

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL PARGO RAYADO *LUTJANUS SYNAGRIS* (PISCES: LUTJANIDAE) Y SU RELACIÓN CON LAS VARIABLES AMBIENTALES EN EL CARIBE COLOMBIANO

SPATIAL DISTRIBUTION OF THE LANE SNAPPER *LUTJANUS SYNAGRIS* (PISCES: LUTJANIDAE) AND ITS RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL VARIABLES IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN

Alfredo Rodríguez^{1, 2, 3}, Jorge Páramo^{2, 4}

Resumen

En el Caribe colombiano la actividad de la pesquería de peces demersales es una de las más importantes, y en ella destaca el pargo rayado *Lutjanus synagris* por su alto valor económico. Con el objeto de determinar la estructura espacial de *L. synagris* y su relación con las variables ambientales, se realizó un crucero de investigación en frente de la costa norte de Colombia en el mar Caribe durante febrero de 2006. La distribución espacial fue evaluada usando geostatística y la relación con el ambiente a través de modelos aditivos generalizados (GAM). La talla media de madurez (LT 50%) se estimó en 21,35 cm. Esta especie presentó un patrón de segregación espacial con alta abundancia de peces adultos al norte del área de estudio, en el sector de La Guajira, y se asoció principalmente con aguas frías (< 25,0 °C) que se derivan de la surgencia costera estacional de la zona. Hacia el sur, entre el río Buritaca y Riohacha se encontró localizada una alta abundancia de juveniles. Esta zona se caracteriza por la presencia de aguas cálidas (> 25,0 °C), fondos blandos y lodosos, y un borde costero ocupado por extensas formaciones de manglar, que conforman un hábitat fundamental para el crecimiento, el refugio y la disponibilidad de alimento para peces pequeños. Los resultados sugieren que las variables ambientales modulan la distribución espacial de juveniles y adultos de *L. synagris*.

Palabras claves: Caribe colombiano, demersal, *Lutjanus synagris*, segregación espacial, variables ambientales

Abstract

The demersal fishery is one of the most important in the Colombian Caribbean, and the lane snapper *Lutjanus synagris* is particularly prized for its economic value. To document the spatial structure of *L. synagris* and its relation to environmental variables, we conducted a research survey off the north Caribbean coast of Colombian during February 2006. Spatial distribution was evaluated using geostatistics and relationships with environmental variables were examined with Generalized Additive Models (GAM). Median size of maturity (LT 50%) was estimated as 21.35 cm. The species presented a pattern of spatial segregation, with a high abundance of adults in the Northern portion of the study area, in the La Guajira sector, associated principally with cold waters (< 25.0 °C) produced by the seasonal coastal upwelling in this zone. To the south, between the Buritaca river and Riohacha, there was a localized abundance of juveniles. This zone is characterized by the presence of warm waters (> 25.0 °C), soft muddy bottoms, and a coastal region containing extensive mangroves that are the fundamental habitat for growth, refuge, and food availability for small fish. The results suggest that environmental variables modulate the spatial distributions of juvenile and adult of *L. synagris*.

Key words: Colombian Caribbean, demersal, environmental variables, *Lutjanus synagris*, spatial segregation

Recibido: septiembre 2011. Aceptado: marzo 2012.

¹ Programa Magíster en Ciencias con Mención Pesquerías. Departamento de Oceanografía. Casilla 160-C, Cabina 10. Universidad de Concepción. Chile.

² Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología Pesquera Tropical (CITEPT). Universidad del Magdalena. Santa Marta (Magdalena), Colombia.

Correos electrónicos. ³ <arodriguezj@udec.cl>; ⁴ <jparamo@unimagdalena.edu.co>.

INTRODUCCIÓN

Los peces de la familia Lutjanidae son reconocidos como un importante recurso pesquero y son explotados intensamente por las pesquerías artesanal e industrial en las regiones tropicales y subtropicales, debido principalmente a su alto valor económico (Gobert et al. 2005, Kritzer et al. 2004, Luckhurst et al. 2000, Rojas et al. 2004). Estas especies demersales tienen una amplia distribución en la región Caribe, con hábitos en fondos someros, tales como, fondos blandos, sustratos rocosos y coralinos, sin embargo, se les puede encontrar inclusive en profundidades superiores a los 200 m (Carpenter 2002, Cervigón et al. 1992).

En el Caribe colombiano, la pesquería de peces demersales es una de las más importantes, operada principalmente por lanchas y barcos artesanales que utilizan el palangre como arte de pesca. El pargo rayado (*Lutjanus synagris* Linnaeus, 1758) destaca como especie objetivo por su alto valor comercial, lo cual representa una fuente importante de sustento a nivel social y económico que genera aproximadamente 800 empleos directos e indirectos (Viloria 1993). No obstante, los pargos son explotados fuertemente por la pesca artesanal, y además, se capturan de manera incidental por la flota industrial de camarón de arrastre (Arteaga et al. 2004a, Víaña et al. 2004). En Colombia, la mayoría de los estudios sobre *L. synagris* se han enfocado en los aspectos poblacionales, reproductivos y tróficos de la especie (Doncel y Páramo 2010, Duarte y García 1999, Manjarrés 2004), sin embargo, existen vacíos de información asociados al conocimiento de los patrones de distribución espacial de la abundancia y las tallas, y su relación con el hábitat. En este aspecto, solo se conoce el trabajo de Párraga et al. (2010), quienes evaluaron cambios en la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *L. synagris* para el sector del Magdalena, encontrando variaciones interanuales que corresponden

principalmente a cambios en el esfuerzo de pesca, y a la estacionalidad del recurso durante la época seca y lluviosa.

En el manejo pesquero se recomienda un entendimiento detallado de la estructura espacial de los recursos y la influencia del ambiente como indicador de cambios en la distribución y abundancia de las especies, para apoyar el manejo y ordenamiento de las pesquerías (Caddy y Seijo 1998, Link 2002). En el Caribe colombiano, la oceanografía es modulada por la intensidad de la surgencia estacional de aguas profundas en la zona norte, y está enlazada con la distribución y abundancia de los recursos marinos (Pacheco et al. 2010, Páramo et al. 2003, 2009, 2011). En este sentido, el objetivo de este estudio fue determinar el patrón de distribución espacial de *L. synagris* y su relación con las variables ambientales tales como temperatura, salinidad, tipo de sedimento y profundidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El área de estudio comprendió la zona en frente de la costa norte de Colombia en el mar Caribe, desde Santa Marta (Magdalena), 11° 14,7' N, 74° 14,2' O, hasta Puerto Estrella (La Guajira), 12° 23,1' N, 71° 22,3' O (figura 1). En La Guajira la plataforma es muy estrecha, aproximadamente 10 millas náuticas (10 M = 18,52 km) desde la costa y profundidades hasta los 200 m, y frente a Punta Gallinas (La Guajira) a 3 M (5,56 km). Al oeste, desde el Cabo de la Vela (La Guajira) la plataforma es más extensa con 25 M (46,3 km) frente a Riohacha, pero luego vuelve a reducirse hasta desaparecer en el sector del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT) y Santa Marta (Álvarez-León et al. 1995, Anon 1989, Quintero 1992). El Caribe colombiano está influenciado por la zona de convergencia intertropical (ZCIT), donde los patrones de circulación atmosférica favorecen la surgencia estacional de aguas profundas al final e inicio del año (temporada seca) con máxima intensidad en el sector de La Guajira

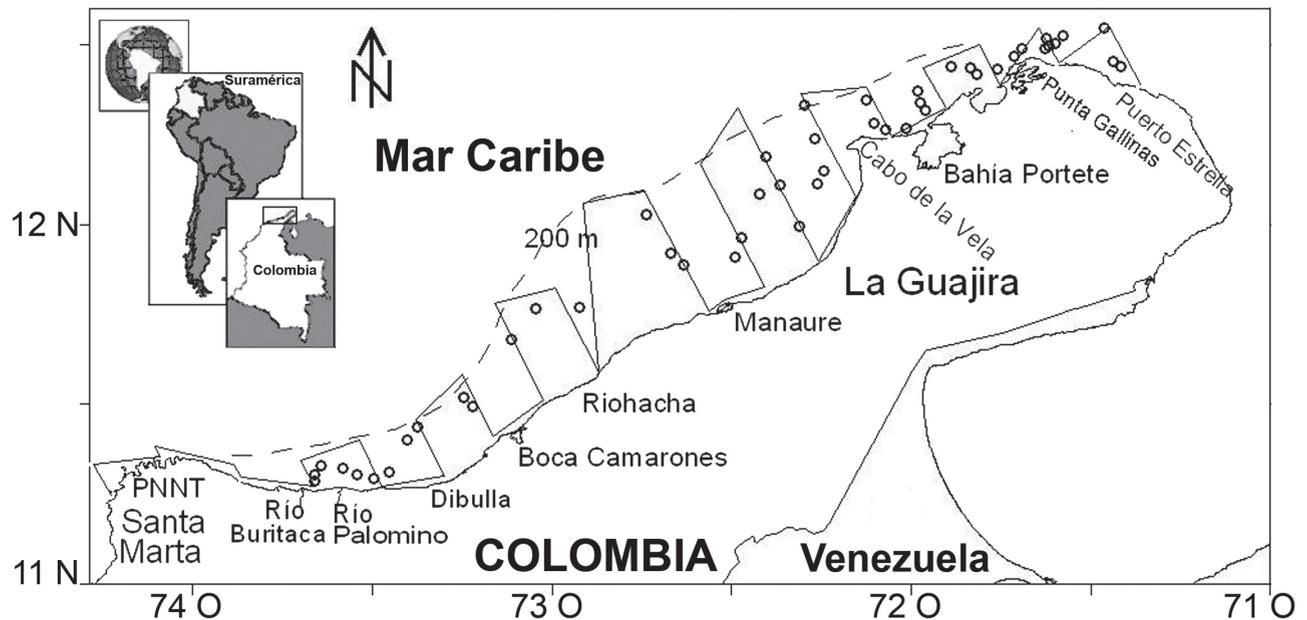


Figura 1. Localización del área de estudio en el Caribe colombiano. Estaciones de muestreo (círculos vacíos), diseño de muestreo (línea continua) e isobata de los 200 m (línea punteada)

(Andrade et al. 2003, Pujos et al. 1986). Durante la temporada húmeda, la surgencia es prácticamente nula debido a la ausencia de los vientos alisios, con excepción del norte de La Guajira donde los alisios inciden constantemente (Bula-Meyer 1990).

Diseño de muestreo. En el área de estudio se realizó un crucero de investigación para evaluar la distribución espacial de *L. synagris* durante febrero de 2006. Las muestras se tomaron sobre fondos arrastrables y dos estratos de profundidades: < 50 m y 50-100 m a bordo del B/IANCON. El diseño del crucero correspondió a un muestreo sistemático, con transectos paralelos y perpendiculares a la costa norte colombiana, espaciados regularmente cada 10 M (= 18,52 km; figura 1). Sin embargo, los sitios de muestreo se realizaron considerando sólo las áreas arrastrables, lo cual involucró algo de aleatoriedad en la toma de las muestras. Las muestras biológicas se obtuvieron mediante una red de arrastre demersal de 20,6 m de relinga superior, 25,6 m de relinga inferior, y

4,5 cm de malla del copo. La duración de cada arrastre fue de 15 min (Folmer y Pennington 2000), con una velocidad promedio de 3 nudos. En cada estación se recolectaron muestras biológicas para determinar la captura por unidad de área (CPUA; kg/km²) y la estructura de tallas (longitud total, LT en cm). La condición reproductiva de las hembras fue evaluada mediante observación macroscópica del grado de desarrollo ovárico (forma y color de la gónada), mediante los estados: *I*) inmaduro, gónadas delgadas, de forma cilíndrica, traslúcidas y de color amarillo pálido; *II*) en desarrollo, gónadas de color amarillo pálido, se forman pequeños vasos sanguíneos y sin presencia de huevos; *III*) en maduración, gónadas ocupan dos tercios de la cavidad abdominal, de color amarillo-naranja con presencia de huevos y vasos sanguíneos; *IV*) maduro, gónadas ocupan dos tercios de la cavidad abdominal, de color naranja, con presencia de numerosos vasos sanguíneos y huevos grandes de color amarillo; y *V*) desove, gónadas flácidas de color naranja, con restos de

sangre y huevos maduros. Para la estimación de la talla de madurez fueron considerados los estados I y II como inmaduros, y estados III, IV y V como maduros. Las condiciones oceanográficas tales como temperatura y salinidad de fondo fueron medidas mediante una sonda CTD SEABIRD SBE19; la profundidad con una ecosonda SIMRAD EY500; y las muestras de sustrato fueron recolectadas con una draga Van Veen para determinar el tipo de sedimento considerando los valores de PHI (-2 a -1: *gránulos*; -1 a 0: *arenas muy gruesas*; 0 a 1: *arenas gruesas*; 1 a 2: *arenas medianas*; 2 a 3: *arenas finas*; 3 a 4: *arenas muy finas*; > 4: *lodos*) (Buchanan 1984).

Análisis de información. *Madurez sexual.* La talla media de madurez (**LT** 50%) de las hembras se determinó utilizando un modelo logístico (King 2007):

$$P_l = \frac{1}{1 + e^{(a+b*LT)}} \text{ ver imagen o figura de fórmula 1}$$

donde, P_l es la proporción de hembras maduras, **LT** es la longitud total (cm), **a** y **b** son los parámetros estimados de la función logística. La talla media de madurez, LT 50%, se estimó mediante la relación **(-a/b)**. La curva se ajustó aplicando la máxima verosimilitud y la incertidumbre se evaluó por remuestreo MonteCarlo para obtener los parámetros estimados y los intervalos de confianza (**IC**) al 95% (Manly 2006, Roa et al. 1999).

Estructura de tallas. Para analizar los datos de frecuencia de tallas por sexo, se utilizó el software MIX (*Mixture Analysis*; MacDonald y Pitcher 1979). El análisis consideró los datos de frecuencia como una mezcla de funciones de densidad entre las tallas medias, las magnitudes de las varianzas, la proporción del número de peces en cada moda y el tamaño de muestra total. Un análisis de ANOVA de una vía fue usado para evaluar diferencias significativas entre sexos, una vez que se comprobaron los

supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza de los datos con transformación logarítmica.

Estructura espacial. Se utilizaron técnicas geostatísticas (Conan 1985, Petitgas 1996, Rivoirard et al. 2000) para determinar la estructura espacial de la CPUA y las tallas de *L. synagris*. El variograma experimental se define como la diferencia cuadrática media de dos puntos separados por una distancia *h*:

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

ver imagen o figura de fórmula 2

donde, **y** es el variograma en función de la distancia (**h**, medida en km); **N** es el número de pares de datos separados por **h**; **Z(x_i)** es el valor de la variable en la muestra (**x_i**); **Z(x_i + h)**, es el valor de la variable separada por **x_i** y **h**. Se ajustó un modelo gaussiano, esférico y exponencial al variograma experimental, y se escogió el mejor modelo para el *kriging* mediante el método de validación cruzada acorde al criterio del menor valor del cuadrado medio del error (Bez 2002, Cressie 1993).

Relación ambiente – CPUA y tallas. Para determinar la relación entre las variables dependientes (CPUA y tallas) con los predictores ambientales: profundidad, temperatura de fondo, salinidad y tipo de sedimento, se utilizaron modelos aditivos generalizados (**GAM**). La técnica de modelación GAM se deriva de los modelos lineales generalizados (**GLM**), y permite estimar la relación entre una variable respuesta y predictores aditivos, mediante el uso de funciones suavizadoras no-paramétricas (Crawley 2007, Hastie y Tibshirani 1990):

$$y_i \sim \sum_{i=1}^n s(X_i) + \varepsilon_i \text{ ver imagen o figura de fórmula 3}$$

donde, y_i es la función que define la variable respuesta con el predictor aditivo; X_i son los predictores aditivos; s son las funciones suavizadoras tipo spline; ε_i es el error. Se determinó el nivel de significancia (valor p), el grado de validación de las predicciones hechas por el modelo usando el criterio de información de Akaike (AIC) y la devianza explicada por el modelo (Stoner et al. 2001). La devianza es análoga a la varianza y la devianza nula es análoga a la varianza total. Por lo tanto, la devianza nula menos la devianza residual es la varianza explicada por el modelo (Burnham y Anderson 2002).

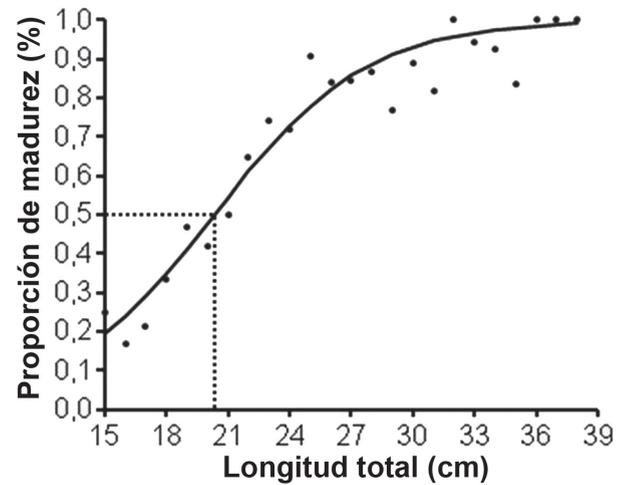


Figura 2. Curva de proporción de madurez sexual LT 50% para hembras de *Lutjanus synagris*. Proporción de madurez (círculos) y modelo ajustado (línea continua)

$$\text{Devianza explicada(\%)} = \frac{\text{Devianza nula} - \text{Devianza residual}}{\text{Devianza nula}}$$

El valor de p, AIC y la devianza explicada fueron utilizados como criterios para seleccionar los modelos que mejor explicaron la relación entre las variables respuesta y los predictores.

RESULTADOS

Madurez sexual. Se analizaron un total de 351 hembras para determinar los diferentes estados de madurez. Un 72% de ejemplares se encontraron maduros. La talla de madurez LT 50% (figura 2) fue de 21,35 cm LT (IC inferior: 21,01; IC superior: 23,93), los parámetros $a = 5,57$ (IC inferior: 4,87; IC superior: 6,49) y $b = -0,26$ (IC inferior: -0,23; IC superior: -0,27).

Estructura de tallas. Los rangos de tallas en hembras de *L. synagris* se encontraron entre 15,1 y 46,5 cm LT (media: $25,8 \pm 5,8$ cm), y en machos entre 15,9 y 42,6 cm LT (media: $27,6 \pm 5,6$ cm). Se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sexos, mostrando heterogeneidad en las tallas para ambos sexos (valor $p = 0,000$ y valor $F = 14,86$)

(figura 3). La distribución de frecuencias de las tallas medias se caracterizó por tres grupos modales en hembras y machos (tabla 1). En las hembras, el primer grupo modal ($17,5 \pm 1,4$ cm) y el tercero ($32,5 \pm 1,2$ cm) representaron el 26%, y el segundo el 74% ($24,7 \pm 4,1$ cm). Para los machos, la primera moda ($19,4 \pm 2,3$) fue del 26%, la segunda ($25,9 \pm 1,4$) el 20%, y la tercera ($31,1 \pm 2,9$) con 54%.

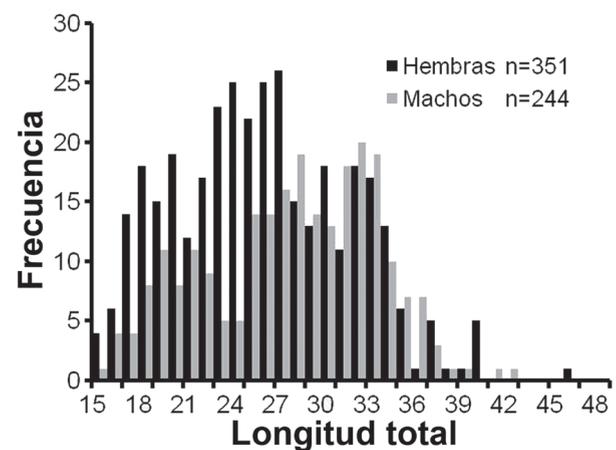


Figura 3. Distribución de frecuencia de tallas de *Lutjanus synagris*, hembras (barras negras) y machos (barras grises)

Tabla 1. Parámetros de distribución de frecuencia (proporción, media y desviación estándar) de cada moda del histograma de tallas (LT) de *Lutjanus synagris* en el Caribe colombiano

Sexo	Proporción			Media			Desviación estándar		
	$p1$	$p2$	$p3$	$\mu1$	$\mu2$	$\mu3$	$\sigma1$	$\sigma2$	$\sigma3$
Hembras	0,13	0,74	0,13	17,5	24,7	32,5	1,4	4,1	1,2
Machos	0,26	0,20	0,54	19,4	25,9	31,1	2,3	1,4	2,9

Estructura espacial. La distribución espacial de la CUPA y las tallas de *L. synagris* fue explicada en ambos casos por un variograma omnidireccional isotrópico, ajustado con un modelo esférico con rangos de autocorrelación de 10,8 y 7,3 km, respectivamente (figura 4A, B), lo que indica que no hay correlación espacial más allá de esta distancia y muestra el tamaño de agregación del pargo rayado. Los individuos estudiados de esta especie presentarán dos zonas de alta abundancia, una hacia el noreste entre Bahía Portete y Puerto Estrella en La Guajira, y la segunda localizada en el suroeste entre el río Buritaca y Riohacha (figura 5). Los peces juveniles se localizaron entre el río Buritaca y Riohacha, mientras que

los adultos se encontraron principalmente hacia el norte del área de estudio en la península de La Guajira (figura 6).

Relación ambiente – CUPA y tallas. Los resultados de la modelación GAM mostraron asociación significativa entre la CUPA y los predictores ambientales (tabla 2). Las mayores abundancias de *L. synagris* se encontraron relacionadas con temperaturas entre 24,0-25,0 °C, y profundidades entre 30-50 m. En cuanto a sedimentos, mostraron preferencia por el tipo de sedimento arenas finas, arenas muy finas y lodos (valores PHI entre 2,5-4,5) y aguas con salinidades entre 36,8 y 36,9 (figura 7).

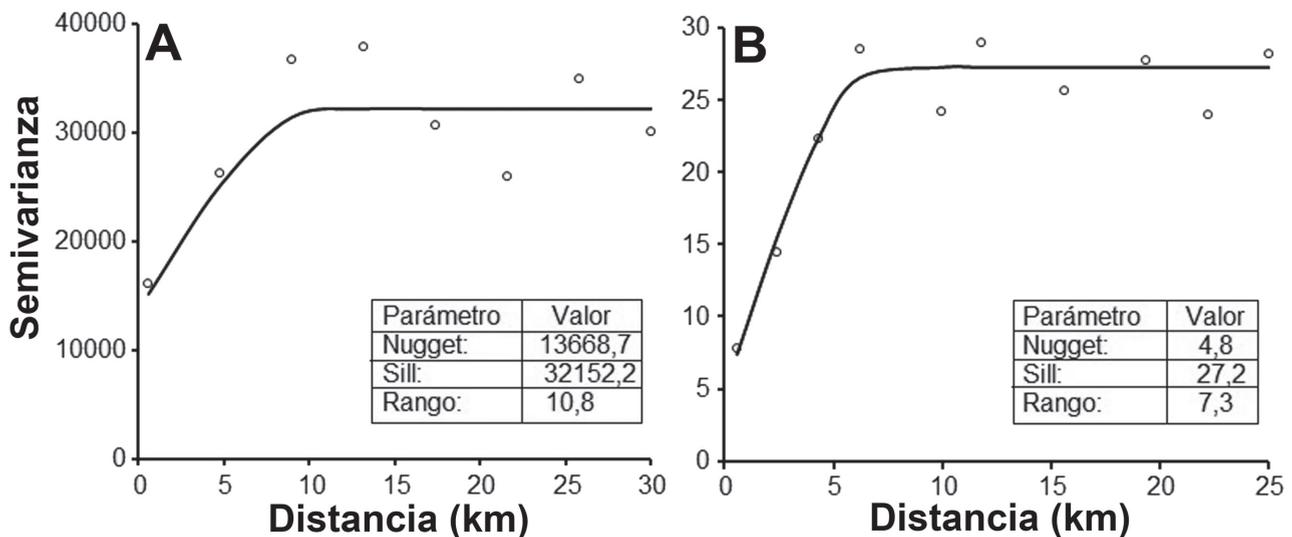


Figura 4. Variogramas isotrópicos ajustados con un modelo esférico: **A.** Captura por unidad de área (CUPA; kg/km²). **B.** Tallas (cm, LT) de *Lutjanus synagris*

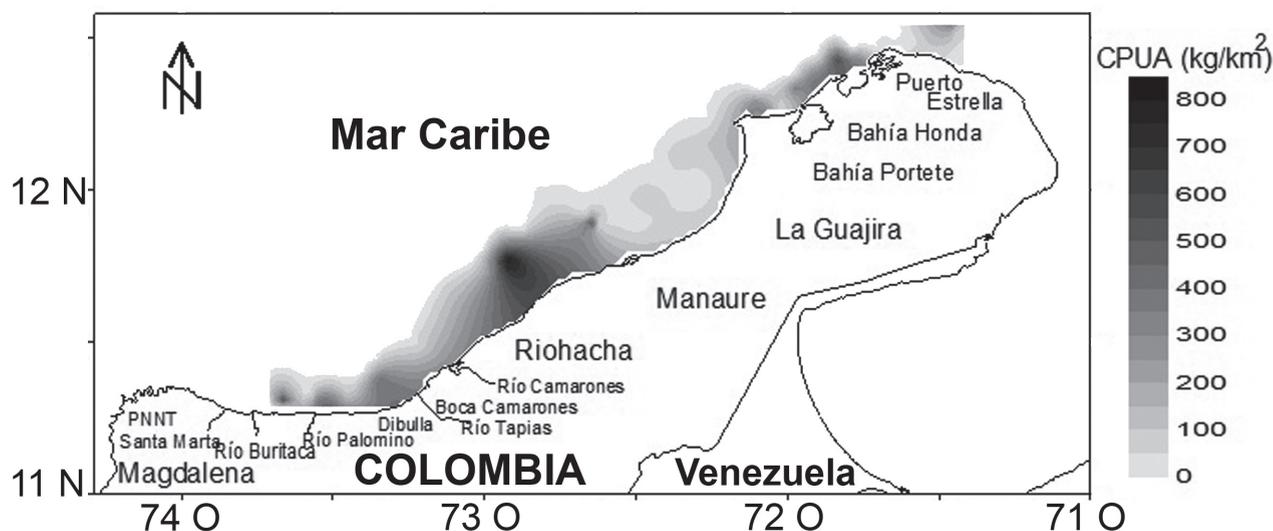


Figura 5. Distribución espacial de la abundancia [captura por unidad de área (CPUA; kg/km²)] de *Lutjanus synagris* en el Caribe colombiano

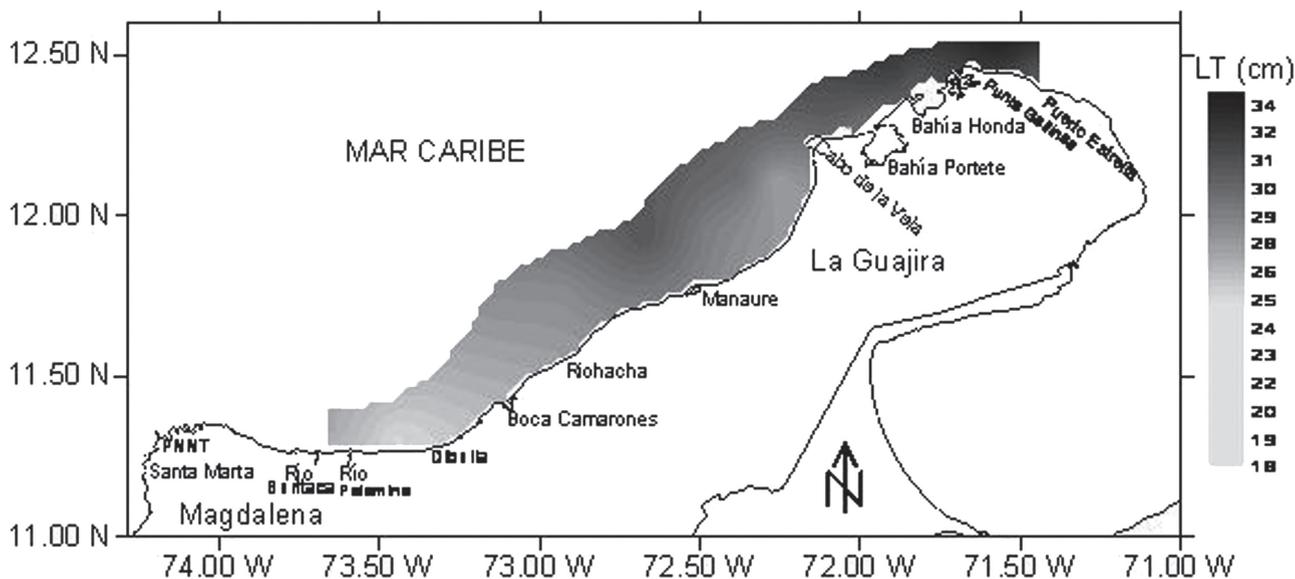


Figura 6. Distribución espacial de las tallas (LT; cm) de *Lutjanus synagris* en el Caribe colombiano

DISCUSIÓN

La pesquería del pargo rayado (*L. synagris*) constituye una fuente importante de empleos en el Caribe colombiano, tanto en la pesca artesanal

como la industrial. Por ejemplo, en el año 2007 se registraron 14,61 toneladas capturadas por la flota artesanal (anzuelos, chinchorro y red de enmalle) y 6,6 toneladas de la pesca industrial con redes de enmalle, palangre y red de arrastre,

Tabla 2. Resultados de la modelación GAM entre la CPOA, tallas de *Lutjanus synagris* del Caribe colombiano con las variables predictoras, porcentaje de la devianza explicada por el modelo, grados de libertad (*g l*), valor *p* y criterio Akaike (*AIC*)

Predictor	CPUA			
	Devianza (%)	<i>g l</i>	valor <i>p</i>	<i>AIC</i>
Temperatura	10,27	69	0,00*	17324
Salinidad	12,82	68	0,00*	17064
Tipo sedimento	10,99	60	0,00*	20501
Profundidad	14,31	70	0,00*	16361

Predictor	Tallas			
	Devianza (%)	<i>g l</i>	valor <i>p</i>	<i>AIC</i>
Temperatura	13,06	37	0,61	48,2
Salinidad	13,71	37	0,20	47,9
Tipo sedimento	13,41	31	0,21	52,8
Profundidad	41,80	37	0,21	35,8

para un total de 21,2 toneladas capturadas en el Caribe colombiano (Barreto y Borda 2008). La talla media de madurez estimada en este estudio se encontró por debajo a la comunicada por otros autores [21,9 cm por Sandoval (1999); 33,7 cm por Gómez-Canchong et al. (2004); 29,3 cm por Barreto y Borda (2008)], mostrando que *L. synagris* puede estar adaptando su estrategia reproductiva a una maduración más temprana. Lo anterior, ocurre probablemente como una respuesta a los altos niveles de explotación de la pesquería artesanal, y además, a la captura como fauna acompañante en la pesca industrial. Esta condición posiblemente se relacione a una sobrepesca en crecimiento, donde se capturan peces que no han alcanzado la madurez sexual o reproducirse por primera vez, lo que reduce la probabilidad de ingreso de nuevos reclutas al *stock* parental (King 2007, Quinn y Deriso 1999). De acuerdo con Barreto y Borda (2008),

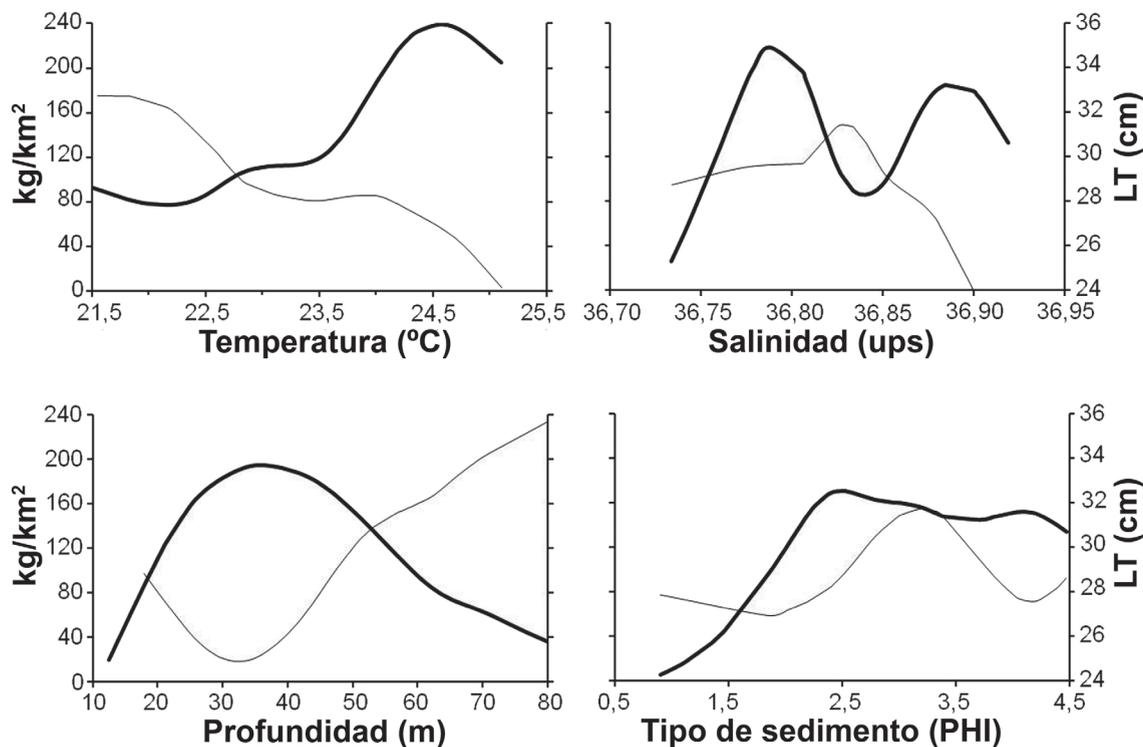


Figura 7. Resultados de la modelación GAM de las relaciones funcionales entre la captura por unidad de área (CPOA; kg/km²; línea gruesa) y las tallas (cm; línea delgada) de *Lutjanus synagris* con los predictores (profundidad, salinidad, temperatura, tipo de sedimento)

la talla media de captura es menor de la talla media de madurez, lo que implica que se está aprovechando parte del recurso que aún no ha madurado sexualmente y por esto se recomienda la regulación del esfuerzo de pesca y vedas temporales. Gómez-Canchong et al. (2004) utilizaron en su estudio el palangre como arte de pesca, el cual clasifica como uno de los de mayor selectividad en la captura de peces grandes, condición que puede estar vinculada en el alto valor de la talla media de madurez registrada por estos autores. Adicionalmente, la similitud del resultado de Sandoval (1999) con el presente estudio se puede deber a que se utilizó la misma embarcación (B/I ANCON) con las mismas características de arte de pesca.

En la costa norte de Colombia, las condiciones oceanográficas están moduladas por la surgencia estacional de aguas profundas que involucra un enfriamiento de las masas de agua y un aumento de la productividad primaria. Los individuos de esta especie se encontraron en gran abundancia hacia el norte del área de estudio, y se asociaron con aguas relativamente someras (30-50 m) y frías ($< 25\text{ }^{\circ}\text{C}$), que son características en la zona de La Guajira, especialmente, cuando la surgencia costera ocurre con mayor intensidad al inicio del año (época seca). La co-ocurrencia de alta abundancia de peces adultos y la surgencia en la zona de La Guajira, se relaciona a un patrón de segregación en pargos que favorece su estrategia reproductiva, debido principalmente a que el enfriamiento del agua es un indicador de aumento en la disponibilidad de nutrientes y de la biomasa fitoplanctónica, que son claves durante el desove y para la alimentación y sobrevivencia de estadios larvales (Cury y Roy 1989). Algunos estudios indican que la zona de La Guajira reúne condiciones ambientales importantes para la distribución de huevos y larvas de peces demersales (Andrade y Barton 2005, Arteaga et al. 2004b). En *L. synagris* se identificaron dos periodos de desove, el primero entre abril y agosto, el cual es el periodo de

transición entre las épocas seca y húmeda, con pico en mayo, y el segundo en octubre, con intensas precipitaciones, con áreas de desove localizadas al frente de Dibulla y entre Riohacha y Manaure (Arteaga et al. 2004a). Doncel y Páramo (2010) encontraron en esta especie, que los adultos tienen hábitos alimenticios especialistas, con preferencias por individuos de las familias Portunidae y Penaeidae (*Crustacea: Decapoda*) en la costera norte de Colombia.

Por otro lado, los juveniles se encontraron en altas abundancias hacia la zona sur, entre el río Buritaca y Riohacha. Esta zona se caracteriza por la presencia de aguas cálidas ($> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$), fondos blandos y lodosos, y un borde costero ocupado por extensas formaciones de manglar, que conforman un hábitat fundamental para el crecimiento, el refugio y la disponibilidad de alimento para peces pequeños (Páramo et al. 2009). Páramo et al. (2003) indicaron que en el sector entre el río Buritaca y Dibulla se encuentran los peces de tallas menores, y además, que la zona presenta procesos de retención, concentración y enriquecimiento fundamentales para el éxito en el reclutamiento. De acuerdo con Doncel y Páramo (2010), observaron en esta zona a *L. synagris* como una especie de nicho trófico amplio, identificando a los juveniles con hábitos generalistas y preferencias por presas de la familia Squillidae (*Crustacea: Stomatopoda*) y Sicyoniidae (*Crustacea: Decapoda*).

Los resultados sugieren que la estructura espacial de *L. synagris* está relacionada con las variables ambientales, lo cual explica el patrón de segregación de adultos y juveniles, y su preferencia por hábitats específicos en el Caribe colombiano. El comportamiento y la distribución de organismos marinos están determinados en gran parte por las características del hábitat, ya que ofrecen condiciones óptimas para la alimentación, la reproducción y el reclutamiento de las especies (Perry y Smith 1994, Wuenschel et al. 2004). Finalmente, la relación entre la distribución espacial de peces

demersales y las variables ambientales, es un aspecto fundamental para apoyar el manejo pesquero, especialmente de especies sometidas a una fuerte presión de pesca, como el caso de la pesquería de los pargos en el Caribe colombiano.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” (COLCIENCIAS), a la Universidad del Magdalena, al Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER), al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (INVEMAR), al Institut de Recherche pour le Developpement, Francia (IRD), por el apoyo financiero, técnico y logístico para el desarrollo del proyecto “Las Áreas Marinas Protegidas (AMPs): una herramienta de manejo para las pesquerías demersales en la zona norte del Caribe colombiano” código 020309-16652.

REFERENCIAS

- Álvarez-León R, Aguilera-Quiñonez J, Andrade-Amaya CA, Nowak P. 1995. Caracterización general de la zona de surgencia en La Guajira colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas*, 19 (75): 679-694.
- Andrade CA, Barton ED, Mooers CHN. 2003. Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coast. *Journal of Geophysical Research*, 108: 1-11.
- Andrade CA, Barton ED. 2005. The Guajira upwelling system. *Continental Shelf Research*, 25: 1003-1022.
- Anónimo. 1989. Prospecciones de los recursos pesqueros de las áreas de plataforma entre Surinam y Colombia. Institute of Marine Research. NORA/UNDP/FAO Programme. Bergen. p. 160.
- Arteaga E, Criales M, Rodríguez D, Gómez P, Manjarrés L. 2004a. Dinámica reproductiva de los stocks de pargo rayado *Lutjanus synagris* (Linnaeus, 1758) en el área norte del Caribe colombiano. En: Manjarrés L, editor. *Pesquerías demersales del área norte del Mar Caribe de Colombia y parámetros biológico-pesqueros y poblacionales del recurso pargo*. Santa Marta (Colombia): Universidad del Magdalena. p. 203-215.
- Arteaga E, Criales M, Altamar J, Manjarrés L. 2004b. Composición, abundancia y distribución de larvas de lutjánidos en el nororiente del Caribe colombiano (cruceros LUTJA-INPA/COLCIENCIAS). En: Manjarrés L, editor. *Pesquerías demersales del área norte del Mar Caribe de Colombia y parámetros biológico-pesqueros y poblacionales del recurso pargo*. Santa Marta (Colombia): Universidad del Magdalena. p. 229-246.
- Barreto C, Borda C. 2008. Evaluación de recursos pesqueros colombianos. ICA. Bogotá (Colombia): Produmedios. p. 131.
- Bez N. 2002. Global fish abundance estimation from regular sampling: the geostatistical transitive method. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59: 1921-1931.
- Buchanan J. 1984. Sediment analysis. En: Holme NA, McIntyre AD, editors. *Methods for the study of marine benthos*. London (England): Blackwell. p. 41-45.
- Bula-Meyer G. 1990. Oceanografía. En: *Caribe Colombia*. Bogotá (Colombia): Fondo José Celestino Mutis-FEN. p. 5-66.
- Burnham KP, Anderson DR. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. 2nd ed. Nueva York (U. S. A.): Springer-Verlag.
- Caddy JF, Seijo JC. 1998. Application of a spatial model to explore rotating harvest strategies for sedentary species. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 125: 359-365.
- Carpenter KE. 2002. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 3: Bony fishes part 2 (Opistognathidae to Molidae), sea turtles and marine mammals. *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists*. Rome. Special Publication No.5 FAO. p. 1375-2127.
- Cervigón F, Cipriani R, Fischer W, Garibaldi L, Hendrickx M, Lemus A, Márquez R, Poutiers J, Robaina G, Rodríguez B. 1992. Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América. Preparado con el financiamiento de la Comisión de Comunidades Europeas y de NORAD. Roma. p. 513.
- Conan GY. 1985. Assessment of shellfish stocks by geostatistical techniques. *International Council for the Exploration of the Sea CM 1985/K: 30*.
- Crawley M. 2007. *The R Book*. London (England): John Wiley and Sons, Ltd. p. 949.
- Cressie NA. 1993. *Statistics for spatial data*. New York (U. S. A.): John Wiley and Sons. p. 900.
- Cury P, Roy C. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46 (4): 670-680.
- Doncel O, Páramo J. 2010. Hábitos alimenticios del pargo rayado, *Lutjanus synagris* (Perciformes: Lutjanidae), en

- la zona norte del Caribe colombiano. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 38 (3): 413-426.
- Duarte LO, García CB. 1999. Diet of the Lane Snapper, *Lutjanus synagris* (Lutjanidae) in the Gulf of Salamanca, Colombia. *Caribbean Journal of Science*, 35 (1-2): 54-63.
- Folmer O, Pennington M. 2000. A statistical evaluation of the design and precision of the shrimp trawl survey off West Greenland. *Fisheries Research*, 49: 165-178.
- Gobert B, Berthou P, Lopez E, Lespagnol P, Oqueli M, Macabiau C, Portillo P. 2005. Early stages of snapper-grouper exploitation in the Caribbean (Bay Islands, Honduras). *Fisheries Research*, 73: 159-169.
- Gómez-Canchong P, Rodríguez DJ, Arévalo J, Manjarrés L. 2004. Identificación de stocks del pargo rayado *Lutjanus synagris* (Linnaeus, 1758) en el área norte del Caribe colombiano. En: Manjarrés L, editor. *Pesquerías demersales del área norte del Mar Caribe de Colombia y parámetros biológico-pesqueros y poblacionales del recurso pargo*. Santa Marta (Colombia): Universidad del Magdalena. p. 155-180.
- Hastie TJ, Tibshirani RJ. 1990. *Generalized Additive Models*. London (England): Chapman and Hall. p. 344.
- King M. 2007. *Fisheries biology, assessment and management*. London (England): Wiley-Blackwell. p. 400.
- Kritzer J. 2004. Sex-specific growth and mortality, spawning season, and female maturation on the stripey bass (*Lutjanus carponotatus*) on the Great Barrier Reef. *Fishery Bulletin*, 102: 94-107.
- Link JS. 2002. Ecological considerations in fisheries management: When does it matter? *Fisheries*, 27 (4): 10-17.
- Luckhurst B, Dean J, Reichert M. 2000. Age, growth and reproduction of the lane snapper *Lutjanus synagris* (Pisces: Lutjanidae) at Bermuda. *Marine Ecology Progress Series*, 203: 255-261.
- Macdonald PD, Pitcher TJ. 1979. Age-groups from size-frequency data: a versatile and efficient method of analyzing distribution mixtures. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 36: 987-1001.
- Manjarrés L. 2004. *Pesquerías demersales del área norte del Mar Caribe de Colombia y parámetros biológico-pesqueros y poblacionales del recurso pargo*. Santa Marta (Colombia): Universidad del Magdalena. p. 318.
- Manly BF. 2006. *Randomization, bootstrap and Monte Carlo methods in biology*. New York (U. S. A.): Chapman and Hall. p. 300.
- Pacheco M, Páramo J, Sánchez C. 2010. Estructura espacial de *Eucinostomus argenteus* (Pisces: Gerreidae) en la zona norte del Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 15 (1): 179-194.
- Páramo J, Quiñones RA, Ramirez 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.
- Páramo J, Guillot-Illidge 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.
- Páramo J, Correa M, Nuñez S. 2011. Evidencias de desacople físico-biológico en el sistema de surgencia en La Guajira, Caribe colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 46 (3): 421-430.
- Párraga DP, Cubillos LA, Correa MA. 2010. Variaciones espacio-temporales de la captura por unidad de esfuerzo en la pesquería artesanal costera del pargo rayado *Lutjanus synagris*, en el Caribe colombiano y su relación con variables ambientales. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 45 (1): 77-88.
- Perry RI, Smith SJ. 1994. Identifying habitat associations of marine fishes using survey data: an application to the Northwest Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51: 589-602.
- Petitgas P. 1996. Geostatistics and their applications to fisheries survey data. In: Megrey A, Moskness E, editors. *Computers in Fisheries Research*. London (England): Chapman and Hall. p. 113-142.
- Pujos M, Plagliardini J, Steer R, Vernet G, Wever O. 1986. Influencia de la contracorriente norte colombiana para la circulación de las aguas en la plataforma continental: su acción sobre la dispersión de los efluentes en suspensión del río Magdalena. *Boletín Científico Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas*, 6: 3-15.
- Quinn TJ, Deriso RB. 1999. *Quantitative Fish Dynamics*. New York (U. S. A.): Oxford University Press. p. 542.
- Quintero R. 1992. *Crucero evaluación recursos demersales por el método de área barrida – Fase Caribe colombiano*. Memorias VIII Seminario Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. Santa Marta (Colombia). vol. 2: p. 818-829.
- Rivoirard J, Simmonds J, Foote KG, Fernandes P, Bez N. 2000. *Geostatistic for estimating fish abundance*. London (England): Blackwell Science Ltd. p. 205.
- Roa R, Ernst B, Tapias F. 1999. Estimation of size at sexual maturity: an evaluation of analytical and resampling procedures. *Fishery Bulletin*, 97: 570-580.
- Rojas P, Gutiérrez C, Puentes V, Villa A, Rubio E. 2004. Aspectos de la biología y dinámica poblacional del pargo coliamarillo *Lutjanus argentiventris* en el Parque Nacional Natural Gorgona, Colombia. *Investigaciones Marinas*, 32 (2): 23-26.
- Sandoval N. 1999. *Análisis reproductivo y de fecundidad de dos especies demersales Lutjanus synagris y Lutjanus analis en el Golfo de Salamanca Caribe colombiano*. [Tesis de Grado Ingeniería Pesquera]. [Santa Marta

- (Colombia)]: Facultad de Ingeniería, Universidad de Magdalena. p. 100.
- Stoner AW, Manderson JP, Pessutti JP. 2001. Spatially explicit analysis of estuarine habitat for juvenile winter flounder: combining generalized additive models and geographic information systems. *Marine Ecology Progress Series*, 213: 253-271.
- Viaña JE, Medina JA, Barros ME, Manjarrés L, Altamar J, Solano M. 2004. Evaluación de la ictiofauna demersal extraída por la pesquería industrial de arrastre en el área norte del Caribe colombiano (Enero/2000-Junio/2001). En: Manjarrés L, editor. *Pesquerías demersales del área norte del Mar Caribe de Colombia y parámetros biológico-pesqueros y poblaciones del recurso pargo*. Santa Marta (Colombia): Universidad del Magdalena. p. 115-151.
- Viloria J. 1993. Aspectos económicos de las lanchas pargueras de Taganga. En: INPA-CIID-UNIMAGDALENA. *Proyecto integral de investigaciones y desarrollo de la pesca artesanal marítima en el área de Santa Marta*. Informe Técnico Final. Magdalena, Colombia. p. 319-324.
- Wuenschel MJ, Jugovich AR, Hare JA. 2004. Effect of temperature and salinity on the energetics of juvenile gray snapper (*Lutjanus griseus*): implications for nursery habitat value. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 312: 333-347.