

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE ECONOMÍA

**PROGRAMA DE ECONOMÍA DEL MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES**

ARTÍCULO PUBLICABLE

Análisis bioeconómico de la pesquería de grandes bagres del
medio río Caquetá

Laura Jaramillo Botero

Asesor: Jorge Higinio Maldonado, Ph.D.

Junio 2005
Bogotá, D.C.

Esta tesis no se hubiera podido
realizar sin la generosa
colaboración de Carlos Rodríguez,
director de Tropenbos Colombia.

Tabla de contenido

Introducción	1
I. Revisión de literatura	3
1.1 Principios de economía de pesquerías	3
1.1.1 Regímenes de explotación de pesquerías	4
1.1.2 Otras consideraciones teóricas	5
1.2 La pesca comercial en el medio río Caquetá	7
1.3 Investigaciones pesqueras en la Amazonia Colombiana	11
II. Objetivo general	11
2.1 Objetivos específicos	12
III. Marco teórico	12
3.1 Modelos de producción excedente	12
3.1.1 Modelo de Schaefer	13
3.1.2 Modelo de Fox	15
3.1.3 Modelo del Umbral	16
3.2 Modelo bioeconómico	17
IV. Modelo empírico	18
4.1 Base de datos	18
4.1.1 Costos	20
4.1.2 Precios	21
4.2 Modelo econométrico	21
V. Resultados	25
5.1 Modelos estimados	25
5.2 Equilibrios óptimos	29
VI. Conclusiones	34
VII. Recomendaciones	35
Referencias	37

Lista de Anexos

Anexo 1. Modelos teóricos	40
A.1 Modelo de Schaefer	40
A.2 Modelo de Fox	41
Anexo 2. Ecuaciones estimadas	43
Anexo 3. Resultados adicionales	44
Anexo 4. Equilibrios óptimos de cuerda	45

Lista de tablas

Tabla 1. Períodos hidrológicos del río Caquetá.	8
Tabla 2. Formas funcionales asumidas en los modelos de Schaefer, Fox, y Umbral.	12
Tabla 3. Estadísticas descriptivas.	19
Tabla 4. Costos por jornada de pesca (pesos de 1994).	20
Tabla 5. Distribución mensual de los períodos hidrológicos.	21
Tabla 6. Resultados regresiones totales sin variable ambiental.	25
Tabla 7. Resultados regresiones totales con variable ambiental.	26
Tabla 8. Resultados regresiones esfuerzo heterogéneo sin períodos hidrológicos.	28
Tabla 9. Resultados regresiones esfuerzo heterogéneo con períodos hidrológicos.	28
Tabla 10. Equilibrios óptimos para los arponeros sin considerar períodos hidrológicos.	30
Tabla 11. Equilibrios óptimos para los arponeros considerando los períodos hidrológicos.	31

Tabla 12. Equilibrios óptimos para los malleros sin considerar períodos hidrológicos.	32
Tabla 13. Equilibrios óptimos para los malleros considerando los períodos hidrológicos.	33
Tabla 14. Resultados regresiones artes de pesca sin períodos hidrológicos.	44
Tabla 15. Resultados regresiones artes de pesca con períodos hidrológicos.	44
Tabla 16. Equilibrios óptimos para los cuerderos sin considerar los períodos hidrológicos	45
Tabla 17. Equilibrios óptimos para los cuerderos considerando los períodos hidrológicos.	46

Lista de figuras

Figura 1. Función de producción Schaefer.	14
Figura 2. Función de crecimiento biológico de Gompertz.	15
Figura 3. Función de producción de Fox.	16
Figura 4. Relación de la captura observada y el esfuerzo.	20
Figura 5. Comportamiento de la captura de grandes bagres y del nivel medio del río Caquetá.	22
Figura 6. Curvas de rendimiento sostenible para la pesquería de grandes bagres.	26
Figura 7. Curvas de rendimiento sostenible para cuatro períodos hidrológicos según el modelo del Umbral.	27

Introducción

A pesar de ser la principal actividad generadora de ingresos de la región, la pesquería de los grandes bagres en la Amazonia Colombiana ha sido poco estudiada desde un enfoque económico. El análisis económico puede aportar herramientas para establecer metas y recomendaciones de política sobre el uso racional de un recurso importante tanto para la economía local y regional como para los consumidores del interior del país. Los análisis bioeconómicos son útiles porque definen niveles óptimos de explotación para proteger el recurso y beneficiar a los pescadores. Sin embargo, tales estudios no se han realizado debido a la falta de información (Díaz-Sarmiento & Álvarez-León, 2003). El presente estudio es el primero, hasta donde se tiene conocimiento, que se realiza para la región amazónica colombiana.

La situación de explotación de estas pesquerías no es clara debido a la falta de estadísticas sobre la actividad. Sin embargo, algunos estudios apuntan a que puede haber sobreexplotación de algunas especies (Díaz-Sarmiento & Álvarez-León, 2003, Rodríguez 1999). Aún si este recurso no está todavía siendo sobreexplotado es importante adelantar estudios que puedan aportar al ordenamiento y manejo sostenible para evitar situaciones como la de la cuenca del Magdalena en donde el recurso está seriamente agotado.

Esta investigación pretende aplicar un modelo bioeconómico a la pesquería de grandes bagres del medio Caquetá. Esta pesquería es la tercera en importancia en la Amazonia Colombiana después de la de Leticia y La Pedrera. Aprovechando que se cuenta con suficiente información sobre la captura y el esfuerzo, se desarrolla un modelo bioeconómico para la pesca de grandes bagres. Dado que no hay estudios similares anteriores para esta región se empieza por ajustar los modelos de producción excedente de Schaefer¹, Fox² y Umbral³ para determinar el de mejor ajuste. Se incluyen los períodos hidrológicos y el esfuerzo de cada arte de pesca – arpón, malla, cuerda – como variables explicativas. Así mismo, se calculan

¹ Schaefer (1954)

² Fox (1970)

³ Clarke, Yoshimoto & Pooley (1992)

los niveles óptimos de captura y esfuerzo para diferentes regímenes de manejo – máximo rendimiento sostenible, máximo rendimiento económico, máximo rendimiento social, y libre acceso – siguiendo el modelo económico propuesto por Gordon (1954).

El modelo del Umbral es el de mejor ajuste. Los períodos hidrológicos y las diferentes artes de pesca son significativas y explican la variabilidad en las capturas. Así mismo, hay evidencia de interdependencias tecnológicas entre las artes de pesca. Se encuentra que existe sobreexplotación biológica, económica y social para los arponeros bajo el modelo de Schaefer y en algunos de los períodos hidrológicos. Además, hay sobrepesca económica por parte de los malleros según los tres modelos. Se puede concluir que la clasificación de la pesquería como sobreexplotada o subexplotada depende del modelo que se utilice en el análisis de la misma. A partir de estos resultados se hacen algunas recomendaciones de política.

Este trabajo consta de cinco secciones. En la primera sección se hace una revisión de la literatura de economía de pesquerías y se exponen las características de la pesquería de grandes bagres en el medio Caquetá. La segunda y tercera sección contienen los objetivos y una exposición de los modelos teóricos respectivamente. El modelo empírico y la descripción de la base de datos se encuentran en la cuarta sección. Los resultados y conclusiones están en la quinta y sexta sección. Por último, en la séptima sección están las recomendaciones. Las referencias y los anexos están al final del documento.

I. Revisión de literatura

1.1 Principios de economía de pesquerías⁴

Los modelos bioeconómicos están sustentados en modelos biológicos que describen el crecimiento de una población natural en el tiempo (Hanley, Shogren & White 1997). Bajo condiciones ideales una población podría crecer exponencialmente, no obstante, el medio ambiente impone limitaciones cuando los números son muy altos (Hartwick & Oleweiler 1998). La tasa de crecimiento depende entonces del tamaño de la población. Existen varias formas funcionales para representar la relación entre crecimiento y tamaño poblacional. Entre estas están la función logística, la logarítmica y la Gompertz (Milon, Larkin & Ehrhardt 1999, Seijo, Defeo & Salas 1997). La más utilizada es la logística pues de esta se deriva el modelo de producción de Schaefer (1954) que es uno de los más aplicados en la economía de pesquerías (Del Monte-Luna et al. 2001, Milon, Larkin & Ehrhardt 1999, Hanley, Shogren & White 1997, Seijo, Defeo & Salas 1997, Flagg 1977, Bell 1972).

Los modelos de producción de pesquerías, también llamados de rendimiento sostenible, incorporan elementos biológicos y tecnológicos (Hartwick & Oleweiler 1998, Hanley, Shogren & White 1997, Seijo, Defeo & Salas 1997). La función de producción se define por el stock de peces, el capital y el trabajo, estando estos dos últimos representados en el esfuerzo pesquero (Hanley, Shogren & White 1997). Cuando se tienen condiciones de equilibrio, la captura, dado el nivel de esfuerzo, es igual al crecimiento excedente de la población para todos los niveles de stock. Por lo anterior, este tipo de modelos de producción se conocen como modelos de producción excedente (Seijo, Defeo & Salas 1997). A largo plazo la pesca no afectará la población de peces porque ésta se reemplaza con el crecimiento natural del stock (Milon, Larkin & Ehrhardt 1999). El máximo crecimiento excedente se conoce como el máximo rendimiento sostenible -MRS - que es el punto donde se da la máxima captura sin afectar la sostenibilidad de la población. El MRS se considera un óptimo

⁴Para una presentación completa de la economía de pesquerías se sugiere consultar a Hartwick & Oleweiler (1998) y Hanley, Shogren & White (1997).

biológico. Cuando se ejerce una extracción mayor al MRS la pesquería no es sostenible pues la población crece a una tasa decreciente y la mortalidad por pesca no puede ser repuesta por el crecimiento excedente (Seijo, Defeo & Salas 1997).

El óptimo biológico no es, sin embargo, económicamente deseable pues no considera los costos en que incurre el pescador y las ganancias que deriva de la actividad. Gordon (1954) incorporó estas consideraciones al modelo de Schaefer dando origen al llamado modelo de Gordon-Schaefer. El análisis económico genera dos equilibrios, el máximo rendimiento económico o MRE que se obtiene de la maximización del beneficio, y el rendimiento de libre acceso o RLA que se desprende de la noción de que el recurso no renta porque no tiene dueño. El primero es el óptimo bioeconómico pues los factores se asignan eficientemente y el recurso se mantiene en el tiempo. En RLA se destinan más recursos de lo socialmente óptimo llevando a la sobreexplotación económica e incluso a la sobreexplotación biológica si hay niveles bajos de stock (Hanley, Shogren & White 1997).

La elección del equilibrio apropiado – MRS, MRE, RLA – dependerá del objetivo que se quiera lograr en el manejo de la pesquería y de la estructura del mercado. En la siguiente sección se hace una descripción de los regímenes de explotación más usados y estudiados.

1.1.1 Regímenes de explotación de pesquerías

Cuando el objetivo es obtener una producción máxima de pescado de manera continua, el nivel óptimo de captura que se debe buscar es el MRS (Panayotou 1983). Como se señaló arriba, este equilibrio no es óptimo porque no se consideran los costos y los ingresos de los pescadores.

La condición natural de la mayoría de pesquerías en el mundo es el libre acceso pues es muy difícil asignar derechos de propiedad sobre los peces o sobre áreas de océanos y ríos. Ya sea producto de una estrategia o por falta de ella, en el libre acceso no hay regulación sobre la entrada y salida de esfuerzo de la pesquería. Simplemente, entrarán pescadores hasta el punto donde los beneficios derivados de la actividad sean llevados a cero, $\pi = 0$, por el exceso de esfuerzo. En teoría, los pescadores adicionales no entrarán al llegar a este punto pues la

actividad les generará pérdidas, pero se ha visto que cuando el costo de oportunidad del empleo es muy bajo, esto no se da (Durrenberger 1997). Entonces, se puede presentar sobreexplotación biológica e ineficiencia económica. Por tal razón, es necesario que haya cierto tipo de regulación sobre las artes de pesca, los sitios, y las épocas del año en que se puede pescar.

El establecimiento de derechos de propiedad para eliminar las externalidades asociadas con el hecho de que el recurso no tenga dueño es otra estrategia de manejo. En este caso se buscará obtener el máximo rendimiento sostenido – MRE – de los ingresos respecto a los costos a través de la maximización de los beneficios (Panayotou 1983). Este régimen es considerado el óptimo porque se usan los factores de producción eficientemente sin acabar el recurso. Esto se debe a que la entrada y salida de esfuerzo de la pesquería se da racionalmente pues un pescador permanecerá adentro sólo si el valor marginal del recurso es igual o mayor al costo marginal de extraerlo (Hartwick & Oleweiler 1998). Sin embargo, como ya se mencionó, esta es una estrategia muy difícil de implementar por la naturaleza del recurso en cuestión. Algunos autores la catalogan como un primer mejor imposible de alcanzar y sugieren otro tipo de regulación (Charles 1988).

1.1.2 Otras consideraciones teóricas

Los modelos clásicos de bioeconomía pesquera como el Gordon-Schaefer fueron desarrollados a partir de pesquerías tecnificadas e industrializadas que incorporan grandes cantidades de capital y trabajo. Estos modelos parten de los supuestos de que se pesca una única especie, con una tecnología homogénea y en una sola comunidad (Panayotou 1983). Sin embargo, cuando se trata de estudiar las pesquerías de pequeña escala y de regiones tropicales, los supuestos de estos modelos no siempre pueden sostenerse. Los ecosistemas tropicales se caracterizan por una gran variabilidad biológica, ambiental, y social. Por otro lado, la mayor parte de este tipo de estudios se ha concentrado en el análisis de la eficiencia económica – MRE – como objetivo de manejo dado el carácter industrial de las mismas (Charles 1988). En pesquerías como las continentales, se deben realizar análisis multiobjetivos donde además de la eficiencia se consideren aspectos de equidad para establecer medidas de manejo (Charles 1988). También es importante tener en cuenta las

fluctuaciones medio-ambientales como factores explicativos a la hora de buscar óptimos bioeconómicos (Fernández-Baca 1998, Bell 1972).

Wilson (1982) critica los supuestos de la teoría clásica de bioeconomía pesquera aduciendo que estos no son realistas y que por lo tanto no explican el comportamiento de las poblaciones de peces ni la conducta del pescador. Así mismo, no está de acuerdo en que la única manera de conservar los recursos sea a través del mercado, o sea, con derechos de propiedad completos pues en algunos casos estos pueden resultar en mayores costos sociales que la ausencia de regulación. En este sentido, Schlager & Ostrom (1992) proponen varios arreglos institucionales entre el libre acceso y la propiedad privada. Argumentan estos autores que no es necesario tener derechos de propiedad plenos pues hay evidencia de situaciones intermedias – derecho al uso, derecho al manejo, y derecho a la exclusión – que son viables y ampliamente utilizadas para el buen uso de los recursos.

Algunos autores han propuesto que los análisis de pesquerías a pequeña escala incluyan consideraciones sociales como el bienestar que generan los empleos en la actividad (Panayotou 1983, Charles 1988). Existe evidencia de investigaciones sociales que demuestran que en muchos casos de comunidades pobres y aisladas los pescadores no tienen más alternativas como fuente de ingresos que la pesca (Hanley, Shogren & White 1997, Charles 1988, Panayotou 1983). Además, las pequeñas pesquerías no siempre cumplen con los supuestos económicos – la teoría de la firma – de los modelos clásicos (Charles 1988, Panayotou 1983). Estos se comportan como hogares ya que no compran en el mercado de factores sino que proveen su propio empleo, fabrican y arreglan sus propios equipos y pescan ellos mismos (Durrenberger 1997).

En este sentido Charles (1988) y Panayotou (1983) proponen un nuevo equilibrio óptimo de explotación, el máximo rendimiento social o MRSc, como régimen de manejo que maximice el valor social del empleo y de la distribución del ingreso. Partiendo del modelo clásico de Gordon – Schaefer e integrando la noción del MRSc, Panayotou (1983) desarrolla un modelo biosocioeconómico para las pesquerías de pequeña escala. El óptimo biosocioeconómico lo deriva de la misma forma del MRE pero asumiendo cero costos de oportunidad del trabajo y

del capital dentro de los costos totales. De esta forma, el esfuerzo y la captura del MRSc resultan ser mayores que los del MRE pero menores que los del MRS.

Otro aspecto a tener en cuenta es la diversidad sociocultural que puede haber en las pesquerías tropicales. Así, en una misma región pueden confluir diferentes culturas con diferentes estrategias para explotar el recurso. Por lo tanto, el esfuerzo no es homogéneo como en las pesquerías tecnificadas sino que hay gran variedad de artes de pesca para pescar las mismas especies. En estos casos se pueden presentar interdependencias tecnológicas que deben ser tenidas en cuenta en los análisis y en las decisiones de regulación. (Seijo, Defeo & Salas 1997).

Generalmente no se incluyen variables ambientales en los modelos de pesquerías por la dificultad que hay en la obtención de la información y porque muchas veces se desconoce qué tipo de relación existe entre el medio y la historia natural de las especies. Sin embargo, se ha visto que el medio juega un papel importante en la dinámica de poblaciones y en la forma como se extrae el recurso (Simonit & Perrings 2004, Kasulo & Perrings 2002, Fréon & Yáñez 1995, Bell, 1972). Las variables ambientales pueden ayudar a explicar la variabilidad en la producción anual cuando el esfuerzo solo no es suficiente. El medio ambiente puede afectar la abundancia de la población, la capturabilidad, o ambas (Fréon & Yáñez 1995).

1.2 La pesca comercial en el medio río Caquetá⁵

La pesca comercial del río Caquetá es la tercera en importancia en la región amazónica colombiana después de la de Leticia y La Pedrera (Díaz-Sarmiento & Álvarez-León 2003, SINCHI 2000). Araracuara es el principal centro comercial del medio río Caquetá con una producción anual promedio de 120 toneladas de pescado. Esta actividad es la más importante a nivel regional y local como fuente de ingresos legales para colonos e indígenas (Díaz-Sarmiento & Álvarez-León 2003, Rodríguez 1999). Además, es netamente comercial pues entre los locales este tipo de pescado no es apetecido para el consumo porque se asocia con enfermedades cutáneas. Los bagres hacen parte de la cosmogonía indígena lo que les impide

⁵ Para una exposición detallada véase Rodríguez (1999).

a estos su consumo más no su pesca con fines comerciales.

La región del medio río Caquetá, al igual que gran parte de la región amazónica, se caracteriza por una gran diversidad socio – cultural y una marcada estacionalidad que rige todos los procesos naturales y actividades antropogénicas (Rodríguez 1999, Fernández-Baca 1998). La variabilidad del medio natural se debe a los cuatro períodos hidrológicos que se presentan en el año (SINCHI 2000, Rodríguez 1999). Estos ciclos se caracterizan por la subida y bajada pronunciada de los niveles del agua de los ríos y quebradas en ciertas épocas del año. En la Tabla 1, reproducida de Mora-Lara (1999), se muestran los períodos hidrológicos y los meses correspondientes según observaciones de diferentes años. Cabe anotar que esta distinción no es exacta, es más una tendencia, ya que hay cierta variación en el inicio y duración de cada período año tras año. Así, la actividad pesquera de la región no escapa a esta variabilidad. Rodríguez (1999) encontró que existe relación entre los períodos hidrológicos y las artes de pesca, las capturas, los lugares escogidos para pescar, y las especies capturadas.

Tabla 1. Períodos hidrológicos del medio río Caquetá.

Período	Promedios 1984 – 1988	Niveles de 1991
Aguas bajas	Enero – Marzo	Diciembre – Febrero
A. ascendentes	Abril – Mayo	Marzo – Mayo
A. altas	Junio – Octubre	Junio – Agosto
A. descendentes	Noviembre – Diciembre	Septiembre - Noviembre

Fuente: Mora-Lara (1999)

Una característica especial de esta pesquería es la variabilidad en la disponibilidad del recurso debido a las migraciones que realizan las diferentes especies de bagre. Estas se dan entre la región del Bajo Amazonas en el Brasil y el Alto Amazonas en Colombia y Perú. A pesar de que no hay estudios transnacionales de captura y recaptura, se sabe que hay migraciones porque se ha observado a los peces moviéndose río arriba coordinadamente (Díaz-Sarmiento & Álvarez-León 2003, Rodríguez 1999). Cada especie tiene una época de migración específica, la cual está asociada a la ocurrencia e intensidad de los períodos hidrológicos (Agudelo-Córdoba 1994). Sin embargo, existen muchos interrogantes pues no hay reportes

que indiquen una migración o movimiento en dirección río abajo. Además, en el río Caquetá por lo general se capturan individuos adultos y son raras las tallas pequeñas (Agudelo-Córdoba 1994). Esto podría ser evidencia de que el reclutamiento de juveniles no se da en esta zona sino en algún lugar de la región del Bajo o Medio Amazonas (Díaz-Sarmiento & Álvarez-León 2003). Sin embargo, hay evidencia de desove en el río Caquetá pero no se sabe a dónde van a parar y dónde se crían los alevinos (Agudelo-Córdoba 1994). Al respecto, Agudelo-Córdoba (1994) expone dos hipótesis que no han sido probadas, siendo la primera que los adultos se moverían río abajo hacia aguas lénticas o lagos para desovar pero no se observaría su desplazamiento porque este se daría en el período de aguas altas y por el centro del canal del río; la segunda hipótesis es que habría adaptaciones reproductivas como huevos pelágicos que serían depositados por las hembras río arriba y posteriormente bajarían por el río ya fecundados hasta alcanzar zonas lénticas o lagos en aguas brasileras donde eclosionarían y se desarrollarían.

En la zona existe una fuerte presencia indígena de diferentes grupos étnicos y en menor medida de colonos (Rodríguez 1999). La mayor parte del territorio pertenece a resguardos indígenas y a parques nacionales. Debido a lo anterior hay restricciones a la entrada y la propiedad es inalienable. Esto ha traído conflictos entre colonos e indígenas pues estos últimos han tratado de excluir a los primeros de algunos sitios de pesca sin mucho éxito (Rodríguez 1999). Por otro lado, esta institucionalidad se ha visto en ocasiones amenazada ante presiones externas derivadas del conflicto armado que vive el país.

La diversidad cultural se hace evidente en las artes de pesca usadas por los pobladores. Por lo general, éstas están asociadas a los grupos étnicos que a su vez tienen lugares predilectos para la pesca (Rodríguez 1999). No es común ver a un pescador que se dedique a usar diferentes tecnologías de pesca. El 54% de los pescadores usa el arpón, el 38% usa la cuerda, y sólo el 8% usa las mallas debido a sus elevados costos (Rodríguez 1999). A continuación se describen estas artes y las relaciones comerciales encontradas por Rodríguez (1999) en el medio río Caquetá.

El *arpón* consiste de un palo largo con una punta metálica que está atado a una cuerda que en

el extremo opuesto tiene un galón plástico que actúa como boya. Los pescadores se paran en la orilla a esperar que pase algún pez para lanzarle el arpón. Hay unos sitios mejores que otros por lo que en ocasiones se hacen turnos para usar los lugares de arponeo. Esta tecnología se usa principalmente cuando las aguas están bajas. La pesca con *cuerda* consiste en atar cuerdas de polietileno de unos 20 metros de largo con anzuelos grandes en sitios escogidos especialmente para tal fin. Los pescadores revisan la cuerda periódicamente para reemplazar carnadas y recuperar los bagres que hayan caído en los anzuelos. Esta tecnología es selectiva para capturar individuos de gran tamaño. La *malla* es la tecnología más costosa y por lo tanto la menos usada. Esta consiste en una malla de 200 metros de larga que flota por medio de unas boyas y que se deja rodar con la corriente por un tramo del río. Para pescar con malla se necesita una canoa o bote con motor y dos pescadores.

El comercio de los grandes bagres lo realizan los dueños de los cuartos fríos. Entre estos hay una fuerte competencia por asegurarse la mayor cantidad de pescado. Los pescadores tienen diferentes relaciones comerciales con los cuartos fríos. La relación más común es la de *patronazgo* en donde el dueño mantiene a un grupo de pescadores durante todo el año. Así el patrón se asegura una provisión constante de pescado y los pescadores reciben ayuda de este durante las épocas de poca pesca. Otro tipo de relación es el *endeude*; aquí el comerciante le fía un equipo de pesca y víveres a un pescador. A cambio, el pescador le debe vender su producido para saldar la deuda. Muchas veces estas deudas terminan extendiéndose por largos períodos de tiempo por lo que el pescador queda amarrado a un patrón así este no le ofrezca los mejores precios. Estas relaciones son típicas de la economía extractiva amazónica. Es decir, se espera que los precios estén distorsionados debido al poder oligopsónico de los comerciantes.

Para el momento en que fue recopilada la información que se usa en este estudio la autoridad encargada de vigilar y reglamentar la pesca en esta zona así como en el resto del país era el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura – INPA. Algunas de las reglamentaciones de entonces y aún vigentes para el medio río Caquetá son las tallas mínimas, la restricción en el tamaño de las mallas, y la prohibición del uso de mallas en ciertas zonas del río (Mora-Lara 1999, Rodríguez 1999). Las dos últimas se adoptaron debido a que en los años ochenta se

hizo un uso indiscriminado de las mallas para la pesca de grandes bagres (Rodríguez 1999).

1.3 Investigaciones pesqueras en la Amazonia Colombiana⁶

La mayor parte de las investigaciones sobre las especies de peces y la dinámica de la actividad pesquera que se ha hecho en esta región ha sido sobre los grandes bagres (SINCHI 2000, Rodríguez 1999 y 1991). Este grupo, dentro del que se encuentran las especies *Brachyplatystoma filamentosum* (Lechero), *B. flavicans* (Dorado), *Pseudoplatystoma fasciatum* (Pintadillo rayado), *P. tigrinum* (Pintadillo tigre), y *Phractocephalus hemiliopterus* (Guacamayo o Cájaro) ha sido tradicionalmente el más explotado comercialmente (SINCHI 2000, Rodríguez 1999).

La mayoría de los estudios han estado dirigidos a aspectos de la biología de las especies y muy pocas han evaluado la actividad desde una perspectiva productiva o económica. Se destacan los estudios de Rodríguez (1999, 1991) para dos sitios del río Caquetá que incluyen aspectos sociales, biológicos y económicos dando una visión muy completa de la actividad. Así mismo, Alonso (1998), usa Modelos Lineales Generalizados (GLM) para explicar la variabilidad de las capturas en Araracuara. El autor encuentra que el número de pescadores, el arte de pesca utilizado y la dinámica migratoria son las principales variables explicativas. Cabe anotar que algunas investigaciones incluyen conceptos económicos como los costos de pesca pero estos no pasan de ser descriptivos. Hasta donde se tiene conocimiento no se cuenta hasta ahora con estudios bioeconómicos de las pesquerías de grandes bagres del Amazonas.

II. Objetivo general

El objetivo principal de este estudio es aplicar un modelo bioeconómico estático a la pesquería de grandes bagres del medio río Caquetá considerando los períodos hidrológicos y las diferentes tecnologías de pesca. Se espera obtener los niveles óptimos de captura y

⁶ Para una revisión completa de las investigaciones sobre la pesca de los grandes bagres en la Amazonia Colombiana véase SINCHI (2000).

esfuerzo para diferentes estrategias de manejo del recurso pesquero.

2.1 Objetivos específicos

- Ajustar los modelos de producción excedente de Schaefer, Fox y Umbral a la pesca de grandes bagres del medio río Caquetá.
- Calcular los equilibrios de máximo rendimiento sostenible, máximo rendimiento económico, máximo rendimiento social, y libre acceso.
- Evaluar el impacto de los períodos hidrológicos y de las artes de pesca en los equilibrios mencionados.
- Proponer medidas de manejo, si es necesario, para el recurso pesquero basadas en las soluciones de los modelos.

III. Marco teórico

3.1 Modelos de producción excedente

Los modelos de producción de pesquerías parten de una forma funcional que representa el crecimiento natural de una población y de una forma funcional para la tasa de captura (Milon, Larkin & Ehrhardt 1999). La forma de la función de producción, o relación captura-esfuerzo, dependerá entonces de las formas funcionales que se usen. Las diferencias en los modelos de Schaefer (1954), Fox (1970), y Umbral (Clarke, Yoshimoto & Pooley 1992) se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Formas funcionales asumidas en los modelos de Schaefer, Fox, y Umbral.

Modelo	Función de crecimiento	Ecuación de captura	Función de Producción
Schaefer	$\frac{dX}{dt} = rX \left(1 - \frac{X}{k}\right)$	$C = qEX$	$C = qkE - \left(\frac{q^2 k}{r}\right) E^2$
Fox	$\frac{dX}{dt} = rX \left(\ln \frac{k}{X}\right)$	$C = qEX$	$C = qkE \frac{-qE}{r}$
Umbral	N. A	$C = C_{\max} - ke^{-qE}$	$C = C_{\max} - ke^{-qE}$

3.1.1 Modelo de Schaefer

Este modelo es uno de los más utilizados en la economía de pesquerías por la simpleza de los cálculos y el poco requerimiento de información (Milon, Larkin & Ehrhardt 1999; Seijo, Defeo & Salas 1997; Bell, 1972). Aunque algunos de los supuestos que subyacen al modelo son poco realistas, varios autores aconsejan su uso cuando se hace un primer análisis de una pesquería y debido a que sus principios son robustos (García 1988, Clark 1985, citados en Milon, Larkin & Ehrhardt 1999).

Los supuestos del modelo son: 1- la población se encuentra en equilibrio por lo que las muertes naturales y por extracción se compensan con el crecimiento y los nacimientos, 2- la pesca es proporcional al esfuerzo, 3- la captura por unidad de esfuerzo es proporcional a la abundancia de la población, 4- el ambiente físico es estable y la capacidad de carga constante, 5- se explota una sola especie, 6- la tecnología de la pesquería es constante, y 7- el coeficiente de capturabilidad, q , que representa la fracción de la población que es extraída por unidad de esfuerzo, es constante (Gulland 1983 citado por Seijo, Defeo & Salas 1997). Así mismo, en el modelo está implícita la dependencia de la captura anual en el tamaño del stock del año anterior (Milon, Larkin & Ehrhardt 1999). De lo anterior se desprende que el reclutamiento⁷ de nuevos individuos depende de un stock local de parentales. Como se verá más adelante este tipo de dinámica poblacional no siempre se da en todas las especies de peces.

Para derivar la función de producción se parte de la curva de crecimiento logística de la población sometida a explotación propuesta por Schaefer (1954),

$$\frac{dX}{dt} = rX \left(1 - \frac{X}{k} \right) - C \quad (1)$$

donde X es el tamaño de la población (biomasa), t el tiempo, k la capacidad de carga, r la tasa intrínseca de crecimiento de la especie, y C la captura. La tasa de captura asume que esta es proporcional al stock (X) y al esfuerzo (E),

⁷ Reclutamiento: ingreso de nuevos individuos al stock de una población.

$$C = qEX \quad (2)$$

En el Anexo 1 se detalla la derivación de la función de producción y de los equilibrios. La función de producción resultante de Schaefer asume que la relación entre la captura y el esfuerzo es parabólica,

$$C = qkE - \left(\frac{q^2k}{r}\right)E^2 \quad (3)$$

como se ve en la Figura 1. Al dividir (3) por E se obtiene una relación lineal entre la captura por unidad de esfuerzo, U , y el esfuerzo,

$$U = \frac{C}{E} = qk - \left(\frac{q^2k}{r}\right)E \quad (4)$$

En la Figura 1 se aprecia cómo a niveles altos de esfuerzo el modelo predice el colapso de la pesquería.

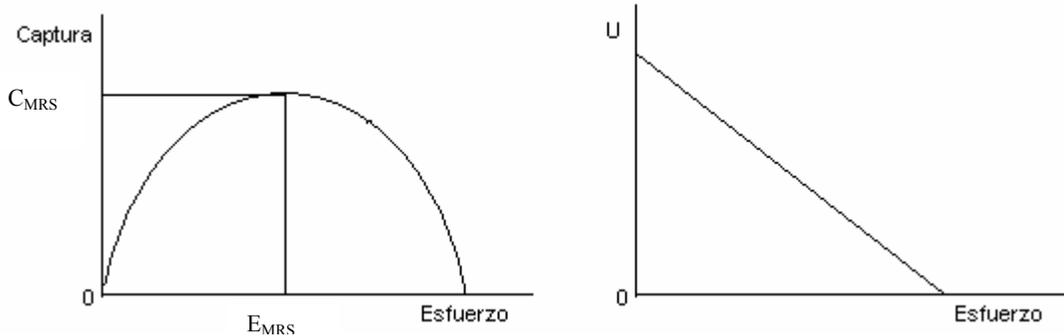


Figura 1. a) Función de producción Schaefer. E_{MRS} es el esfuerzo óptimo del máximo rendimiento sostenible. b) Relación lineal de captura por unidad de esfuerzo (U) vs. Esfuerzo.

De la maximización de (3) se obtienen los niveles de esfuerzo y captura correspondientes al máximo rendimiento sostenible.

$$E_{MRS} = \frac{r}{2q} \quad (5)$$

$$C_{MRS} = \frac{kr}{4} \quad (6)$$

3.1.2 Modelo de Fox

El modelo de Fox es más optimista que el de Schaefer pues no asume la extinción de la población a niveles altos de esfuerzo. El modelo asume una función de crecimiento Gompertz, (Figura 2), cuya característica es que no es simétrica como la logística. Este tipo de crecimiento es más característico del crecimiento en peso que el logístico (Seijo, Defeo & Salas 1997). Aparte de la curva de crecimiento, los supuestos del modelo de Fox son los mismos que los de Schaefer.

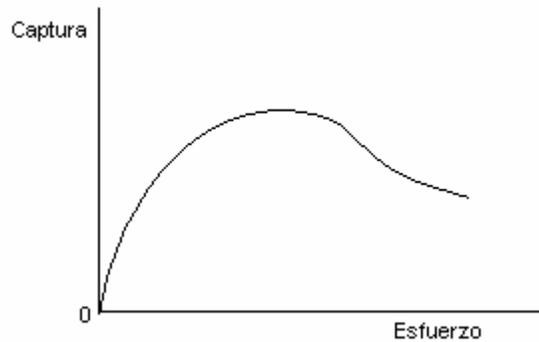


Figura 2. Función de crecimiento biológico de Gompertz

La función de crecimiento Gompertz de una población explotada se expresa como,

$$\frac{dX}{dt} = rX \left(\ln \frac{k}{X} \right) - C \quad (7)$$

donde X es el tamaño de la población (biomasa), t es el tiempo, k es la capacidad de carga, r es la tasa intrínseca de crecimiento de la especie, y C es la captura. El modelo asume una tasa de captura igual a la del modelo de Schaefer. En el Anexo 1 se presentan los pasos para derivar la función de producción y los equilibrios.

Como resultado de usar la curva de Gompertz la función de producción de Fox establece una relación exponencial entre la captura y el esfuerzo,

$$C = qkEe^{-\frac{q}{r}E} \quad (8)$$

$$U = qke^{-\frac{q}{r}E} \quad (9)$$

En la Figura 3 se representan la función de producción y la relación U – esfuerzo del modelo Fox.

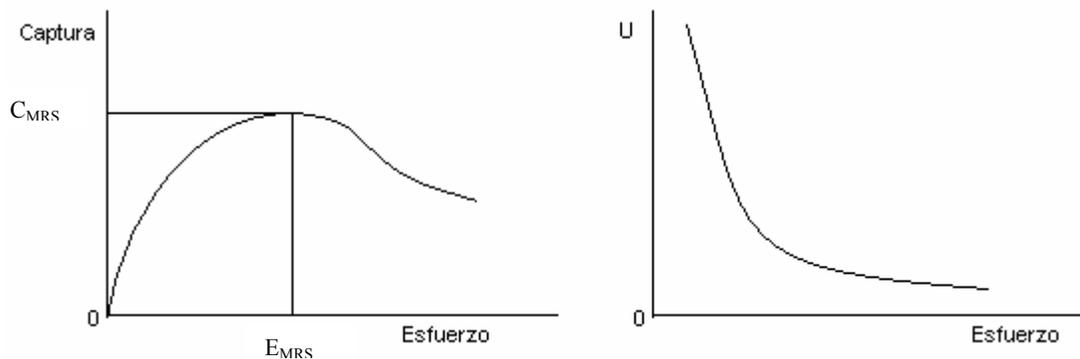


Figura 3. a) Función de producción de Fox. b) Relación U y Esfuerzo.

Los niveles de captura y esfuerzo correspondientes al máximo rendimiento sostenible son,

$$E_{MRS} = \frac{r}{q} \quad (10) \quad C_{MRS} = \frac{kr}{e} \quad (11)$$

3.1.3 Modelo del Umbral

El modelo del Umbral o “Threshold model” fue desarrollado por Clarke, Yoshimoto & Pooley (1992) y aplicado a la pesquería de langostas en Hawai. Milon, Larkin & Ehrhardt (1999) lo usan en un estudio sobre la pesca de langostas en la Florida. Este modelo es recomendado para especies que se explotan por temporadas o cuyos stocks se explotan parcialmente (Clarke, Yoshimoto & Pooley 1992 citado en Milon, Larkin & Ehrhardt 1999). Se ajusta a la pesquería de grandes bagres del medio Caquetá ya que las tallas mínimas están reglamentadas y en esta zona la mayor parte del stock está compuesto por individuos adultos ya que el reclutamiento se daría en el Medio Amazonas.

El modelo asume una función de captura logarítmica. La función de producción predice que a niveles altos de esfuerzo la captura llega a un máximo asintótico. Como el modelo se basa en el nivel máximo de captura (el umbral), implícitamente representa la dinámica de la población, por lo que no es necesario especificar la tasa de crecimiento de la población

(Milon, Larkin & Ehrhardt 1999). La función de producción se define como,

$$C = C_{\max} - ke^{-qE} \quad (12)$$

donde C_{\max} es el nivel máximo de captura. Se asume que este nivel es la mayor captura observada. Un aspecto único de este modelo es que la captura es función sólo de la biomasa disponible o capturable y no considera la regeneración de la población como lo hacen los modelos de Schaefer y Fox (Milon, Larkin & Ehrhardt 1999). Esto es importante cuando el reclutamiento es de diferentes fuentes y no sólo de la población bajo explotación.

3.2 Modelo bioeconómico

Gordon (1954) desarrolló el modelo que incorpora elementos económicos como precios del recurso y costos de extracción al análisis biológico desarrollado en la sección anterior. Aunque el modelo original de Gordon usó el modelo de producción excedente de Schaefer, se pueden usar otros tipos de funciones de producción para el análisis económico. A partir de este modelo se pueden obtener dos soluciones de equilibrio que dependerán del objetivo que se tenga para el manejo del recurso y de las condiciones propias de uso del mismo. Las alternativas de manejo más comunes son, 1- el libre acceso, y 2- la maximización de la renta económica.

Los supuestos del modelo son 1- el costo por unidad de esfuerzo, c , se asume constante para todos los niveles de esfuerzo, 2- el precio por unidad, p , de recurso es constante, 3- los cambios en el esfuerzo se dan de manera inmediata como respuesta al cambio en los ingresos totales, 4- el recurso responde inmediatamente a los cambios en el esfuerzo (Seijo, Defeo & Salas 1997).

Se define la renta económica como los ingresos totales – IT – menos los costos totales – CT ,

$$\pi = IT - CT \quad (13)$$

Los costos totales son función del esfuerzo,

$$CT = cE \quad (14)$$

y son independientes de la tasa de captura y del tamaño del stock (Bell, 1972). El costo por unidad de esfuerzo, c , incluye los costos fijos, variables, y de oportunidad (Seijo, Defeo & Salas 1997).

Los ingresos totales se calculan al multiplicar la función esfuerzo-producción, $F(E)$, por el precio del recurso,

$$IT = pF(E) \quad (15)$$

La falta de derechos de propiedad es la condición principal del libre acceso. Bajo este esquema entrarán pescadores a la industria hasta que la renta sea llevada a cero, $\pi=0$ (Hanley, Shogren & White 1997). Luego, el equilibrio de libre acceso se da donde los ingresos totales igualan los costos totales,

$$pF(E) = cE \quad (16)$$

El segundo equilibrio llamado el máximo rendimiento económico, MRE, se deriva de la maximización de la renta económica. La condición de maximización es que el valor del producto marginal del esfuerzo sea igual al costo marginal del mismo (Seijo, Defeo & Salas 1997). Derivando (14) y (15) respecto al esfuerzo e igualando se obtiene el esfuerzo de MRE,

$$VPMg = p \frac{dF}{dE} = c = CMg \quad (17)$$

Cuando se considera que los costos de oportunidad son cero, el MRE, se convierte en el rendimiento máximo social, MRSc.

IV. Modelo empírico

4.1 Base de datos

La base de datos que se usa en este estudio proviene del estudio que realizó Rodríguez (1999) sobre la pesca comercial en el medio río Caquetá. Los datos corresponden a registros de 48 meses de la actividad pesquera de grandes bagres en la región de Araracuara y Puerto

Santander en el departamento del Caquetá. Se utilizan aquí datos de captura por arte de pesca, esfuerzo por arte de pesca, costos por arte de pesca, y precios de venta del pescado. Así mismo, se tiene información sobre los períodos hidrológicos a través de series del nivel medio del río Caquetá.

La captura se mide en kilogramos pescados por mes y corresponde a un “mixed stock” que es como designa Clark (1985) a una pesquería donde se pescan diversas especies (Seijo, Defeo & Salas 1997). Se usa la captura multiespecífica ya que no es posible diferenciar el esfuerzo que se aplica a cada una de las más de 6 especies de bagres pescados. Sin embargo, cerca del 70% de la captura total mensual corresponde a dos especies, *Brachyplatystoma filamentosum* (Lechero) y *B. flavicans* (Dorado), que son las que alcanzan mayor valor en el mercado (Rodríguez 1999). Anualmente se capturan alrededor de 120 toneladas de grandes bagres en el área de influencia de Araracuara.

La unidad económica de esfuerzo corresponde a un pescador con su equipo. Se usó un ponderador para estandarizar el esfuerzo de acuerdo a lo anterior. El esfuerzo se mide en jornadas ya que un pescador, independientemente del tipo de arte que use, gasta alrededor de 10-12 horas en la faena de pesca (Rodríguez 1999). El esfuerzo total se reparte entre las artes de pesca así: arponeros 53 %, malleros 25%, y cuerderos 20%. En la Tabla 3 se muestran las estadísticas descriptivas de las variables utilizadas.

Tabla 3. Estadísticas descriptivas.

		Arpón	Cuerda	Malla	Total
Captura (kg./mes)	Media	5,211.65	2,092.54	1,293.83	8,598.02
	Des. Est.	2,259.07	997.98	706.41	3123.43
Esfuerzo (jornadas/mes)	Media	251.69	96.77	119.33	467.79
	Desv. Est.	124.07	45.94	58.31	179.85
U (kg./jornada) ^a	Media	21.50	22.13	10.75	18.73
	Desv. Est.	4.21	4.62	2.16	3.11

a. $U = C/E$.

Así mismo, el 60 % de la captura total pertenece a los arponeros, el 24 % a los cuerderos y el

15 % restante a los malleros. En la Figura 4 se observa la relación entre la captura y el esfuerzo total.

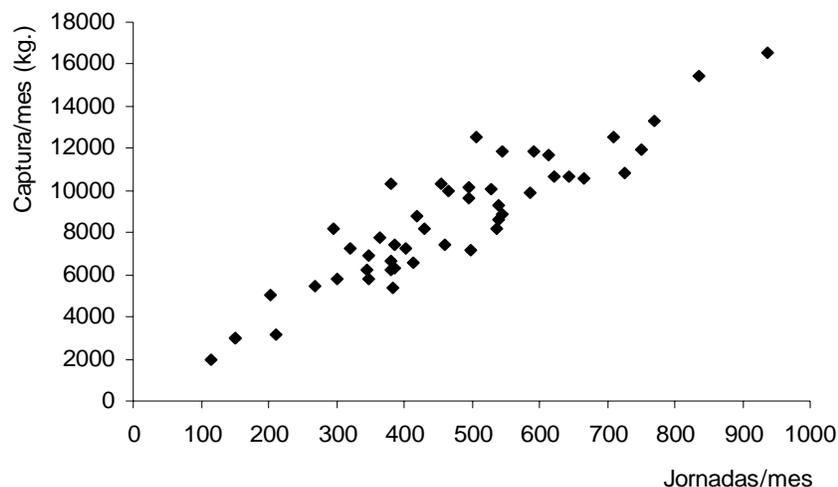


Figura 4. Relación de la captura observada y el esfuerzo.

4.1.1 Costos

Los costos totales incluyen costos fijos, costos variables y de oportunidad. El único costo fijo de los pescadores del medio río Caquetá es la depreciación de las canoas y los equipos de pesca pues estos no pagan ni licencias, ni seguros, ni intereses. Los costos variables incluyen costos de la faena de pesca como suministros y jornales que en este caso no se pagan. Los costos de oportunidad incluyen el valor de la mano de obra. En la Tabla 4 se resumen los costos.

Tabla 4. Costos por jornada de pesca^a.

Costos	Arponeros	Malleros	Cuerderos
Costos fijos			
Depreciación	44.44 (arpón)	804.66 (bote, mallas)	135.03 (canoa, cuerdas, anzuelos)
Costos variables			
Suministros (pilas, linternas, etc.)	300.00	250.00	300.00
Gasolina	N.A.	5,314.68 (2.22 gal/jorn)	4,788.00 (2.00 gal/jorn)
Mantenimiento equipos	N.A.	400.00	200.00
Costos de oportunidad			
Mano de obra ^b	3,290.00	3,290.00	3,290.00

Costos totales (pesos 1994)	3,634.44	10,059.34	8,713.03
Costos totales (pesos 2005)	12,888.81	35,673.40	30,899.02

N.A. Los arponeros pescan desde la orilla. a. Costos calculados según los costos presentados en Rodríguez (1999) y (1991). b. Salario mínimo legal diario 1994.

El costo promedio por jornada se calculó dándole un peso diferente a cada arte de pesca ya que los costos entre sí son diferentes. Los pesos corresponden al porcentaje de pescadores que usa cada arte así: 54% arpón, 37.7% cuerda y 8.4% malla.

$$\bar{c} = 0.54 * \text{costoarponeros} + 0.084 * \text{costomalleros} + 0.377 * \text{costocuerderos}$$

$$\bar{c} = 6,092.15 / \text{jornada expresados en pesos de 1994.}$$

4.1.2 Precios

Los precios del pescado dependen de la especie y de la calidad. Dado que cerca del 70% de la captura corresponde a dos especies valiosas de bagres se usa el precio pagado por este tipo de pescado. El precio por kilogramo de pescado de primera categoría pagado en los cuartos fríos de Puerto Santander y Araracuara en 1994 fue \$880. (En abril de 2005 el precio del Kg. era de \$3,129 aproximadamente)⁸

4.2 Modelo econométrico

Como se mencionó anteriormente, la región amazónica presenta una gran variabilidad a nivel ambiental y cultural. En la Tabla 5 se muestra la distribución de los meses considerados en este estudio por período hidrológico.

Tabla 5. Distribución mensual de los períodos hidrológicos.

	# de meses en la muestra	Promedio (meses/año)	Desv. Est.
Aguas bajas	12.00	3.00	0.00
A. ascendentes	9.00	2.25	0.50
A. altas	13.00	3.25	0.50
A. descendentes	14.00	3.50	0.58

Fuente: Propia.

⁸ Los cálculos de los equilibrios óptimos se hacen a precios de 1994.

En la Figura 5 se ve el comportamiento de la captura y del nivel medio del río Caquetá entre abril de 1991 y marzo de 1995.

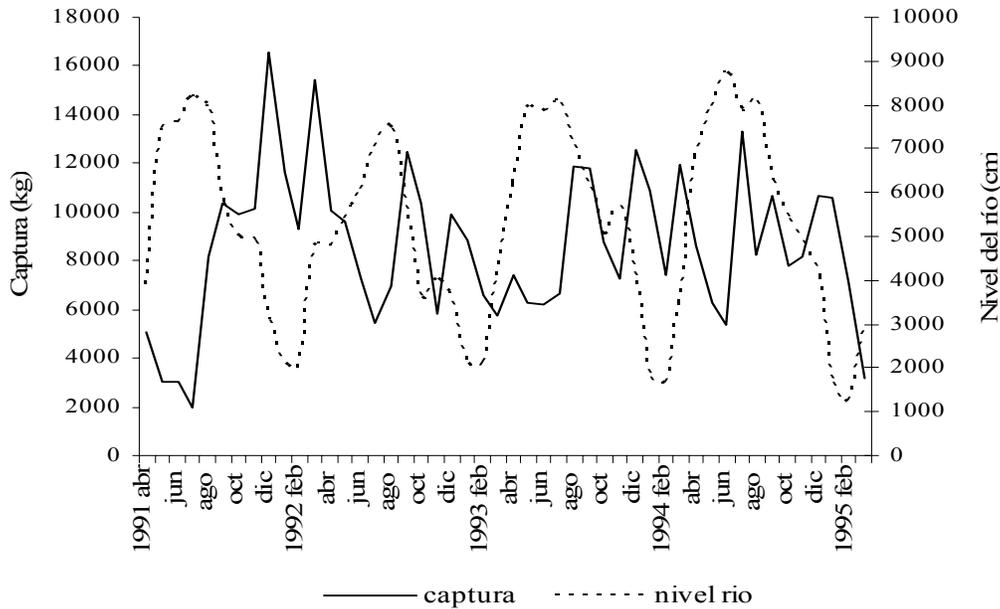


Figura 5. Comportamiento de la captura de grandes bagres y del nivel medio del río Caquetá.

Dado que se cuenta con suficiente información de los períodos hidrológicos y de las artes de pesca, estos se incluyen en el análisis bioeconómico. No se incluye una variable que controle por las migraciones porque se está trabajando con un stock mixto y las diferentes especies tienen diferentes épocas de migración. Además, no se conoce la dinámica migratoria para gran parte de las especies explotadas. Las funciones de producción desarrolladas en el marco teórico se pueden estimar empíricamente con datos de captura y esfuerzo. Además de incluir al esfuerzo como variable explicativa se incluyen tres variables dicotómicas para capturar el efecto de los períodos hidrológicos.

Los modelos que se estimaron son:

1. Totales

- a. $C_t = f(E_t)$, captura total explicada por el esfuerzo total.

b. $C_t = f(E_t, ph_t)$, captura total explicada por el esfuerzo total y los períodos hidrológicos.

2. Por artes de pesca

a. $C_{ti} = f(E_{ti})$, captura para cada arte de pesca explicado por el esfuerzo en ese arte, $i = 1, 2, 3$ artes de pesca.

b. $C_{ti} = f(E_{ti}, ph_t)$, captura para cada arte de pesca explicada por el esfuerzo en ese arte y los períodos hidrológicos.

c. $C_{ti} = f(E_{ti}, E_{tj})$, captura para cada arte de pesca explicada por el esfuerzo en ese arte y el esfuerzo ejercido en las otras artes, $j = \text{otras artes de pesca diferentes a } i$.

d. $C_{ti} = f(E_{ti}, E_{tj}, ph_t)$, captura para cada arte de pesca explicada por el esfuerzo en ese arte, el esfuerzo ejercido en las otras artes y los períodos hidrológicos.

Las variables dicotómicas son: $ph_1 = 1$ Aguas bajas
 $= 0$ Si no

$ph_2 = 1$ Aguas ascendentes
 $= 0$ Si no

$ph_3 = 1$ Aguas altas
 $= 0$ Si no

Las funciones anteriores se estimaron para los modelos de Schaefer, Fox y Umbral. Para el caso de los modelos básicos (1a) las formas funcionales son:

Schaefer

$$U = \alpha - \beta E + \varepsilon \text{ donde } \alpha = qk, \beta = \frac{q^2 k}{r} \quad (18)$$

Fox

$$\ln U = \alpha - \beta E + \varepsilon \text{ donde } \alpha = qk, \beta = -\frac{q}{r} \quad (19)$$

Umbral

$$\ln(C_{\max} - C) = \alpha - \beta E + \varepsilon \text{ donde } \alpha = \ln k, \beta = -q \quad (20)$$

En el Anexo 2 se detallan todos los modelos estimados. La estimación del modelo del Umbral se hace por iteraciones en donde se cambia el nivel de captura máxima hasta obtener el mejor ajuste. Generalmente, se empieza con un valor cercano a la mayor captura observada.

Se espera que el signo del término del intercepto sea positivo porque este representa parámetros biológicos que no pueden ser negativos como la capacidad de carga. En los tres modelos el coeficiente del esfuerzo debe ser negativo. En los modelos de Fox y Schaefer la variable dependiente es la captura por unidad de esfuerzo que es proporcional a la abundancia de la población. Por lo tanto, se espera que el esfuerzo tenga un efecto negativo sobre el stock. La variable dependiente del modelo del Umbral corresponde a la porción del stock que no es capturado. Entonces, a mayor esfuerzo menor stock no capturado.

Así mismo, en los modelos 2c y 2d, se espera que el esfuerzo de las diferentes artes sobre la captura de un arte en particular sea negativo. Esto si se supone que una flota impone una externalidad negativa sobre las otras al explotar el mismo recurso. En el caso del modelo del Umbral los signos de los coeficientes del esfuerzo de las otras flotas deben ser positivos pues a mayor esfuerzo de estas, mayor no captura de la flota considerada. En cuanto al signo del coeficiente de las variables dicotómicas de los períodos hidrológicos se espera que sea positivo cuando un determinado período hidrológico mejora las probabilidades de extracción dada una tecnología y negativo si las reduce.

V. Resultados

5.1 Modelos estimados

Se estimaron los modelos de producción excedente de Schaefer, Fox, y Umbral para datos totales y por artes de pesca. También se estimaron los modelos con tres variables dicotómicas para capturar el efecto de los períodos hidrológicos (Ej. aguas bajas, aguas ascendentes, aguas altas). Las estimaciones se hicieron por Mínimos Cuadrados Ordinarios y se probaron hipótesis de no autocorrelación de los errores con Durbin-Watson y de homoscedasticidad de las varianzas con la prueba de White. Los modelos que presentaron autocorrelación fueron corregidos con el método de Crochane-Orcutt y la heteroscedasticidad se corrigió con la matriz robusta de White. En la Tabla 6 y la Tabla 7 se presentan los resultados de los modelos de captura y esfuerzo total (modelo 1a).

El modelo de mejor ajuste es el del Umbral en tanto que los modelos de Schaefer y Fox tienen ajustes similares. La variable esfuerzo no es significativa en los modelos de Schaefer y Fox, mientras que es altamente significativa en el modelo del Umbral. Los signos en todos los modelos son los esperados. Las curvas de rendimiento sostenible de los tres modelos para datos totales se presentan en la Figura 6.

Tabla 6. Resultados regresiones totales sin variable ambiental.

	Schaefer	Fox	Umbral ^a
E	-0.0011	-5.19E-05	-0.0014***
cste	18.8785***	2.9223***	10.1735***
n	47	47	47
R ²	0.33	0.35	0.87
R ² aj.	0.30	0.32	0.86
F	11.01***	11.88***	153.04***

a. Cmax = 22,000 kg. Los coeficientes son significativos al 1% (***), 5% (**), y 10% (*). La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes.

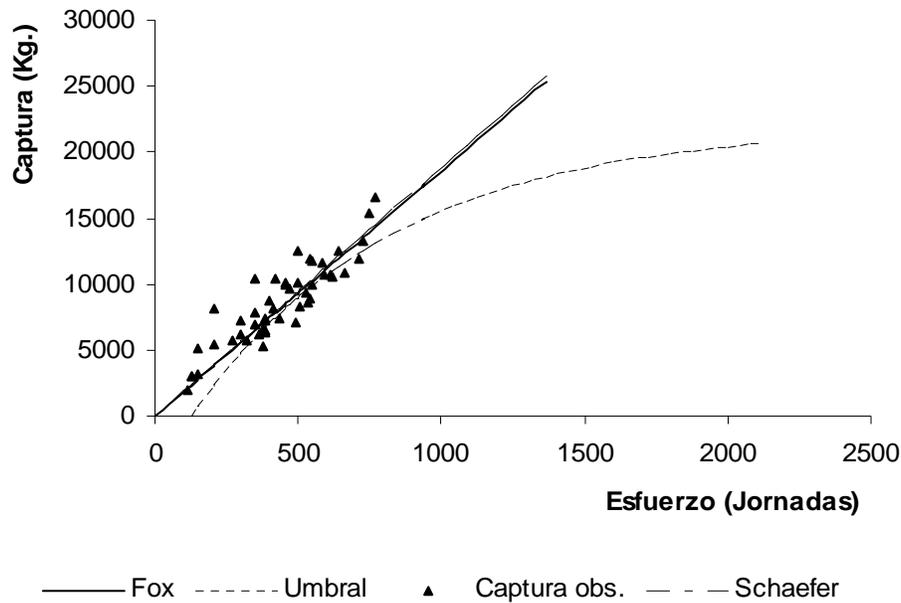


Figura 6. Curvas de rendimiento sostenible para la pesquería de grandes bagres.

Al incluir los períodos hidrológicos los modelos mejoran el ajuste. Estos son significativos lo que demuestra la influencia de los cambios medio-ambientales sobre las capturas. Los signos negativos de estos coeficientes en los modelos de Schaefer y Umbral indican que la captura por unidad de esfuerzo es mayor en el período de aguas descendentes – representado en la constante. Esta disminución es mayor en aguas bajas. En cuanto al

Tabla 7. Resultados regresiones totales con variable ambiental.

	Schaefer	Fox	Umbral ^a
E	-0.0042*	-0.0002*	-0.0013***
Aguas bajas	-4.5075***	-0.2339***	0.1561***
A. ascendentes	-3.3638***	-0.1703***	0.0909**
A. altas	-4.4566***	-0.2221***	0.1116***
cste	23.6846	3.1619***	10.0300***
n	48	48	48
R ²	0.48	0.48	0.87
R ² aj.	0.43	0.43	0.86
F	10.20***	10.08***	75.59***

a. Cmax = 22,000 kg. Los coeficientes son significativos al 1% (***), 5% (**), y 10% (*). La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes.

modelo del Umbral en esta misma época se observa el aumento de la no captura. En la Figura 7 se muestran las curvas de rendimiento sostenible del modelo del Umbral para los cuatro períodos hidrológicos.

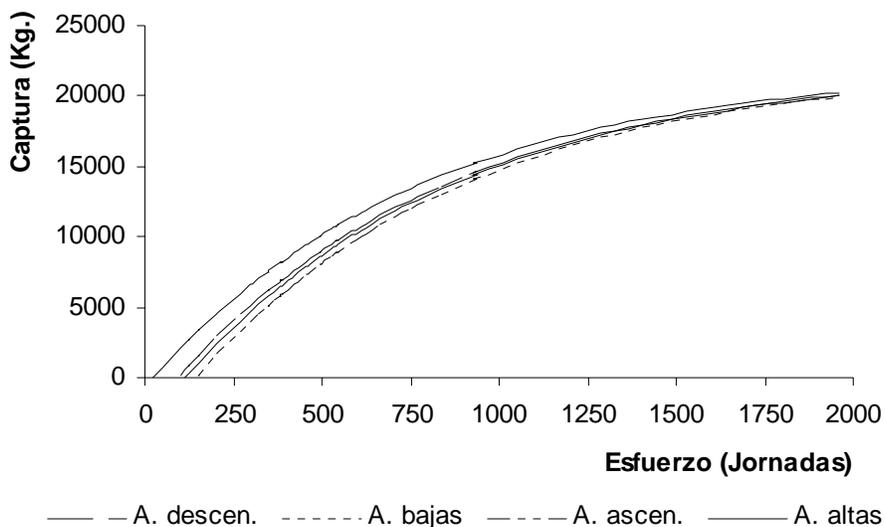


Figura 7. Curvas de rendimiento sostenible para cuatro períodos hidrológicos según el modelo del Umbral.

Los resultados para los modelos por artes de pesca se presentan en la Tabla 8 y la Tabla 9. Los demás modelos estimados se encuentran en el Anexo 3. Nuevamente, el modelo del Umbral tiene el mejor ajuste mientras que los otros dos arrojan resultados similares. Se puede ver que los resultados difieren entre las artes lo que indica que los pescadores que las usan actúan de manera diferente. Respecto a los modelos sin variable ambiental se puede decir que los coeficientes significativos son evidencia de que hay interdependencia tecnológica entre las artes de pesca. Esto es, el esfuerzo de un grupo de pescadores puede afectar negativa o positivamente la captura de otro grupo de pescadores. En el caso de los cuerderos el esfuerzo de los arponeros tiene un efecto negativo sobre sus rendimientos.

Tabla 8. Resultados regresiones esfuerzo heterogéneo sin períodos hidrológicos.

	Arpón			Cuerda			Malla		
	Schaefer	Fox	Umbral ^a	Schaefer	Fox	Umbral ^b	Schaefer	Fox	Umbral ^c
E arpón	-0.0193***	-0.0008***	-0.0021***	-0.0162***	-0.0007***	0.0004***	-0.0093***	-0.0008***	0.0004**
E cuerda	0.0475**	0.0019**	1.03E-05	0.0096	0.0004	-0.0060***	0.0194**	0.0016*	-0.0011*
E malla	-0.0255**	-0.0009*	0.0001	-0.0161	-0.0005	0.0003	-0.0029	-0.0001	-0.0038***
cste	24.8193***	3.1900***	9.7208***	27.2057***	3.2818***	8.7943***	11.5878***	2.4276***	8.4899***
n	48	48	48	48	48	48	48	48	48
R ²	0.28	0.27	0.83	0.20	0.21	0.86	0.23	0.22	0.83
R ² aj.	0.23	0.22	0.82	0.15	0.15	0.85	0.18	0.17	0.81
F	5.83***	5.45***	72.87***	3.87**	3.94**	92.80***	4.45***	4.23***	72.01***

a. $C_{\max} = 15,500$ kg. b. $C_{\max} = 6,500$ kg. c. $C_{\max} = 4,500$. Los coeficientes son significativos al 1% (***), 5% (**), y 10% (*). La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes.

Tabla 9. Resultados regresiones esfuerzo heterogéneo con períodos hidrológicos.

	Arpón			Cuerda			Malla		
	Schaefer	Fox	Umbral	Schaefer	Fox	Umbral	Schaefer	Fox	Umbral
E arpón	-0.0128	-0.0005*	-0.0025***	-0.0010	2.88E-05	-9.52E-05	-0.0028	-0.0001	0.0003
E cuerda	0.0269	0.0010	0.0004	0.0015	-5.84E-05	-0.0056***	0.0184*	0.0014	-0.0013*
E malla	-0.1631	-0.0006	0.0002	-0.0225	-0.0008	0.0005*	-0.0067	-0.0005	-0.0036***
A. bajas	-4.9646***	-0.2383***	0.2018***	-5.8027***	-0.2840***	0.1834***	-2.6319***	-0.2641***	0.0922**
A. ascende	-4.5362**	-0.2085***	0.0917**	-0.8922	-0.0316	0.0016	-0.9139	-0.0665	0.0914*
A. altas	-4.4012***	-0.1910***	0.0671**	-0.3441	-0.0281	0.0055	-0.0387	0.0029	0.0057
cste	27.3724***	3.2990***	9.6982***	26.6409***	3.2592***	8.8193***	11.3343***	2.3944***	8.4875***
n	48	48	48	48	48	48	48	48	48
R ²	0.50	0.52	0.87	0.33	0.36	0.90	0.35	0.37	0.84
R ² aj.	0.43	0.45	0.85	0.23	0.29	0.89	0.26	0.28	0.82
F	7.01***	7.45***	47.52***	3.44***	4.30***	65.65***	3.79***	4.10***	38.50***

a. $C_{\max} = 15,500$ kg. b. $C_{\max} = 6,500$ kg. c. $C_{\max} = 4,500$. Los coeficientes son significativos al 1% (***), 5% (**), y 10% (*). La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes.

Los signos para casi todos los coeficientes significativos son los esperados. En el caso del modelo para el arpón sin periodos hidrológicos se tienen signos no esperados. El coeficiente del esfuerzo de la cuerda es positivo en el modelo de Schaefer y de Fox. Esto puede estar sugiriendo que existe algún tipo de interdependencia biológica entre especies de bagres. Es probable que se trate de competencia entre especies pues la pesca de una(s) especie(s) por parte de los cuerderos está permitiendo un mayor crecimiento de otra(s) especie(s) que son capturadas por los arponeros. Esta situación también se presenta para la malla en el modelo de Schaefer con períodos hidrológicos.

Cuando se incluyen los períodos hidrológicos los resultados varían respecto al caso anterior. El esfuerzo no es significativo para la mayoría de los modelos y de la artes. Por otro lado, los períodos hidrológicos son muy significativos para los arponeros y en menor medida para los cuerderos y malleros. Lo anterior sugiere que algunas artes son más susceptibles que otras ante cambios externos como las variaciones del nivel del río.

5.2 Equilibrios óptimos

Se calcularon los equilibrios de máximo rendimiento sostenible, máximo rendimiento económico, máximo rendimiento social y libre acceso. Para este análisis se consideraron las funciones de producción de los arponeros y malleros⁹.

En la Tabla 10 se presentan los equilibrios óptimos para los arponeros sin considerar los períodos hidrológicos. Los resultados difieren entre los modelos de producción siendo el modelo del Umbral el que mayores equilibrios predice. La captura promedio observada de los arponeros no sobrepasa el equilibrio de máximo rendimiento sostenible. Sin embargo, cuando se considera la máxima captura observada, 13,127 Kg. /mes, se ve que esta excede las capturas óptimas de MRS de los modelos de Schaefer y Fox. Así mismo, el máximo esfuerzo observado, 687 jornadas/mes, excede el esfuerzo óptimo de MRE, MRSc por lo que hay más esfuerzo del económicamente eficiente en la pesquería.

⁹ Los equilibrios para los cuerderos sólo se pueden calcular para el caso del modelo de Umbral y se presentan en el Anexo 4.

Tabla 10. Equilibrios óptimos para los arponeros sin considerar períodos hidrológicos^a

		Schaefer	Fox	Umbral ^b
MRS	Esfuerzo	683	1,250	N.A.
	Captura	9,009	12,056	N.A.
MRE	Esfuerzo	576	858	1,025
	Captura	8,788	11,326	13,539
MRSc ^c	Esfuerzo	674	1,207	1,259
	Captura	9,007	12,049	14,300
RLA	Esfuerzo	1,152	2,310	3,752
	Captura	4,754	9,541	15,499
Valores promedio observados	Esfuerzo	251	Captura	5,211

a. Los cálculos se hacen a pesos de 1994. b. Cmax = 15,500 kg. c. No se incluyen los costos por depreciación ni el costo de oportunidad de la mano de obra. N.A. El modelo del Umbral no predice un óptimo biológico porque la captura no depende de la regeneración local de la población. La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes.

Los equilibrios para los cuatro períodos hidrológicos se presentan en la Tabla 11. Para los modelos de Schaefer y Fox el período de aguas descendentes muestra niveles de esfuerzo y captura mayores que en el resto de estados hidrológicos. Los equilibrios del modelo de Schaefer son bastante inferiores a los de los otros modelos. Para todos los modelos el MRSc es mayor que el MRE. El modelo del Umbral arroja niveles de esfuerzo óptimos diferentes en cada período hidrológico pero las capturas son iguales en todos los casos. Esto se debe a que a altos niveles de esfuerzo el modelo del Umbral predice que las capturas se acercan siempre al umbral o captura máxima y el efecto de los períodos hidrológicos se pierde.

En el modelo de Schaefer el equilibrio de libre acceso para tres de los períodos es menor que el máximo rendimiento sostenible. Esto se debe a que la curva de costos totales es bastante empinada. Al comparar los equilibrios de MRS de Schaefer con la captura promedio observada de los arponeros en cada período hidrológico se encuentra que hay sobreexplotación biológica en todas las épocas del año. Hay evidencia de ineficiencia económica y social en aguas bajas y ascendentes. Así mismo, en los períodos de aguas bajas, ascendentes, y altas el esfuerzo promedio excede el equilibrio de libre acceso indicando que los pescadores trabajan con unos costos totales mayores a sus ingresos. Los modelos de Fox

y Umbral no arrojan evidencia de sobreexplotación.

Tabla 11. Equilibrios óptimos para los arponeros considerando los períodos hidrológicos^a.

		A. descendentes	A. bajas	A. ascendentes	A. altas	
Schaefer						
MRS	Esfuerzo	410	216	233	238	
	Captura	2,158	601	697	729	
MRE	Esfuerzo	249	55	72	77	
	Captura	1,825	268	364	396	
MRSc ^c	Esfuerzo	397	203	220	225	
	Captura	2,156	598	695	727	
RLA	Esfuerzo	498	110	144	154	
	Captura	2,059	457	595	639	
Fox						
MRS	Esfuerzo	2,000	2,000	2,000	2,000	
	Captura	20,434	16,102	16,590	16,885	
MRE	Esfuerzo	1,401	1,283	1,299	1,308	
	Captura	19,310	14,783	15,299	15,608	
MRSc	Esfuerzo	1,935	1,918	1,921	1,922	
	Captura	20,420	16,088	16,577	16,872	
RLA	Esfuerzo	3,811	3,335	3,394	3,430	
	Captura	15,744	13,773	14,020	14,166	
Umbral^b						
MRE	Esfuerzo	940	1021	977	967	
	Captura	13,846	13,847	13,847	13,847	
MRSc ^c	Esfuerzo	1,938	2,018	1,974	1,965	
	Captura	15,363	15,363	15,363	15,363	
LA	Esfuerzo	3,752	3752	3752	3752	
	Captura	15,498	15,498	15,498	15,498	
Valores promedio observados		Esfuerzo	223	397	228	162
		Captura	5,605	7,328	4,499	3,322

a. Los cálculos se hacen a pesos de 1994. b. Cmax = 15,500 kg. c. No se incluyen los costos por depreciación ni el costo de oportunidad de la mano de obra. La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes.

Al observar los equilibrios óptimos de los malleros sin considerar los períodos hidrológicos

(Tabla 12) se nota que los equilibrios de MRE y RLA son muy inferiores a los demás. Al comparar al esfuerzo promedio observado de los malleros, 119 jornadas/mes, se ve que hay sobreexplotación económica según los modelos de Schaefer y Fox. Esto se debe a que los costos totales de este grupo de pescadores son muy elevados, al punto que el modelo de Fox predice que no se debe pescar. Sin embargo, la captura promedio observada está muy por debajo de la captura del máximo rendimiento sostenible.

Tabla 12. Equilibrios óptimos para los malleros sin considerar períodos hidrológicos^a.

		Schaefer	Fox	Umbral ^b
MRS	Esfuerzo	1,993	10,000	N.A.
	Captura	11,524	41,254	N.A.
MRE	Esfuerzo	22	0	125
	Captura	252	0	1,491
MRSc ^c	Esfuerzo	824	2,360	262
	Captura	7,558	20,901	2,712
RLA	Esfuerzo	45	0	180
	Captura	514	0	2,059
Valores promedio observados	Esfuerzo			
	119	Captura		
		1,293		

a. Los cálculos se hacen a pesos de 1994. b. C_{max} = 4,500 kg. c. No se incluyen los costos por depreciación ni el costo de oportunidad de la mano de obra. N.A. El modelo del Umbral no predice un óptimo biológico porque la captura no depende de la regeneración local de la población. La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes.

La tendencia anterior se mantiene al hacer el análisis por períodos hidrológicos. En la Tabla 13 se observan los equilibrios óptimos para las cuatro épocas del año. Los tres modelos, Schaefer, Fox y Umbral, predicen equilibrios óptimos de MRE y RLA muy bajos. Los valores más bajos se presentan en aguas bajas y ascendentes. Según estos resultados hay sobreexplotación económica durante todo el año. En los períodos de aguas bajas y ascendentes se excede el esfuerzo óptimo de libre acceso. Al contrario, no hay sobreexplotación social en ninguno de los casos, lo que demuestra el gran peso que tienen los costos de oportunidad en los costos totales de los malleros.

Tabla 13. Equilibrios óptimos para los malleros considerando los períodos hidrológicos^a.

		A. descendentes	A. bajas	A. ascendentes	A. altas
Schaefer					
MRS	Esfuerzo	926	729	857	923
	Captura	5,746	3,567	4,931	5,710
MRE	Esfuerzo	73	0	4	70
	Captura	870	0	56	835
MRSc ^c	Esfuerzo	420	223	352	417
	Captura	4,032	1,853	3,217	3,997
RLA	Esfuerzo	146	0	9	140
	Captura	1,670	0	111	1,604
Fox					
MRS	Esfuerzo	2,000	2,000	2,000	2,000
	Captura	9,005	6,915	8,426	9,031
MRE	Esfuerzo	68	0	1	71
	Captura	608	0	11	841
MRSc	Esfuerzo	545	313	489	548
	Captura	5,079	2,515	4,385	5,114
RLA	Esfuerzo	136	0	3	142
	Captura	1,562	0	43	1,629
Umbral^b					
MRE	Esfuerzo	103	0	0	105
	Captura	1,314	0	0	1,319
MRSc ^c	Esfuerzo	249	274	274	250
	Captura	2,616	2,612	2,614	2,612
RLA	Esfuerzo	190	0	0	185
	Captura	2,170	0	0	2,115
Valores promedio observados					
	Esfuerzo	114	107	131	127
	Captura	1,387	953	1,433	1,410

a. Los cálculos se hacen a pesos de 1994. b. Cmax = 4,500 kg. c. No se incluyen los costos por depreciación ni el costo de oportunidad de la mano de obra. La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes.

VI. Conclusiones

Se ajustaron tres modelos de producción excedente – Schaefer, Fox, Umbral – a la pesca de grandes bagres del medio río Caquetá considerando el efecto de los períodos hidrológicos y de las diferentes artes de pesca. También se calcularon los equilibrios de máximo rendimiento sostenible, máximo rendimiento económico, máximo rendimiento social, y libre acceso. Los períodos hidrológicos y las artes de pesca fueron significativos y mejoraron el ajuste de los modelos. La inclusión de estas variables acerca el análisis de la pesquería de grandes bagres a la realidad y al contexto en que ésta se desarrolla. Así mismo, el análisis por artes de pesca permitió conocer las interdependencias tecnológicas entre las diferentes tecnologías que actúan sobre el mismo recurso e incluso dio luces sobre la interacción de las especies del stock mixto.

Comparando las capturas observadas en esta pesquería con los equilibrios óptimos se puede concluir que el grado de explotación depende del modelo que se utilice para calcular los equilibrios. En términos generales no hay sobreexplotación, sin embargo, se observa que hay períodos del año más vulnerables que otros. Tal es el caso del período de aguas bajas, en donde es tradicional que la mayor parte de los pescadores salga a pescar. También se concluye que al haber algunas capturas mensuales por encima de ciertos equilibrios, la pesquería tiene suficiente capacidad para obtener niveles de captura que la hagan insostenible. Sin embargo, estos no son sostenidos en el tiempo debido a la influencia de los cambios hidrológicos sobre el comportamiento de los pescadores.

Así mismo, se probó el impacto de incluir los costos de oportunidad en los costos totales contra no incluirlos. Los resultados muestran que el equilibrio de MRSc es mucho mayor, más del doble en algunos casos, que el de MRE. Esto es importante a la hora de tomar decisiones de ordenamiento de la pesquería pues hay que tener en cuenta que no existen alternativas de empleo en la región y que el esfuerzo está atrapado en la actividad pesquera.

Hay ciertos factores que han contribuido a la regulación de la actividad. En cierta forma, las condiciones bajo las que se explota el recurso han sido una forma de autorregulación del

esfuerzo. Uno de estos tiene que ver con las condiciones naturales del río. No todos los sitios son aptos para la pesca. Los lugares considerados como “buenos” por los locales son limitados, hasta el punto de que en los sitios de arponeo los pescadores deben hacer turnos para arponear. Hay incluso pescadores que han declarado como suyos algunos lugares de pesca.

Por otro lado, la región está muy aislada y el acceso a los mercados del interior del país es difícil. Todo el pescado debe salir por vía aérea hacia Bogotá y Medellín. La mayor parte de este territorio pertenece a resguardos indígenas y a parques nacionales por lo que no hay libre acceso en sentido estricto. Así mismo, es probable que las medidas tomadas por el INPA e Inderena para restringir el uso de las mallas, hayan tenido un efecto positivo en desacelerar y controlar la explotación de los grandes bagres en este río.

VII. Recomendaciones

La evidencia apunta a que si no se tiene precaución la pesquería podría entrar en una fase no sustentable biológicamente. Las medidas que se tomen para su ordenamiento deben considerar la variabilidad ambiental, cultural y sobretudo las características socioeconómicas de los pescadores.

Aunque el modelo del Umbral fue el de mejor desempeño estadísticamente, lo que indica que los supuestos detrás de éste se ajustaron adecuadamente a esta pesquería, se recomienda que su uso como punto de partida para la toma de decisiones de manejo se haga con cautela sobre todo cuando el régimen es de libre acceso pues los niveles óptimos de captura y esfuerzo son bastante altos. Debe haber un conocimiento claro de la biología de las especies explotadas dado que se podría provocar el colapso de la pesquería en caso contrario. En el caso de los bagres amazónicos hay estudios que indican que estas especies migran por el cauce del río Amazonas desde el Brasil y que el reclutamiento se da en zonas diferentes al río Caquetá. Sin embargo, la dinámica reproductiva de estos peces todavía no se conoce a cabalidad, sobretudo lo que tiene que ver con las áreas de desove, que al parecer estarían en el medio río Caquetá. Por lo tanto, en casos en que no se cuenta con suficiente información sobre las especies es

mejor el uso de modelos más conservadores.

Los resultados de los equilibrios óptimos de explotación muestran que las mayores capturas se pueden realizar en los períodos de aguas altas y descendentes. Es importante tener en cuenta que estas son las épocas de madurez sexual y desove del Dorado y el Lechero que son las dos especies de mayor explotación en esta pesquería (SINCHI 2000). En el medio Caquetá es tradicional el uso de mallas durante estas épocas del año. Se recomienda restringir el uso de mallas durante las semanas de mayor actividad sexual pues con estas se captura un mayor número de individuos por faena que con la cuerda y el arpón. Por otro lado, los modelos evidenciaron que durante el período de aguas bajas las capturas por unidad de esfuerzo son menores lo que refleja altos niveles de esfuerzo en comparación con el resto del año. En esta época el esfuerzo de los arponeros es muy alto, incluso uno de los modelos arroja evidencias de sobreexplotación. Sin embargo, no hay necesidad de restringir las capturas de estos pues en esta época no hay reproducción y este arte es muy selectivo por individuos de gran tamaño.

Comparando los resultados para las diferentes estrategias de manejo consideradas en este trabajo con la realidad socioeconómica de los pescadores se puede decir que el máximo rendimiento económico es un régimen de manejo no adecuado para el contexto del medio río Caquetá. Si se considerara la eficiencia económica como una prioridad, habría que sacar a los malleros de la pesquería y probablemente restringir la actividad de algunos arponeros durante unas épocas del año. Esto tendría consecuencias desastrosas en la economía local además de los conflictos que se generarían entre pescadores y dueños de cuartos fríos por las deudas que mantienen los primeros con los segundos. Se recomienda que se use el máximo rendimiento social como estrategia de administración del recurso para fijar los niveles máximos de captura o cuotas anuales. De esta forma se estarían no sólo considerando aspectos biológicos y económicos, sino sociales tales como la equidad.

Referencias

- Agudelo-Córdoba, E. 1994. *Aspectos biológicos, composición y esfuerzo de las capturas comerciales en el bajo río Caquetá, sector La Pedrera*. Trabajo de Grado Biología Marina. Departamento de Biología, Universidad del Valle, Cali.
- Alonso, J. C. 1998. *Pesca e esforço de pesca dos grandes bagres (Siluriformes: Pimelodidae) em um setor colombiano do alto Amazonas*. Tesis MSc. Universidade do Amazonas – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia-INPA. Manaus. 83 p.
- Bell, F. W. 1972. Technological externalities and common-property resources: an empirical study of the U.S. northern lobster fishery. *Journal of Political Economy*, 80: 148-58.
- Charles, A. T. 1998. Fishery socioeconomics: a survey. *Land Economics*, 64: 276-95.
- Clark, C. W. 1985. *Bioeconomic modeling of fisheries management*. J. Wiley & Sons, New York.
- Clarke, J. M., S. S. Yoshimoto, & S. G. Pooley. 1992. A bioeconomic analysis of the northwestern Hawaiian Islands lobster fishery. *Marine Resource Economics*, 7: 115-40.
- Del Monte-Luna, P., G. Guzmán-Gimenez, R. Moncayo-Estrada, S. Sánchez-González, A. Ayala-Cortés. 2001. Máximo rendimiento sostenible y esfuerzo óptimo de pesca del huachinango (*Lutjanus peru*) en la cruz de Huanacaxtle, Nayarit, México. INP. SAGARPA. México. *Ciencia Pesquera*, 15: 159-64.
- Díaz-Sarmiento, J. A. & R. Álvarez-León. 2003. Migratory fishes of the Colombian Amazon. En: *Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status*, eds. J. Carolsfeld, B. Harvey, C. Ross, & A. Baer. World Fisheries Trust, The World Bank.
- Durrenberger, E. P. 1997. Fisheries management models: assumptions and realities or, why shrimpers in Mississippi are not firms. *Human Organization*, 56: 158-66.
- Fernandez-Baca, J. 1998. Amazonian fisheries: socio-economic issues and management implications. Discussion Paper DP 98-02. Environmental Economics Programme, International Institute for Environment and Development.
- Flagg, V. 1977. Optimal output and economic rent of the eastern tropical pacific tuna fishery: an empirical analysis. *American Journal of Economics & Sociology*, 36: 19-32.
- Fox, W. W. 1970. An exponential yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 99: 80-88.

- Fréon, P. & E. Yáñez. 1995. Influencia del medio ambiente en evaluación de stock: una aproximación con modelos globales de producción. *Invest. Mar., Valparaiso*, 23: 25-47.
- García, S. 1988. Tropical penaeid prawns, pp. 219-250. *Fish Population Dynamics*, 2nd ed., J.A. Gulland, ed. John Wiley & Sons, New York.
- Gordon, H. S. 1954. The economic theory of common property resources: the fishery. *Journal of Political Economy*, 62: 124-42.
- Gulland, J. A. 1983. *Fish stock assessment: a manual of basic methods*. J. Wiley & Sons, New York.
- Hanley, N., J. Shogren & B. White. 1997. *Environmental economics: theory and practice*. Oxford University Press and MacMillan Publishers, Oxford and London.
- Hartwick, J. M. & N. D. Oleweiler. 1998. *The economics of natural resource use*. Second edition. Addison – Wesley, New York.
- Kasulo, V. & C. Perrings. 2002. *Fishing down the value chain: modeling the impact of biodiversity loss in freshwater fisheries- the case of Malawi*. Working Paper, CEDE/02-05. Center for Environment and Development Economics – University of York.
- Milon, J. W., S. L. Larkin & N. M. Ehrhardt. 1999. *Bioeconomic models of the Florida spiny lobster fishery*. Sea Grant Report Number 117. University of Florida, Gainesville.
- Mora-Lara, O. 1999. Situación del manejo de las pesquerías de grandes bagres migratorios amazónicos en Colombia. En: *Informe del taller regional sobre manejo de las pesquerías de grandes bagres migratorios del Amazonas*. Iquitos, Perú, 4-8 de octubre de 1999. FAO, Copescal.
- Panayotou, T. 1983. *Conceptos de ordenación para las pesquerías en pequeña escala: aspectos económicos y sociales*. FAO, Doc. Tec. Pesca (228), 60 p.
- Rodríguez, C. A. 1999. *Arponeros de la trampa del sol. Sustentabilidad de la pesca comercial en el medio río Caquetá*. Estudios en la Amazonia Colombiana, XVIII, Tropenbos-Colombia, Bogotá, DC, 203 p.
- Rodríguez, C. A. 1991. *Bagres, malleros y cuerderos en el bajo Caquetá*. Estudios en la Amazonia Colombiana, II, Tropenbos-Colombia, Bogotá, DC, 203 p.
- Schaefer, M. B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 1: 27-56.
- Schlager, E. & E. Ostrom. 1992. Property-rights and natural resources: a conceptual

analysis. *Land Economics*, 68: 249-62.

Seijo, J. C., O. Defeo & S. Salas. 1997. *Bioeconomía pesquera: teoría, modelación y manejo*. Documento Técnico de Pesca 368. FAO, Roma.

Simonit, S. & C. Perrings. *Trophic state variables and prices in bioeconomic fishery models: indirect economic indicators of freshwater fish stocks*. Working Paper, CEDE/04-01. Center for Environment and Development Economics – University of York.

SINCHI. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. 2000. *Bagres de la amazonia colombiana: un recurso sin fronteras*. Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia.

Wilson, J. A. 1982. The economical management of multispecies fisheries. *Land Economics*, 58: 417-34.

Anexo 1. Modelos Teóricos

A.1 Modelo de Schaefer

Para derivar la función de producción se parte de la curva de crecimiento logística de la población sometida a explotación propuesta por Schaefer (1954),

$$\frac{dX}{dt} = rX \left(1 - \frac{X}{k} \right) - C \quad (\text{a.1})$$

donde X = tamaño de la población (biomasa), t = tiempo, k = capacidad de carga, r = tasa intrínseca de crecimiento de la especie, y C = captura. Schaefer (1954) propuso la siguiente relación para la tasa de captura,

$$C = qEX \quad (\text{a.2})$$

donde E = esfuerzo de pesca y q = coeficiente de capturabilidad. Reemplazando (a.2) en términos de X en (a.1) se obtiene la tasa de crecimiento como función de la captura y el esfuerzo,

$$\frac{dX}{dt} = \frac{rC}{qE} \left(1 - \frac{C}{qEk} \right) - C. \quad (\text{a.3})$$

Asumiendo un equilibrio estático en donde $dX/dt = 0$, situación en la cual la captura es igual al crecimiento, se tiene una ecuación que relaciona la captura con el esfuerzo en equilibrio,

$$C = qkE - \left(\frac{q^2 k}{r} \right) E^2. \quad (\text{a.4})$$

La ecuación (a.4) representa una función de producción en donde la relación entre la captura y el esfuerzo es parabólica. Para obtener el nivel de esfuerzo en el máximo rendimiento sostenible se deriva (a.4) respecto a E y se iguala a cero,

$$\frac{dC}{dE} = qk - 2 \frac{q^2 k}{r} E = 0. \quad (\text{a.5})$$

Reorganizando y despejando E ,

$$E_{MRS} = \frac{r}{2q}. \quad (\text{a.6})$$

Reemplazando (a.6) en (a.4) para obtener el nivel de captura correspondiente al MRS,

$$C = \frac{qkr}{2q} - \frac{q^2kr^2}{4q^2r} \quad (\text{a.7})$$

$$C = \frac{kr}{2} - \frac{kr}{4} \quad (\text{a.8})$$

$$C_{MRS} = \frac{kr}{4}. \quad (\text{a.9})$$

A.2 Modelo de Fox

Para derivar la función de producción del modelo de Fox se parte de la curva de crecimiento Gompertz,

$$\frac{dX}{dt} = rX \left(\ln \frac{k}{X} \right) - C \quad (\text{a.10})$$

donde X = tamaño de la población (biomasa), t = tiempo, k = capacidad de carga, r = tasa intrínseca de crecimiento de la especie, y C = captura. La función de captura asume que la captura es proporcional al stock y al esfuerzo,

$$C = qEX \quad (\text{a.11})$$

donde E = esfuerzo de pesca y q = coeficiente de capturabilidad. Reemplazando (a.11) en términos de X en (a.10) se obtiene la tasa de crecimiento como función de la captura y el esfuerzo,

$$\frac{dX}{dt} = \frac{rC}{qE} \left(\ln \frac{qEk}{C} \right) - C. \quad (\text{a.12})$$

Asumiendo un equilibrio estático en donde $dX/dt = 0$, situación en la cual la captura es igual al crecimiento, se tiene una ecuación que relaciona la captura con el esfuerzo en equilibrio,

$$C = qkEe^{-\frac{q}{r}E}. \quad (\text{a.13})$$

Para obtener el nivel de esfuerzo en el máximo rendimiento sostenible se deriva (a.13) respecto a E y se iguala a cero

$$\frac{dC}{dE} = qke^{-\frac{q}{r}E} - qkEe^{-\frac{q}{r}E} \left(\frac{-q}{r} \right) = 0 \quad (\text{a.14})$$

Reorganizando y despejando E ,

$$E_{MRS} = \frac{r}{q} \quad (\text{a.15})$$

Reemplazando (a.15) en (a.13) para obtener el nivel de captura correspondiente al MRS,

$$C_{MRS} = \frac{kr}{e} \quad (\text{a.16})$$

Anexo 2. Ecuaciones estimadas

Para todas las artes de pesca:

Modelo de Schaefer¹⁰

$$U_{arte1} = \alpha - \beta_1 E_{arte1} + \varepsilon$$

$$U_{arte1} = \alpha - \beta_1 E_{arte1} + \gamma_1 ph_1 + \gamma_2 ph_2 + \gamma_3 ph_3 + \varepsilon$$

$$U_{arte1} = \alpha - \beta_1 E_{arte1} - \beta_2 E_{arte2} - \beta_3 E_{arte3} + \varepsilon$$

$$U_{arte1} = \alpha - \beta_1 E_{arte1} - \beta_2 E_{arte2} - \beta_3 E_{arte3} + \gamma_1 ph_1 + \gamma_2 ph_2 + \gamma_3 ph_3 + \varepsilon$$

Modelo de Fox¹¹

$$\ln U_{arte1} = \alpha - \beta_1 E_{arte1} + \varepsilon$$

$$\ln U_{arte1} = \alpha - \beta_1 E_{arte1} + \gamma_1 ph_1 + \gamma_2 ph_2 + \gamma_3 ph_3 + \varepsilon$$

$$\ln U_{arte1} = \alpha - \beta_1 E_{arte1} - \beta_2 E_{arte2} - \beta_3 E_{arte3} + \varepsilon$$

$$\ln U_{arte1} = \alpha - \beta_1 E_{arte1} - \beta_2 E_{arte2} - \beta_3 E_{arte3} + \gamma_1 ph_1 + \gamma_2 ph_2 + \gamma_3 ph_3 + \varepsilon$$

Modelo del Umbral

$$\ln(C_{\max,arte1} - C_{arte1}) = \alpha - \beta_1 E_{arte1} + \varepsilon$$

$$\ln(C_{\max,arte1} - C_{arte1}) = \alpha - \beta_1 E_{arte1} + \gamma_1 ph_1 + \gamma_2 ph_2 + \gamma_3 ph_3 + \varepsilon$$

$$\ln(C_{\max,arte1} - C_{arte1}) = \alpha - \beta_1 E_{arte1} - \beta_2 E_{arte2} - \beta_3 E_{arte3} + \varepsilon$$

$$\ln(C_{\max,arte1} - C_{arte1}) = \alpha - \beta_1 E_{arte1} - \beta_2 E_{arte2} - \beta_3 E_{arte3} + \gamma_1 ph_1 + \gamma_2 ph_2 + \gamma_3 ph_3 + \varepsilon$$

¹⁰ U = captura por unidad de esfuerzo

¹¹ Ídem

Anexo 3. Resultados Adicionales

Tabla 14. Resultados regresiones artes de pesca sin períodos hidrológicos.

	Arpón			Cuerda			Malla		
	Schaefer	Fox	Umbral	Schaefer	Fox	Umbral	Schaefer	Fox	Umbral
E	-0.0086*	-0.0004*	-0.0022***	-0.0141	-0.0005	-0.0055***	0.0111*	0.0011**	-0.0042***
cste	23.2666***	3.1360***	9.7700***	23.3270***	3.1162***	8.9003***	9.2625***	2.2037***	8.5439***
n	47	47	47	47	47	47	47	47	48
R ²	0.24	0.25	0.85	0.17	0.21	0.87	0.30	0.33	0.79
R ² aj.	0.20	0.22	0.84	0.13	0.18	0.86	0.27	0.30	0.78
F	6.99***	7.65***	122.98***	4.61**	6.14***	151.79***	9.68***	11.13***	175.48***

a. C_{max} = 15,500 kg. b. C_{max} = 6,500 kg. c. C_{max} = 4,500 kg. Los coeficientes son significativos al 1% (***), 5% (**), y 10% (*). La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes.

Tabla 15. Resultados regresiones artes de pesca con períodos hidrológicos.

	Arpón			Cuerda			Malla		
	Schaefer	Fox	Umbral	Schaefer	Fox	Umbral	Schaefer	Fox	Umbral
E	-0.0110**	-0.0004*	-0.0024***	-0.0228	-0.0008	-0.0051***	0.0013	0.0001	-0.0041***
A. bajas	-5.2172***	-0.2490***	0.1728***	-5.8558***	-0.2744***	0.1635***	-3.0908***	-0.2893***	0.1429***
A. ascendentes	-4.5123***	-0.2074***	0.0994**	-0.9999	-0.0360	0.0052	-0.8529	-0.0620	0.0865*
A. altas	-5.6158***	-0.2382***	0.0612	-1.5917	-0.0748	0.0394	-0.7351	-0.0567	0.0491
cste	27.9470***	3.3224***	9.7323***	26.4301***	3.2591***	8.8107***	11.7313***	2.4357***	8.4741***
n	48	48	48	48	48	48	48	48	48
R ²	0.47	0.49	0.86	0.29	0.35	0.89	0.30	0.33	0.83
R ² aj.	0.42	0.45	0.85	0.23	0.29	0.88	0.24	0.27	0.81
F	9.77***	10.63***	70.23***	4.58***	6.03***	94.85***	4.75***	5.47***	52.94***

a. C_{max} = 15,500 kg. b. C_{max} = 6,500 kg. c. C_{max} = 4,500 kg. Los coeficientes son significativos al 1% (***), 5% (**), y 10% (*). La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes.

Anexo 4. Equilibrios óptimos de cuerda

Tabla 16. Equilibrios óptimos para los cuerdos sin considerar períodos hidrológicos^a.

		Umbral ^b
MRS	Esfuerzo	N.A.
	Captura	N.A.
MRE	Esfuerzo	253
	Captura	4,843
MRSc ^c	Esfuerzo	336
	Captura	5,493
RLA	Esfuerzo	640
	Captura	6,337
Valores promedio observados	Esfuerzo 96	Captura 2,092

a. Los cálculos se hacen a pesos de 1994. b. $C_{max} = 6,500$ kg. c. No se incluyen los costos por depreciación ni el costo de oportunidad de la mano de obra. N.A. El modelo del Umbral no predice un óptimo biológico porque la captura no depende de la regeneración local de la población. La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes.

Tabla 17. Equilibrios óptimos para los cuerdos considerando los períodos hidrológicos^a.

		A. descendentes	A. bajas	A. ascendentes	A. altas
Schaefer*					
MRS	Esfuerzo	-	-	-	-
	Captura	-	-	-	-
MRE	Esfuerzo	-	-	-	-
	Captura	-	-	-	-
MRSc ^c	Esfuerzo	-	-	-	-
	Captura	-	-	-	-
RLA	Esfuerzo	-	-	-	-
	Captura	-	-	-	-
Fox*					
MRS	Esfuerzo	-	-	-	-
	Captura	-	-	-	-
MRE	Esfuerzo	-	-	-	-
	Captura	-	-	-	-
MRSc	Esfuerzo	-	-	-	-
	Captura	-	-	-	-
RLA	Esfuerzo	-	-	-	-
	Captura	-	-	-	-
Umbral^b					
MRE	Esfuerzo	246	278	246	247
	Captura	4,730	4,722	4,727	4,730
MRSc ^c	Esfuerzo	335	368	335	336
	Captura	5,424	5,426	5,423	5,424
RLA	Esfuerzo	636	631	636	636
	Captura	6,300	6,253	6,300	6,299
Valores promedio observados	Esfuerzo	106	104	117	64
	Captura	2,547	1,886	2,636	1,416

a. Los cálculos se hacen a pesos de 1994. b. C_{max} = 6,500 kg. c. No se incluyen los costos por depreciación ni el costo de oportunidad de la mano de obra. La captura está medida en kilogramos/mes y el esfuerzo en jornadas/mes. * Estos equilibrios no se calculan debido a que las curvas no tienen la forma adecuada.