaños más pequeños se ubicaron al norte de Punta Gallinas, entre Cartagena y frente a Loma de Arena y al norte del Golfo de Urabá (Figura 27). En los machos, se encontraron tamaños más grandes al noroeste de Punta Gallinas y frente a la costa entre Cartagena, el Golfo de

Morrosquillo y Arboletes. Mientras que los tamaños más pequeños se ubicaron al norte y al oeste de Punta Gallinas, entre Cartagena y frente a Loma de Arena y al norte del Golfo de Urabá (Figura 27).

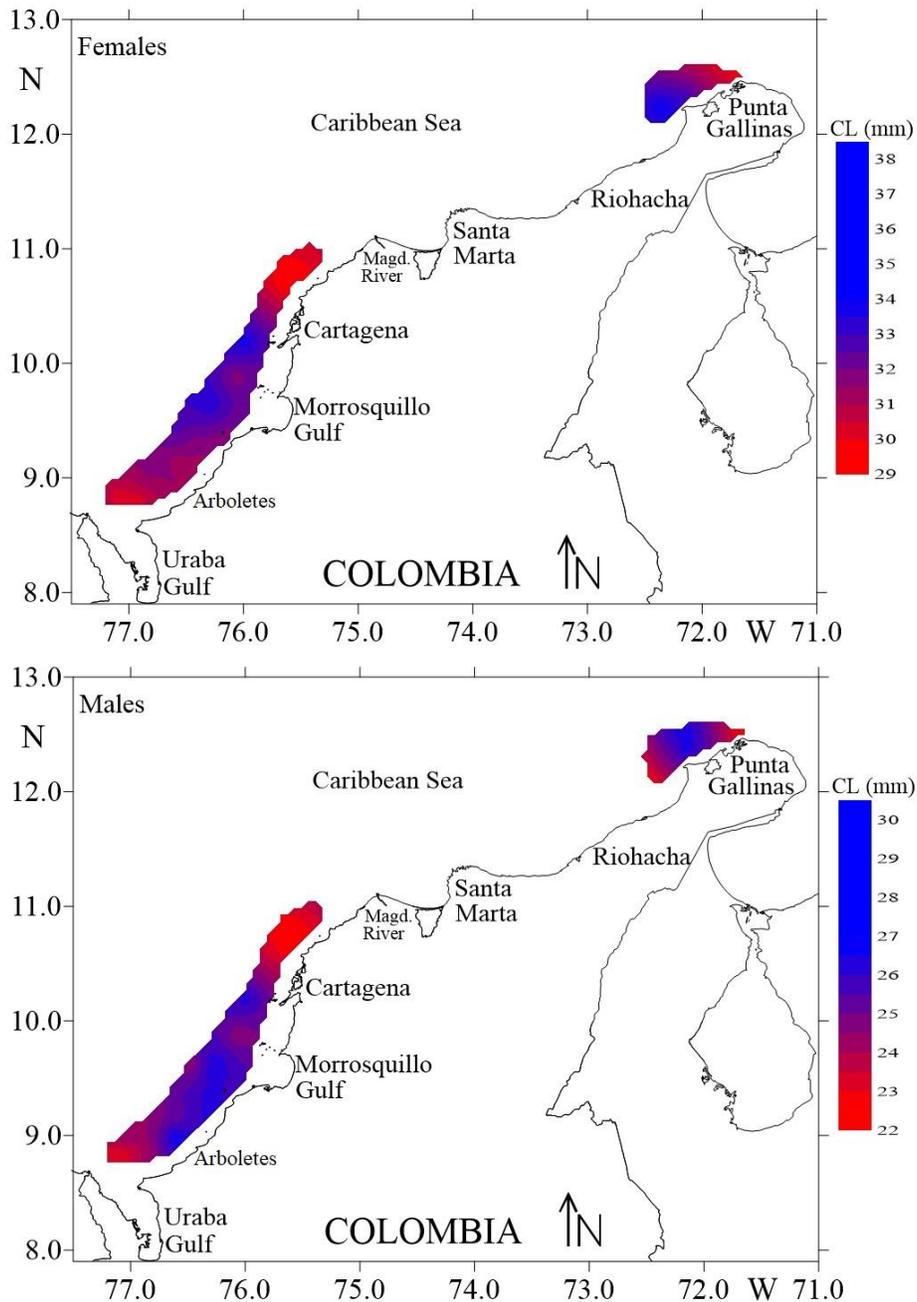


Figura 27. Distribución espacial de la Longitud Cefalotórax LC (mm) de hembras y machos de *P. notialis* en septiembre de 2013 en el Caribe colombiano.

## 4.11 Relación de la abundancia y tallas con variables ambientales

### 4.11.1 Abundancia en relación con la profundidad

La variable regionalizada de abundancia (CPUE) transformada logarítmicamente, se relacionó con la latitud y la profundidad, notándose claramente que las mayores concentraciones de abundancia ( $\text{Kg}/\text{Km}^2$ ) se encuentran a profundidades entre 35 y 55 metros en la parte sur del Caribe colombiano, estando distribuida ligeramente más profunda en la zona norte del Caribe colombiano (40 a 60 metros de profundidad) (Figura 28).

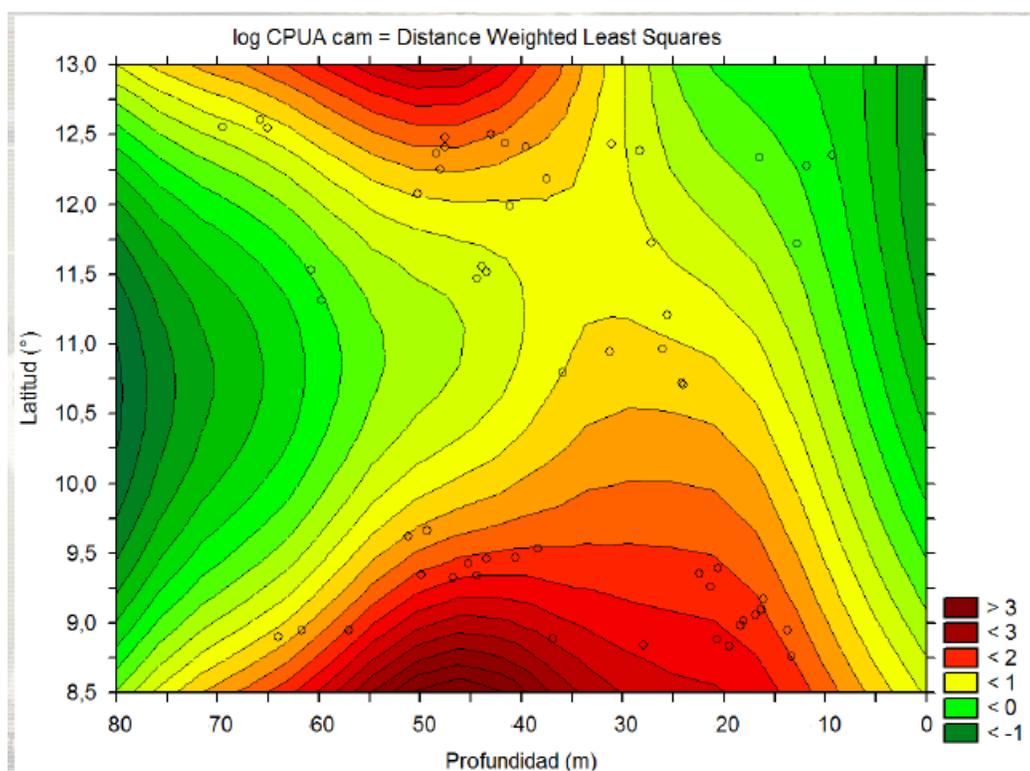


Figura 28. Relación Biomasa vs Profundidad – Latitud, a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013).

#### 4.11.2 Abundancia en relación con la distancia de costa

La variable regionalizada de abundancia, determinada en Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE), medida en Kg/Km<sup>2</sup> y transformada logarítmicamente, se relacionó con la distancia de costa y la latitud, siendo coherente con la distribución por geoestadística, al mostrar las mayores concentraciones y distribuciones hacia el sur (de 8.5 a 11 grados de latitud norte), con una pequeña agregación en la zona norte del caribe colombiano entre 12.5 y 13 grados de latitud norte. Con respecto a la distancia de costa, se aprecia que esta especie tiene las mayores concentraciones más cerca de la costa, disminuyendo a mayores distancias de la costa, alcanzando distancias de hasta 10 millas náuticas. En el rango desde la costa y hasta las 3 millas náuticas es donde se encuentran las mayores concentraciones, pudiéndose hacer un mayor aprovechamiento del recurso camarón de aguas someras a partir de las 3 millas náuticas (Figura 29).

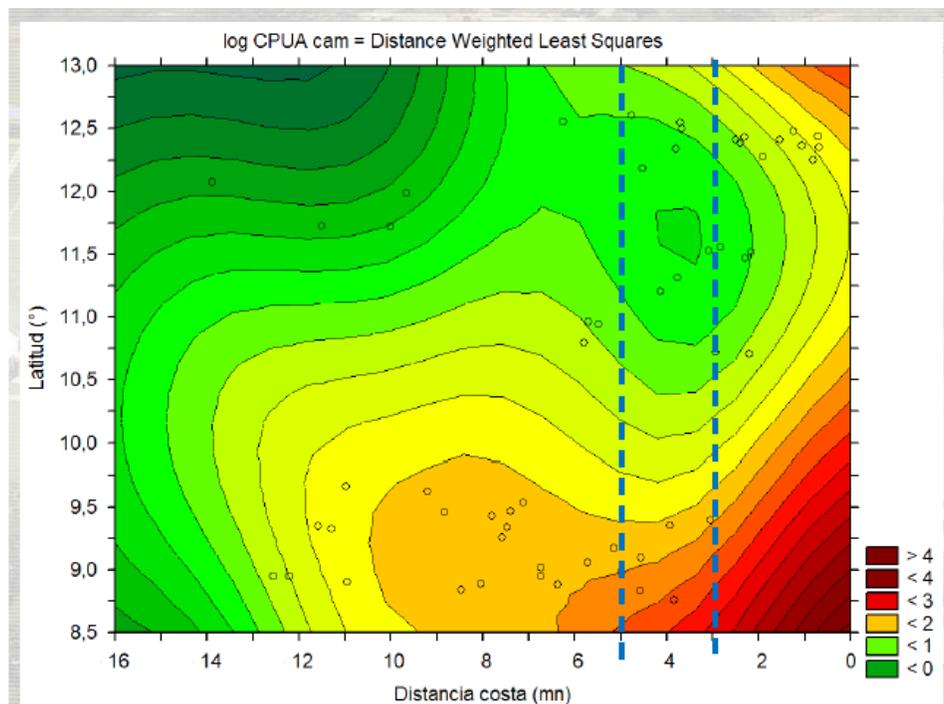


Figura 29. Relación Biomasa vs Distancia de la costa – Latitud, a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013).

#### 4.11.3 Relación de tallas medias con estratos de profundidad

La longitud total media de la especie *P. notialis*, a partir de los datos del crucero de prospección pesquera en toda la costa caribe colombiana, llevado a cabo en septiembre de 2013, permitió hacer un análisis por estratos de profundidad.

Se aprecia, con excepción del rango de profundidad de 20-40 metros, que la talla total media para ambos sexos aumentó con la profundidad (Figura 30, Tabla 14). Además, el mayor número de individuos se encontró en estratos de 20-40 m y 40-60 m (Tabla 14). La longitud media en hembras de *P. notialis* mostró diferencias significativas entre los estratos 20-40 m vs 40-60 m y 20-40 m vs 60-80 m ( $p < 0.05$ ). En los machos, la longitud media difiere significativamente entre los estratos 0-20 m vs 20-40 m y en el estrato 0-20 m vs 60-80 m, 20-40 m vs 40-60 m y 20-40 m vs 60-80 m ( $p < 0.05$ ).

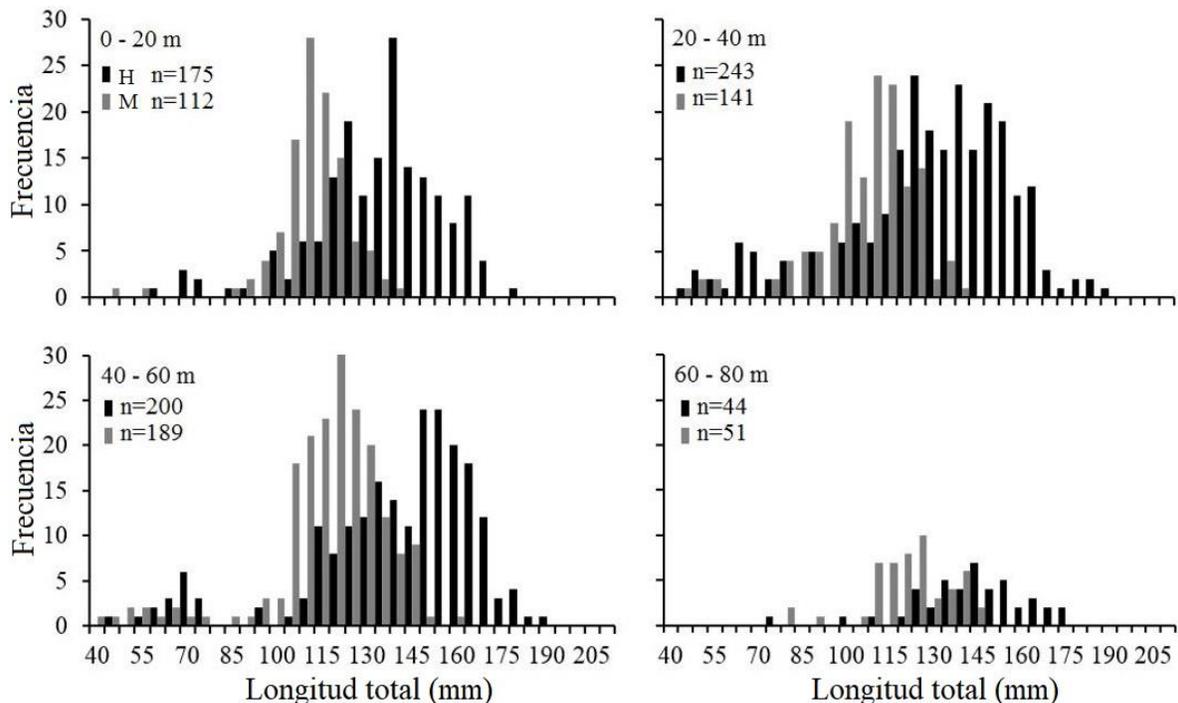


Figura 30. Estructuras de tallas por estratos de profundidad de *P. notialis*, a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013).

En la tabla 14 se puede apreciar que, dado que los datos fueron tomados a todo lo largo del Caribe colombiano, en un crucero de prospección pesquera (datos independientes de la pesquería) durante 25 días, cubriendo desde la parte más somera a partir de la costa, hasta profundidades de 100 metros, se obtuvieron tallas (longitudes totales) desde 46.36 hasta 191.86 mm para las hembras y desde 44.86 hasta 163.87 mm para los machos.

Tabla 14. Estadísticas descriptivas de la estructura de longitud de *P. notialis*, TL (mm), para todos los rangos de profundidad y estratos (m) a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013).

Estrato (m)	Sex	N	Mean	Min.	Max.	Std. Dev.
All	H	674	137.79	46.36	191.86	26.50
All	M	493	115.86	44.86	163.87	17.60
0-20	H	175	137.54	61.63	198.62	21.91
20-40	H	243	132.44	49.89	191.00	28.49
40-60	H	200	141.24	46.36	190.01	27.92
60-80	H	44	145.89	77.90	178.27	19.74
0-20	M	112	116.02	49.46	193.71	17.93
20-40	M	141	110.17	48.84	189.88	19.21
40-60	M	189	118.78	44.86	163.87	20.64
60-80	M	51	124.27	82.15	147.08	14.19

En el análisis de los datos del monitoreo mensual a bordo (entre junio de 2012 a mayo de 2013), se encontró que la una relación entre la densidad de *P. notialis* de la Captura Por Unidad de Área – CPUA (Kg/km<sup>2</sup>) y las variables del hábitat mostraron asociaciones significativas con la temperatura, la salinidad, la distancia a la costa y la profundidad (<0.05). Los valores más altos de CPUA se asociaron con temperaturas entre 28.74 a 29.30°C, salinidades entre 35.55 a 36.09 psu, profundidades entre 25.83 a 49.33 m, y distancia a la costa entre 3.89 a 7.69 mn. (Figura 31). La relación entre los valores más altos de longitud total para hembras y machos y las variables de hábitat mostraron preferencias similares con la temperatura (28.99 a 29.28 °C) y la salinidad (35.99 a 36.16 psu), profundidades entre 31.33 a 48.33 m y distancia a la costa entre 3.79 a 7.99 mn. (Tabla 15).

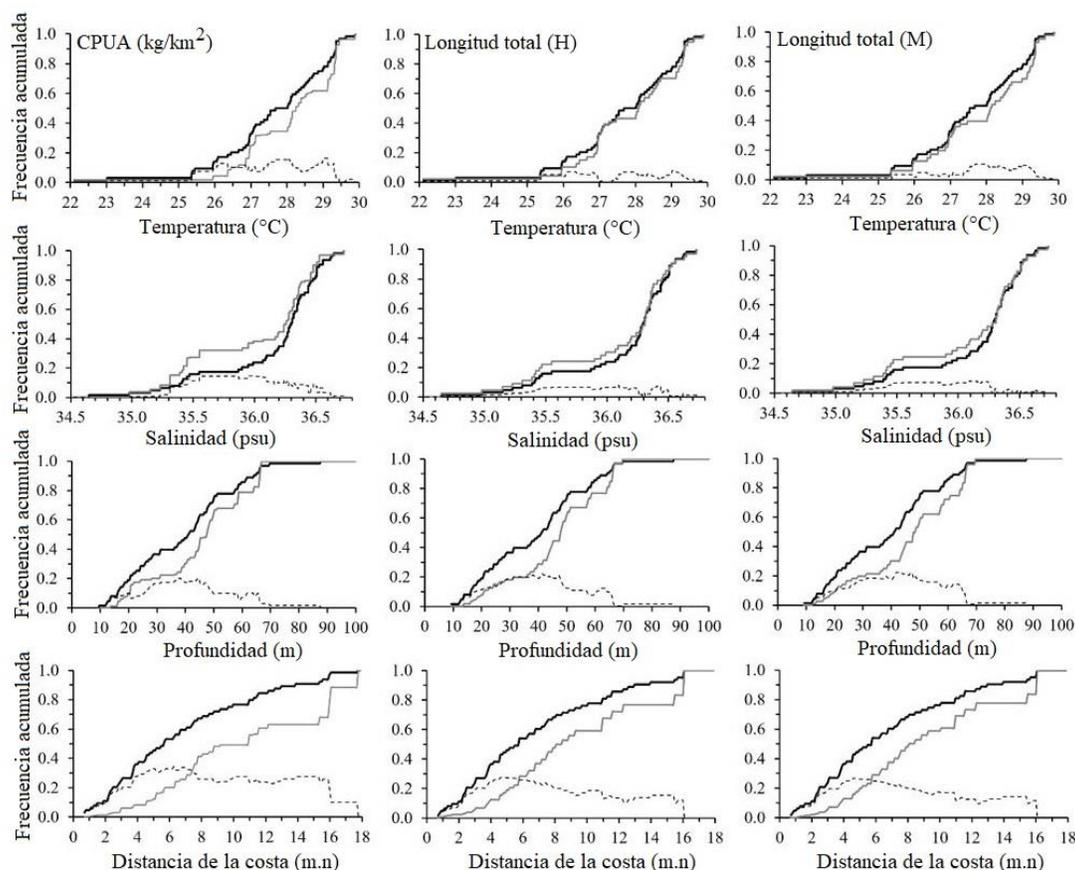


Figura 31. Funciones de Densidad Acumulada (FDA) de las variables de hábitat temperatura, salinidad, profundidad y distancia a la costa con respecto a la Captura Por Unidad de Área - CPUA y longitud total (hembras y machos) de *P. notialis*; f (t) línea gruesa negra, g (t) línea delgada gris, d es la diferencia absoluta entre g (t) y f (t) línea de puntos, a partir de los datos de los monitoreos mensuales a bordo (junio de 2012 a mayo de 2013).

Tabla 15. Resultados de la preferencia de rangos mediante pruebas de asociación entre CPUA, longitud total, TL, (hembra y macho) de *P. notialis* y temperatura, salinidad, distancia de costa y profundidad a partir de los datos de los monitoreos mensuales a bordo (junio de 2012 a mayo de 2013).

Características	Temperatura (°C)	Salinidad (psu)	Profundidad (m)	Dist. Costa (n.mi.)
CPUA (kg/km <sup>2</sup> )	28.74 - 29.30	35.55 - 36.09	25.83 - 49.33	3.89 - 7.69
Longitud Total Hembras (mm)	28.99 - 29.28	35.99 - 36.10	31.33 - 47.33	3.79 - 7.99
Longitud Total Machos (mm)	27.46 - 29.33	35.99 - 36.16	31.33 - 48.33	3.79 - 7.99

Un análisis similar se realizó con los datos del crucero de prospección pesquera a todo lo largo del caribe colombiano, utilizando la relación de la abundancia, medida en Kg/km<sup>2</sup> y longitudes del cefalotórax de machos y hembras, medida en milímetros

con relación a la profundidad en metros y la distancia de costa en millas náuticas. En estos análisis se presentaron la relación entre la biomasa de *P. notialis* y la profundidad (m) y la distancia a la costa (mn) en la que se encontró asociaciones significativas ( $p < 0.01$ ). Las biomosas más altas se asociaron con rangos de profundidad entre 31.33 y 45.23 m (preferencia máxima entre 44.53 y 45.23 m), y la distancia a la costa entre 4.77 y 7.38 mn (preferencia máxima entre 6.25 a 6.36 mn.) (Figura 32). La relación entre los valores más altos de longitud total para hembras y machos mostró preferencias con profundidades entre 31.33 a 42.93 m (preferencia máxima entre 36.93 a 38.33 m) y la distancia a la costa entre 6.25 a 8.46 mn (preferencia máxima entre 6.74 a 7.12 mn) (Tabla 16).

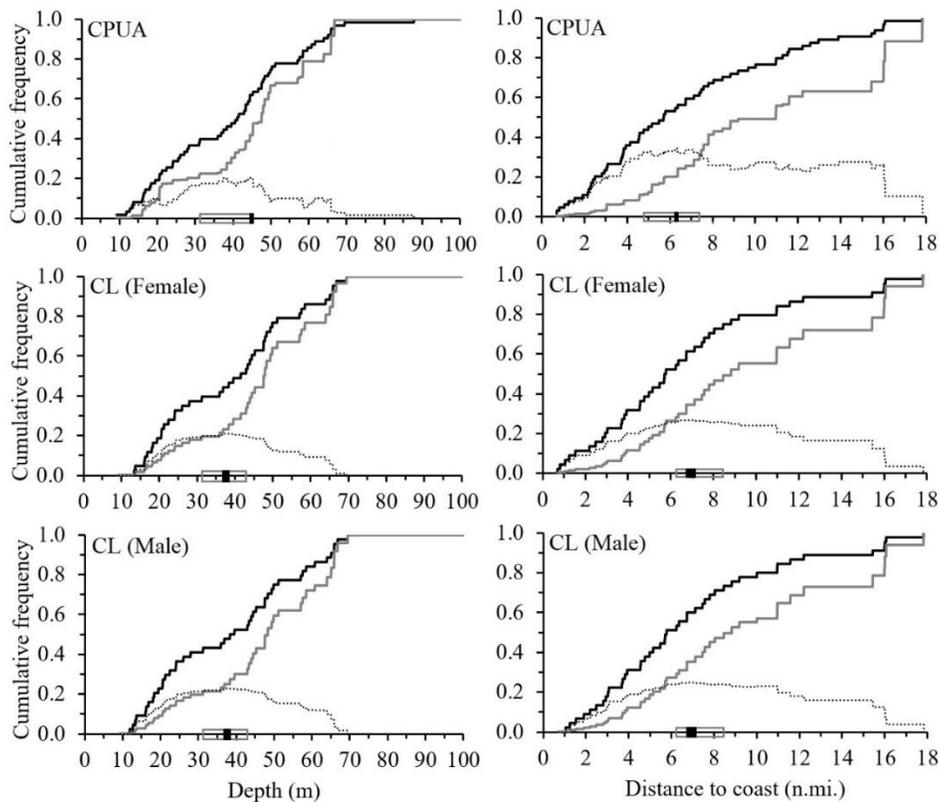


Figura 32. Función de Densidad Acumulada (FDA) de la profundidad y distancia de costa  $f(t)$ , de la Captura Por Unidad de Área CPUTA ( $\text{kg}/\text{km}^2$ ) y la Longitud Cefalotórax (mm)  $g(t)$ , (Hembras y Machos) de *Penaeus notialis*.  $f(t)$  línea gruesa negra,  $g(t)$  línea delgada gris, línea punteada (d) es la diferencia absoluta entre  $g(t)$  y  $f(t)$ . Las preferencias de profundidad y distancia de costa se muestran en el rectángulo gris a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013).

Tabla 16. Resultados de las pruebas de los rangos de preferencia de la Captura Por Unidad de Área (CPUA) y Longitud Cefalotórax (LC) (Hembras y Machos) de *P. notialis* en relación con la profundidad y distancia de costa. El número debajo del valor P, es el rango de preferencia para la variable ambiental a partir de los datos del crucero de prospección pesquera (septiembre de 2013).

Características	Profundidad (m)	Distancia de Costa (mi.n.)
CPUA (kg/km <sup>2</sup> )	0.000	0.000
	31.33 - 45.23	4.77 - 7.38
LC Hembras (mm)	0.000	0.000
	31.33 - 42.93	6.25 - 8.46
LC Machos (mm)	0.000	0.000
	31.33 - 42.93	6.25 - 8.46

## 5 Discusión

En la determinación de la estructura de tallas para machos y hembras, durante el monitoreo mensual, las tallas más pequeñas en las capturas estuvieron alrededor de 79 mm de longitud total (LT), a diferencia de las tallas mínimas de longitud total obtenidas en el crucero de prospección pesquera que estuvieron para machos y hembras alrededor de 45 mm de longitud total, esto es debido a que durante el monitoreo mensual, todas las capturas se hicieron en la parte sur del caribe colombiano, mientras que en el crucero de prospección pesquera, se cubrió toda la costa caribe colombiana y se muestreo a menores profundidades, por otro lado, tanto en los monitoreos mensuales como en el crucero de prospección pesquera, las mayores tallas correspondieron a las hembras, dado el dimorfismo sexual que se presenta en la especie (Fischer, *et al.* 1981; Fischer, *et al.* 1995; Faye, *et al.* 2015). La principal razón es que los camarones tienden a distribuirse las menores tallas más costeramente y a mayor profundidad se encuentran los individuos más adultos (García & LeReste, 1986; García S. , 1989).

La relación talla peso, para el total de la muestra, permite determinar crecimiento isométrico para hembras y ligeramente alométrico negativo para machos a un nivel de significancia del 5%, pero en el análisis para la especie, a partir de los datos del crucero se encontró un crecimiento isométrico, lo que permite aplicar los modelos para evaluación de esta pesquería en función del crecimiento isométrico (Faye, *et al.* 2015; Ramírez & Paramo, 2020).

La talla media de madurez (TMM), dado el dimorfismo sexual entre machos y hembras, se alcanza para los machos a los 94.9 mm de longitud total y en las hembras a los 117.5 mm de longitud total, que, combinada con las tallas medias de captura, permite establecer de manera rápida, medidas de manejo a partir de posibles zonas de pesca y determinación de tamaño de ojo de malla en las redes de pesca (Ramírez, *et al.* 2020). Estos datos son similares a los obtenidos para camarón de fondo *P. californiensis* en Sonora, México (Romero-Sedano, *et al.* 2004).

Con el fin de poder utilizar modelos analíticos, basados en las estructuras de tallas, para la toma de medidas en la administración pesquera, es útil la utilización de las diferentes parámetros biológicos y pesqueros. La determinación de los parámetros de crecimiento y mortalidad para *P. notilis*, teniendo en cuenta, que si bien, en un estudio reciente se encontraron 3 poblaciones en el caribe colombiano, también se encuentra una superposición de estas, por lo que se utilizó toda la información para la determinación de los diferentes parámetros (Atencia-Galindo, *et al.* 2021). Para la determinación de los diferentes parámetros en toda la costa se hizo por sexos y para la especie tanto a partir de los datos del monitoreo mensual como de los datos del crucero de prospección pesquera, encontrándose valores altos de longitud asintótica como del parámetro de curvatura (K), que están entre los rangos determinado para la especie como para el género *Penaeus*, obtenidos en otras investigaciones (Nwosu, 2009; Mehanna, *et al.* 2012; Tabash & Palacios, 1996)

La tasa de mortalidad natural ( $M/año$ ) determinada para la especie, tanto en el monitoreo como en el crucero de prospección pesquera para *P. notialis* estuvo en 2.67 y 1.68 por año respectivamente, es muy coherente con la determinada para la especie en el estuario del río Cross en Nigeria (Nwosu, 2009), sin embargo, la mortalidad por pesca estimada ( $F$ ) en el monitoreo y el crucero estuvo baja ( $F = 0.17$  y  $0.24$  por año), debido a que el esfuerzo pesquero se redujo a la mínima expresión, manteniéndose en la pesca de camarones del caribe colombiano entre una y dos embarcaciones. Esto ha permitido que el recurso camarón de aguas someras muestre una buena recuperación y se puede confirmar con la tasa de explotación determinada para la especie tanto en el monitoreo como en el crucero de prospección ( $E = 0.06$  y  $E = 0.13$ ), que es muy baja, correspondiendo al 6 y 13% de explotación. Esto se explica también por el ciclo de vida de los camarones peneidos del trópico es muy corto (alrededor de 2 años) (García, 1996; Leal-Gaxiola, *et al.* 2001; Charnov & Hannah, 2002; López-Martínez, *et al.* 2003 y López-Martínez, *et al.* 2005).

Utilizando el modelo analítico talla estructurado de Jones, en un análisis retrospectivo, se logró determinar el número de individuos que debió existir (número de reclutas  $R$ ) para mantener la pesquería, así como la mortalidad por pesca ( $F$ ) para cada uno de los rangos de tallas, que sirvieron como datos de entrada para el modelo prospectivo de Thompson y Bell, además de la utilización de los parámetros de crecimiento, mortalidad, relación talla – peso, valor de la captura en relación con los rangos de tallas, para determinar el comportamiento de la pesquería en función de la variable esfuerzo pesquero. Si bien, logrando cuadruplicar el esfuerzo pesquero, el rendimiento se mantiene en incremento, el valor medio del rendimiento económico (en dólares americanos), demuestra que el esfuerzo pesquero se podría aumentar en 1.8, esto quiere decir que casi se podría duplicar el esfuerzo pesquero del momento (2012 – 2013), que estaba alrededor de 10 embarcaciones pescando, podría aumentarse a unas 18 embarcaciones.

En el análisis geoestadístico, se puede apreciar una alta concentración de camarones *P. notialis* al sur de la costa caribe colombiana con una menor

concentración en la parte alta de La Guajira. Durante los monitoreos mensuales, las capturas siempre se realizaron al sur, donde los capitanes de pesca saben que pueden encontrar al recurso camarón, sin embargo, en el estudio geoestadístico se cubrió toda la costa en un crucero de prospección pesquera, mostrando la distribución y biomasa de ese momento. En total se estimó una biomasa instantánea de 1882.58 toneladas de camarón de aguas someras, *P. notialis*, de los cuales, aproximadamente el 89% se encuentra al sur de la desembocadura del río Magdalena (costa sur del Caribe colombiano).

La diferencia en la estimación del RMS, tanto para los datos del monitoreo como para los datos del crucero de prospección pesquera, difieren dada la estimación de la tasa de mortalidad total ( $Z$ ), que para el monitoreo se estimó en  $Z=2.67/\text{año}$  y para el crucero de prospección pesquera se estimó en  $Z=1.68/\text{año}$ . Dada la situación de sobrepesca a la que llegó el recurso por la alta presión ejercida por un esfuerzo pesquero alto, se recomienda que, para el establecimiento de la cuota de pesca industrial de camarón de aguas someras del Caribe colombiano, se maneje por zona sur y norte, de manera conservadora estableciendo un máximo de 89% de la cuota total de aprovechamiento anual para la zona sur y el 11% restante para ser aprovechada en la zona norte.

Considerando que una embarcación hace 7 faenas al año de 45 días en promedio, con una captura promedio de 2000 libras de camarón entero por faena (Com. Per. Julián Torres), se recomienda la autorización del esfuerzo óptimo de 40 embarcaciones, para una captura total promedio de 280 ton/año, con un precio de primera venta estimado de U\$ 3.027 millones de dólares.

La estructura espacial de la densidad ( $\text{Kg} / \text{Km}^2$ ) de los camarones rosados de aguas poco profundas (*P. notialis*) se modeló utilizando un variograma omnidireccional representado por un modelo exponencial. El variograma mostró una estructura no resuelta a través del diseño de muestreo que consideraba el 26.53% de la varianza total (nugget como porcentaje del umbral) (Nugget = 1451.24; Sill =

4019.00). El rango de autocorrelación de agregación para *P. notialis* fue de 43.41 km, es decir, el diámetro de agregación de parches de alta densidad. Los valores más altos de biomasa se distribuyeron en una agregación espacial bien definida en la zona sur del Caribe colombiano. La densidad media de *P. notialis* en la zona norte fue menor (55.48 Kg / Km<sup>2</sup>) que la densidad encontrada en la zona sur (87.87 Kg / Km<sup>2</sup>). Esos valores de densidad produjeron biomásas de 207718.07 Kg (CV = 21.33) en la zona norte y 1674862.19 Kg (CV = 11.47) en la zona sur.

La estructura espacial de la CPUA (kg / km<sup>2</sup>) del camarón rosado de aguas poco profundas *P. notialis* se modeló utilizando un variograma omnidireccional representado por un modelo exponencial. El variograma mostró un 26.53% de pepita como porcentaje del umbral (Pepita = 1451.24; Umbral = 4019.00; rango = 43.41 km). Sin embargo, la estructura espacial de la longitud del cefalotórax para mujeres y hombres fue modelada por un modelo esférico. El variograma mostró un 47.88% para la hembra y 22.85% para el macho de pepita como porcentaje del umbral (hembra: pepita = 6.35, umbral = 6.91, rango = 152.07 km; macho: pepita = 3.35, umbral = 11.31, rango = 215.94 km). Los valores más altos de biomasa se encontraron en la zona sur del Caribe colombiano. Observamos una pequeña agregación en Punta Gallinas, y una gran agregación desde Cartagena hasta el Golfo de Urabá. Estas agregaciones estaban separadas por una gran brecha sin ocurrencia de *P. notialis*. La biomasa media para *P. notialis* en la zona norte fue casi la mitad (55.48 kg / km<sup>2</sup>) que la biomasa encontrada en la zona sur (87.87 kg / km<sup>2</sup>). La biomasa total en la zona norte fue de 207718.07 kg (CV = 21.33) y en la zona sur fue de 1674862.19 kg (CV = 11.47).

Para implementar planes de gestión pesquera que consideren la sostenibilidad de las poblaciones de crustáceos, se deben considerar las relaciones entre las características ambientales y la distribución de los recursos pesqueros (Martins, *et al.* 2015). Los crustáceos son organismos bentónicos, que habitan en sustratos como arenosos, fangosos, rocosos, pero las especies comerciales se explotan habitualmente en aguas poco profundas a profundidades de hasta 100 m, con

mayores concentraciones entre 3 y 50 m (Carpenter, 2002). La mayor abundancia de *P. subtilis* en la plataforma continental amazónica (Brasil) se encuentra a profundidades entre 40 y 60 m (Martins, *et al.* 2015), y los individuos más grandes de camarones peneidos se encuentran entre 40 y 50 m en el Golfo de México (Castrejón, *et al.* 2005) coincide con nuestros resultados del Caribe colombiano. La mayor abundancia de *P. californiensis* se ha relacionado con temperaturas entre 28 y 29 ° C en el Golfo de Tehuantepec, México (Cervantes-Hernández, *et al.* 2008). Asimismo, las abundancias más altas de *P. notialis* oscilaron entre la temperatura de 28 a 29 ° C y la salinidad superior a 35 psu en la laguna de Celestún, Península de Yucatán, México (Pérez-Castañeda & Defeo, 2001). Además, la mayor biomasa de *P. subtilis* ocurrió donde la salinidad fue mayor a 35 psu (Martins, *et al.* 2015). Todos estos resultados de especies de camarones coincidieron con nuestros hallazgos aquí para *P. notialis*. En consecuencia, en el Caribe colombiano, a partir de los datos del monitoreo, la profundidad en la que se encontraron las mayores abundancias estuvo de 25.83 a 49.33 m, la temperatura de 28.74 a 29.30 ° C, la salinidad de 35.55 a 36.09 psu y la distancia a la costa de 3.89 a 7.60 n.mi. constituyen el hábitat apropiado para adultos de *P. notialis*. Los altos valores de biomasa se encontraron dentro de 5 n.mi., pero entre 3 y 5 n.mi. Encontramos valores medios de biomasa. Por lo tanto, recomendamos permitir la captura de camarones desde 3 n.mi. de la costa, sin afectar la pesca artesanal. De esta manera, las relaciones entre las preferencias de hábitat y las agregaciones de camarones permiten la propuesta de estrategias eficientes de gestión de la pesca de acuerdo con el enfoque ecosistémico para la gestión de la pesca en el Caribe colombiano.

Los vientos alisios en la zona norte del Caribe colombiano provocan un transporte Ekman fuera de la costa (Paramo, *et al.* 2009), lo que aumenta la productividad en el área de afloramiento de la (Andrade, *et al.* 2003; Paramo, *et al.* 2009 y Paramo, *et al.* 2011). De hecho, las agregaciones más altas de *P. notialis* en la región de la Guajira hacen coincidir el área de surgencia con una alta productividad. *Penaeus notialis* muestra una distribución agregada a lo largo del sitio de muestreo, que

muestra dos parches (norte y sur) separados por una gran brecha. La mayor biomasa de *P. notialis* en la zona más meridional se encontró entre Cartagena y el Golfo de Morrosquillo, donde las condiciones oceanográficas se asocian con altas temperaturas y la influencia de los ríos (Romero-Rodríguez, *et al.* 2014), que se describen como altamente productivos y con condiciones de hábitat apropiadas para *P. notialis*.

Un estudio realizado en *P. subtilis* en la plataforma continental amazónica (Brasil) que relaciona la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) con la batimetría, el tipo de sedimento, la temperatura y la salinidad concluyó que la abundancia no está distribuida uniformemente en el espacio (Martins, *et al.* 2015). Una gestión pesquera adecuada requiere la comprensión de la abundancia de la población, la distribución espacial y la estructura de tamaño (Rivoirard, *et al.* 2000), porque generalmente los organismos marinos están formando parches de acuerdo con el forzamiento ecológico (Rivoirard, *et al.* 2000; Legendre & Fortin, 1989; Legendre, 1993; Legendre & Legendre, 1998 y Paramo & Roa, 2003), lo que justifica la importancia del uso del análisis espacial (Paramo & Roa, 2003). Por lo tanto, esta es la primera evaluación directa de stock y distribución espacial que se realiza para establecer zonas de pesca artesanal e industrial y abordar los conflictos actuales entre las partes interesadas de acuerdo con el código de conducta para la pesca responsable (FAO, 1995). Algo muy interesante es que la estructura espacial de los tamaños de *P. notialis* se muestra por primera vez en el Caribe colombiano, mostrando posibles áreas de reproducción, ya que los tamaños más pequeños se ubicaron cerca del sistema de lagunas de Bahía Honda y Portete (Punta Gallinas), Ciénaga del Totumo (Loma de Arena), Golfo de Morrosquillo y Golfo de Urabá. Se sabe que, en el sector de Honda, las bahías de Honduras y Portete tienen importantes ecosistemas de manglares, corales, fondos de lodo y pastos marinos (Díaz-Merlano, *et al.* 2003). Loma de Arena es la Ciénaga del Totumo, que es un área pantanosa con plantas hidrofílicas y manglares, que sirve como un soporte ecológico para las poblaciones como un área de vivero (Niño-Martínez, *et al.* 2011). El Golfo de Morrosquillo es un ecosistema marino-costero influenciado por la cuenca del río Sinú en el que el

sistema de lagunas de Cispatá se encuentra con manglares que sirven como área de cría para muchas especies (Herazo, *et al.* 2006). El Golfo de Urabá es un ecosistema de alto valor ecológico debido a la presencia de manglares y pastos marinos y la alta diversidad biológica (Camacho & Pérez, 2014). El patrón batimétrico de aumentar el tamaño con la profundidad en el Caribe colombiano también se observó para otros camarones penaeoidae como *F. duorarum*, *F. aztecus*, *L. setiferus* y *T. similis* en el suroeste del Golfo de México (Castrejón, *et al.* 2005). La explicación podría estar relacionada con el complejo ciclo de vida de los camarones penaeidos, ya que los adultos desovan sobre la plataforma continental y sus huevos y larvas son transportados por las corrientes hacia la costa (Dall, *et al.* 1990). Luego, las etapas post larvales que alcanzan la costa ingresan al ambiente estuarino, en este caso el sistema de lagunas de Bahía Honda y Portete (Punta Gallinas), Ciénaga del Totumo (Loma de Arena), Golfo de Morrosquillo y el Golfo de Urabá, como lo muestra distribución espacial de tamaños menores cerca de estos ecosistemas. Después de eso, los juveniles experimentan un período de rápido crecimiento que termina con la emigración al mar como la etapa de subadultos (Dall, *et al.* 1990 y Gracia & Soto, 1990). En conclusión, mostramos una estructura espacial clara de biomasa y tamaño relacionado con la profundidad, lo que podría ser útil para la gestión de la pesca, ya que el esfuerzo de pesca puede dirigirse hacia donde se encuentra la población adulta. Se necesita más investigación para evaluar los patrones temporales de migración y la distribución espacial para conocer más sobre el ciclo de vida de *P. notialis* en el Caribe colombiano.

## **6 Conclusiones**

Con el desarrollo de la presente investigación se logró determinar la dinámica y estructura poblacional del camarón rosado de aguas someras *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis* en el Caribe colombiano, con una distribución importante de la biomasa en la zona sur del caribe colombiano (1600 ton) y una pequeña concentración en la alta Guajira (200 ton), así como una distribución de tallas pequeñas muy cercanas a la costa, asociada a zonas de ciénagas y

desembocadura de ríos y con un gradiente de tallas que se incrementaron con la profundidad y distancia de la costa.

Se obtuvieron los parámetros poblacionales (de crecimiento, mortalidad, tasas de explotación, tallas medias de captura y tallas medias de madurez) para el recurso *P. notialis*, tanto por sexos como para la especie. A partir de estos parámetros y con la utilización de modelos analíticos talla estructurados (modelo de Jones y Thompson y Bell), se determinó un Rendimiento Máximo Sostenible de 293.85 ton a un esfuerzo óptimo de 40 embarcaciones y un Rendimiento Máximo Económico de U\$ 2.77 millones de dólares americanos. El Máximo Rendimiento Económico se alcanzó con U\$ 2.99 millones de dólares americanos, con un Rendimiento Máximo Sostenible de 279.45 ton y un esfuerzo óptimo de 18 embarcaciones.

Se determinó la biomasa instantánea total en el Caribe colombiano para el recurso *P. notialis*, en 1882.6 ton, siendo 1674.9 ton al sur y 207.7 ton al norte. A partir del modelo holístico de Caima, la biomasa instantánea y la mortalidad total (estimada a partir de datos del crucero) se determinó El Rendimiento Máximo Sostenible total (RMSt) de 1797.86 ton, siendo para la zona sur de 1599.49 ton y para la zona norte de 198.37 ton, con las mayores tallas para machos y hembras distribuidas a partir de las 40 brazas de profundidad.

Se establecieron las mayores abundancias (kilogramos por kilómetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{km}^2$ ) de *P. notialis*, durante el monitoreo en profundidades de 25.83 a 49.33 metros, y distancia de costa de 3.89 a 7.69 mn. Con respecto a la temperatura y salinidad, las mayores abundancias se asociaron a los rangos de 28.74 a 29.30 °C, y de 35.55 a 36.09 psu respectivamente, lo que permite contar con información para la toma de medidas de manejo y administración pesquera.

La longitud total media de captura para machos y hembras tanto para el monitoreo (M=122.52 mm y H=148.21 mm) como para el crucero (M=115.86 mm y H=137.79 mm) estuvieron por encima de la talla media de madurez, medida como longitud

total ( $M=94.93$  mm y  $H=117.58$  mm), reflejando una recuperación del recurso camarón de aguas someras *P. notialis*, que viene siendo explotado de manera responsable.

Se confirma la hipótesis de recuperación de la pesquería a partir de la tasa de explotación que, para la especie, en el monitoreo fue  $E= 0.06$  y en el crucero de prospección pesquera fue  $E=0.13$ , debido a más de 13 años de bajo esfuerzo pesquero, muy por debajo de la explotación óptima que es de  $E= 0.5$  (50%)

## **7 Recomendaciones**

Con el fin de poder hacer una mejor administración de la pesquería de camarones de aguas someras, se recomienda, inicialmente, establecer una cuota de pesca distribuida por zona norte y sur (32 ton y 261 ton respectivamente), con 40 embarcaciones máximo y respetando las 3 primeras millas náuticas de distancia de la costa y no permitiendo la pesca frente a la desembocadura de ríos, ni dentro de las ciénagas y ensenadas.

Hacer un monitoreo permanente de la pesquería, con observador pesquero a bordo y registrar las capturas por zonas de pesca norte y sur, como la estructura de tallas por sexos y estadios de madurez macroscópicos, con el fin de tener el seguimiento minucioso para la toma de medidas adecuadas.

Se recomienda hacer cuento antes, la realización de un nuevo crucero de prospección pesquera de camarón de aguas someras en toda la costa caribe colombiana, para conocer el nuevo estado del recurso y así ajustar las recomendaciones de administración pesquera.

## 8 Referencias Bibliográficas

- Allsopp, M., Page, R., Johnston, P., & Santillo, D. (2009). *State of the world's oceans*. Londres: Springer.
- Andrade, C. A., Barton, E. D., & Mooers, C. H. (2003). Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coastal. *J. Geoph. Res.*, *108*, 1 - 11.
- Atencia-Galindo, M. A., Narvaez, J. C., Ramírez, A., Paramo, J., & Aguire-Pabón, J. C. (2021). Genetic structure of the pink shrimp *Penaeus (Farfantepenaeus) notialis* (Pérez-Farfante, 1967) (Decapoda: Penaeidae) in Colombian Caribbean. *Fisheries Research*, *243*, In Press.
- Barreto, C., & Borda, C. (2008). *Evaluación de recursos pesqueros colombianos*. Bogotá, D. C.: ICA Produmedios.
- Beddington, J. R., Agnew, D. J., & Clark, C. W. (2007). Current problems in the management of marine fisheries. *Science*(316), 1713 - 1716.
- Bianchi, G. (2008). *The concept of the ecosystem approach to fisheries*. (G. Bianchi, & H. R. Skjoldal, Edits.) Roma: FAO.
- Botsford, L. W., Castilla, J. C., & Peterson, C. H. (1997). The management of fisheries and marine ecosystems. *Science*(277), 509-515.
- Camacho, A., & Pérez, S. (2014). *Elementos para la construcción de la visión Urabá, biodiversidad y servicios ecosistémicos como base para el desarrollo, la sostenibilidad y el bienestar*. Informe final de consultoría CPS 164\_303PS, Instituto para el Desarrollo de Antioquia - IDEA, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá D. C. - Colombia.
- Carpenter, K. E. (2002). The living marine resources of the western central Atlantic. Volumen 1: Introduction molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes and chimaeras. En *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5*. (pág. 600). Roma: FAO.
- Castrejón, H., Pérez-Castañeda, R., & Defeo, O. (2005). Spatial structure and bathymetric patterns of penaeoid shrimps in the southwestern Gulf of México. *Fish. Res.*, *72*, 291-300.
- Cervantes-Hernández, P., Sánchez-Meraz, B., Serrano-Guzmán, S. J., Frías-Velasco, A., Ramos-Cruz, S., & García, A. (2008). Variación interanual de la abundancia de *Penaeus californiensis* (Holmes, 1990) en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica*, *18*(3), 215 - 226.
- Cervigón, F., Cipriani, R., Fisher, W., Garibaldi, L., Hendrickx, M., Lemus, A., . . . Rodríguez, B. (1992). *Fichas FAO de identificación de especies para los fines de pesca. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de sur américa*. Roma, Italia: FAO.
- Charnov, E. L., & Hannah, R. W. (2002). Shrimp adjust their sex ratio to fluctuating age distributions. *Evol. Ecol. Res.*, *4*, 239 - 246.

- Const. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Bogotá, D. C.: Panamericana.
- Cressie, N. A. (1993). *Statistics for spatial data*. New York: Wiley and Sons.
- Cressie, N. A., & Hawkins, D. M. (1980). Robust estimation of the variogram. *Assoc. Math. Geol.*, 12, 115-125.
- Dall, W., Hill, B., Rothlisberg, P. C., & Staples, D. J. (1990). The biology of the penaeidae. En J. Blaxter, & A. Southward (Edits.), *Advances in Marine Biology* (Vol. 27, págs. 1 - 489). London: Academic Press.
- D'Amours, D. (1993). The distribution of cod (*Gadus morhua*) in relation to temperature and oxygen level in the Gulf of St. Lawrence. *Fish. Oceanogr.*, 2, 24 - 29.
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Plan Nacional de Desarrollo 2018 - 2022, pacto por Colombia, pacto por la equidad*. Bogotá, D. C.
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Consejo Nacional de Política Económica y Social - CONPES*. Bogotá, D. C.: DNP.
- Díaz-Merlano, J. M., Barrios-Suarez, L. M., & Gómez-López, D. I. (Edits.). (2003). *Las praderas de pastos marinos en Colombia. Estructura y distribución de un ecosistema estratégico*. (INVEMAR ed., Vol. 10). Santa Marta, Colombia: Serie de Publicaciones Especiales.
- FAO. (1995). *Código de conducta para la pesca responsable*. Roma: Fao.
- FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Roma.
- FAO. (2020). *El estado actual de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. Roma.
- Faye, A., Sarr, A., Diouf, M., Thiaw, M., Fall, J., Ndiaye, I., . . . Lazar, N. (2015). Contribution to the study of the size structure, the length-weight relationship, the condition factor and the sex-ratio of shrimp *Farfantepenaeus notialis* (Pérez Farfante, 1967) in the estuary of Sine-Saloum (Senegal). *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci.*, 14(2), 97 - 112.
- Fischer, W., Bianchi, G., & Scott, W. (Edits.). (1981). *FAO Species identification sheets for fishery purposes: Eastern Central Atlantic; fishing area 34 and part of 47* (Vol. VII). Roma.
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., & Niem, V. H. (1995). *Guía fao para la identificación de especies para los fines de pesca*. Roma: CE-NORAD-FAO.
- Gallardo, A. (2006). Geostadística. *Ecosistema*, 15(3), 48 - 58.
- García, M. (1984). Efecto de la pesca de arrastre sobre la fauna acompañante del camarón. *Contribuciones*, 1(4), 11.
- García, S. (1989). The management of coastal penaeid shrimp fisheries. En J. F. Caddy (Ed.), *Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management* (págs. 281 - 306). New York: Wiley.

- García, S. M. (1996). The precautionary approach to fisheries and its implications for fishery research, technology and management: an updated review. (FAO, Ed.) *Precautionary approach to fisheries*, 2, 1 - 75.
- García, S., & LeReste, L. (1986). *Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros*. En: *FAO Doc. Tec. Pesca*. Roma.
- Gayanilo, F. C., Sparre, P., & Pauly, D. (2005). *FAO-ICLARM Stock Assessment Tools II (FISAT II)*. *FAO Computerized Information Series (Fisheries)*. No. 8. . Roma: FAO.
- Gillett, R. (2010). *Estudio Mundial sobre las pesquerías del camarón. Documento técnico de pesca*. No. 475. Roma, Italia: FAO.
- Gotelli, N. J., & Ellison, A. M. (2004). *A primer of ecological statistics*. Massachusetts: Sinauer Sinderland.
- Gracia, A., & Soto, L. A. (1990). Populations study of the penaeid shrimp of Terminos Lagoon. *Anal. Inst. Cien. Mar Limnol.*, 17, 241 - 255.
- Guillet, R. (2008). *Global study of shrimp fisheries*. Roma: FAO Fisheries Technical Paper No. 475.
- Haddon, M. (2011). *Modelling and quantitative methods in fisheries* (Second Edition ed.). Boca raton, FL, Florida, United States of America: A Chapman and Hall Book.
- Herazo, D., Torres, A., & Olsen, E. (2006). Análisis de la composición y abundancia de la ictiofauna presente en la pesca del camarón rosado (*Penaeus notialis*) en el Golfo de Morrosquillo, Caribe colombiano. *MVZ*, 11(1), 47 - 61.
- INVEMAR. (2000). *Programa nacional de investigación en biodiversidad marina: ecoregiones naturales marinas y costeras*. Santa Marta.
- Isaaks, E. H., & Srivastara, R. M. (1989). *Applied Geostatistics*. New York.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). *Applied geostatistics*. New York: Oxford.
- Kaiser, M. J., Atrill, M. J., Jennings, S., Thomas, D. N., Barnes, D. K., Brierley, A. S., . . . Williams, P. J. (2005). *Marine ecology: processes, system and impacts*. *Oxford University Press*, 557.
- King, M. (2007). *Fisheries biology, assessment and management*. Oxford: Blackwell publishing.
- Leal-Gaxiola, A., López-Martínez, J., Chávez, E. A., Hernández-Vásquez, S., & Méndez-Tenorio, F. (2001). Interannual variability of the reproductive period of the brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) (Decapoda, Natantia). *Crustaceana*(74), 839 - 851.
- Lee, S. Y. (1999). Tropical mangrove ecology: physical and biotic factors influencing ecosystem structure and function. *Austr. J. Ecol.*, 24, 355 - 366.
- Legendre, P. (1993). Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology*, 74(6), 1659 - 1673.
- Legendre, P., & Fortin, M. J. (1989). Spatial pattern and ecology analysis. *Vegetatio*, 80, 107 - 138.

- Legendre, P., & Legendre, L. (1998). *Numerical ecology*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Lellouche, J. M., Le Galloudec, O., Drevillon, M., Regnier, C., Greiner, E., Garric, G., . . . De Nicola, C. (2013). Evaluation of global monitoring and forecasting systems at mercator ocean. *Ocean Sci*, *9*, 57 - 81.
- Loneragan, N. R., & Bunn, S. E. (1999). River flows and estuarine ecosystems: Implications for coastal fisheries from a review and a case study of the Logan River, south-east Queensland. *Aust. J. Ecol.*, *24*, 431 - 440.
- López-Martínez, J., Arreguín-Sánchez, F., Hernández-Vásquez, S., García-Juárez, A. R., & Valenzuela-Quiñónez, W. (2003). Interannual variation of growth of the brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* and its relationship to temperature. *Fish. Res.*, *61*, 95 - 105.
- López-Martínez, J., Rábago-Quiroz, C., Nevárez-Martínez, M. O., García-Juárez, A. R., Rivera-Parra, G., & Chávez-Villalba, J. (2005). Growth, reproduction, and size at first maturity of blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874) along the east coast of the Gulf of California, México. *Fish. Res.*, *71*(1), 93 - 102.
- MacDonald, P. D., & Pitcher, T. J. (1979). Age-groups from size-frequency data: a versatile and efficient method of analyzing distribution mixtures. *J. Fish. Res. Board. Can.*, *36*, 987 - 1001.
- MacDonald, P., & Du, J. (2018). *The package "Mixdist"*. Recuperado el 12 de Octubre de 2018, de <https://ms.mcmaster.ca/peter/mix/mixdist.pdf>
- Martins, D. E., Camargo-Zorro, M., Walfir, P., Souza-Filho, M. W., Aniceto-Cinta, I. H., & Silva, K. C. (2015). Spatial distribution of southern brown shrimp (*Penaeus subtilis*) on the Amazon continental shelf: a fishery, marine geology and GIS integrated. *Braz. J. Oceanog.*, *63*(4), 397 - 406.
- Mehanna, S. F., Al-Mamary, J., & Al-kharusi, L. (2012). Fishery characteristics and population dynamics of indian white shrimp, *Fenneropenaeus indicus* from Arabian sea, Sultane of Oman. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sceinces*, *12*, 239 - 246.
- Minello, T. J., & Zimmerman, R. J. (1991). The role of estuarine habitats in regulating growth and survival of juvenile penaeid shrimp. En P. F. Deloach, W. J. Dougherty, & M. A. Davidson (Edits.), *Frontiers of shrimp research* (págs. 1 - 16). Amsterdam: Elsevier.
- Misión Internacional de Sabios. (2019). *Colombia hacia una sociedad del conocimiento. Reflexiones y propuestas*. Bogotá, D. C.
- Moral-García, F. J. (2004). Aplicación de la geostatística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, *13*(1), 78 - 86.
- Niño-Martínez, L. M., Pérez-Ferro, D., López-Peña, A., Carrillo-Monterrosa, J., Landazábal-Campo, E., Rodríguez-Gálvis, F., & Pinto-Marroquín, M. (2011). *Plan de manejo y ordenación pesquera del humedal Ciénaga del Totumo (Bolívar Atlántico)*. Bogotá: INCODER - UBJTL.

- Nwosu, F. M. (2009). Population dynamics of the exploited penaeid shrimp *Penaeus* (Farfantepenaeus notialis) in the cross river estuary. *Journal of Fisheries International*, 4(4), 62 - 67.
- Pacheco, M., Paramo, J., & Sánchez, C. (2010). Estructura espacial de *Eucinostomus argenteus* (PICES: GERREIDAE) en la zona norte del Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 15(1), 179 - 194.
- Paramo, J., & Roa, R. (2003). Acoustic-geostatistical assessment and habitat-abundance relations of small pelagic fish from the Colombian Caribbean. *Fisheries Research*, 60, 309 -319.
- Paramo, J., & Saint-Paul, U. (2010). Morphological differentiation of southern pink shrimp *Farfantepenaeus notialis* in Colombian Caribbean Sea. *Aquatic Living Resources*, 23(1), 95-101. doi:10.1051/alr/2009
- Paramo, J., Correa, M., & Núñez, S. (2011). Evidencias de desacople físico-biológico en el sistema de surgencia en La Guajira, Caribe colombiano. *Rev. Biol. Mar. Oceanog.*, 46(3), 421 - 430.
- Paramo, J., Espinosa, L., Posada, B., Nuñez, S., & Benavides, S. (2012). Distribución espacial de sedimentos en la región norte del Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 4(1), 9-28.
- Paramo, J., Grijalba-Bendeck, M., Pérez, D., Espinoza-Tenorio, A., & Wolff, M. (2020). Conservation strategies for potential new deep-sea crustacean fisheries in the colombian Caribbean under an ecosystem approach. En M. Hendrickx (Ed.), *Deep-sea pycnogonids and crustaceans of the Americas* (págs. 421 - 441). Mazatlán, Mexico: Springer.
- Paramo, J., Guillot, L., Benavides, S., Rodríguez, A., & Sánchez, C. (2009). Aspectos poblacionales y ecológicos de peces demersales de la zona norte del Caribe colombiano en relación con el hábitat: una herramienta para identificar Áreas Marinas Protegidas (AMPs) para el manejo pesquero. *Caldasia*, 31(1), 123 - 144.
- Paramo, J., Pérez, D., & Wolff, M. (2014). Reproducción del camarón rosado *Farfantepenaeus notialis* (Decapoda: Penaeidae) en el Caribe colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 513 - 521.
- Paramo, J., Quiñonez, R., 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.
- Pauly, D., & Christensen, V. (1995). Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*(374), 255 - 257.
- Pauly, D., Alder, J., Bennett, E., Christensen, V., Tyedmers, P., & Watson, R. (2003). The future for fisheries. *Science*(21), 1359 - 1361.
- Pauly, D., Christensen, V., Guenette, S., Pitcher, T. J., Sumaila, U. R., Walters, C. J., . . . Zeller, D. (2002). Towards sustainability in world fisheries. *Nature*(418), 689-695.

- Pérez, D. G., & Paramo, J. E. (2014). Estadios de madurez del camarón rosado *Farfantepenaeus notialis* (Penaeidae) en el Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 19(2), 57 - 66.
- Pérez-Castañeda, R., & Defeo, O. (2000). Population structure of the Penaeid shrimp *Farfantepenaeus notialis* in its new range extension for Gulf of Mexico (Notes). *Bulletin of Marine Science*, 67(3), 1069 - 1074.
- Pérez-Castañeda, R., & Defeo, O. (2001). Population variability of four sympatric penaeid shrimp (*Penaeus* spp.) in a tropical coastal lagoon of México. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, 52, 631 - 641.
- Pérez-Castañeda, R., & Defeo, O. (2005). Growth and mortality of transient shrimp populations (*Farfantepenaeus* spp.) in a coastal lagoon of Mexico: role of the environment and density - dependence. *ICES Journal of Marine Science*, 62, 14 - 24.
- Perry, R. I., & Smith, S. J. (1994). Identifying habitat associations of marine fishes using survey data: an application in the Northwest Atlantic. *Can J Fish Aquat Sci*, 51, 589 - 602.
- Pikitch, E. K., Santora, C., Babcock, E. A., Bakun, A., Bonfil, R., Conover, D. O., . . . et al. (2004). Ecosystem-based fishery management. *Science*(305), 346 - 347.
- Quinn, T. J., & Deriso, R. B. (1999). *Quantitative fish dynamics*. Oxford: Oxford University Press.
- Ramírez, A., & Paramo, J. (2020). Size structure, sex ratio, and condition factor of the pink shrimp *Penaeus* (*Farfantepenaeus*) *notialis*, Pérez Farfante, 1967 (Decapoda: Dendrobranchiata: Penaeidae) in the Colombian Caribbean. *Journal of Crustacean Biology*, 40(2), 172 - 175.
- Ramírez, A., Paramo, J., & Selvaraj, J. (2020). Spatial structure of the pink shrimp *Penaeus* (*Farfantepenaeus*) *notialis* (Pérez Farfante, 1967) (Decapoda, Penaeidae) in the Colombian Caribbean: Implications for fisheries management. *Crustaceana*, 93(9 - 10), 1047 - 1063.
- Ribeiro, P. J., & Diggle, P. J. (2001). GeoR: A package for geostatistical analysis. *R News*, 1, 14 - 18.
- Rivera-Arriaga, E., Sánchez-Gil, P., & Gutiérrez, J. (Eds.). (2019). *Temas de agenda para la sostenibilidad de costas y mares mexicanos*. México: Universidad Autónoma de Campeche.
- Rivoirard, J., Simmonds, J., Foote, K. G., Fernandes, P., & Bez, N. (2000). *Geostatistics for estimating fish abundance*. London: Blackwell Science.
- Romero-Rodríguez, D., Bernal, G., & Zea, S. (2014). Variables ambientales durante blanqueamiento coralino en el Caribe colombiano. *Rev. Acad. Col. Cienc. Exac. Fis. Nat.*, 38(149), 347 - 355.
- Romero-Sedano, J. C., Aragón-Noriega, E. A., Manzano-Sarabia, M. M., Salinas-Zavala, C. A., & García-Juárez, A. R. (2004). Reproductive period of the brown shrimp *Penaeus californiensis* (Holmes, 1900) in the Agiabampo coastal lagoon system, Sonora/Sinaloa. *Ciencias Marinas*, 30(3), 465-475.
- Sparre, P., & Venema, S. (1995). *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. Valparaíso, Chile: FAO, Documento técnico de pesca 306/1.
- Stokstad, E. (2009). Detente in fisheries war. *Science*(324), 170-171.

- Tabash B., F., & Palacios V., J. (1996). Stock assessment of two penaeid prawn species, *Penaeus occidentalis* and *Penaeus stylirostris* (Decapoda: Penaeidae), in Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44(2), 595 - 602.
- Tavares, M. (2002). Shrimps. En K. E. Carpenter (Ed.), *The living marine resources of the western central Atlantic, species identification guide for fisheries purposes* (págs. 251 - 291). Roma: FAO.
- Tresierra, A., Culquichicón, Z., & Veneros, B. (1995). *Dinámica de poblaciones de peces*. Trujillo, Perú: Libertad.
- UNESCO. (2017). *Informe mundial sobre las ciencias oceánicas: el estado actual de las ciencias oceánicas en el mundo*. Paris: Unesco Publishing.
- Ward, T. M., McLeay, L. J., Dimmlich, W. F., Rogers, P. J., McClatchie, S., Matthews, R., . . . Van Ruth, P. D. (2006). Pelagic ecology of a northern boundary current system: effects of upwelling on the production and distribution of sardine (*Sardinops sagax*), anchovy (*Engraulis australis*) and southern bluefin tuna (*Thunus maccoyii*) in the Great Australian Bight. *Fisheries Oceanography*, 15(3), 191 - 207.
- Worm, B., Hilborn, R., Baum, J. K., Branch, T. A., Collie, J. S., Costello, C., . . . et al. (2009). Rebuilding global fisheries. *Science*(325), 578 - 585.
- Yakub, A. S. (2007). Length-weight relationships of the pink shrimp *Penaeus notialis* and giant tiger shrimp *P. monodon* of Buguma creek in the Niger delta, Nigeria,. *The Zoologist*, 5, 47 - 53.
- Zar, J. (2009). *Biostatistical analysis* (5th ed.). New York: Pearson.
- Zhou, S., Smith, A., Punt, A. E., Richardson, A. J., Gibbs, M., Fulton, E. A., & Pascoe, S. (2010). Ecosystem-based fisheries management requires a change to selective fishing philosophy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(21), 9485 - 9489.