

Desempeño ambiental de la camaronicultura en la región Caribe de Colombia desde una perspectiva de Análisis del Ciclo de Vida¹

Environmental performance of shrimp farming in the Caribbean region of Colombia from a Life Cycle Analysis perspective

Juan Eduardo Hernández Orozco²
Camilo Bernardo García Ramírez³

Fecha de recepción: 9 de junio de 2015.

Aceptación: 6 de octubre de 2015.

Recibido versión final: 22 de octubre de 2015.

Resumen

Los productos de camarón tienen su origen principalmente en las pesquerías industriales de arrastre y en las granjas acuícolas. En Colombia el camarón representa más del 30% de los ingresos por exportación de productos pesqueros y la mayor producción se da en las granjas camaroneras. Es reconocido que la camaronicultura genera diversos impactos ambientales. Este estudio analiza el desempeño ambiental de los productos de camarón utilizando el enfoque del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Para evaluar los impactos ambientales se consideran el método de evaluación ambiental *Ecoindicator 99* y ocho impactos ambientales potenciales individuales: contribución al cambio climático (huella de carbono), demanda de energía acumulada, acidificación, eutroficación, toxicidad (humana, terrestre y acuática) y deterioro de ozono. El ACV incluye todas las etapas desde la cuna hasta el puerto de destino. Los resultados señalan que el cultivo en piscinas representa entre 83% y 88% del impacto total (asociado al uso de combustibles fósiles y al consumo de alimento balanceado), seguido de las etapas de transporte, procesamiento y larvicultura. Reducir el consumo de diesel y mejorar la tasa de conversión alimentaria se presentan como alternativas importantes para disminuir el impacto ambiental de los productos de camarón originados en Colombia.

1. Este artículo es producto de una tesis de Maestría en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), finalizada en el año 2014.

2. MSc. en Biología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Gerente Conservación & Carbono S.A.S.
Email: juanh@conservacionycarbono.com.

3. PhD. Maestría en Biología. Profesor Asociado, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Email: cbgarciar@unal.edu.co.

Palabras clave

Acuicultura, camarón, Análisis del Ciclo de Vida, evaluación ambiental, cambio climático.

Abstract

Shrimp products are originated mainly in trawl fisheries and aquaculture farms. In Colombia, they account for over 30% of the revenue from fish exports, and shrimp farms deliver most of these products. The generation of environmental impacts generated by shrimp-farming systems is a recognized fact. This study analyzes the environmental performance of shrimp products by using the Life Cycle Analysis (LCA) approach. The Ecoindicator 99 method was used to assess environmental impacts, as well as eight single potential environmental impacts: contribution to climate change (carbon footprint), Cumulative Energy Demand, acidification, eutrophication, toxicity (human, terrestrial and aquatic), and ozone depletion. The LCA includes all stages from the origin to the port of destination. Results indicate that cultivation in pools represents between 83% and 88% of the total impact (associated with fossil fuel use and consumption of balanced food), followed by transportation, processing and hatchery. Reducing diesel consumption and improving the feed conversion ratio are considered as important alternatives to reduce the environmental impact of shrimp products originated in Colombia.

Keywords

Aquaculture, shrimp, Life Cycle Assessment, environmental assessment, climate change.

Introducción

La acuicultura toma cada vez mayor relevancia como una alternativa de producción pesquera ante el deterioro de los ecosistemas marinos, hasta el punto que en la actualidad aporta casi la mitad de la producción pesquera para alimento humano (FAO 2014). Sin embargo, la sostenibilidad de la acuicultura es incierta debido a los procesos y actividades que involucra este sistema de producción (Farmery *et al.* 2015).

El caso de Colombia es similar a la tendencia mundial, ya que se puede apreciar que los volúmenes de pesca de recursos marinos han disminuido y la acuicultura ha aumentado (Esquivel *et al.* 2014).

Entre el año 2000 y el 2010 la pesca decreció un 38% (de 129.463 t a 79.533 t), mientras que la acuicultura incrementó un 139% durante el mismo periodo (de 31.658 t a 75.742 t). En los últimos 27 años el crecimiento de la acuicultura ha sido del 13% anual, al punto que en el 2013 representó el 51,4% de la producción pesquera total del país (AUNAP-UNIMAGDALENA 2013).

Con relación al cultivo de camarón, China y Tailandia son los principales productores mundiales y a nivel latinoamericano los líderes son Ecuador y Nicaragua. Colombia es un jugador menor en estos escenarios, ya que genera menos del 5% de lo que se produce en Ecuador (Corporación Colombiana

Internacional - CCI 2010). Sin embargo, a nivel económico, los productos de camarón en Colombia son el segundo recurso pesquero de mayor importancia en el país. En el 2011 contribuyeron con más del 30% de los recursos totales recibidos por las exportaciones de productos pesqueros. No obstante, en el mismo año más del 43% de la demanda interna fue abastecida por las importaciones de camarón, cuando en el 2002 representaba menos del 1% (AUNAP-UNIMAGDALENA 2013).

En la región Caribe del país se concentra más del 95% de la producción de camarón en estanques y en el departamento de Nariño se encuentra cerca del 5% restante. Históricamente, el cultivo de camarón en la región pacífica tuvo un colapso a principios de los años noventa debido a enfermedades virales como el virus del Taura y el de la Mancha Blanca. En la región Caribe no se presentaron estas enfermedades y la producción aumentó notoriamente entre los años 1990 y 2006 (de 5000 t a 20,000 t aproximadamente) hasta que hubo una reducción de los precios internacionales del camarón, una revaluación acumulada del peso colombiano y un incremento en los costos de producción, provocando un descenso cercano al 57% entre los años 2007 y el 2011 (AUNAP-UNIMAGDALENA 2013).

Dentro de la cadena de valor de los productos de camarón existen diferentes etapas como la extracción de materias primas para los insumos, fabricación de insumos, distribución de productos, larvicultura, el engorde en piscinas, el transporte hasta la planta de procesamiento, el procesamiento, la distribución, el consumo y la disposición final. En cada una de estas etapas se generan impactos ambientales negativos, como por ejemplo deterioro de la biodiversidad, agotamiento de recursos no renovables, eutroficación de cuerpos de agua, emisión de gases de efecto invernadero (GEI), cambio del uso de la tierra, entre otros (AUNAP-UNIMAGDALENA 2013; Cao *et al.* 2011). En este sentido la cadena de producción juega un papel muy importante, pues según el desempeño ambiental que se presente en cada una de las etapas,

el producto final tendrá un mayor o menor impacto ambiental. Por esta razón, el consumo de alimentos representa una parte considerable en la generación de impactos ambientales.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV), definido en la norma técnica colombiana (NTC) ISO 14040 (ISO 2006), es una herramienta metodológica que se utiliza para estimar y analizar los impactos ambientales potenciales asociados a cada una de las etapas que tiene una cadena de valor. Dentro de las categorías de impactos ambientales que suelen estimarse en productos alimenticios se encuentran el potencial de contribución al cambio climático, la eutroficación, el agotamiento de recursos no renovables, la acidificación, la toxicidad (humana, terrestre, acuática), y la demanda acumulada de energía (Henriksson *et al.* 2012).

Los diferentes estudios de los productos acuícolas concluyen que los mayores impactos se asocian a la etapa del engorde en piscinas y señalan que hay impactos ambientales significativos generados por el consumo de energía y de recursos, por la generación de residuos y por la baja eficiencia de los procesos (Cao *et al.* 2011; Cuéllar *et al.* 2010; Kruse *et al.* 2009; Pelletier y Tyedmers 2010; Ziegler *et al.* 2011). El ACV provee una base sólida para direccionar las alternativas y los esfuerzos para disminuir el impacto ambiental asociado a los productos.

Es muy importante que los productores colombianos disminuyan el impacto socioambiental del proceso e implementen alternativas que aporten a la sostenibilidad biológica de este recurso (AUNAP y FAO 2011). Para desarrollar políticas ambientales gubernamentales y corporativas que busquen mejorar el desempeño ambiental de los productos, es necesario tener disponible la información sobre la carga ambiental asociada a las distintas etapas del ciclo de vida. De esta manera se pueden tomar decisiones con seguridad, implementar acciones apropiadas y mejorar los procesos productivos. En el presente estudio se cuantifican impactos ambientales asociados al ciclo de vida de los productos de camarón originados en la acuicultura con un modelo

semi-intensivo de producción, se caracterizan diferencialmente las etapas del ciclo de vida los productos de camarón que son contrastantes en términos de los impactos ambientales potenciales, y se comparan los resultados del desempeño ambiental de los productos de camarón con los producidos en otros países.

Metodología

Para abordar el ACV se siguieron los requisitos y directrices descritos en la NTC ISO 14044 (ISO 2007) (Figura 1). Las etapas del ciclo de vida de los productos de camarón que fueron analizadas corresponden a: 1) fabricación de materias primas e insumos utilizados en las diferentes etapas (incluye transporte de algunos insumos hasta el lugar donde se utilizan); 2) larvicultura; 3) engorde en piscinas semi-extensivas; 4) procesamiento del camarón; y 5) distribución hasta Valencia (España) o Bogotá (Colombia). En el presente estudio no se consideran las etapas de uso y disposición final del producto, entonces corresponde a un ciclo de vida desde la cuna hasta el puerto de destino o ciudad de destino.

Los productos de camarón tienen diferentes presentaciones comerciales. Para efectos del presente estudio, la unidad funcional corresponde a 1 kg de camarón entero (con cabeza) congelado y cocido, mas el empaque que lo acompaña (bolsa plástica y caja de cartón). Con base en esta unidad funcional se identificaron todos los registros de entrada y salida de los procesos involucrados (ISO 2007).

Los límites geográficos corresponden a las actividades de larvicultura que se realizan en Tolú (Sucre); el engorde en piscinas; el procesamiento y la fabricación de hielo en la bahía de Barbacoas en Cartagena (Bolívar); producción de alimento balanceado para camarones en Guayaquil (Ecuador); el transporte en barco del alimento balanceado (Guayaquil – Ecuador hasta Cartagena – Colombia); y el transporte en barco de los productos terminados desde Cartagena hasta Valencia (España) o hasta Bogotá (Colombia). La fabricación de insumos se estimó a partir de promedios globales reportados en bases de datos internacionales sobre ACV.

En el presente estudio se incluyen ocho categorías individuales de impactos ambientales potenciales (Tabla 1). Adicionalmente, se utilizó un método que

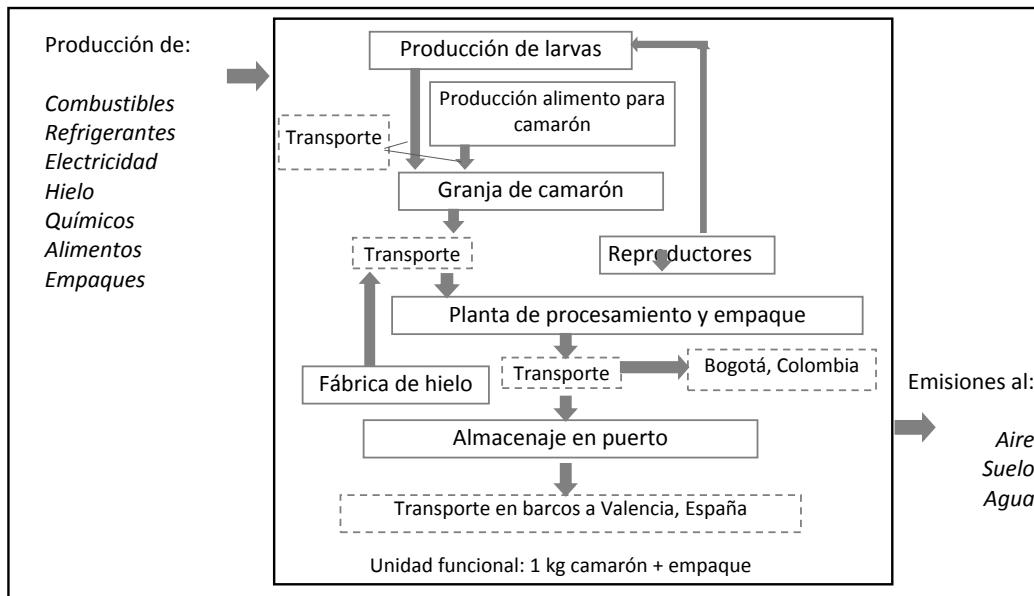


Figura 1. Límites del sistema para un ACV desde la cuna hasta el puerto de destino o hasta la ciudad de destino de los productos de camarón originados en granjas acuícolas en la región Caribe de Colombia. Fuente: elaboración propia.

agrupa varios coeficientes de ponderación y permite estimar un solo valor de impacto ambiental total basado en varios efectos individuales calculados. Este método se llama *Ecoindicator 99* (Goedkoop *et al.* 1999), es muy común en los estudios de productos alimenticios y permite presentar los resultados en un índice único (“puntos”) después de calcular varios impactos ambientales individuales llamados eco-indicadores. El eco-indicador de un material o proceso consiste en un número que indica el impacto ambiental de dicho material o proceso, a partir de los datos obtenidos del ACV. Cuanto mayor sea el valor del indicador, mayor es el impacto ambiental.

El método *Ecoindicator 99* considera tres tipos de impactos para agrupar los diferentes efectos negativos individuales que se generan en el medio ambiente: *Salud humana*, que incluye efectos cancerígenos y respiratorios, cambio climático, radiación ionizante (nuclear) y disminución de la capa de ozono; *Calidad de ecosistema*, que incluye ecotoxicidad, acidificación/eutrofización y uso de la tierra (la etapa de engorde de camarón no lo incluye porque los estanques fueron establecidos hace más de veinte años y puede obviarse este indicador asociado al calentamiento global (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC 2006); y *Consumo de recursos*, que expresa el exceso de energía requerida en el futuro para extraer minerales de baja calidad y combustibles fósiles.

Algunos datos fueron recopilados directamente en los sitios donde se desarrollan los procesos productivos (laboratorio de larvicultura, granja camaronera, fábrica de hielo, empresa de procesamiento), otros fueron estimados a partir de información secundaria (empresa productora de alimento balanceado de camarón con base en Ramírez y Duque 2008), y otros a partir de las bases de datos internacionales de ACV: *Ecoinvent v.3*, *Agri-footprint*, *United States Life Cycle Inventory (USLCI)* y *LCAFood Denmark* (los impactos generados por las empresas que fabrican los insumos utilizados).

Se analizaron cuatro empresas vinculadas al ciclo de vida del camarón (un laboratorio de larvicultura, una granja camaronera, una fábrica de hielo y una empresa de procesamiento) que llevan registros mensuales de insumos y producción obtenida. Adicionalmente, la granja camaronera y la planta de procesamiento realizan pruebas periódicas de aguas residuales para cumplir con los requerimientos de algunas certificaciones. Los datos de las aguas residuales del laboratorio fueron obtenidos de un estudio realizado en un laboratorio de larvicultura en Ecuador (Ramírez y Duque 2008), y por lo tanto estos datos son una aproximación al escenario del laboratorio colombiano. La fábrica de hielo no lleva control de las aguas residuales, por ende no fue posible considerar este residuo en el estudio.

Tabla 1. Categorías de impactos ambientales considerados en el ACV de los productos de camarón.

Categoría de impacto	Unidad	Referencia
Potencial de calentamiento global	CO ₂ equivalente	IPCC 2006
Acidificación	SO ₂ equivalente	Huijbregts1999a
Eutrofización	PO ₄ equivalente	Heijungs <i>et al.</i> 1992
Demanda acumulada de energía	MJ	Frischknecht y Jungbluth 2003
Toxicidad acuática, humana, terrestre	1,4-DB equivalente	Huijbregts1999b
Potencial de deterioro del ozono	CFC-11 equivalente	Heijungs <i>et al.</i> 1992

Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes mencionadas.

Las aguas residuales de las piscinas de camarón fueron calculadas a partir de muestreos semestrales realizados por una empresa especializada y certificada de la ciudad de Cartagena en las dos bocatomas del reservorio principal del agua y en las tres desembocaduras de los canales que recogen las aguas de las salidas de las piscinas. Los datos utilizados corresponden a las actividades realizadas durante todo el año 2012 y los primeros seis a diez meses de 2013, dependiendo de la empresa.

En la etapa de larvicultura es necesario utilizar camarones reproductores. Las piscinas bajo estudio producen los reproductores en los mismos estanques donde se engordan los camarones que van para procesamiento, entonces el impacto de estos últimos se estimó con base en los asociados a la etapa de engorde. Adicionalmente se incluyó un transporte de reproductores desde la fin a camaronera en la bahía de Barbacoas en Cartagena (departamento de Bolívar) hasta el laboratorio ubicado en Tolú (departamento de Sucre). Durante esta etapa es necesario suministrar alimento fresco a los reproductores. Para estimar el impacto asociado a la pesca de este alimento fresco fue necesario utilizar un estudio de pesca industrial desarrollado en Europa (reportado en *Ecoinvent v.3*), pues para Colombia no está disponible el ACV de la pesca industrial de peces (diferente al modelo de pesca de arrastre de camarón analizado en el presente estudio). Después de que se producen las larvas de camarón en el laboratorio, se deben trasladar hasta la fin a que tiene las piscinas receptoras. En el caso del presente estudio, se consideró el recorrido que desde el laboratorio en Tolú hasta la bahía de Barbacoas en Cartagena en un camión que utiliza diesel, con una eficiencia de 15 km/gal. También se utiliza oxígeno en pipetas para mantener los tanques donde se transportan las larvas en muy buen estado de aireación.

El engorde de los camarones se da en las piscinas receptoras y una vez alcanzan el tamaño esperado se trasladan a la empresa de procesamiento, donde se limpia, clasifica y empaca el producto final el

cual es posteriormente transportado a los muelles de embarque o hacia el interior del país. Algunos productos se embarcan hasta España (Valencia) y otros se distribuyen a nivel nacional. Para el caso nacional, el presente estudio toma la ciudad de Bogotá como referencia de un transporte hacia el interior del país (Figura 1).

Los datos de emisiones de GEI asociados a la quema de combustibles colombianos se obtuvieron de dos fuentes: 1) para CO₂, el estudio realizado por la Asociación Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - ACCEFYN (2003); 2) para N₂O y CH₄, se tomaron como base los factores por defecto del IPCC (2006). Para todos los combustibles se utilizó la densidad reportada por la Empresa Colombiana de Petróleo – ECOPEL (2011). El factor de emisión de GEI asociado a la producción de energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional es la que reporta la Unidad de Planeación Minero Energética para el año 2012 (151 g CO₂e/kWh) (UPME 2012).

La información relacionada con las etapas de transporte se estimó con base en la ciudad de origen, el lugar de destino y el vehículo utilizado. La importación de alimento balanceado se estimó a partir de la distancia recorrida entre las ciudades de Guayaquil (Ecuador) y Cartagena (Colombia) y el consumo promedio de combustible que reporta la base de datos *Ecoinvent v3* para buques de carga según el peso transportado (kgkm). El transporte de larvas se estimó con base en la distancia que existe entre Tolú y la bahía de Barbacoas, y la eficiencia en consumo de combustible del camión utilizado para este transporte (15 km/gal). El transporte de hielo se calculó a partir de la distancia que existe entre la fábrica de hielo y la empresa procesadora, y la eficiencia de consumo de combustible que tiene el camión utilizado para esto (15 km/gal). El transporte de los productos de camarón terminados hasta Valencia (España) se estimó con la distancia de recorrido entre los puertos de Cartagena de Indias y Valencia, y el consumo promedio de combustible que reporta la base de datos *Ecoinvent*

v3 para buques de carga según el peso transportado (kgkm). Finalmente, el transporte de los productos de camarón hasta Bogotá se calculó a partir del consumo promedio de combustible del camión y la distancia de recorrido total.

La asignación es un método que se aplica cuando hay un proceso que da origen a dos o más productos y no es posible definir cuál es el impacto específico (o cantidad de recursos invertidos) asociado a cada producto. El valor económico de los productos finales es la regla de asignación para este estudio, es decir, el porcentaje de participación en los impactos del proceso se definió de acuerdo con el valor de cada subproducto y su contribución a los ingresos económicos de toda la producción del proceso.

Para procesar todos los datos del inventario se utilizó el software *SIMAPRO 8* con licencia PhD aportada para esta investigación por la entidad que lo desarrolló (PRé 2012). El ciclo de vida requiere información corriente arriba y corriente abajo, que hace referencia a procesos de las empresas incluidas en este estudio que suceden antes y después en la cadena de valor. Por esta razón fue necesario utilizar investigaciones que están reportadas en las bases de datos internacionales y suplir los vacíos de información, asociados principalmente a la fabricación de los insumos que se utilizan en la camaricultura, como los combustibles, plásticos, químicos, materias primas para el alimento balanceado, entre otros.

Estimar la incertidumbre de la información utilizada en esta investigación no fue posible debido a la naturaleza de los datos, ya que en la mayoría de los casos la información de las empresas participantes correspondía a los valores totales para producir una cantidad determinada de kilogramos de camarón (una sola muestra por proceso) y las investigaciones utilizadas no reportan el rango de variación de los resultados publicados. Solo fue posible estimar los rangos de variación para algunos insumos utilizados durante el engorde de los camarones. La metodología ISO 14044 establece la posibilidad de realizar un análisis de sensibilidad para corroborar el posible efecto de la variación sistemática de

los valores de las entradas y salidas en el sistema bajo estudio. Entonces, una vez se obtuvieron los resultados del inventario, se evaluaron los impactos ambientales y se identificaron las etapas que más impacto tienen asociado, se plantearon diferentes escenarios de producción y se realizaron análisis de sensibilidad para las etapas del engorde de camarón en piscinas y el procesamiento. De esta manera se pudo evidenciar qué tan sensibles son los resultados a una variación en los datos que se utilizaron.

Por último, para comparar el desempeño ambiental de los productos de camarón originados en Colombia se utilizaron investigaciones que han sido realizadas en China (Cao *et al.* 2011) y Tailandia (Lebel *et al.* 2010).

Resultados

Inventario del ciclo de vida

La larvicultura se caracterizó por presentar una gran variedad de insumos, pues en el laboratorio se desarrollan las actividades de siembra y cultivo de microalgas y artemia (que son el alimento de las larvas de camarón), reproducción y maduración de individuos adultos, y eclosión y crecimiento de las larvas de camarón para ser comercializadas (nauplios: 10 días de nacidos aproximadamente, y larvas: 20 días de nacidos aproximadamente). En la Tabla 2 se describe la totalidad de los insumos necesarios para producir 108 larvas, las cuales, de acuerdo con el 67% de tasa de sobrevivencia promedio reportada en 111 piscinas bajo estudio (con desviación estándar de 13,5%), son el promedio de larvas necesarias para producir un kg de camarón al final de la etapa de engorde. Las aguas residuales asociadas al laboratorio contienen nitritos, fosfatos, sólidos suspendidos y materia orgánica.

La etapa de cultivo (engorde) de camarón incluye muchas actividades de trabajo, por lo tanto requiere de muchos insumos (Tabla 3). Las actividades y los principales insumos son: 1) adecuación de las piscinas; 2) llenado de piscinas; 3) engorde; 4) cosecha; y 5) transporte a planta de procesamiento.

Tabla 2. Insumos utilizados en larvicultura, considerando el cultivo de microalgas y artemia, reproducción de camarones, y desarrollo y transporte de larvas hasta las piscinas objeto de estudio.

Insumos laboratorio larvicultura	Unidad	Valor/108 larvas
Diesel	ml	2,04
Oxígeno industrial en pipetas	g	1,01
Hipoclorito de sodio	g	0,38
Gas propano de pipeta	g	0,34
Cloruro férrico industrial	g	0,296
Formol al 37%	g	0,131
Triple 15, AGP Complete, Nutrimins (fertilizantes para algas)	g	0,056
Vitamina C (ácido ascórbico), compuesto de amonio	g	0,076
Soda cáustica escamas	g	0,022
Matasilicato de sodio industrial	g	0,014
Aceites motor y compresor de refrigeración	g	0,05973
Dióxido de titanio	g	0,007
Silicona transparente	g	0,002
Detergente en polvo	g	0,007
Cal	g	0,020
Alcohol etílico	ml	0,011
Thinner corriente	g	0,007
Gas freón 22	g	0,006
Polisombra, plástico invernadero	g	0,001
Plástico bolsas empaque	g	0,010
Gasolina	ml	0,002
Cemento	g	0,034
Cobalto	g	0,0003
Alimento mar fresco: poliquetos, calamares, artemia	kg	0,00042
Camarón cultivo - reproductores	kg	0,0000124
Peróxido de hidrogeno	g	0,0002
Salidas estanques larvicultura		
Aguas residuales		
Nitrito	mg	18,7
Fosfato	mg	4
Sólidos suspendidos	mg	1296378
Demanda química de oxígeno	mg	3105,4
Demanda biológica de oxígeno 5	mg	294,1
Transporte larvas Tolú-Cartagena		
Diesel	L	5,64E-03

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Entradas y salidas del proceso de cultivo de camarón en piscinas.

Insumos piscinas de camarón	Unidad	Valor/kg camarón
Alimento balanceado 35% proteína	kg	1,92
Carbonato de calcio re-empacado	kg	0,05
Cloro granulado (hipoclorito de calcio)	kg	0,0032
Cloruro férrico anhidro	kg	0,0011
Hidróxido de calcio re-empacado	kg	0,07
Malatión	kg	0,0002
Metasilicato de sodio pentahidratado	kg	0,03
Nicovita acabado en formato kr1	kg	0,0062
Sulfato de cobre industrial	kg	0,0069
Torta de palmiste	kg	0,02
Urea agrícola	kg	0,09
Peróxido de hidrógeno	kg	0,0012
Hielo fábrica Cartagena	kg	1,96
Bisulfito de sodio	kg	0,00087
Gasolina	kg	0,02
Diesel	kg	0,15
Aceite dos tiempos	kg	0,0007
Aceite cuatro tiempos	kg	0,00008
Gas natural	m ³	0,61
Agua de río (alta materia orgánica)	L	13526
Salidas piscinas de camarón		
Aguas residuales		
Nitrito	mg	349
Fosfato	mg	501
Aceites y grasas	mg	-85173
Dbo ₅	mg	-32626
Nitrato	mg	-1169
Amonio	mg	-3738
Otros residuos		
Aceites usados	L	0,001
Transporte alimento camarón		
Buque Guayaquil (Ecuador)-Cartagena (Colombia)	kgkm	4123,58

Fuente: elaboración propia.

El alimento del camarón (concentrado) que se utiliza en la fin a bajo estudio es producido e importado de Guayaquil (Ecuador). En la Tabla 4 se presenta la proporción de los ingredientes que se consideró en este estudio y los insumos necesarios para producir un alimento cuyo contenido de proteína es cercano a 35%.

Tabla 4. Ingredientes para fabricación de concentrado de camarón.

Insumos concentrado (35% proteína)	Unidad	Valor/kg alimento
Trigo	kg	0,204
Maíz	kg	0,224
Pasta de soya	kg	0,128
Harina de pescado	kg	0,358
Carbonato de calcio	kg	0,051
Fertilizante (P)	kg	0,01
Cebada	kg	0,133
Energía y combustibles		
Diesel	kg	0,001
Electricidad Ecuador	kWh	0,064

Fuente: elaboración propia.

El procesamiento es igual para el camarón que viene de las fin as, como para el que se obtiene de la pesca de arrastre industrial. El camarón bajo estudio se presenta entero (con cabeza), cocido y congelado para comercializarse. Esta presentación es la combinación que más energía requiere debido al uso de gas natural para cocinar los camarones, adicional a todos los otros insumos que son necesarios para presentar el camarón crudo. La lista de insumos necesarios se describe en la Tabla 5. La información sobre las aguas residuales se tomó de los muestreos que hace la planta con el objetivo de mantener certifi caciones de calidad y gestión ambiental corporativa. La mayoría de las presentaciones del camarón incluye una bolsa plástica y una caja de cartón, las cuales son incluidas en los análisis de

esta investigación como un componente adicional al kilogramo del camarón. También se consideró la exportación de los productos hasta España, en el puerto de Valencia.

Tabla 5. Insumos requeridos para procesar los productos de camarón.

Insumos planta procesamiento camarón	Unidad	Valor
Energía sistema nacional	kWh	1,62
Agua acueducto	l	21,08
Sal (cloruro de sodio)	kg	0,081
Hipoclorito	kg	0,0037
Gas natural (camarón cocido)	m3	0,038
Gasolina (montacargas)	l	0,0004
Diesel (plantas eléctricas)	kg	0,020
Amoniaco	kg	0,00052
Cartón de empaque	kg	0,13
Plásticos empaque	kg	0,005
Refrigerante r134a	kg	4,4E-05
Salidas planta de procesamiento		
Aguas residuales		
Aguas para PTAR	l	21,1
Db05	mg	123,2
Aceites y grasas	mg	271,2
Sólidos suspendidos	mg	583,7
Residuos sólidos		
Aceite motor	ml	0,041
Lodos PTAR, pozos sépticos, acueducto	l	0,0084
Plásticos incineración	kg	0,00016
Orgánicos incineración	kg	0,00046
Metales y peligrosos incineración	kg	8,4E-05
Papeles incineración	kg	0,00012
Vidrios incineración	kg	6,9E-05
Otros incineración	kg	1,6E-05
Transporte exportación		
Buque Cartagena-Valencia (España)	tkm	8
Transporte en camión hasta Bogotá	tkm	1,26
Refrigeración hasta España	l/día	25
Refrigeración hasta Bogotá	l/día	1

Fuente: elaboración propia.

Análisis y evaluación del ciclo de vida

Los indicadores de impactos ambientales de estas etapas (larvicultura y engorde en piscinas) se presentan en la Tabla 6. En general se puede observar que el porcentaje de impacto que representa la larvicultura de 108 larvas (el número de individuos promedio necesarios para producir un kg de camarón en las piscinas bajo estudio), en ningún caso alcanza a contribuir un 1%. Esto se debe principalmente a la unidad de análisis de la larvicultura y refleja el poco esfuerzo requerido para reproducir y madurar las larvas, frente a la energía requerida para permitir su desarrollo hasta la cosecha en las piscinas. Sin embargo, se genera un claro diagnóstico de los aspectos ambientales más relevantes asociados a la larvicultura.

En la larvicultura la contribución al calentamiento global se genera principalmente en las fugas del gas freón R22 (42,7%); quema de diesel (23%); quema de gas licuado de petróleo (GLP) (20%); fabricación de diesel (4%); hipoclorito de sodio (1,6%); R22 (1,6%); cloruro férrico (1,3%); GLP (1%); y otros químicos inorgánicos (0,7%). La pesca de la comida fresca también representa una de las principales fuentes de emisión (0,37%).

La demanda acumulada de energía en larvicultura está muy asociada a la fabricación de los combustibles utilizados (diesel 67%, GLP 13%, gas natural 2,6%); a la fabricación de hipoclorito de sodio (3,3%); cloruro de hierro (2,5%); químicos inorgánicos (1,2%); y de otros insumos como el nylon.

La eutrofiación en la larvicultura se da principalmente por la fabricación de diesel (30%); cloruro férrico (16%); hipoclorito de sodio (15%); la pesca de alimento fresco (11%); la fabricación de químicos inorgánicos (7%); GLP (6,5%); detergentes (5,4%); etanol (3%); aceites lubricantes (2,3%); óxido de titanio (1,8%); y fugas de gas R22 (1,4%).

La acidificación en la larvicultura se genera principalmente por la quema y la fabricación de diesel (45 y 18% respectivamente), y la fabricación de hipoclorito de sodio, cloruro férrico, GLP (7,7%, 7% y 4,3% respectivamente) y químicos inorgánicos (vitamina C y compuesto de amonio 3,8%). El dióxido de titanio aporta el 1,4% y la pesca de alimento fresco 2,1%.

En cuanto al impacto al deterioro en la capa de ozono, éste se da durante la larvicultura en un 93% por la fabricación del gas R22, seguido por la fabricación de diesel, hipoclorito de sodio, cloruro férrico y GLP (2,5%, 1,5%, 1,2%, 0,5% respectivamente).

En la larvicultura la toxicidad humana está principalmente relacionada con la fabricación de diesel (39%); cloruro de férrico (19%); hipoclorito de sodio (14%); GLP (8%); químicos inorgánicos (4,7%); aceites lubricantes (2,9%); detergentes (1,6%); R22 (1,5%); y óxido de titanio (1,6%), mientras que los demás insumos contribuyen con menos del 1% cada uno. La toxicidad dulceacuícola está distribuida de una manera casi homogénea entre los insumos que más contribuyen al impacto,

destacándose la fabricación de detergentes como el principal (25%), seguido de la fabricación de diesel (18%); dióxido de titanio (8%); óxido de titanio (7%); químicos inorgánicos (vitamina C y compuestos de amonio) (7%); hipoclorito de sodio (6%); cloruro férrico (6%); y fabricación de aceite (5%). La toxicidad marina se ve principalmente influenciada por la producción de diesel (66%); la fabricación de GLP (13%); hipoclorito de sodio (4%); aceites de motor (3%); cloruro férrico (3%); y químicos inorgánicos (2%). Por último, la toxicidad terrestre se encuentra asociada primordialmente a la fabricación de detergentes (41%); cloruro férrico; hipoclorito de sodio y diesel (13% cada uno); y a la fabricación de químicos inorgánicos, GLP y aceites lubricantes (4, 3 y 1%, respectivamente).

La distribución de los impactos ambientales asociados a la etapa de engorde se describe a continuación. Es importante resaltar que esta etapa considera el impacto para producir el concentrado de camarón en Ecuador. La fabricación del concentrado contribuye en gran medida al impacto total de producir 1 kg de camarón en piscina, el cual se presenta en la Tabla 6. En ocho de las

Tabla 6. Indicadores de impacto ambiental asociados a la larvicultura, la producción de camarón en piscinas y el procesamiento.

Indicador de desempeño ambiental	Unidad	Valor/108 larvas		Valor/kg camarón		Valor/kg camarón	
		Larvicultura	%	Cultivo	%	Procesamiento	%
Energía acumulada	MJ	0,0014	0,002	59,09	92,26	4,96	7,74
Huella de Carbono a 100 años	kg CO ₂ e	0,000224598	0,006	3,6	89,25	0,4	10,75
Eutrofización	kg PO ₄ e	0,000001	0,01	0,0047	98,02	0,0001	1,97
Acidificación	kg SO ₂ e	3,4E-07	0,001	0,024	96,27	0,00	3,73
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	1,6E-10	0,01	7,2E-07	62,70	4,3E-07	37,29
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	0,00002	0,001	1,6	92,76	0,12	7,23
Toxicidad agua dulce	kg 1,4-DB eq	0,0000008	0,0001	0,93	97,40	0,02	2,60
Toxicidad marina	kg 1,4-DB eq	0,0088	0,001	531,2	84,47	97,7	15,53
Toxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,0000002	0,0001	0,255	99,86	0,0004	0,14
Promedio porcentaje de participación			0,004		90,3		9,66

Fuente: elaboración propia.

categorías de impacto analizadas con la evaluación *Ecoindicator 99*, la producción del concentrado es la que más contribuye. Los ingredientes que tiene el concentrado de camarón y el porcentaje de participación en el total de los impactos son: trigo (0,204 kg; 9,7%); maíz (0,224 kg; 16,5%); pasta de soya (0,128; 18,7%); harina de pescado (0,358 kg; 31,3%); carbonato de calcio (0,051 kg; 3,1%); fertilizante-P (0,01 kg; 10,3%); y cebada (0,133 kg; 4%). Para fabricar el alimento es necesario utilizar 0,064 kWh (5,5%) y 0,00085 kg de diesel (0,2%).

La producción del hielo utilizado en la etapa del cultivo se realiza en una fábrica en Cartagena. Los insumos requeridos para fabricar un kilogramo se

describen en la Tabla 7, de acuerdo con las actividades de la fabricación del hielo. Se puede apreciar que el insumo que más contribuye al impacto es el cloruro de sodio (NaCl), pues aporta casi el 83%. Este insumo está relacionado con una salmuera en la cual se sumergen los moldes de metal que contienen el agua potable y que son congelados para producir el hielo. A su vez, se aprecia que la energía proveniente del sistema interconectado nacional representa el 87% de la huella de carbono y el 7,9% en promedio para todos los impactos. El hipoclorito de sodio aporta un 3,5% de todos los impactos.

Las actividades del cultivo de camarón requieren de una gran cantidad de insumos y sus impactos

Tabla 7. Insumos utilizados para fabricar hielo en una fábrica de Cartagena y su contribución (%) a cada uno de los impactos considerados en la metodología *Ecoindicator 99*.

Impactos <i>Ecoindicator 99</i>	Unidad	Hipoclorito sodio	Amoniaco	Aceite Motor	Producción Diesel	Quema Diesel	NaCl	Agua potable	Electricidad Colombia
Total	Puntos	0,011	0,018	0,002	0,008	0,002	0,422		0,00006
Carcinógenos	DALY*	3,2	0,0	0,0	0,1	0,0	96,7		0,0
Orgánicos respiratorios	DALY	1,4	2,2	2,9	6,2	0,0	87,3		0,0
Inorgánicos respiratorios	DALY	2,2	0,7	0,9	0,9	0,7	94,6		0,0
Cambio climático	DALY	0,3	1,1	0,1	0,1	0,6	10,6		0,0
Radiación	DALY	2,5	0,9	0,7	0,0	0,0	95,8		0,0
Capa de ozono	DALY	22,1	0,6	14,7	0,0	0,0	62,7		0,0
Ecotoxicidad	PDF*m2y**r	1,3	0,1	0,8	0,1	0,0	97,8		0,0
Acidificación / eutroficación	PDF*m2yr	1,9	1,2	0,9	1,5	0,5	94,0		0,0
Uso de tierra	PDF*m2yr	0,4	0,0	0,9	0,0	0,0	98,7		0,0
Minerales	MJ surplus***	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	98,7		0,0
Combustibles fósiles	MJ surplus	1,9	15,3	0,9	6,3	0,0	75,6		0,0
	Promedio	3,5	2,0	2,1	1,4	0,2	82,9		0,0

*DALY significa Disability Adjusted Life Years ("longevidad ajustada por incapacidad"), que representa el número y la duración de las enfermedades y los años de vida perdidos debido a la muerte prematura por causas ambientales (Goedkoop et al. 1999).

**PDF*m2yr significa Potentially Disappeared Fraction of plant species (pérdida potencial de especies de plantas), e incluye el efecto negativo sobre la diversidad de especies, especialmente en las plantas vasculares y los organismos sencillos (Goedkoop et al. 1999).

***MJ surplus expresa el exceso de energía (megajulios) requerida en el futuro para extraer mineral de baja calidad y combustibles fósiles (Goedkoop et al. 1999).

Fuente: elaboración propia.

ambientales son muy variados. La contribución al calentamiento global de este proceso se genera principalmente por el consumo de alimento balanceado (58,9%). Le siguen en importancia la quema de diesel en los procesos de alistamiento de las piscinas; la alimentación de las piscinas (embarcaciones utilizadas para distribuir el alimento); la movilización del alimento desde la bodega de almacenamiento; y la cosecha y el transporte de los animales hasta la planta de procesamiento (13% en total). La producción de urea para fertilizar el agua aporta el 10%; la producción de gas natural el 6%; la quema del gas natural 3%; la fabricación de diesel 2,4%; la quema de gasolina 1,7%; la producción de metasilicato de sodio 1%; y la fabricación de hielo 1%.

La demanda acumulada de energía de las actividades del cultivo corresponde a 59 MJ. Los insumos que más contribuyen a este indicador son la producción de la urea (9,3%); la harina de pescado en el concentrado (30,3%); la fabricación de diesel (14%); la fabricación del gas natural (40%); y la fabricación de metasilicato de sodio (0,9%). La principal fuente de energía utilizada en estos procesos se relaciona con fuentes no renovables (combustibles fósiles).

Con relación a la eutrofización, es importante mencionar que durante el proceso de engorde en las piscinas, se pudo observar que el agua que sale del sistema de cultivo tiene menor DBO₅, nitrato y amonio que el agua que entra. Los procesos que toman lugar en las piscinas alcanzan a remover cerca de 122 g de elementos orgánicos por cada kg de camarón producido (Tabla 6). Sin embargo, el nitrito y el fosfato sí aumentan en el agua que sale del sistema.

La acidificación generada en la etapa de cultivo proviene principalmente de la pesca industrial para producir la harina de pescado contenida en el alimento balanceado (67%) y los procesos de las

piscinas aportan un 33%. La producción de diesel contribuye con el 9% y su uso aporta 5,7%; la producción de gas natural contribuye con el 3,4% y su uso aporta 2,4%; mientras que la producción de metasilicato aporta el 1%.

En la etapa del cultivo, el deterioro de la capa de ozono viene en un 84% de la producción de alimento balanceado, 5% de la producción de diesel y 2,8% de la producción del metasilicato de sodio. La toxicidad humana proviene de la fabricación del sulfato de cobre (46%); del alimento balanceado (21,6%); de la urea (14%); del gas natural (3,2%); del diesel (3,5%); y del metasilicato de sodio (1,6%). La toxicidad dulce-acuícola está relacionada también con la harina de pescado (59%); el uso del pesticida malatión (18%); y la fabricación de gasolina y gas natural (4 y 6% respectivamente). La toxicidad marina se relaciona con la pesca para producir harina de pescado (26%); fabricar gas natural (20%); urea (18,9%); diesel (10%); y sulfato de cobre (4,2%). La toxicidad terrestre tiene que ver con los cultivos de soya (71%) y maíz (4%) asociados con el alimento balanceado; la torta de palmiste para fertilizar las piscinas (6,4%); el uso de malatión como pesticida (3,8%); la producción de urea (1,3%); y el sulfato de cobre (1,2%).

En la etapa del procesamiento, la demanda acumulada de energía es 4,96 MJ por kg de camarón procesado. Este indicador está muy relacionado con el gas natural para la cocción (30%), la fabricación del diesel utilizado (21%), el cartón del empaque (11%) y la bolsa plástica (8,5%). La contribución al calentamiento global es 0,43 kg CO₂e/kg camarón procesado. El 56% corresponde a las emisiones de GEI asociadas a la generación eléctrica del sistema interconectado nacional. Le siguen en importancia la quema de diesel (14%); la producción del cartón del empaque (9%); la fabricación del NaCl (5%); la fabricación de diesel (2,6%); y del refrigerante 134a (1%). Los otros indicadores se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Indicadores de desempeño ambiental asociado al procesamiento de los productos de camarón.

Indicador de desempeño ambiental	Unidad	Valor/ kg camarón procesado
Demanda acumulada de energía	MJ	4,960
Huella de Carbono a 100 años	kg CO ₂ e	0,435
Eutroficación	kg PO ₄ e	0,0001
Acidificación	kg SO ₂ e	0,0009
Deterioro de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	4,3E-07
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	0,125
Toxicidad agua dulce	kg 1,4-DB eq	0,0248
Toxicidad marina	kg 1,4-DB eq	97,694
Toxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,0004

Fuente: elaboración propia.

Análisis de sensibilidad

De acuerdo con los impactos ambientales asociados a la producción de camarón en piscinas, se plantearon algunos escenarios para estimar la sensibilidad de los resultados observados. Estos escenarios representan alternativas productivas que pueden generar mejoras operativas considerando una viabilidad económica y ambiental para los productores participantes. El alimento balanceado que se utiliza para el cultivo de camarón representa un gran impacto, asociado principalmente a su contenido de harina de pescado, la cual proviene de otras faenas de pesca industriales. El primer escenario alternativo consideró el pollo como la principal fuente de proteína, el segundo incluyó la soya, y el tercero, una mezcla de pollo, carne y cerdo. El alimento balanceado tiene 286 g de harina de pescado, lo cual representa alrededor de 183 g de proteína (64%). Si fuera sustituida por proteína de pollo, sería necesario utilizar cerca de 309 g de harina de vísceras de pollo (59% proteína) (Gutiérrez *et al.* 2011). Para reemplazarla con harina de soya

sería necesario incorporar 415 g en el alimento (Luna 2011), y para sustituirla por una harina que mezcla pollo, carne y cerdo sería necesario utilizar 360 g (51% de proteína) (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal - FEDNA 2014). Ninguno de estos escenarios representó una disminución en la carga ambiental de los camarones producidos (Figura 2). En el caso del pollo, el impacto creció 16%. En el caso de la proteína de soya el impacto aumentó 105%, dado el uso de químicos y cambios en la cobertura de la tierra que representa el cultivo agrícola en cuestión. En el caso de la harina mezclada el impacto creció un 20%.

En un cuarto escenario se plantea mejorar la tasa de conversión alimenticia un 10%, pues el promedio en las 111 piscinas muestreadas corresponde a 1,92 kg alimento/kg camarón \pm 18%, y en el escenario alternativo es de 1,72 kg. Algunas variables que pueden incidir en la tasa de conversión son la mortalidad prematura del camarón (la mortandad se puede disminuir si se realizan transferencias al sembrar en una piscina y transferir los camarones a un nuevo estanque cuando crezcan), mucha producción de alimento primario en el estanque (dado en parte por el alimento balanceado que no es consumido) y el robo de camarones por terceros. Al llevar un control muy riguroso de la tasa de conversión alimentaria durante las diferentes fases del desarrollo de los camarones se pueden tomar decisiones de aumentar y disminuir la cantidad de alimento balanceado para asegurar su óptimo aprovechamiento. Bajo este escenario, el desempeño ambiental de la etapa de cultivo mejoró (de acuerdo con el método *Ecoindicator 99*), pues se aprecia una disminución del 6% en el impacto ambiental.

El uso de combustibles también representa un impacto importante. Un quinto escenario plantea disminuir el 10% en consumo de diesel, por medio de: 1) reducción del número de viajes para transportar los insumos (más volumen promedio transportado

resulta en un menor consumo promedio de combustible por unidad transportada); 2) restricción del funcionamiento de las plantas eléctricas de apoyo; y 3) cambio de los motores de las cosechadoras que consumen cerca de tres galones de diesel por hora por unos más eficientes (2,2 galones por hora). Un sexto escenario plantea disminuir el 10% del consumo de gas natural mediante la instalación de paneles solares y la adecuación del sistema eléctrico actual por un sistema híbrido que permita manejar las dos fuentes de energía. En caso de disminuir el consumo de diesel un 10%, se logra mejorar un 0,7% el desempeño ambiental, y si se disminuye 10% el consumo de gas natural se bajaría 1,6% el impacto asociado a la etapa de cultivo (Figura 2).

Otro impacto asociado al cultivo es el uso de malatión (pesticida). Un séptimo escenario alternativo presenta una disminución del 100% en el uso de este elemento, el cual es altamente impactante en el ambiente. La idea sería promover un manejo del cultivo sin el uso de compuestos fosforados ni otros plaguicidas nocivos. Sin embargo, utilizando el método Ecoindicator 99

se observó que bajo este escenario se disminuyó menos del 0,1% del impacto estimado durante el cultivo (Figura 2). Para el caso de la etapa de procesamiento de los productos de camarón, se planteó un escenario que disminuye el consumo de energía eléctrica del sistema interconectado nacional en un 10%. Para esto, una alternativa es modificar el sistema eléctrico de las instalaciones para establecer paneles solares y proporcionar 10% de la energía requerida por la planta. Los resultados en este escenario señalan que el impacto disminuiría 1,2%. Los paneles solares también pueden disminuir el 10% del diesel utilizado por las plantas eléctricas, pues éstas se utilizan en momentos en los que el suministro de energía se interrumpe. Si el diesel se disminuye un 10%, se puede generar una reducción del 2% en los impactos de la etapa de procesamiento. Por último, si consideramos el escenario donde el camarón no se cocina, sino que se entrega crudo y empacado, el impacto disminuye en un 22% durante esta etapa.

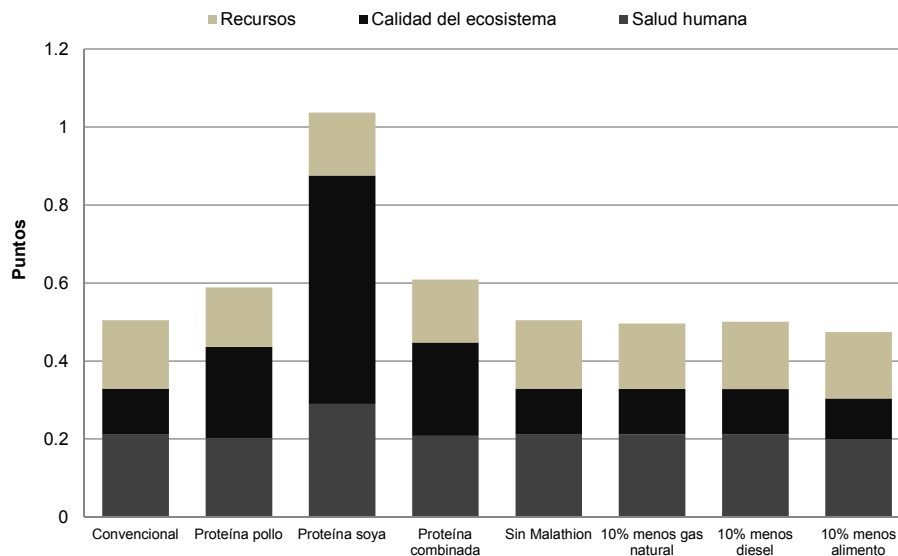


Figura 2. Escenarios de producción de camarón en piscinas con variaciones en el tipo y cantidad de recursos empleados considerando las tres categorías de agrupamiento del método de evaluación de impactos Ecoindicator 99. Fuente: elaboración propia.

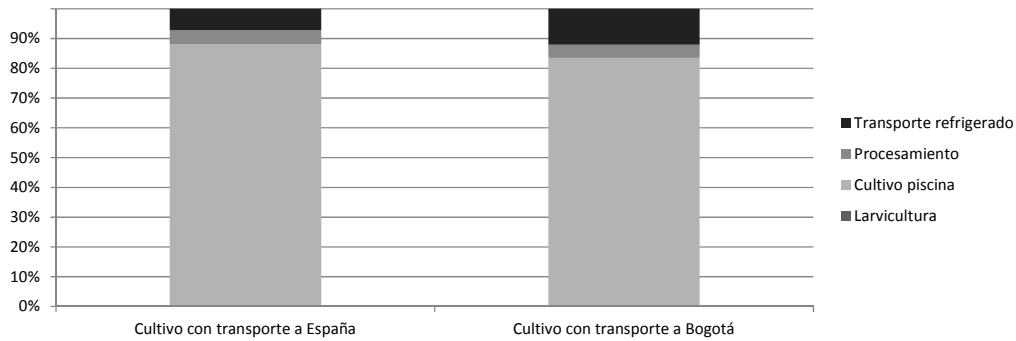


Figura 3. Distribución del impacto asociado a cada etapa del ciclo de vida de cultivo en piscinas considerando el transporte con refrigeración hasta España o hasta Bogotá. Fuente: elaboración propia.

Para el caso del camarón producido en piscinas, la distribución de los impactos es la siguiente (ver Figura 3): la etapa de piscina es la que más impactos negativo genera (83% y 88% según la distribución final del producto: Bogotá o España, respectivamente). El transporte hasta España o hasta Bogotá puede representar el 7 o 12%, lo que lo posiciona en la segunda categoría de impacto. El procesamiento quedaría en la tercera ubicación aportando entre el 4,4 y 4,7% según el destino final de los productos. Por último está la etapa de larvicultura, contribuyendo con el 0,13 y 0,14%, según el transporte que se defina.

Discusión

El ACV de la camaricultura señala la toxicidad en agua dulce, la toxicidad terrestre y la eutrofización como impactos ambientales importantes, lo cual está muy asociado a las faenas de pesca para capturar el pescado de donde se obtiene la harina para el alimento balanceado, al uso de malatión en las granjas de camarón, y al uso de pesticidas en los cultivos de los cereales que se necesitan en el alimento balanceado. Si los cultivos de los cereales fueran orgánicos y se evitara usar malatión en el sistema, los impactos en el agua dulce y en la tierra podrían disminuir 75% y 18% (respectivamente), reflejado en cerca de un 10% del impacto total del producto final.

La larvicultura contribuye muy poco en los impactos del ciclo de vida de los productos de camarón originados en piscinas artificiales (<1%). Sin embargo, se diagnosticaron las principales fuentes de los impactos potenciales que se generan. Los esfuerzos para disminuir el impacto ambiental de esta fase estarían dirigidos a disminuir el consumo de diesel, lo cual se podría lograr si la zona del laboratorio contara con un suministro estable y continuo de energía eléctrica provisto por el sistema interconectado nacional, o se cambiaran las plantas eléctricas de diesel por unas de gas natural. Este cambio es muy costoso y no es muy atractivo para las empresas. El R22 sí se puede cambiar por otro gas para refrigeración, como el R407a, el cual produce menor daño en la capa de ozono pero tiene más potencial de calentamiento global. Sin embargo, su sustitución no representaría una reducción en los impactos ambientales de la larvicultura. El hipoclorito de sodio también puede utilizarse de manera eficiente y disminuir al menos el 10% de su uso, lo que representaría cerca del 1% de los impactos ambientales de la larvicultura. Caso similar es el uso de GLP, pues si se restringiera su consumo en un 10%, se podría reducir 1,4% en el impacto total.

Es muy importante destacar que las granjas tienen sistema de producción semi-intensivo y cuentan con gas natural para el bombeo del agua hacia las piscinas (que genera menos impacto que el diesel). No tienen aireadores en cada piscina, sino que la oxigenación suficiente se mantiene controlando los recambios de agua y la densidad de animales. Cualquier mejora en la matriz energética lograría disminuir todos los

indicadores de desempeño ambiental. Se podría considerar la instalación de paneles solares para alimentar cualquiera de los motores que se requieren en la operación (implementar sistemas híbridos) o ir sustituyendo progresivamente otros equipos que se utilizan en la fin a y que son poco eficientes en cuanto al consumo de combustible por unos más modernos y con mejores eficiencias operativas (lanchas, vehículos de transporte interno, bongos y maquinaria).

Un aspecto muy relevante en un cultivo de camarón es la tasa de conversión alimenticia. En este estudio se estimó en 1,92 kg de alimento balanceado para producir 1 kg de camarón, que es más alto que el promedio reportado para China (1,6 kg en granjas intensivas y 0,97 kg semi-intensivas) (Cao *et al.* 2011) y para Ecuador (1,3 kg en manejo convencional semi-extensivo y 1,15 kg para el manejo orgánico) (Ramírez y Duque 2008). La cantidad de alimento balanceado utilizado para producir un kg de camarón se puede mejorar realizando un monitoreo más riguroso del crecimiento de los camarones en las diferentes etapas para ajustar el concentrado que se va a suministrar o controlando la producción de alimento primario en los estanques. Si se reduce en 10% el promedio de uso de alimento balanceado, el impacto ambiental asociado al cultivo de camarón disminuiría 6%.

El utilizar un alimento balanceado a base de harina de pescado genera un impacto importante, aunque en el análisis de sensibilidad se encontró que su sustitución por harina de vísceras de pollo, soya, o una mezcla de res, pollo y cerdo genera un aumento en el impacto ambiental. Esto se da porque los cultivos requieren el uso de fertilizantes y manejan muchos residuos que tienen un impacto importante en el ecosistema. Sin embargo, algunas estrategias para mejorar el desempeño ambiental del alimento balanceado están orientadas a cambiar la harina de pescado como fuente principal de proteína. Es necesario conocer cuál es el impacto de producir soya, trigo y maíz en Colombia para poder confrontar los escenarios alternativos para sustituir la harina de

pescado y generar un beneficio ambiental. En el estudio de Nijdam *et al.* (2012) se presenta la huella de carbono y la demanda acumulada de energía de 52 proteínas de origen vegetal y animal, señalando que el impacto de los productos más amigables puede ser 100 veces menor al impacto de los menos amigables con el ambiente. La proteína vegetal puede tener un impacto entre 6 y 17 kg CO₂e/kg de proteína, mientras que la proteína animal de los productos pesqueros puede oscilar entre 4 y 540 kg CO₂e/kg de proteína.

En Colombia no hay un molino o fábrica de alimento para animales que esté dispuesto a producir alimento para camarón por su baja demanda en el mercado nacional. Debido a diferentes circunstancias, una gran cantidad de granjas camarónicas han dejado de funcionar, y como tal, solo quedan unas pocas empresas que cultivan el camarón. Por esta razón, las empresas se ven en la necesidad de importar el alimento. A través de un subsidio otorgado por el gobierno, en el marco del desarrollo agropecuario del país, se podría considerar encontrar algún apoyo para sacar esta línea de producción en las empresas que fabrican alimentos, y a la vez, hacer experimentos para sustituir la harina de pescado por otra fuente animal o vegetal de proteína que pueda demostrar mejor desempeño ambiental. Si esto no es posible, se puede continuar en la búsqueda de proveedores internacionales que produzcan alimento para camarones, como en China o Tailandia.

Al comparar la producción en granjas camarónicas en otros países encontramos que en Colombia hay un mayor indicador de la demanda acumulada de energía, pero se contribuye menos al calentamiento global. El 40% de la demanda acumulada de energía viene de la extracción del gas natural; sin embargo, las emisiones que se generan por la quema de este combustible son más bajas si se comparan con las emisiones asociadas a otros combustibles fósiles. Un kg de camarón producido en China tiene una energía acumulada de 38,3 MJ y una huella de carbono de 3,1 kg CO₂e (Cao *et al.* 2011); un kg de

camarón producido en Tailandia tiene una energía acumulada de 46,5 MJ y una huella de carbono de 5,1 kg CO₂e (Lebel *et al.* 2010).

El procesamiento del camarón se caracteriza por contribuir con cerca de un 5% del impacto de los productos considerando el ACV desde la cuna hasta el puerto de destino (camarón exportado) o desde la cuna hasta la ciudad de destino (consumo nacional). La empresa de procesamiento bajo estudio está certificada bajo la NTC ISO 14001, la cual está relacionada con la gestión ambiental de los procesos. Esto significa que ya existe una política interna de buenas prácticas en materia de gestión de aguas residuales, residuos sólidos y registro de información de los procesos. En comparación con otros procesamientos que aportan el 10% de los impactos de los productos finales (Ziegler *et al.* 2011), en este estudio la contribución al total del impacto del ciclo de vida es relativamente baja. Cambiar el empaque de cartón nuevo por uno reciclado podría disminuir la energía acumulada en cerca de 3%. El calibre de las bolsas de plástico también podría sustituirse por otras que pesen 15% menos, lo que se refleja en un 1% de los impactos ambientales asociados. También es posible considerar cambiar las plantas eléctricas diesel por otras que funcionen con gas natural. Esta mejora puede llegar a disminuir la carga ambiental del procesamiento en un 5%. También podría considerarse instalar paneles solares en los techos de las plantas y así diseñar un sistema híbrido de energía, el cual funcionaría con diferentes fuentes y disminuiría la huella de carbono y otros indicadores en cerca de un 5%, si se reemplaza el 10% del consumo de diesel en las plantas eléctricas.

Otra etapa muy importante en el ciclo de vida de los productos de camarón es el transporte, pues representa entre el 7% y 12% de los impactos de las etapas analizadas. Sería muy adecuado considerar optimizar el transporte al máximo y mejorar la eficiencia de los motores o sustituir combustibles utilizados por algunos más limpios, por ejemplo reemplazar diesel por gas natural. Si el transporte es nacional (en camión), se genera más impacto que

el transporte internacional (en barco). Esto se debe a la diferencia en las eficiencias de transporte que tienen estos dos tipos de vehículos. Un buque gasta menos energía para transportar un kg de cualquier material que un camión. La empresa que contrata el servicio de transporte puede escoger el proveedor teniendo en cuenta parámetros ambientales como la eficiencia en el consumo de combustible. De esta manera se pueden contratar los servicios de aquellos que cumplen con parámetros de buen desempeño ambiental (utilizan gas natural o tienen vehículos con un correcto mantenimiento) y así los productos finales de camarón tendrían menor impacto ambiental asociado.

Existen incentivos de mercado para disminuir el impacto en las granjas camaroneras (Mungkung *et al.* 2006). Un ejemplo es comercializar productos verdes: el productor le comunica a sus clientes que su camarón tiene un mejor desempeño ambiental que otros ofrecidos en el mercado, lo cual estaría relacionado con las mejoras operativas que se implementen en la cadena de producción (por ejemplo, con menor huella de carbono o menor contaminación acuática). Hay algunas iniciativas que promueven unos pocos restaurantes del país en donde se ofrece *comida de origen*, en los cuales los productos que han sido elaborados con buenas prácticas y tienen menor impacto ambiental, pueden recibir un mejor precio comercial que otros similares con mayor impacto ambiental.

Conclusiones

En el ciclo de vida de los productos de camarón que se originan en acuicultura, la etapa que mayor impacto genera es la del cultivo (engorde) del camarón (83-88%). Le siguen el transporte con una participación entre el 7 y 12%, el procesamiento del camarón (4,4 y 4,7%), y por último la etapa de larvicultura, contribuyendo con un 0,13-0,14% del total.

Dentro de la etapa de cultivo de camarón, el alimento balanceado para el camarón es el insumo que más impacto genera, aportando un 50% sobre el total

de todos los indicadores de desempeño ambiental. Estos impactos se relacionan principalmente con los insumos agrícolas y manejos de cultivo que generan un alto impacto en el ecosistema y en la salud humana. De acuerdo con la información disponible en bases de datos internacionales de análisis de ciclo de vida, la sustitución de la harina de pescado (principal fuente de proteína) por pollo, soya, o mezcla de pollo, res y cerdo, genera un aumento en el impacto ambiental asociado.

La mejor estrategia para disminuir el impacto ambiental durante el cultivo de camarón es mejorar la tasa de conversión alimentaria. Si la necesidad de alimento balanceado disminuye 10%, el impacto de la etapa de cultivo disminuye 6%.

Durante el procesamiento de camarón los elementos que más impacto generan son el uso de diesel, gas natural, de cloruro de sodio e hipoclorito de sodio. La cocción del camarón representa el 22% del impacto total del procesamiento.

El transporte de los productos terminados puede contribuir con porcentajes que oscilan entre el 1% y 12%, señalando la importancia de gestionar una buena eficiencia en el consumo de combustible de los vehículos transportadores.

Se recomienda realizar el análisis del ciclo de vida del cloruro de sodio, los combustibles fósiles y los cultivos de soya, maíz y trigo, pues son productos altamente impactantes en las bases de datos internacionales utilizadas y puede ser que los contextos y procesos colombianos de fabricación de estos insumos difiere considerablemente de los estudios que se reportan.

Referencias

Asociación Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - ACCEFYN, 2003. Factores de emisión de los combustibles colombianos. Informe final presentado a la Unidad de Planeación Minero Energético. Bogotá. Consultado en noviembre de 2014. <http://www.siame.gov.co/Portals/0/FECOCupme.xls>.

AUNAP - FAO, 2014. Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia - PlaNDAS. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, Colombia. Consultado en noviembre de 2014. http://www.aunap.gov.co/files/Plan_Nacional_para_el_Desarrollo_de_la_Acuicultura_Sostenible_-_Colombia.pdf.

AUNAP- UNIMAGDALENA. 2013. Tallas mínimas de captura para el aprovechamiento sostenible de las principales especies de peces, crustáceos y moluscos comerciales de Colombia. Convenio 058 de 2013 entre la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca y la Universidad del Magdalena. Consultado en noviembre de 2014. [http://sepec.unimagdalena.edu.co/Archivos/Cartilla%20-%20TALLAS%20MINIMAS_Digital%20\(2\).pdf](http://sepec.unimagdalena.edu.co/Archivos/Cartilla%20-%20TALLAS%20MINIMAS_Digital%20(2).pdf).

Cao, L., Diana, J., Keoleian, G. y Lai, Q. 2011. "Life Cycle Assessment of Chinese Shrimp Farming Systems Targeted for Export and Domestic Sales". *Environmental Science and Technology* 45(15): 6531 – 6538.

Corporación Colombiana Internacional – CCI. 2010. Pesca y acuicultura Colombia 2010. Convenio Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – Corporación Colombia Internacional. Informe anual. Bogotá, Colombia.

Cuellar, J., Lara, C., Morales, V., de Gracia, A. y García, O. 2010. *Manual de buenas prácticas de manejo para el cultivo del camarón blanco *Penaeus vannamei**. Panamá: New Concept Publications.

ECOPETROL. 2011. Catálogo de productos en línea. Consultado en agosto de 2012. http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/index.html.

Esquivel, M.A., Merino, M.C., Restrepo, J.J., Narváez, A., Polo, C.J., Plata, J. y Puentes, V. 2014. Estado de la Pesca y la Acuicultura 2014. Documento de compilación de información. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP, Colombia. Consultado en

- noviembre de 2014. http://www.aunap.gov.co/files/ESTADO_DE_LA_PESCA_Y_ACUICULTURA_2014_.pdf
- FAO, 2014. El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura; oportunidades y desafíos. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma, Italia. Consultado en noviembre de 2014. <http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>.
- Farmery, A., Gardner, C., Green, B., Jennings, S. y Watson, R. 2015. "Life cycle assessment of wild capture prawns: expanding sustainability considerations in the Australian Northern Prawn Fishery". *Journal of Cleaner Production* 87(15): 96–104.
- Frischknecht, R. y Jungbluth, N. 2003. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report Ecoinvent 2000, Swiss Centre for LCI. Duebendorf, Suiza.
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal – FEDNA. 2014. Informe técnico: harina de carne, 50/14/26. Madrid, España. Consultado en noviembre de 2014. http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/harina-de-carne-501426.
- Goedkoop, M. y Spriensma, R. 1999. The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report. PRé Consultants. Amersfoort, Holanda. Consultado en noviembre de 2014. <http://www.pre.nl/eco-indicator99/ei99-reports.htm>.
- Gutiérrez, M., Yossa, M. y Vásquez, W. 2011. "Digestibilidad aparente de materia seca, proteína y energía de harina de vísceras de pollo, quinua y harina de pescado en tilapia nilótica, *Oreochromis niloticus*". *Revista Orinoquia* 15(2): 169-179.
- Heijungs, R., Guinee, J. B., Huppes, G., Lankreijer, R. M., Udo De Haes, H. A., Wegener, A., Ansems, A., Eggels, P. G., van Duin, R. y de Goede, H. P. 1992. *Environmental life-cycle assessment of products. Guide and Backgrounds*. Leiden: CML, Leiden University.
- Henriksson, J. G., Guinée, J. B., Kleijn R. y de Snoo, G. R. 2012. "Life cycle assessment of aquaculture systems - a review of methodologies". *International Journal of Life Cycle Assessment* 17(3): 304–313.
- Huijbregts, A. J. 1999a. Life cycle impact assessment of acidifying and eutrophying air pollutants. Calculations of equivalency factors with RAINS-LCA. Interfaculty Department of Environmental Science, Faculty of Environmental Science, University of Amsterdam.
- Huijbregts, A. J. 1999b. Priority assessment of toxic substances in LCA - development and application of the multi-media fate, exposure and effect model USES-LCA. University of Amsterdam, IVAM environmental research.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. National Greenhouse Gas Inventories Programme, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISO, 2006. Norma técnica colombiana NTC ISO 14040. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de vida. Principios y Marco de Referencia. Bogotá: ICONTEC.
- ISO, 2007. Norma técnica colombiana NTC ISO 14044. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de vida. Requisitos y directrices. Requisitos del Ciclo de Vida. Bogotá: ICONTEC.
- Kruse, S., Flysjö, A., Kasperczyk, N. y Sholz, A. J. 2009. "Socioeconomic indicators as a complement to life cycle assessment: An application to salmon production systems". *International Journal of Life Cycle Assessment* 14(1): 8–18.
- Lebel, L., Mungkung, R., Gheewala, H. S. y Lebel, P. 2010. "Innovation cycles, niches and sustainability in the shrimp aquaculture industry in Thailand". *Environmental Science and Policy* 13(4): 291–302.

- Luna A., 2011. "Valor nutritivo de la proteína de soya". *Revista Investigación y Ciencia* 36: 29-34.
- Mungkung, R. T., Udo de Haes, H. A., y Clift, R. 2006. "Potentials and Limitations of Life Cycle Assessment in Setting Ecolabelling Criteria: A Case Study of Thai Shrimp Aquaculture Product". *International Journal of Life Cycle Assessment* 11(1): 55-59.
- Nijdam, D., Rood, T. y Westhoek, H. 2012. "The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes". *Food Policy* 37(6): 760-770.
- Pelletier, N. y Tyedmers, P. 2010. "Life cycle assessment of frozen tilapia filets from Indonesian lake-based and pond-based intensive aquaculture systems". *Journal of Industrial Ecology* 14(3): 467-481
- PRé, 2012. SIMAPRO 8: LCA Software for measuring sustainability impact. PRé Consultants, Holanda. Software disponible en: <http://www.pre-sustainability.com>.
- Ramírez, A. D. y Duque, J.W. 2008. Análisis ambiental del producto de acuicultura de camarón ecuatoriana desde una perspectiva de ciclo de vida. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral con apoyo del Centro de Agua y Desarrollo Sustentable y el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas. Guayaquil, Ecuador.
- UPME, 2012. Sistema de Información Ambiental Minero Energético. Consultado en julio de 2013. <http://www.siame.gov.co/Inicio/C%C3%A1lculofactordeemisi%C3%B3n/tabid/77/Default.aspx>.
- Ziegler, F., Emanuelsson, A., Eichelsheim, J. L., Flysjö, A., Ndiaye V., y Thane, M. 2011. "Extended life cycle assessment of Southern Pink Shrimp products originating in Senegalese Artisanal and Industrial Fisheries for Export to Europe". *Journal of Industrial Ecology* 15(4): 527-538.

Citar este artículo como:

Hernández, J. y García, C. 2015. "Desempeño ambiental de la camaronicultura en la región Caribe de Colombia desde una perspectiva de análisis del ciclo de vida". *Gestión y Ambiente* 18(2): 29-49.

