

EVOLUCIÓN Y FACTORES DETERMINANTES DE LA HUELLA ECOLÓGICA DE LA PESCA DE CAMARÓN BLANCO (*LITOPENAEUS OCCIDENTALIS*) EN EL PACÍFICO COLOMBIANO*

Myriam Vargas-Morales^{1,2}, Mario Rueda¹ y Jorge Maldonado²

1 Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Playa Salguero, El Rodadero, Santa Marta, Colombia. myriam.vargas@invemar.org.co, mario.rueda@invemar.org.co

2 Universidad de los Andes, Facultad de Economía, Programa en Economía del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales. Calle 19A No. 1-37E, Bloque W. Bogotá, Colombia. j.maldona@uniandes.edu.co

RESUMEN

El indicador *fishprint* es una adaptación del concepto de la huella ecológica, a través del cual se obtiene una medida agregada de la presión ejercida sobre los ecosistemas marinos por la práctica de la pesca. Como complemento a indicadores específicos pesqueros existentes en el país, se buscó con el *fishprint* una evaluación más ecosistémica del impacto de la pesca en Colombia, desarrollando un primer ejercicio de análisis sobre la pesca de camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*), en el Pacífico colombiano. Para tal efecto, se calculó el *fishprint* usando una serie de tiempo que incluyó las capturas comerciales de la pesquería de camarón blanco (industrial y artesanal) entre 1956 y 2010. Posteriormente, se modeló económicamente su evolución, con el fin de examinar el efecto que tienen algunos factores ambientales, económicos y de esfuerzo de pesca sobre su comportamiento. Los resultados mostraron un incremento sostenido en la huella de pesca desde el inicio de la pesquería hasta 2010, pasando de 4.72 gha/ton camarón blanco a 66.43 gha/ton camarón blanco, lo que representa un incremento de más de 1300%. El modelo econométrico ajustado indicó que el efecto dinámico de períodos anteriores y la combinación de la pesca artesanal con la industrial, en un proceso de explotación secuencial del recurso, explican de forma importante el comportamiento del *fishprint*. El análisis realizado recomienda un mayor enfoque de las medidas de manejo y conservación hacia el control efectivo de la fauna acompañante de la flota pesquera industrial y hacia los artes de pesca utilizados por ambas flotas pesqueras.

PALABRAS CLAVES: Huella ecológica, *fishprint*, camarón blanco, impacto de la pesca, fauna acompañante.

ABSTRACT

Evolution and determinant factors in the ecological fishprint of white shrimp (*Litopenaeus occidentalis*) fishery in Colombian Pacific. The ecological fishprint is an adaptation of original ecological footprint concept to quantify the pressure of fishery on marine ecosystems. In a complementary role of other fishery indicators, this ecological fishprint try to show a more ecosystemic evaluation of the fishing impact in

* Contribución No. 1122 del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar).

Colombian, with a first application on the white shrimp (*L. occidentalis*) fishery. For such purpose, the ecological fishprint was estimated from 1956 to 2010 including artisanal and industrial fleets, whereas an econometric model was fitted to assess the effect of some environmental, economic and fishing variables on the performance of the fishery. The results showed an increase in the fishprint during the studied period: 4.72 gha/ton white shrimp in 1956 to 66.43 gha/ton white shrimp in 2010, which shows an increase of more than 1300%. The fitted econometric model indicated the dynamic effect of previous period and the artisanal fishery rising prevalence on others variables to explicate fishprint. This research gives a new perspective on environmental impact of shrimp fishery on Colombian Pacific, emphasizing that fishery management and conservation measures should control the shrimp bycatch and the selectivity of the fishing gears used by both artisanal and industrial fleets.

KEYWORDS: Ecological footprint, fishprint, white shrimp, impact of fishing, bycatch.

INTRODUCCIÓN

El camarón blanco (CB, *Litopenaeus occidentalis*) es considerado el producto comercial pesquero más importante en el Pacífico colombiano, debido a su abundancia y alto valor económico (Rueda *et al.*, 2006). No obstante, las condiciones de libre acceso a las que está expuesto el recurso, apoyado por la estructura de pesca secuencial bajo la que es explotado y el carácter poco selectivo de los artes de pesca, han suscitado la sobreexplotación del recurso.

La actividad pesquera de CB también tiene efectos negativos sobre el ecosistema marino en general, al degradar las áreas de desove y crianza, así como las de los fondos marinos por causar un efecto similar a la erosión debido a la operación de la red de arrastre de fondo (Rueda *et al.*, 2006). Así mismo, la pesca camaronera ha estimulado la remoción indiscriminada de especies no objetivo, incluyendo juveniles que soportan otras pesquerías y especies sin valor comercial, pero de un importante papel ecológico, que son devueltas al mar afectadas severamente o sin vida (Rueda *et al.*, 2006; Álvarez y Salazar, 2010).

La medición integral del impacto ambiental de esta actividad económica no es una tarea fácil, dado el carácter diverso del impacto y la limitación de los datos en el tiempo. Sin embargo, estudios como los adelantados por Folke *et al.* (1998), Talberth *et al.* (2006), Groningen (2007) y Swartz *et al.* (2010) muestran una forma de abordar la presión de la pesca a través de la medición de la huella de pesca o *fishprint*, y posibilita su examen en torno a factores económicos y ambientales asociados con la actividad pesquera. El *fishprint*, una adaptación del concepto original de la huella ecológica, proporciona una manera de cuantificar la presión de la humanidad sobre los ecosistemas marinos a nivel local, nacional y global, y distingue entre niveles de pesca sostenible y no sostenible cuando es posible determinar la bioproduktividad de las áreas (Talberth *et al.*, 2006).

Estudios previos sobre *fishprint* (Folke, 1988; Larsson *et al.*, 1994; Folke *et al.*, 1998; Talberth *et al.*, 2006; Groningen, 2007; Swartz *et al.*, 2010) han sugerido que el espacio requerido para generar producto pesquero supera la biocapacidad del

ecosistema marino, ya sea en actividades acuícolas marinas o pesca de captura. Así, se ha demostrado que la presión mundial sobre los ecosistemas marinos, proveniente de la demanda de productos del mar, expone una tendencia creciente, pasando de requerir 0.0915 hectáreas globales (gha) en 1961 a 0.1088 gha en 2007, en términos per cápita, mostrando signos de insostenibilidad a partir de 1975 (Talberth *et al.*, 2006; GFN, 2010).

De otro lado, los factores que pueden explicar el comportamiento del *fishprint* no han sido establecidos en la literatura. Sin embargo, la temperatura superficial del mar, los niveles de precipitación, la salinidad de las aguas, el fenómeno El Niño (ENSO), los costos de producción de la actividad y los precios de venta del producto pesquero han sido propuestos para análisis bioeconómicos en pesca de CB en el Pacífico colombiano (Maldonado, 2008; Cardona, 2009; Díaz-Ochoa y Quiñones, 2010) y, eventualmente, pueden estar asociados a la explicación del indicador.

Este artículo presenta un examen de la presión de la pesca de CB en el Pacífico colombiano sobre los ecosistemas marinos, a través de la medición del indicador *fishprint* y la exploración de factores que determinan su comportamiento en relación con la pesca artesanal y otros aspectos económicos y ambientales asociados con la actividad pesquera. Los métodos y resultados expuestos a continuación corresponden a un trabajo pionero en huella ecológica para pesquerías, en razón a los refinamientos realizados sobre algunos supuestos que contempla la metodología original de cálculo del indicador; a la estimación de una serie de más de 41 años que muestra la evolución del *fishprint* y con ella la historia completa de la presión ejercida por la pesquería de CB sobre los ecosistemas marinos; y por la modelación econométrica en pesca relacionada con la explicación de la huella ecológica.

Con esta finalidad, se presenta inicialmente el cálculo del indicador *fishprint* para la serie 1956-2010. Luego, el indicador se modela econométricamente para medir el efecto que tienen algunos aspectos ambientales, económicos y del esfuerzo de pesca que se asocian con la pesca de CB. Finalmente se proponen elementos de manejo institucional que contribuyan al mejoramiento ambiental y económico de la captura de CB en Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estimación del *fishprint*

La metodología de Global Footprint Network (GFN) establece que el *fishprint* es calculado dividiendo la cantidad de producción primaria generada por una especie acuática durante toda su vida, por la estimación de la producción primaria generada por hectárea del área marina (Kitzes *et al.*, 2008):

$$\text{Fishprint (gha)} = [C (\text{ton})] / [Y (\text{ton / ha})] * FE$$

donde C son las capturas de producto pesquero expresadas en toneladas; FE es el factor de equivalencia que permite normalizar las áreas bioproductivas con el fin de hacer comparables los resultados con otros países; y Y es el rendimiento expresado en toneladas de producto pesquero producido por hectárea de la plataforma continental, por año, y está dado por Kitzes *et al.* (2008) así:

$$Y = 1 / PPR * APP$$

donde APP es la producción primaria disponible en toneladas de carbón por hectárea y PPR es la producción primaria requerida en toneladas de carbón por toneladas de producto pesquero y basada en el nivel trófico de las especies analizadas. Se calcula de acuerdo con Pauly y Christensen (1995) así:

$$PPR = CC * DR * (1 / TE)^{(TL-1)}$$

donde CC (1/9) es el contenido de carbón de la biomasa del producto pesquero por unidad de peso húmedo; DR (1.27) es la tasa de descarte de la fauna acompañante (FA), aplicada actualmente para todas las especies; TE (10%) la eficiencia de transferencia de los ecosistemas acuáticos; y TL el nivel trófico para cada especie. Esta expresión indica que la producción primaria se incrementa exponencialmente con el nivel trófico, asumiendo una transferencia de eficiencia del 10% entre uno y otro nivel hacia arriba en la cadena alimentaria.

Considerando en la pesquería de CB el producto pesquero como aquel conformado por la captura objetivo (CB) y su FA, se identificaron, en primera instancia, las capturas de CB para los años de estudio, las cuales provienen de estadísticas facilitadas por el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (Incoder), el Instituto Nacional de Pesca y Agricultura (INPA), la Corporación Colombia Internacional (CCI) y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar). Los datos se expresan en toneladas anuales de camarón blanco de captura marina entre 1956 y 2010: desde 1956 hasta 2010 para la flota industrial y desde 1982 hasta 2010 para la flota artesanal.

La estimación de las capturas de FA estableció varios supuestos. El primero, que a pesar de que la FA de la pesca de CB se compone de diferentes filos, únicamente los peces (comerciales y no comerciales) se considerarían FA, en razón de que las investigaciones sobre ictiofauna abordan generalmente este grupo. La principal implicación de este lineamiento consiste en una subvaloración de la huella ecológica para la pesca de CB, debido a que los peces, aunque corresponden a más del 70% de la captura de FA, no son el total de la FA y el resto de filos (moluscos,

cnidarios, equinodermos, entre otros) pueden incrementar el resultado del indicador, dado su peso de captura y nivel trófico.

Un segundo supuesto establece que las capturas de FA son el resultado de una estimación anual de la proporción de FA contra la captura objetivo. Al respecto, para la flota industrial se calcularon las proporciones de FA:CB entre 1956 y 2010, a partir de estudios sobre ictiofauna acompañante para la pesca de camarón en el Pacífico colombiano (Tabla 1). Con las observaciones obtenidas se realizó una regresión exponencial simple de las proporciones de FA de la flota industrial en función del tiempo (años), con el objeto de estimar la FA para todos los años de la serie analizada. Se intentó examinar la influencia del esfuerzo pesquero (número de barcos) sobre la proporción de FA, pero resultaba no significativa dentro de la regresión. No fue posible realizar un modelo más robusto por ausencia de información. Para el caso de la flota artesanal, dado que se contó con un único estudio de fauna acompañante para la región del Pacífico colombiano, proveniente de una investigación realizada en 2010 por el Inveemar (Rueda *et al.*, 2011), se estableció un tercer supuesto: la proporción de FA:CB para esta flota, calculada en 7.48:1, permanece constante para todos los años de evaluación. La implicación de este supuesto es que claramente puede sobrevalorar el indicador, ya que existe conocimiento empírico sobre la escasa FA capturada en los inicios de la pesca, lo que implica que en años anteriores a 2010 la proporción pudo ser menor a 7.48:1.

Tabla 1. Proporción de fauna acompañante (FA) de la pesquería artesanal e industrial de camarón blanco (CB) en el Pacífico colombiano. * Cálculo de los autores usando bases de datos de la literatura disponible (Trujillo, 1986; Inveemar, 2006, 2007, 2009, 2010; Rueda *et al.*, 2011).

Flota	Año	FA:CB*
Industrial	1983	6.42
	1984	6.42
	2005	17.34
	2006	20.00
	2008	20.06
	2009	37.07
	2010	52.11
Artesanal	2010	7.48

Con lo anterior, la estimación de la FA de la pesquería de camarón blanco refina el supuesto de la metodología original de asumir una tasa de descarte de 1.27, en razón a que se especifican las capturas de FA para la pesquería en cuestión y el área de estudio. Es preciso tener en cuenta que para esta investigación, en la que se analiza la pesquería de camarón blanco, no se habla de “descarte” sino de “fauna acompañante” (que es el resultado de sumar el descarte y la captura incidental), dado que los listados de FA

consultados mostraron presencia de especies de descarte como *Cetengraulis mysticetus*, *Stellifer zestocarus*, *Opisthopterus* spp. y de especies como *Nebris occidentalis*, *Macrodon mordax* y *Scomberomorus sierra*, que corresponden a captura incidental.

Por otra parte, la metodología de GFN supone que las especies que componen el descarte (en este caso la fauna acompañante) están en el mismo nivel trófico que la captura primaria. En este caso, si se asumiera esta característica, el nivel trófico de la FA para esta pesquería sería igual al nivel trófico del camarón blanco (2.7 para *L. occidentalis*). Sin embargo, al tener acceso al listado de especies que hacen parte de la fauna acompañante y a su captura en kilogramos, fue posible estimar un nivel trófico para la FA que permite un cálculo más elaborado del indicador.

Al igual que en el cálculo de la FA, el del nivel trófico corresponde únicamente a las especies de peces capturadas por la flota industrial y artesanal en cada uno de los estudios consultados (Tabla 2). El número de especies oscilaba entre 88 y 397 por estudio, a las cuales se asignaron los niveles tróficos conforme a la información disponible en www.fishbase.org. Cuando la información de la especie no estaba disponible, se asignaba el nivel trófico de una especie de la misma familia y con distribución espacial en el Pacífico colombiano. De cada lista se calculó un promedio ponderado (nivel trófico y captura en kilogramos), para obtener el nivel trófico de la fauna acompañante.

Tabla 2. Nivel trófico para la fauna acompañante (FA) de la pesquería artesanal e industrial de camarón blanco (CB), en el Pacífico colombiano. * Cálculo de los autores usando bases de datos de la literatura disponible (Londoño, 1977; Castillo, 1998; Rubio, 1988; Invemar, 2006, 2007, 2010; Rueda *et al.*, 2011).

Flota	Año	Nivel trófico*
Industrial	1976	3.63
	1986	3.59
	1995	3.39
	2004	3.69
	2005	3.65
	2008	3.60
	2009	3.57
	2010	3.63
Artesanal	2010	3.87

En el caso de la flota industrial, los niveles tróficos para los años disponibles no presentaban una variación significativa, por lo que se calculó el nivel trófico medio y se asumió constante. En lo concerniente a la flota artesanal, se obtuvo un único nivel trófico producto del listado de especies registrado por Rueda *et al.* (2011); aquí también se asumió constante para toda la serie de tiempo, debido a que sólo se contaba con información de un año.

Con los resultados de nivel trófico para FA y el del CB se calculó la *PPR*. El ideal de la metodología utilizada es obtener una *PPR* por especie capturada. Sin embargo, dada la nula información sobre la captura (kg) de cada una de las especies de fauna acompañante en cada año, esta investigación asume la fauna acompañante como una especie y el camarón blanco como otra especie.

Una vez obtenida la *PPR*, se incluyó el valor de la *APP* para estimar el rendimiento *Y*. La *APP* es calculada y proporcionada por la organización internacional GFN. La *APP* calculada para Colombia corresponde a 4.27 ton carbón/ha. Este valor permanece constante para todos los años de estudio.

Con los cálculos de *Y* y la estimación de capturas de FA y CB, se calculó el *fishprint* total no ajustado, que fue multiplicado por un factor de equivalencia para reflejar la productividad relativa del promedio mundial de hectáreas dedicadas a diferentes usos. De acuerdo con la metodología de GFN, los factores de equivalencia son los mismos para todos los países y cambian levemente de un año a otro. Los factores de equivalencia son usados tanto para el cálculo de la huella ecológica, como para el cálculo de la bioproductividad, y el resultado es registrado en hectáreas globales. Los factores de equivalencia para áreas marinas fueron proporcionados por GFN para la serie 1970-2007; para 1956-1969 se asumió el nivel de equivalencia de 1970 y para 2008-2010 se asumió el nivel de equivalencia de 2007. De esta forma se obtuvo el número de hectáreas globales marinas necesarias para soportar las capturas de producto pesquero generadas en la pesquería de CB, para cada año, en el Pacífico colombiano. A fin de obtener un indicador más ilustrativo de la presión de la pesquería, se obtuvo el *fishprint* por tonelada de CB, que muestra el número de hectáreas necesarias para producir una tonelada de CB en cada año.

Modelación econométrica del *fishprint*

Utilizando mínimos cuadrados ordinarios, se realizó una modelación econométrica del *fishprint* en función del precio del diésel marino, el precio de crustáceos congelados, el crecimiento del PIB, la precipitación, el número de barcos industriales, una variable dicotómica, cero para los años en los que la pesca artesanal no explota el camarón blanco y uno cuando lo explota, y una variable rezagada del *fishprint* (Tabla 3). Con la información obtenida se realizaron gráficos de dispersión, para observar el comportamiento de cada variable independiente con el *fishprint* y hacer una correcta especificación del modelo. En este sentido, las variables “precio del diésel marino” y “número de barcos industriales” se incluyeron en su forma cuadrática; se incluyó una variable multiplicativa entre el precio de crustáceos congelados y una dicotómica que es cero para 1983-2010 y uno para 1966-1982, dado que el análisis gráfico mostraba que para el período 1966-1982 la relación entre el *fishprint* y el

precio de los crustáceos congelados era positiva, mientras que entre 1983 y 2010 esta relación era negativa. El *fishprint* rezagado, el crecimiento del PIB, la precipitación y la variable dicotómica de la pesca artesanal no fueron modificadas.

La prueba de multicolinealidad evidenció una alta correlación de la variable “número de barcos industriales” con las demás, por lo que esta variable fue descartada del modelo final. El estadístico Durbin-Watson mostró autocorrelación en el modelo (2.56), lo que se corrigió mediante el algoritmo de Cochrane-Orcutt, logrando la transformación del estadístico de Durbin-Watson a 2.29. Las pruebas de Shapiro Wilk y Breusch Pagan mostraron normalidad en los errores y homocedasticidad, con probabilidades de 0.07914 y 0.5971, respectivamente. Finalmente, el análisis de los

Tabla 3. Variables para la modelación del *fishprint*.

Variable	Descripción	Fuente	Medida	Tipo	Signo esperado
Variable dependiente					
<i>Fishprint</i>	Hectáreas globales necesarias para producir una tonelada de camarón blanco	Cálculo de los autores	gha/ton	Numérica	NA
Variables independientes					
<i>Fishprint</i> -1	<i>Fishprint</i> rezagado un período	Cálculo de los autores	gha/ton	Numérica	+
Precio crustáceos congelados	Precio del ítem “crustáceos congelados” en pesos colombianos constantes 2010	DANE-EAM	Pesos por libra	Numérica	+
Precio diésel marino	Precio del diésel marino en pesos colombianos constantes 2010	DANE-EAM	Pesos por galón	Numérica	+
Crecimiento del PIB	Crecimiento económico a partir del PIB total a precios constantes de 2005	DANE-Cuentas Nacionales	Porcentaje	Numérica	+
Precipitación	Niveles de precipitación para la estación 56019010 en Bahía Solano, Chocó	Ideam	Milímetros	Numérica	+
Esfuerzo	Número de barcos de la flota industrial en operación	Incoder	Número de barcos	Numérica	+
Flota artesanal	Años en los que ejerce la flota artesanal	INPA, Incoder	Dicotómica: toma el valor de 1 cuando ejerce la flota artesanal y 0 cuando no ejerce	Dicotómica	+

datos permitió ver que muchos de los cambios de las variables, tanto independientes como la dependiente, se asociaban con 1982, por lo que se realizó el Test de Chow para determinar cambio estructural asociado a la entrada de la pesca artesanal.

RESULTADOS

Estimaciones de capturas y niveles tróficos

La función estimada a partir de una regresión exponencial simple que expresa las proporciones entre FA y CB para cada uno de los años analizados en la flota industrial es:

$$PFA = 1.0437e^{0.062año}$$

El grado de ajuste del modelo corresponde a 86%. La desviación estándar para las proporciones de FA industrial estimadas a partir del modelo corresponde a 8.44. En el caso de la flota artesanal, como se mencionó anteriormente, la proporción de FA:CB se asumió constante en el tiempo. Los resultados de la FA total para la pesquería de CB muestran un incremento de la brecha entre la captura de FA y la captura de CB, donde la tendencia de la FA en el tiempo es creciente, mientras que la de CB es decreciente. Se exponen picos durante 1982, 1991, 1999 y 2008 (Figura 1). En lo concerniente al nivel trófico, el cálculo y análisis de los promedios ponderados consideró niveles tróficos de 3.59 para la FA de la flota industrial y de 3.87 para la FA de la flota artesanal.

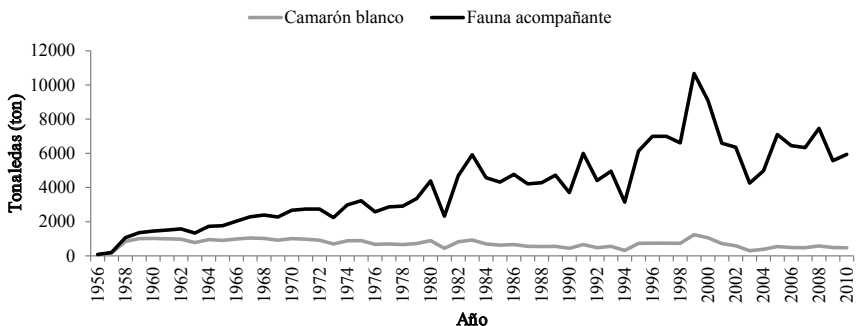


Figura 1. Fauna acompañante estimada para la pesquería de camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*), en el Pacífico colombiano, entre 1956 y 2010.

Fishprint

Para 1956 se estimó un *fishprint* asociado a la pesca de CB de 362 gha, alcanzando un máximo de 67879 gha en 1999 y ubicándose en 32163 gha para 2010.

En 55 años, el número de hectáreas requeridas para generar las capturas de CB y FA ha crecido en más de 8000%. Las estimaciones para el *fishprint* de la pesquería y el que considera únicamente las capturas de CB (Figura 2) establecen una diferencia de 19909 gha en promedio, siendo la tendencia creciente para la pesquería total (CB + FA), en contraste con una tendencia constante cuando se analiza únicamente el CB capturado.

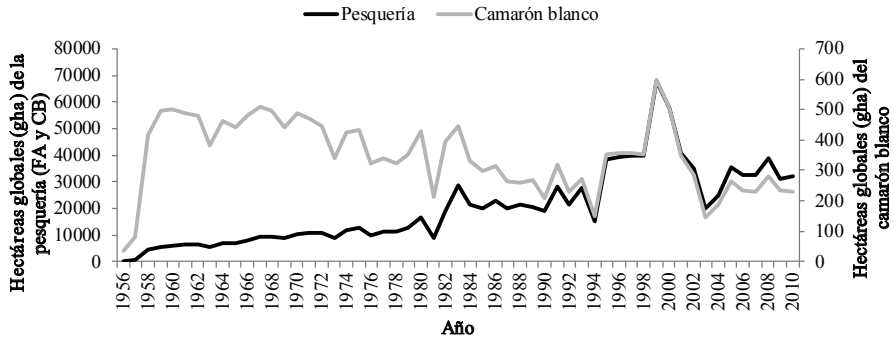


Figura 2. *Fishprint* (gha) generado por la pesquería de arrastre de camarón blanco (fauna acompañante y captura objetivo) y aquella hipotética sin fauna acompañante (solo camarón blanco), en el Pacífico colombiano, entre 1956 y 2010.

También se evidencia un aumento progresivo del *fishprint* si se analiza desde la perspectiva de producir una tonelada de CB anualmente (Figura 3). En este sentido, los resultados apuntan a que a lo largo de los años se requiere de más hectáreas marinas para producir una tonelada de CB: desde 1956 hasta 2010 el *fishprint* aumentó de 4.72 gha/ton CB a 66.43 gha/ton CB; esto representa un crecimiento de más de 1300%.

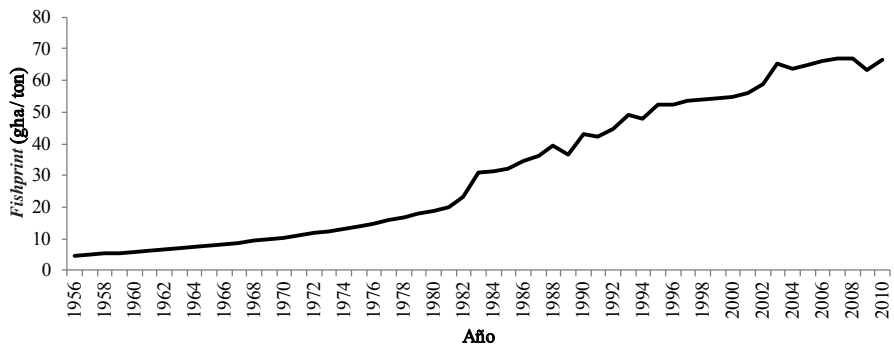


Figura 3. *Fishprint* (gha/ton) estimado por tonelada de camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*), en el Pacífico colombiano, entre 1956 y 2010.

Analizando la composición del *fishprint* por flota de explotación (Figura 4), es posible ver que para la época en la que las dos flotas actúan simultáneamente, el *fishprint* alcanza valores similares para ambas flotas, exceptuando el período comprendido entre 1994 y 2002, en el cual el *fishprint* artesanal equivalía a 3.8 veces el *fishprint* industrial. También es posible observar que para los últimos cinco años de explotación, el área requerida para soportar las capturas de CB y su FA es superior para la flota artesanal en comparación con la flota industrial.

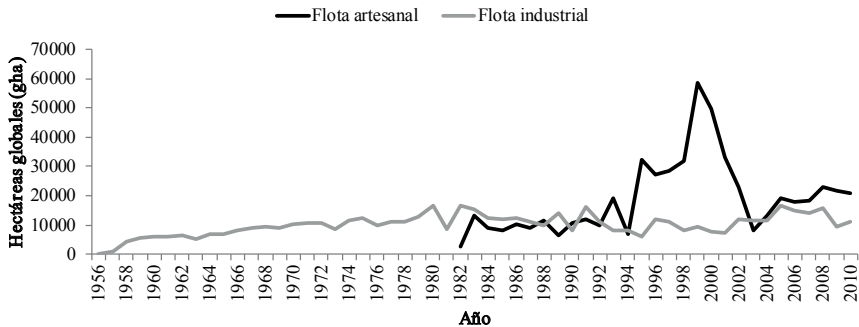


Figura 4. *Fishprint* (gha) estimado para la pesquería de camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*), en el Pacífico colombiano, discriminado por tipo de flota pesquera.

Modelación del *fishprint*

Los resultados de la regresión (Tabla 4) muestran un ajuste del modelo del 99.62%, donde el *fishprint* es fuertemente explicado por dos variables: el *fishprint* rezagado un período y la presencia de la pesca artesanal en la explotación del recurso. Respecto al primer factor, el aumento en una hectárea global necesaria para capturar una tonelada de CB en el año inmediatamente anterior genera un aumento del *fishprint* de 0.87 gha/ton de CB. Este resultado implica que existe un efecto dinámico en la explicación del comportamiento del *fishprint*, es decir, que la presión ejercida sobre los ecosistemas marinos en esta actividad económica durante un año determina lo que ocurrirá en el siguiente. Por su parte, la modelación expone que la aparición de la flota artesanal tiene un efecto fuerte y directo sobre el *fishprint*, dado por un incremento de 5.76 gha/ton CB.

Se evidencia que las variables ambientales como la precipitación (y la temperatura superficial del mar para la región Niño 3, que también fue experimentada) no explican el comportamiento del *fishprint*. Sucede de la misma forma con las variables de crecimiento del PIB, precio del diésel marino y precio de los crustáceos congelados. Lo anterior deja el análisis acotado a los cambios ocurridos en el *fishprint* de períodos anteriores y la incorporación de un nuevo participante de la actividad

pesquera. Finalmente, el test de Chow demostró que no existe cambio estructural en el modelo, por lo que el análisis de los parámetros estimados son estables antes y después de 1982 (Chow = 2.58).

Tabla 4. Resultados de la modelación del *fishprint*. *Significancia al 1%.

Variable dependiente: <i>fishprint</i> (gha/ton CB)		
VARIABLES explicativas	Parámetro	Error estándar robusto
<i>Fishprint</i> rezagado un período	0.8688*	0.053
Precio diésel marino	-0.0002	0.001
Precio diésel cuadrado	0.0000	0.000
Precio crustáceos congelados	-0.0001	0.000
Crecimiento del PIB	0.1470	0.123
Precipitación	0.0018	0.003
Pesca artesanal	5.7620*	1.770
Constante	3.1082	2.455
R ² ajustado		0.996
F		1193.23
Prob > F		0.0000
Número de observaciones		33

DISCUSIÓN

El incremento de la brecha entre la captura de FA y la de CB puede ser explicado por la sobreexplotación de la especie objetivo, que ha incrementado la proporción de FA con respecto a las capturas de camarón. Es muy probable que esta brecha sea mayor, dada la omisión de los filos diferentes a los peces en el cálculo de la FA. Sin embargo, también es posible que esta brecha disminuya un poco en razón al supuesto de proporción de FA constante para la flota artesanal que, como se mencionó, pudo ser menor al inicio de su ejercicio en 1982.

Los niveles tróficos utilizados para las estimaciones del *fishprint* permanecieron constantes, tanto para la pesca industrial como artesanal, siendo el nivel trófico de la pesca artesanal más alto que el de la pesca industrial. Este comportamiento es inusual en análisis de pesquerías, donde las capturas de peces realizadas con redes de enmalle en sitios muy cercanos a la costa deberían registrar niveles tróficos más bajos. Sin embargo, dada la imposibilidad de presentar un análisis histórico del comportamiento del nivel trófico de la pesca artesanal, no existía una alternativa diferente a apoyar el análisis sobre el único estudio de FA de pesca artesanal que se ha realizado hasta el momento en Colombia. Aun así, el nivel

tráfico estimado para esta flota, muy cercano a 4, es coherente con resultados de otras pesquerías artesanales como las de México, donde se han encontrado niveles tróficos cercanos a 3.9 para la pesquería artesanal de Sinaloa (Ruiz y Montana, 2004); e incluso ha evidenciado el aumento en el nivel trófico de las pesquerías artesanales de Puerto Peñasco, el golfo de Santa Clara y San Felipe, que pasaron de 3.4 en 1988 a 3.8 en 2002 (Bonilla *et al.*, 2009). Para el caso de la pesca industrial, se han registrado niveles tróficos históricos entre 3.25 y 2.6 para FA de camarón en el golfo de Nicoya (Tabash-Blanco, 2009). Por otra parte, la permanencia del mismo nivel trófico a lo largo del tiempo es consecuente con pesquerías multiespecíficas, bajos niveles tecnológicos y ecosistemas con alta biodiversidad (Pérez *et al.*, 2006; Bonilla *et al.*, 2009); en México, el nivel trófico promedio de las capturas se ha mantenido estable, no significando esto la existencia de pesquerías saludables (Pérez *et al.*, 2006).

En lo que respecta al *fishprint*, es claro que la diferencia entre el *fishprint* de la pesquería total y el del CB es producto de la poca selectividad de las redes de captura (tanto de la flota artesanal como industrial), lo que causa una gran presión sobre el ecosistema marino: si la pesca fuese más selectiva, la presión sería visiblemente menor. Sin embargo, esto merece un análisis más amplio y concordante con el enfoque de explotación más balanceado (Zhou *et al.*, 2010), que combine reducción en el esfuerzo de pesca, mejor manejo en los niveles de explotación del camarón (especie objetivo) y un mejor uso de las especies no objetivo.

El análisis del *fishprint* por tonelada de CB permite ver un cambio en la tendencia a partir de 1982: de cambiar año a año en no más de 1 gha por tonelada de CB, se presentan desde entonces cambios de 4 a 9 gha por tonelada de CB. De acuerdo con el test de Chow, esto no es explicado por la entrada de la pesca artesanal, pero puede vincularse al deterioro de los ecosistemas marinos, producto de la presión ejercida durante los primeros 20 años de explotación industrial camaronesa y que fueron agudizados por la entrada de la pesca artesanal. En efecto, la presencia de un fenómeno rezagado significativo en la modelación comprueba que la presión a la que se exponen los ecosistemas marinos, por el ejercicio de cualquiera de las flotas, no es independiente entre un período y otro. Desde luego, la presencia de estructuras como la pesca secuencial, en la que los artes de pesca artesanal (trasmallo electrónico, riflillo) actúan sobre la fase juvenil y subadulta de la población en áreas costeras, y las redes de arrastre de la pesca industrial impactan en las áreas marinas la fase adulta de la población de CB, necesariamente lleva a que el desarrollo tradicional del ciclo de vida del camarón se afecte, revelando una fuerte presión sobre los ecosistemas marinos, que redundan en una menor abundancia de la especie, una mayor captura de FA y la insostenibilidad de la pesquería en el largo plazo.

Es importante mencionar que, dado que las capturas de CB y FA son un insumo fuerte en el cálculo del indicador *fishprint* y que estudios previos han mostrado que tanto la precipitación como la temperatura superficial del mar son variables influyentes en los niveles de captura (Díaz-Ochoa y Quiñonez, 2008), se esperaba que fueran variables significativas. Sin embargo, ya que el *fishprint* es el resultado de integrar las capturas con diversos componentes como los niveles tróficos y la productividad primaria requerida, entre otros, no necesariamente debe observarse una relación clara.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta investigación se estimó el *fishprint* para la pesquería de camarón blanco en la región del Pacífico colombiano y se exploraron los factores que contribuyen a la explicación de su comportamiento a partir de su modelación econométrica, observando que las variables económicas como el precio del diésel marino y el de crustáceos congelados, no son significativas en la explicación del *fishprint*, así como tampoco lo son las variables ambientales, por lo menos la precipitación y la temperatura superficial del mar. Sin embargo, se destaca el efecto que la entrada de la pesca artesanal en la pesquería de camarón blanco tuvo sobre el *fishprint*, al tener el efecto más alto sobre este, medido por los parámetros estimados, y la existencia de un efecto rezagado sobre el indicador.

El incremento sostenido en la presión sobre los ecosistemas marinos, explicado por un efecto dinámico en la explicación del *fishprint*, en la que el comportamiento del indicador del período inmediatamente anterior incrementa la presión sobre los ecosistemas marinos en el siguiente, evidencia una seria amenaza sobre la sostenibilidad de la pesca a largo plazo. La existencia de este efecto rezagado sobre el *fishprint*, cuyo comportamiento está fuertemente asociado a la captura de la especie objetivo y de fauna acompañante y al nivel trófico de estas especies, hace imprescindible el control de fauna acompañante pescada por ambas flotas de explotación. Ya es conocido el objetivo mundial de reducir los niveles de fauna acompañante en las capturas de barcos arrastreros, mediante la introducción de dispositivos como los DET (dispositivos excluidores de tortugas) y los BRD (dispositivos reductores de fauna acompañante), que permiten el escape de organismos no objetivo de captura. Sin embargo, en virtud de la existencia de una estructura de explotación doble, la reducción de FA en esta pesquería compete también a la flota artesanal.

Diversos estudios para las flotas artesanales e industriales han mostrado que la introducción de tecnologías más selectivas tiende a disminuir las tasas de

captura de fauna acompañante (Balmori-Ramírez *et al.*, 2002; Rueda *et al.*, 2006; Aguilar-Ramírez y Rodríguez-Valencia, 2010). Sin embargo, también reducen las de captura objetivo. Esto implica que es necesario evaluar financieramente tecnologías de captura que converjan en objetivos ambientales y económicos, como la probada en México por el Instituto Nacional de Pesca (Inapesca) —las atarrayas suriperas— en las lagunas costeras de Sinaloa, Baja California y el Alto Golfo. Los resultados de esta prueba muestran que existe una fuerte disminución en la captura de fauna acompañante y una potencial reducción en los costos de operación, resultado del diseño y funcionalidad de la suripera, ya que no requiere combustibles durante su operación (esto también tendría un efecto ecológico positivo a la luz de la huella ecológica), sino que aprovecha la energía del viento o las corrientes para capturar el camarón. También se evidenció una mayor calidad del camarón capturado, aunque una reducción (muy pequeña) en cuanto a tallas y eficiencia en captura (Inapesca y WWF, 2009). La promoción de este tipo de redes de captura en la flota artesanal puede ser un primer paso en la reducción de la presión ejercida por esta flota sobre los ecosistemas marinos. Además, se tiene evidencia de que el arte es un 57% más económico que otras redes de captura de camarón, como el trasmallo electrónico (Rico-Mejía y Rueda, 2011). Se sugiere la introducción de esta tecnología para el contexto del Pacífico colombiano, en el que la dinámica de las mareas sugiere un mejor desempeño para esta región que para el Caribe colombiano Rueda *et al.* (2011).

Se debe tener en cuenta que las dos flotas pesqueras que aprovechan este recurso son muy diferentes: mientras la flota industrial se compone de unos pocos barcos especializados de gran calado y capacidad y con posibilidad de ejercer un gran efecto marginal sobre la pesca del camarón, la artesanal se compone de varios miles de pescadores costeros, haciendo uso del recurso común y generando presión sobre el recurso como una de las pocas alternativas generadoras de ingreso en la región. Marginalmente, la pesca artesanal genera un efecto mínimo, aunque en términos agregados genera un efecto casi tan importante como la industrial. Las autoridades deben tener en cuenta estas diferencias para la definición de políticas que sean acordes, tanto para unos como para otros, de forma que se busque un uso adecuado del recurso y, a la vez, la posibilidad de generación de ingresos para las poblaciones locales y la industria.

Es importante mencionar que, a pesar de que el *fishprint* parece reducirse (o mantener un nivel constante) a partir de 2002, la explicación de este comportamiento no se asocia a tener un mejor manejo de la pesquería en el ámbito ecológico durante esta época. Este comportamiento solo expresa, por una parte, la sobreexplotación del recurso, que genera menores niveles de captura de camarón blanco y, por otra, que

es posible que, dado que muchas embarcaciones camaroneras han sido adaptadas para la pesca blanca para enfrentar la crisis financiera por la que pasa la pesquería, mientras la huella disminuye en la pesca de camarón blanco, esté creciendo en otras pesquerías. Para tal fin, siendo los ecosistemas marinos tan interdependientes, sería interesante extender esta investigación a otras pesquerías de la región.

Uno de los principales y útiles productos que pueden obtenerse al utilizar la huella ecológica como una medida de presión sobre los ecosistemas, es poder definir si una pesquería es o no sostenible. Sería conveniente estimar la biocapacidad marina para el área y serie temporal de estudio, a fin de visualizar el estado del balance ecológico de esta pesquería y obtener argumentos más fuertes acerca de la sobreutilización de los recursos marinos en el Pacífico colombiano.

Finalmente, es importante insistir en que, en un mundo cada vez más consciente de la problemática ambiental, atributos como el precio y disponibilidad de un producto en altas cantidades a costa de un daño ambiental, se aíslan de las preferencias de los consumidores para dar paso a productos que preserven la característica de sostenibilidad ambiental. En este sentido, dado que internacionalmente se reconoce que los planes de ecoetiquetado son potencialmente útiles para crear incentivos de mercado en aquellos productos y procesos que sean amistosos hacia el medio ambiente (FAO, 2009; WWF, 2009; MSC, 2010), los resultados de investigaciones como esta, que muestren el grado de presión sobre los ecosistemas, pueden ser favorables, ya sea para sustentar un manejo ambientalmente positivo de la pesquería y utilizarlo como publicidad en los mercados de camarón, o para tener un referente a partir del cual se pueda demostrar más adelante que se ha avanzado en la sostenibilidad de la actividad.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo resume el trabajo de grado para optar al título de Magíster en Economía del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales de la primera autora. Los resultados fueron posibles gracias al apoyo de Colciencias, por la financiación del proyecto “Reducción del impacto ambiental de la pesca artesanal del camarón en Colombia, mediante innovación con tecnologías de pesca limpia” (código: 2105-452-21254). Se destaca el apoyo técnico, académico y emocional del personal del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (Invemar), en especial L. M. Londoño Díaz y F. Rico Mejía, investigadores del Programa de Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos. Así mismo, se resalta el soporte del cuerpo de profesores de la Universidad de los Andes por el asesoramiento integral de la tesis y las contribuciones del profesor J. C. Cárdenas

durante la evaluación de esta investigación. Se reconoce la colaboración técnica de Global Footprint Network en el cálculo del indicador, en especial de B. Barbeau.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Ramírez, D. y J. A. Rodríguez-Valencia. 2010. Tecnologías para reducir la captura incidental en las pesquerías de camarón del golfo de California. <http://www.wwf.org.mx/wwfmex/descargas/rep-tec-RS-INP-INAPESCA-WWF-1030.pdf> 05/03/2013.
- Álvarez, J. y E. Salazar. 2010. La pesca de arrastre en Costa Rica. Fundación Marviva, San José. 55 p.
- Balmori-Ramírez, A., O. Pedrín-Osuna y J. Ayala. 2002. Evaluación del efecto en la exclusión de fauna de acompañamiento y camarón mediante la incorporación de dos dispositivos excluidores de peces del diseño Fish- Eye. Sagarpa, Informe de investigación, Doc. Int. México D. F. 19 p.
- Bonilla, H., L. Calderón, O. Aburto, J. Díaz, H. Pérez, P. del Monte, S. Lluch y L. López. 2009. La disminución en el nivel trófico de las capturas pesqueras en México. Rev. Cienc. Julio-septiembre 2009. 9 p. http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/634_NivelTropico.pdf. 28/02/2012.
- Cardona, D. 2009. Análisis bioeconómico de la pesca de camarón blanco en el Pacífico colombiano en presencia del Fenómeno El Niño. Tesis de Maestría, Econ. del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, Universidad de los Andes, Bogotá. 45 p.
- Castillo, L. 1998. Fluctuación poblacional (composición y abundancia) de la ictiofauna acompañante del camarón de aguas someras en el golfo Tortugas, Pacífico colombiano. Trabajo de grado, Biol. Mar., Univ. Valle, Cali. 108 p.
- Díaz-Ochoa, J. y R. Quiñones. 2008. Relationship of precipitation, freshwater input, and sea level height with the abundance of the white shrimp (*Litopenaeus occidentalis*; Street, 1871) off Buenaventura, eastern tropical Pacific. Fish. Res., 92 (2-3): 148-161.
- FAO. 2009. Guidelines for the ecolabelling of fish and fishery products from marine capture fisheries. FAO, Roma. 97 p.
- Folke, C. 1988. Energy economy of salmon aquaculture in the Baltic Sea. Env. Manag., 12: 525-537.
- Folke, C., N. Kautsky, H. Berg, A. Jansson y M. Troell. 1998. The ecological footprint concept for sustainable seafood production. A review. Ecol. Appl., 8 (1) Suppl.: S63-S71.
- GFN. 2010. Edición nacional de las cuentas de huella ecológica de Global Footprint Network 2010. http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/ecological_footprint_atlas_2008/. 05/05/2011.
- Groningen, E. 2007. The sole question assessing the sustainability of fishing versus farming. <http://ivem.eldoc.ub.rug.nl/FILES/ivempubs/dvrapp/EES-2007/EES-2007-37M/EES-2007-37MEfjeBroenland.pdf>. 04/03/2011.
- Inapesca y WWF. 2009. Evaluación de las atarrayas “suriperas” como opción para la captura comercial de camarón en el alto golfo de California. Informe técnico final de las campañas 2007-2008 y 2008-2009, Inapesca y WWF, México D. F. 34 p.
- Invemar. 2006. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2005. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Santa Marta. 360 p.

- Inveemar. 2007. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2006. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Inveemar), Santa Marta. 378 p.
- Inveemar. 2009. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2008. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Inveemar), Santa Marta. 244 p.
- Inveemar. 2010. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2009. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Inveemar), Santa Marta. 20 p.
- Kitzes, J., A. Galli, S. Rizk, A. Reed y M. Wackernagel. 2008. Guidebook to the national footprint accounts: 2008 Edition. Global Footprint Network, Oakland, EE. UU. 100 p.
- Larsson, J., C. Folke y N. Kautsky. 1994. Ecological limitations and appropriation of ecosystem support by shrimp farming in Colombia. *Env. Manag.*, 18: 663-676.
- Londoño, F. 1977. Algunos aspectos biológicos de los peces con interés comercial capturados por la flota camaronera en el Pacífico colombiano. Tesis Biol. Mar., Univ. Jorge Tadeo lozano, Bogotá. 89 p.
- Maldonado, J. 2008. Economía de recursos naturales: aplicaciones de economía computacional en la solución de problemas dinámicos. Univ. de los Andes, Bogotá. 229 p.
- MSC. 2010. Certificación de pesquerías. Marine Stewardship Council. <http://www.msc.org/obtenga-la-certificacion/pesquerias>. 20/07/2011
- Pauly, D. y V. Christensen. 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374: 255-257.
- Pérez-España, H., L. Abarca-Arenas y M. Jiménez-Badillo. 2006. Is fishing-down trophic web a generalized phenomenon? The case of Mexican fisheries. *Fish. Res.*, 79 (3): 349-352.
- Rico-Mejía, F. y M. Rueda. 2011. Manual para la pesca artesanal responsable de camarón en Colombia: adaptación de la red suripera. Serie de Publicaciones Generales No. 51, Inveemar, Colciencias e Incoder, Santa Marta. 28 p.
- Rubio, E. 1988. Estudio taxonómico de la ictiofauna acompañante del camarón en áreas costeras del Pacífico de Colombia. 169-174. En: CCO (Ed.). VI Seminario Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. Comisión Colombiana de Oceanografía, Gran Premio Editorial Ltda., Bogotá. 619 p.
- Rueda, M., J. Angulo, N. Madrid, F. Rico y A. Girón. 2006. La pesca industrial de arrastre de camarón en aguas someras del Pacífico colombiano: su evolución, problemática y perspectivas hacia una pesca responsable. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Inveemar), Santa Marta. 60 p.
- Rueda, M., F. Rico-Mejía y J. Viaña. 2011. Reducción del impacto ambiental de la pesca artesanal del camarón en Colombia, mediante innovación con tecnologías de pesca limpia. Informe técnico y financiero final, Inveemar y Colciencias, Santa Marta. 31 p.
- Ruiz, L. y J. Montana. 2004. La pesca artesanal de Sinaloa analizada en un contexto espacio-temporal por medio de un sistema de información geográfica. *Boletín CIAD*. 3 p. <http://www.ciad.mx/boletin/julago2004/lapesca.pdf>. 03/03/2012.
- Swartz, W., E. Sala, R. Watson y D. Pauly. 2010. The spatial and ecological footprint of fisheries (1950 to present). *PLoS ONE* 5 (12): e15143. [DOI: 10.1371/journal.pone.0015143].

- Tabash-Blanco, F. A. 2009. Consultoría: Análisis histórico y situación actual de la pesquería de camarón de arrastre de Costa Rica. Fundación Marviva, San José. 103 p.
- Talberth, J., K. Wolowickz, J. Venetoulis, M. Gelobter, P. Boyle y B. Mott. 2006. The ecological fishprint of nations. Measuring humanity's impact on marine ecosystems. Redefining progress. <http://www.wwf.dk/dk/Service/Bibliotek/Hav+og+fiskeri/Rapporter+mv./FishprintofNations2006.17/10/2011>.
- Trujillo, O. 1986. Estudio sobre las capturas incidentales de la pesca del camarón en la ensenada de Tumaco, Pacífico colombiano 1983-1984. Tesis Biol. Mar., Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 76 p.
- WWF. 2009. Assessment study of on-pack. Wild-Capture Seafood Sustainability Certification Programmes and Seafood Ecolabels, Zürich. 138 p.
- Zhou, S., A. D. M. Smith, A. E. Punt, A. J. Richardson, M. Gibbs, E. A. Fulton, S. Pascoe, C. Bulman, P. Bayliss y K. Sainsbury. 2010. Ecosystem-based fisheries management requires a change to selective fishing philosophy. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 107 (21): 9485-9489.

FECHA DE RECEPCIÓN: 09/11/2011

FECHA DE ACEPTACIÓN: 12/04/2013

