
**INFLUENCIA DE LA FASE LUNAR EN LAS TASAS
DE CAPTURA DE *Selar crumenophthalmus* (CARANGIDAE)
EN EL CARIBE DE COLOMBIA. UNA APROXIMACIÓN
POR MODELOS LINEALES GENERALIZADOS**

**Moon Phase Influence on Catch Rates of *Selar crumenophthalmus*
(Carangidae) in the Caribbean Sea off COLOMBIA. A Generalized
Lineal Model Approach**

JAIRO ALTAMAR¹, DIANA PARRAGA², LUIS ORLANDO DUARTE¹

¹Laboratorio de Investigaciones Pesqueras Tropicales, Universidad del Magdalena, Carrera 32 # 22-08, Santa Marta, Colombia. gjeep@unimagdalena.edu.co - jairoaltamar@hotmail.com

²Instituto de Fomento Pesquero - IFOP Avenida Blanco # 839, Valparaiso, Chile. luis.o.duarte@gmail.com

Presentado 25 de marzo de 2009, aceptado 20 de octubre de 2009, correcciones 25 de octubre de 2010.

RESUMEN

Las tasas de captura de *Selar crumenophthalmus* provenientes de los desembarcos registrados en el norte del mar Caribe de Colombia fueron analizadas y estandarizadas mediante Modelos Lineales Generalizados (MLG). Se utilizó información colectada entre 1994 y 2001. Los factores que se utilizaron como predictores lineales fueron: año, mes, código lunar, sector geográfico, y estrato de profundidad. Las mayores tasas de captura fueron detectadas durante los dos días de luna nueva máxima en el sector del Parque Nacional Natural Tayrona, lo cual indica que la mayor disponibilidad del recurso, dado su hábito nocturno y fototaxis positiva, está muy localizada en el tiempo. Esta condición ha de incorporarse en los esquemas de ordenamiento, una vez que facilita la implementación de mecanismos de control pesquero. Se registró una disminución de la tasa de captura en los últimos dos años del periodo examinado, tendencia que sugiere el deterioro de la abundancia poblacional de este recurso, hasta ahora considerado fuera de riesgo de sobreexplotación. En pesquerías multiespecíficas, explicar la abundancia poblacional con tasas de captura estimadas incluyendo solo datos de lances que registren la especie analizada, puede derivar en una conclusión conceptual y cuantitativamente incorrecta.

Palabras clave: tasa de captura, fase lunar, Modelos Lineales Generalizados, *Selar crumenophthalmus*, mar Caribe.

ABSTRACT

Catch rates of *Selar crumenophthalmus* in the landings belonging from the north of the Caribbean Sea off Colombia were analyzed and standardized with Generalized Lineal

Models (GLM). Information collected between 1994 and 2001 was used. The factors used as lineal predictors were: year, month, Moon phases, geographic sector, and depth. The highest catch rates were detected during the two days 100% New Moon in the Tayrona National Natural Park, which indicates that the availability of the resource, because its nocturne habit and positive phototaxis, is located in the time. This condition should be incorporates in management schemes, since facilitates the implementation of fishing control strategies. A diminution of the catch rate was registered in the last two years; tendency that suggests the deterioration of the population abundance of this species, until now considered without over-exploitation risk. In multispecies fishing grounds, explanation of the population abundance with catch rates estimated with only data of hauls that recorded the analyzed species can derive in a conceptual and quantitatively incorrect conclusion.

Key words: Catch rates, Moon phases, Generalized Lineal Models, *Selar crumenophthalmus*, Caribbean Sea.

INTRODUCCIÓN

Las pesquerías, históricamente se han estudiado empleando las estadísticas de pesca y especialmente la captura por unidad de esfuerzo (CPUE). No obstante, el uso de la CPUE como índice de abundancia ha sido muy criticado, dado el sesgo asociado a los cambios en el poder de pesca de las embarcaciones y a las variaciones espacio-temporales del patrón de explotación. De otra parte, los *stocks* pelágicos se pueden considerar como biológicamente inestables, los cuales pueden desequilibrarse incluso a partir de las situaciones más optimistas (Yáñez y Maritano, 1983; Espindola, 2000).

Los Modelos Lineales Generalizados (MLG), actualmente son la herramienta más común para estandarizar la CPUE (Hinton y Maunder, 2003). Los MLG son una extensión general de los modelos lineales (Nelder y Wedderburn, 1972), éstos surgen de la necesidad de expresar en forma cuantitativa relaciones entre un conjunto de variables. Así este análisis permite estimar el efecto del año, que representa niveles de abundancia relativa en esta escala y es usado como un índice relativo de abundancia para incluir en los modelos de evaluación de *stock* (Hinton y Maunder, 2003).

En el mar Caribe de Colombia las estimaciones de biomasa de pequeños pelágicos están cercanas a las 80.000 t, de las cuales la pesquería artesanal de chinchorros explota menos del 5% (Manjarrés *et al.*, 1998). El caso excepcional lo constituye *Selar crumenophthalmus* comúnmente denominado ojo gordo, pequeño pelágico que, además, es capturado con líneas de mano en faenas de pesca nocturnas (Manjarrés, 2004), particularmente en luna nueva (Rivera y Wong, 1996). Esta especie se distribuye mundialmente en aguas marinas tropicales y subtropicales (Carpenter, 2002), se caracteriza por sus hábitos nocturnos y aparente fototaxis positiva (Rivera y Wong, 1996). Este recurso pesquero resulta ser la especie más desembarcada con líneas de mano en la zona marina cercana a Santa Marta (Manjarrés *et al.*, 1993; Manjarrés, 2004), con gran importancia económica ya que por su bajo precio resulta accesible a personas con bajos ingresos. Dada la importancia de este recurso en la costa Caribe de Colombia, el objetivo de la presente investigación fue estandarizar la CPUE de *S. crumenophthalmus*, capturado en la zona cercana

a Santa Marta a partir de un MLG y analizar la influencia de la fase lunar, conjuntamente con otros factores, en la variabilidad de la CPUE de este recurso.

MÉTODOS

El área de estudio abarca el área marino-costera comprendida entre el sector de Pozos Colorados ($11^{\circ}07'N$ - $71^{\circ}14'O$) y la ensenada de Cinto ($11^{\circ}19'N$ - $74^{\circ}03'O$) en el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT; Fig. 1). Esta zona presenta características fisiográficas y ecológicas particulares. La plataforma continental es muy estrecha y en algunos sectores casi inexistentes, se trata de un quebrado talud que se profundiza hacia los fondos abisales de la Cuenca de Colombia. Por ejemplo frente a Punta Gloria (Pozos Colorados) la pendiente promedio es de 1/40, mientras que frente a Neguanje (PNNT) es de 1/10. En general el paisaje litoral está dominado por acantilados rocosos y una serie de ensenadas que favorecen la existencia de amplios gradientes físicos y una gran variedad de hábitats marinos (CORPES, 1992).

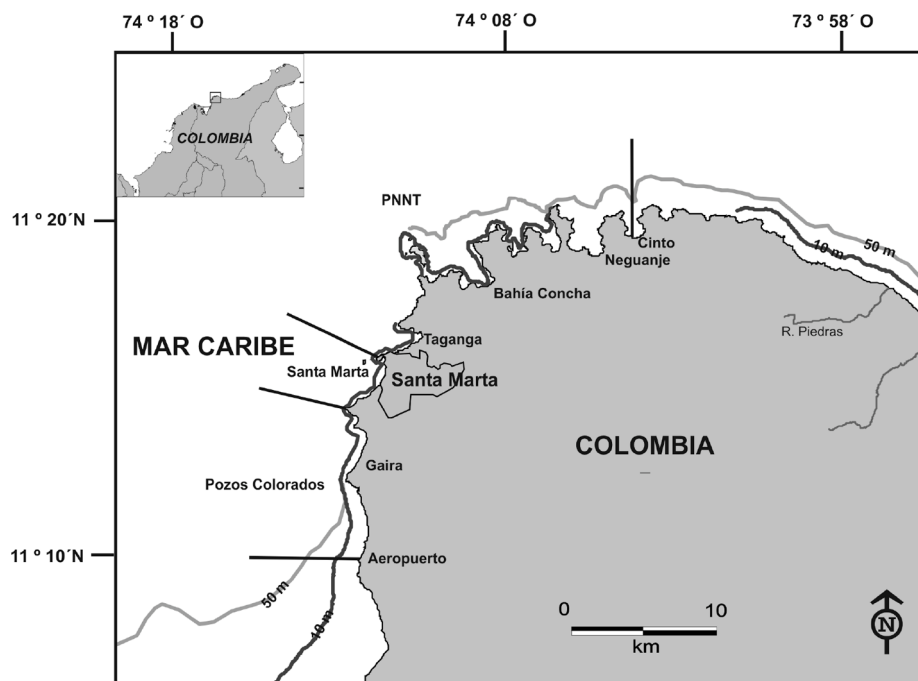


Figura 1. Área de estudio que muestra los principales sitios de desembarco en la costa marítima de la región de Santa Marta, Colombia.

Los datos utilizados provienen de registros de desembarque compilados en el Sistema de Procesamiento de Información de Captura y Esfuerzo Pesquero-PICEP (Manjarrés, 2004), los cuales son el resultado de los proyectos de cooperación técnica para el

desarrollo de la pesca de la UE-INPA/VECEP y proyecto pargos INPA-COLCIENCIAS. La flota que se dedica a la pesca de ojo gordo está orientada específicamente a esta pesquería y como sus capturas nunca son descartadas, en su totalidad corresponden al desembarque, igual caso reportan González-Herraiz *et al.*, 2009, y Manjarrés *et al.*, 2010. De igual manera, la Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) fue calculada en kg/faena, por tanto la tasa de captura por noche también corresponde al desembarque. Los registros provienen de la flota artesanal que operó con línea mano entre 1994 y 2001, exceptuando 1999. La línea de mano nocturna para la captura de *S. crumenophthalmus* requiere del uso de luz artificial, generalmente se utilizan lámparas con “caperuzas” (especie de mechón que hace la función de bombilla) cuyo combustible puede ser gas propano o gasolina. Esta pesquería tiene la particularidad que no utiliza carnada en el anzuelo y se considera que el brillo del anzuelo en el agua y el uso de una bujía de carro (con cuerpo de cerámica) como plomada actúan como señuelo. Este arte suele ser muy efectivo en la fase de luna nueva, también llamada en la región “oscura”. Se utilizó un MLG para estandarizar la CPUE de *S. crumenophthalmus*. Con una distribución Gamma para modelar la CPUE, con una función de enlace tipo logarítmica. Este supuesto distribucional, se eligió en base a la distribución de la variable respuesta y a la relación logarítmica de la media-varianza. El modelo implementado se expresa de la forma:

$$g(E(Y_{ijkm})) = \eta \quad (1)$$

$$\text{donde } \eta = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \phi_m \quad (2)$$

donde, Y es la tasa de captura nominal, $g(\)$ la función de enlace, η el predictor lineal, μ el promedio general de la CPUE, α_i , β_j , δ_k , ϕ_m , representan el efecto del año, mes, código lunar, zona de pesca y profundidad respectivamente. El porcentaje de explicación de cada factor en variabilidad de la CPUE fue analizado a partir de la devianza (Faraway, 2006; Zuur *et al.*, 2007). El análisis se realizó con el software estadístico R versión 2.6.2 (Ihaka y Gentleman, 1996).

En cuanto al código lunar se utilizaron seis códigos aplicados a las cuatro fases de la luna: (1) dos días después de la plena luna nueva; (2) dos días antes de plena luna nueva; (3) dos días de plena luna nueva; (4) dos días antes del código 2; (5) dos días después del código 1 y (6) el resto de días de la fase lunar que incluye los días de la fase de luna llena, y algunos días de cuarto creciente y cuarto menguante. El área de estudio fue dividida en tres sectores geográficos: Pozos Colorados, Santa Marta y Parque Nacional Natural Tayrona. El estrato de profundidad fue categorizado en función de la plataforma continental: hasta 30 m somero, entre 31 y 50 m intermedio y más de 50 m profundo (Manjarrés, 1998).

RESULTADOS

Se analizó un total de 2.093 registros de desembarque: 34 en Pozos Colorados, 696 en Santa Marta y 1.397 en el PNNT. El modelo utilizado explicó ajustadamente la variabilidad de las tasas de captura de *S. crumenophthalmus*; en los resultados del análisis de los residuos estandarizados en contraste con los valores ajustados por el modelo se en-

contró gran dispersión sin una tendencia en particular ni la presencia de residuales atípicos, evidenciando homogeneidad de varianzas; en cuanto a la normalidad se obtuvo un histograma de valores esperados simétrico y se presentó un bajo nivel de ajuste de los residuos en los extremos (Fig. 2).

El análisis de varianza indicó que las variables explicativas fueron significativas ($P < 0,001$). El porcentaje de explicación del modelo fue bajo, apenas el 15%, siendo el factor mes el de mayor devianza explicada (7%), seguido del sector geográfico (3%), año (2%) y la menor explicación equivalente al 1% se presentó en el código lunar y la profundidad (Tabla 1).

Variable predictorora	Grados de libertad (GL)	Devianza	GL residuales	Devianza residual	F	Pr(>F)	Porcentaje de explicación
			2106	1881			
Año	6	42,9	2100	1838	9,1	0,00	2%
Mes	11	133,9	2089	1704,2	15,5	0,00	7%
Código lunar	5	22,4	2084	1681,8	5,7	0,00	1%
Sector	2	56,7	2082	1625,1	36,1	0,00	3%
Profundidad	2	21,7	2080	1603,4	13,8		1%
Devianza del modelo	278,0					15%	
Devianza residual	1603,4					85%	

Tabla 1. Contribución porcentual de las variables en el modelo ajustado para *Selar crumenophthalmus* ojo gordo.

Considerando el factor año se observó una disminución de la CPUE, particularmente en 2000 y 2001, mientras que para la década de los 90 (1994-1998) es apenas apreciable una suave tendencia de incremento, sin diferencias significativas entre los años (Fig. 2A). A nivel mensual, la CPUE se mantuvo en los mismos órdenes de magnitud, y aunque el ojo gordo se captura todas las oscuras del año, las CPUE mensuales varían, principalmente durante el primer semestre que presenta el valor más alto en marzo y el más bajo en mayo, en el segundo semestre con CPUE bajas no hay diferencias marcadas, siendo octubre el más alto y septiembre, noviembre y diciembre los más bajos (Fig. 2B).

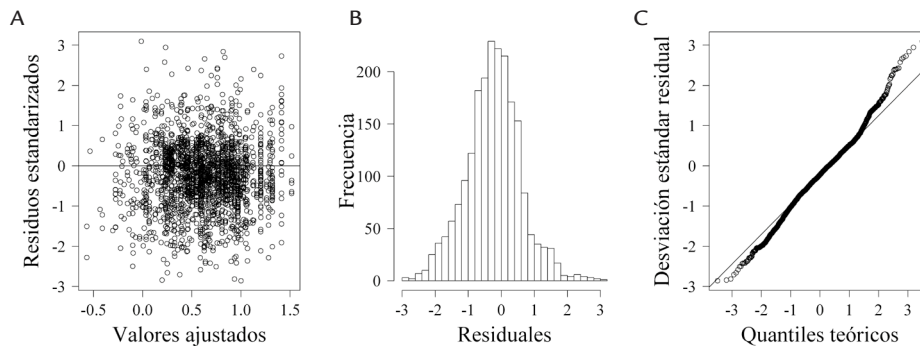


Figura 2. A. Distribución de los residuos estandarizados, contrastado con los valores ajustados por el modelo, B. histograma de los valores residuales y C. percentiles de la distribución normal estándar para el modelo ajustado.

En cuanto al código lunar (Fig. 3C), se observó en el periodo de dos días de plena luna nueva (código lunar 3) la más alta CPUE, seguida del código cuatro que indica los cuatro días antes de la plena luna nueva (dos últimos días del cuarto menguante) y los más bajo al final y después de la luna nueva.

Por otra parte, los sectores geográficos mostraron diferencias siendo el Parque Tayrona el sector con la CPUE más alta y diferenciándose de Pozos Colorados y Santa Marta (Fig. 3D). Finalmente, se establecieron diferencias entre las CPUE del estrato de profundidad somero y los estratos de profundo e intermedio (Fig. 3E). El gráfico de interacciones (Fig. 4) muestra como la media de la CPUE de ojo gordo en el código lunar 3 es mayor en todos los sectores geográficos, diferenciándose del resto de códigos lunares.

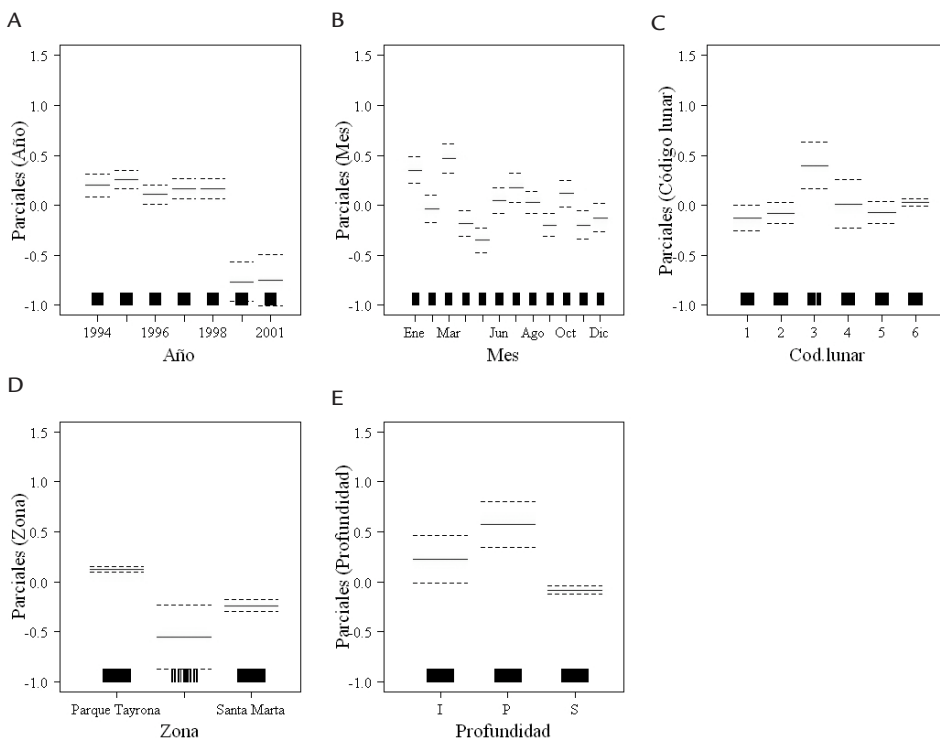


Figura 3. Gráfico de comparación de medias de las variables explicativas de la CPUE con su respectivo intervalo de confianza ($\alpha=0,05$), la intensidad de las barras en el eje de las abscisas da una indicación de la cantidad de datos (n). Las variables son: a) año, b) mes, c) código lunar, d) sector geográfico y e) estrato de profundidad.

DISCUSIÓN

La evidencia de sobreexplotación de los recursos pesqueros a nivel mundial (Ludwig *et al.*, 1993) no excluye al mar Caribe de Colombia (García *et al.*, 2007) al menos en lo que corresponde a recursos demersales. Sin embargo, los recursos pelágicos pequeños que habían mostrado gran potencial (Manjarrés *et al.*, 1998), pareciera que no escapan de

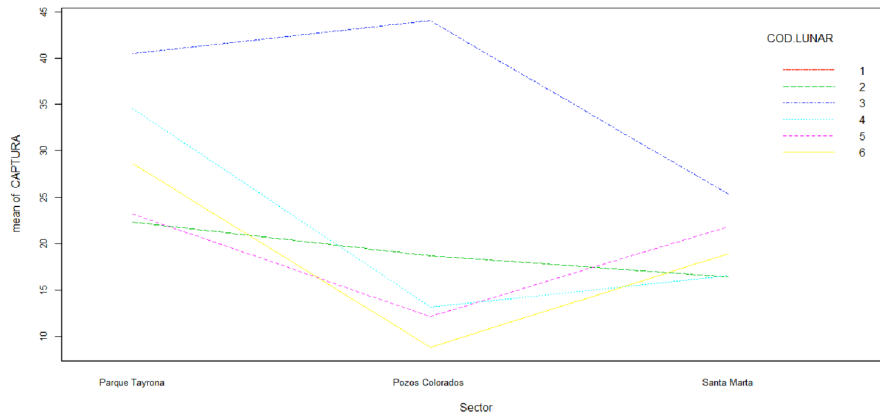


Figura 4. Gráfico de interacciones que muestra la media de la CPUE de ojo gordo en función del código lunar y los sectores geográficos.

esa realidad, al menos para *S. crumenophthalmus*, ya que en el análisis histórico de las CPUE, las tasas de captura más bajas se presentaron en los dos últimos años de muestreo 2000 y 2001, con el agravante que en estos dos años solo se muestrearon los sitios de desembarques del sector Parque Tayrona, que en los resultados anteriores fue el sector con las CPUE más altas. Además en el 2001 solo se muestreó durante el primer semestre que es la época del año en que se presentan altas CPUE.

En el Caribe colombiano, anualmente las condiciones de productividad pelágica son debidas alternativamente, a la descarga continental y al fenómeno de surgencia costera (Blanco, 1988). Probablemente esta condición física y ecológica explica los mayores valores de CPUE de *S. crumenophthalmus* para el mes de marzo. Esta época trae consigo las mayores velocidades de los vientos en dirección paralela a la costa y en consecuencia la intensificación de la surgencia (Manjarrés, 1998; Andrade y Barton, 2005).

La abundancia de algunos recursos pesqueros está influenciada por las fases lunares (Griffiths, 1999). Este efecto se destaca en los desembarques de algunos crustáceos (e.g. cangrejo limón; Aedo y Arancibia, 2003) y peces pelágicos (e.g. anchoveta, sardina y jurel; Espindola *et al.*, 2005). Utilizando MLG se determinó que para cada uno de estos recursos se evidencian diferentes variaciones de los valores de abundancia en función de la luna. Es así como los índices de abundancia tienden a incrementar en anchoveta en luna nueva, en sardina cuando la mitad de luna está iluminada y en jurel cuando casi es luna llena (Espindola *et al.*, 2005).

En caso de *S. crumenophthalmus*, claramente se muestra una relación entre los más altos índices de abundancia expresados como CPUE y la fase máxima de luna nueva. Sin embargo, el periodo de luna llena no presenta mayores diferencias en las CPUE con relación a otros periodos crecientes, menguantes y hasta de luna nueva, lo cual indica que es posible desembarcar *S. crumenophthalmus* a pesar de que para esas fases de la luna esta especie no sea el objetivo de captura, lo que quizás podría evidenciar la disponibilidad del recurso a otras profundidades, cuyo tema debería ser objeto de estudios bajo la estructura de un

diseño experimental adecuado y no con los registros de desembarques de la flota.

El concepto de explicar la abundancia relativa con la CPUE estandarizada es posible que no sea adecuado si no se registran los casos en que el valor del desembarque es cero. Situación común en las pesquerías multiespecíficas, pues suele registrarse las especies efectivamente capturadas pero no las ausentes en las faenas de pesca. En el caso de *S. crumenophthalmus* si se registraran las faenas con capturas cero, la media de la CPUE en la época diferente a luna nueva sería más baja, y se evidenciaría una clara diferencia entre ese periodo y los demás.

Por otra parte, en lo que se refiere a sectores geográficos, dado que la cadena trófica pelágica depende del fitoplancton (Mann y Lazier, 1996), podría esperarse mayores valores de CPUE de *S. crumenophthalmus* en el sector de Pozos Colorados por la influencia de la Ciénaga Grande de Santa Marta y no del PNNT que tiene características más oceánicas. Sin embargo, el PNNT muestra mayores CPUE y se diferencia claramente de Santa Marta y Pozos Colorados. En Santa Marta y Pozos Colorados hay una amplia actividad portuaria que genera grandes áreas iluminadas por los barcos ocasionando una posible dispersión del recurso, efecto ya observado en el sector de Pozos Colorados para la captura con red de cerco y luces de *Opisthonema oglinum*, otro pez pelágico pequeño (UE-INPAVECEP, 1999). También fueron evidentes diferencias entre estratos de profundidad, siendo el profundo el que presentó las mayores CPUE. Este comportamiento del recurso lo detectaron previamente Rivera y Wong, 1996, en la captura con redes izadas.

Finalmente, en análisis como el que aquí se presenta, es necesario destacar que explicar la abundancia con tasas de capturas estimadas solo incluyendo en el análisis datos con lances positivos para el objetivo de captura, puede derivar en una conclusión conceptual y cuantitativamente incorrecta.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado en el marco del proyecto “Análisis espacial y temporal de la producción pesquera artesanal del norte del Mar Caribe de Colombia. Insumo para el establecimiento de una pesquería competitiva y responsable” financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, COLCIENCIAS (Proyecto 1117-341-19398), por la Universidad del Magdalena y la Universidad de Concepción-Chile. El primer autor también agradece a Karim Erzini, Director del *Coastal Fisheries Research Group* de la Universidad de Algarve por el apoyo logístico en el marco del Programa Doctoral en Ciencias del Mar y del Ambiente (Universidad de Aveiro - Universidad de Porto).

BIBLIOGRAFÍA

- AEDO G, ARANCIBIA H. Estimating attraction areas and effective fishing areas for Chilean lemon crab (*Cancer porteri*) using traps. *Fish Res.* 2003;60:267-272.
- ANDRADE CA, BARTON ED. The Guajira upwelling system. *Continental Shelf Research.* 2005;25:1003-1022.
- BLANCO JA, Las variaciones ambientales estacionales en las aguas costeras y su importancia para la pesca en la region de Santa Marta, Caribe colombiano. [Tesis M.Sc.]. Bogotá: Biología Marina. Universidad Nacional de Colombia; 1988.

CARPENTER KE, editor. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Vol. 3. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Roma: FAO; 2002. p. 1375-2127.

CORPES. El Caribe colombiano. Realidad ambiental y desarrollo, Bogotá; 1992.

ESPINDOLA F. Estandarización de tasas de captura de pesquerías pelágicas de la zona norte de Chile durante 1987-1992. [Tesis de pregrado]. Chile: Ingeniería Pesquera. Esc. de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso; 2000.

ESPINDOLA F, YAÑEZ E, BÖHM G. Estandarización de las tasas de capturas de recursos pelágicos en la zona norte de Chile. Gayana. 2005;69(2):300-318.

FARAWAY JJ. Extending the linear model with R: generalized linear, mixed effects and nonparametric regression models. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC; 2006.

GARCÍA CB, DUARTE LO, ALTAMAR J, MANJARRÉS L. Demersal fish density in the upwelling ecosystem off Colombia, Caribbean Sea: Historic outlook. Fish Res. 2007;85:68-73.

GONZÁLEZ HERRAIZ I, TORRES MA, FARIÑA AC, FREIRE J, CANCELO JR. The NAO index and the long-term variability of *Nephrops norvegicus* population and fishery off West of Ireland. Fish Res. 2009;98:1-7.

GRIFFITHS SP. Effects of lunar periodicity on catches of *Panaeus plebejus* (Hess) in an Australian coastal lagoon. Fish Res. 1999;42:195-199.

HINTON MG, MAUNDER MN. Methods for standardizing CPUE and how to select among them. Document SCRS/03/034; 2003.

IHAKA R, GENTLEMAN R. R: a language for data analysis and graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics. 1996;5:299-314.

LUDWIG D, HILBORN R, WALTERS C. Uncertainty, resource exploitation, and conservation: Lessons from History. Ecological Applications. 1993;3(4):548-549.

MANJARRÉS L. Caracterización ambiental, ecológica y biológico-pesquera de las asociaciones de peces demersales del Caribe colombiano norte, con énfasis en pargos (Lútjanidae) [Tesis de maestría]. Bogotá: Biología Marina. Universidad Nacional de Colombia; 1998.

MANJARRÉS L, editor. Estadísticas pesqueras artesanales de los departamentos del Magdalena y La Guajira con aplicación de herramientas informáticas para su sistematización y procesamiento. Santa Marta: UNIMAG-INCODER-INPA-COLCIENCIAS; 2004.

MANJARRÉS L, INFANTE J, ESCORCIA F. Carta pesquera del área de Santa Marta. En: Correa F. Manjarrés L, editores. Informe Técnico Final. Proyecto Integral de investigaciones y desarrollo de la pesca marítima en el área de Santa Marta; 1993. p. 45-53.

MANJARRÉS L, VERGARA A, RODRÍGUEZ G, VIAÑA J, ARTEAGA E, ARÉVALO J, *et al.* Campaña de evaluación de peces pelágicos pequeños en el Caribe colombiano - INPA-VECEP/UE/PELAG/9804. INPA-VECEP/UE. Rev. Divulgación. Técnica y Tecnológica N.º RA-018; 1998.

MANJARRÉS-MARTÍNEZ LM, GUTIÉRREZ-ESTRADA JC, MAZENET-GONZÁLEZ J, SORIGUER MC. Seasonal patterns of three fish species in a Caribbean coastal gill-net fishery: Biologically induced or climate-related aggregations? Fish Res. 2010.

MANN KH, LAZIER JRN. Dynamics of marine ecosystems. Biological- Physical Interactions in the Oceans. 2 ed.: Ed. Blackwell Sc. Pub.; 1996.

NELDER J.A, WEDDERBURN R.W.M. Generalized linear models. J. R. Statist. Soc. 1972;137(A):370-384.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, [programa de ordenador]. Version 2.8.1 Vienna, Austria: Disponible en: <http://www.R-project.org>. 2008.

RIVERA R, WONG J. Diseño y construcción de una red izada para la captura de peces con fototaxis positiva [Tesis de pregrado]. Santa Marta, Colombia: Ingeniería Pesquera, Univ. del Magdalena; 1996.

YÁÑEZ E, MARITANO L. Análisis histórico (1971-1980) de la pesquería de la zona norte de Chile (18°20'S-24°00'S) y estimación del estado de los recursos explotados. En: Arana P, editor. Análisis de Pesquerías Chilenas. Valparaiso: Esc. de Ciencias. del Mar UCV; 1983. p. 167-177.

UE-INPAVECEP. Diseño, construcción y evaluación una red de cerco con jareta para la captura de carnada. Resultados del Programa UE-INPA VECEP ALA 92/43. CD-Rom; 1999.

ZUUR A, IENO E, SMITH G. Analyzing ecological data. New York: Springer Verlag; 2007.