



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LOS PRODUCTOS DE CAMARÓN ORIGINADOS
EN PESQUERÍA INDUSTRIAL Y ACUICULTURA CONTINENTAL EN LA REGIÓN
CARIBE DE COLOMBIA DESDE UNA PERSPECTIVA DEL ANÁLISIS DEL
CICLO DE VIDA

Juan Eduardo Hernández Orozco

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Departamento de Biología

Bogotá – Colombia

2014

DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LOS PRODUCTOS DE CAMARÓN ORIGINADOS
EN PESQUERÍA INDUSTRIAL Y ACUICULTURA CONTINENTAL EN LA REGIÓN
CARIBE DE COLOMBIA DESDE UNA PERSPECTIVA DEL ANÁLISIS DEL
CICLO DE VIDA

Juan Eduardo Hernández Orozco

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Biología

Director:
Dr. Camilo Bernardo García

Línea de investigación:
Conservación y Biodiversidad

Grupo de Investigación:
Ecología del paisaje y modelación de ecosistemas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Departamento de Biología

Bogotá – Colombia

2014

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis fue posible gracias al apoyo del profesor Camilo García, a las empresas del sector camaronero que muy amablemente nos abrieron las puertas para obtener los datos de la investigación, a la empresa Pre Consultants que nos permitió hacer uso del software Simapro v8, a mi familia que siempre ha estado conmigo sin importar las circunstancias y a mis amigos y amigas que me acompañaron durante todo este proceso.

RESUMEN

Los productos de camarón tienen su origen principalmente en las pesquerías industriales de arrastre de camarón y en las granjas acuícolas. El camarón capturado en el mar ha disminuido paulatinamente en el Caribe y en el Pacífico, y las granjas camaroneras también han reducido su actividad en el país. Sin embargo, de los ingresos por exportación de productos pesqueros, el camarón representa más del 30%. Es reconocido que ambos sistemas de producción de camarón generan diversos impactos ambientales. Un diagnóstico de los impactos es fundamental para identificar posibles mejoras en la cadena de valor. Este estudio analiza el desempeño ambiental de los productos de camarón utilizando el enfoque del Análisis del Ciclo de Vida. 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, eutrofización, toxicidad (humana, terrestre y acuática) y deterioro de ozono. En el caso de las pesquerías de arrastre se consideran adicionalmente el daño en el lecho marino y el porcentaje de pesca acompañante. El análisis de ciclo de vida incluye todas las etapas desde la “*cuna hasta el puerto de destino*”. Los resultados señalan que los productos de camarón originados en pesca industrial de aguas someras del Caribe son los que más carga ambiental presentan. Le siguen los productos originados en pesca industrial de aguas someras del Pacífico, pesca industrial de aguas profundas del Pacífico y por último los que se originan en los cultivos de las granjas acuícolas. En la ciclo de los productos de pesca industrial, la etapa de las faenas de arrastre representa entre un 84% y 92% del impacto total estimado (debido principalmente al uso de combustibles diesel), seguido de las etapas de procesamiento y transporte. En el ciclo de los productos originados en granjas acuícolas se encontró 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, mejorar la tasa de conversión alimentaria e implementar un manejo adecuado del recurso pesquero se presentan como alternativas importantes para disminuir el impacto ambiental de los productos de camarón originados en Colombia.

Palabras clave: Acuicultura, Pesca Industrial, Análisis de Ciclo de Vida, Camarón.

ABSTRACT

Shrimp products originate mainly in industrial shrimp trawl fisheries and aquaculture farms. The shrimp caught at sea has gradually declined in the Caribbean and the Pacific, and shrimp farms have also reduced their activity in the country. However, revenue from exports of fishery products, shrimp accounts for over 30%. It is recognized that both shrimp production systems generate many impacts on the environment. An assessment of these impacts is essential to identify possible improvements in the value chain. This study analyzes the environmental performance of shrimp products using the approach of Life Cycle Analysis. To assess environmental impacts are considered environmental assessment method Ecoindicator 99 and eight potential environmental impacts singles: contribution to climate change (carbon footprint), CED, acidification, eutrophication, (human, terrestrial and aquatic) toxicity and impairment ozone. For trawl fisheries damage to the seabed and the percentage of bycatch is further considered. The Life Cycle Assessment includes all stages from the "cradle to the port of destination." The results indicate that shrimp products originating from industrial fishing in shallow waters of the Caribbean are the most environmental load present. Followed products originating from industrial fishing in shallow waters of the Pacific, industrial fishing deep waters of the Pacific and finally those originating in cultured fish farms. In the cycle of products of industrial fishing, the stage of trawling represents between 84% and 92% of the total estimated impact (due mainly to the use of diesel fuels), followed by stages of processing and transport. In the cycle of products originating from aquaculture farms found 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 the steps of transportation, processing and hatchery. Reduce diesel consumption, improve feed conversion ratio and implement appropriate management of fishery resources are presented as important alternatives to reduce the environmental impact of shrimp products originating in Colombia.

Key words: Acuaculture, Industrial Fishery, Life Cycle Assessment, Shrimp.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| Resumen..... | IV |
| Abstract..... | V |
| Lista de figuras..... | 8 |
| Lista de tablas..... | 10 |
| 1. Introducción..... | 6 |
| 2. Pregunta de Investigación..... | 14 |
| 3. Objetivos..... | 14 |
| 4. Antecedentes y Estado del arte..... | 15 |
| 4.1 Flota industrial de arrastre camarero en Colombia..... | 15 |
| 4.2 Granjas de Camarón en Colombia..... | 18 |
| 4.2.1 Aspectos generales del cultivo de camarón..... | 18 |
| 4.2.2 Producción de camarón de cultivo en Colombia..... | 20 |
| 4.3 Análisis del Ciclo de Vida de productos pesqueros..... | 22 |
| 4.4 Certificaciones y etiquetas ambientales de productos pesqueros.... | 24 |
| 5. Métodos..... | 24 |
| 5.1 Definición del Alcance del ACV..... | 24 |
| 5.2 Impactos ambientales a Evaluar..... | 27 |
| 5.3 Recopilación de Datos..... | 28 |
| 5.4 Asignación..... | 31 |
| 5.5 Cálculo de Datos y Métodos de Evaluación..... | 32 |
| 5.6 Análisis de Sensibilidad y Escenarios de Producción para los productos de camarón..... | 33 |
| 6. Resultados..... | 35 |
| 6.1 Pesca Industrial de Arrastre en el Caribe y en el Pacífico..... | 35 |
| 6.2 Escenarios de producción en las pesquerías industriales de camarón y su efecto en la Evaluación de desempeño ambiental ECOINDICATOR 99..... | 40 |
| 6.3 Larvicultura y Cultivo de camarón en piscinas..... | 41 |
| 6.4 Procesamiento de camarón..... | 50 |
| 6.5 Escenarios de producción de camarón en piscinas y su efecto en la evaluación de desempeño ambiental Ecoindicator 99..... | 52 |
| 6.6 Comparación ciclos de vida pesquerías vs. cultivos..... | 54 |

| | |
|--|----|
| 7. Discusión..... | 58 |
| 8. Conclusiones y Recomendaciones..... | 67 |
| 9. Bibliografía..... | 69 |

Lista de Figuras

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1. | Aspectos generales de los impactos ambientales de los productos pesqueros (Basado en Thrane, 2004b) | 18 |
| Figura 2. | Producción histórica de camarón de cultivo en Colombia. Tomado de ICA (2012) | 21 |
| Figura 2. | Producción nacional pesquera en 25 años. Tomado de FAO – INCODER (2011) | 23 |
| Figura 3. | Etapas de un ACV (ISO, 2006) | 23 |
| Figura 4. | 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 procesados en Colombia | 26 |
| Figura 5. | Esquema de un proceso desde la perspectiva del ACV | 29 |
| Figura 6. | Pesca acompañante en pesquería de camarón de aguas someras del Caribe. a. Peces de varias especies. b. Langosta y especie de camarón objetivo. | 36 |
| Figura 7. | Evaluación de los impactos ambientales utilizando el método ECOINDICATOR 99. | 39 |
| Figura 8. | Desempeño ambiental de las faenas de pesquerías industriales bajo tres escenarios de operación: convencional, disminución del 15% en el consumo de diesel y sustitución del gas R22 por el gas R407a. | 41 |
| Figura 9. | Comparación de los impactos ambientales del cultivo de 1 kg de camarón en piscinas sin incluir el alimento para los camarones (camarón piscina, sin alimento, siembra directa) y los impactos asociados al alimento balanceado utilizado para el engorde de 1 kg de camarón (Fishmeal Ecuador). | 49 |
| Figura 10. | Ecoindicator 99 para los escenarios de producción de camarón en piscinas con variaciones en el tipo y cantidad de recursos empleados. | 54 |
| Figura 11. | Desempeño ambiental de cada etapa considerada en el ACV de los productos de camarón originados en pesquerías de arrastre de aguas someras del Pacífico (CAS_PA), aguas someras del Caribe (CAS_CA), aguas profundas del Pacífico y Cultivo en granjas camaronerías utilizando el método ECOINDICATOR 99 para evaluar | 55 |
| Figura 12. | Análisis del Ciclo de Vida “desde la cuna hasta el puerto de destino” de los productos originados en las pesquerías de arrastre industrial (Camarón de Aguas Profundas del Pacífico: CAP_PA; Camarón de Aguas Someras del Caribe: CAS_CA; Camarón de Aguas Someras del Pacífico)A y el cultivo en piscinas (CULTIVO) considerando las tres categorías de agrupamiento del método de evaluación de impactos ECOINDICATOR 99. | 57 |
| Figura 13. | Contribución del impacto asociado a cada etapa del ciclo de vida de los sistemas de producción de camarón: a) pesquerías industriales incluyendo el transporte hasta España, b) pesquerías industriales incluyendo el transporte hasta Bogotá, c) cultivo en piscinas incluyendo el transporte hasta Bogotá. | 58 |

Lista de Tablas

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1. | Etapas de la cadena de producción de camarón de cultivo | 18 |
| Tabla 2. | Categorías de impactos ambientales considerados en el ACV de los productos de Camarón | 27 |
| Tabla 3. | Consumo de recursos en la pesca industrial de arrastre. Camarón de aguas someras Caribe (CAS_CA), Camarón aguas someras Pacífico (CAS_PA), Camarón aguas profundas Pacífico (CAP_PA). | 36 |
| Tabla 4. | Indicadores de desempeño ambiental en la captura de camarón de aguas profundas del Pacífico (CAP_PA), camarón de aguas someras del Caribe (CAS_CA), camarón de aguas someras del Pacífico (CAS_PA) entre el 2004-2009. | 38 |
| Tabla 5. | Insumos utilizados en larvicultura, considerando el cultivo de microalgas y artemia, reproducción de camarones, desarrollo y transporte de larvas hasta las piscinas objeto de estudio. | 42 |
| Tabla 6. | Entradas y salidas del proceso de cultivo de camarón en piscinas. | 44 |
| Tabla 7. | Ingredientes para fabricación de concentrado de camarón. | 45 |
| Tabla 8. | Indicadores de impacto ambiental asociados a la larvicultura y la producción de camarón en piscinas. | 47 |
| Tabla 9. | 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. | 48 |
| Tabla 10. | Insumos requeridos para procesar los productos de camarón | 50 |
| Tabla 11. | Indicadores de desempeño ambiental asociado al procesamiento de los productos de camarón. | 51 |
| Tabla 12. | Comparación de los impactos ambientales de las etapas previas al procesamiento de los productos de camarón de los cuatro sistemas analizados. | 54 |
| Tabla 13. | Análisis de los impactos del ciclo de vida de los productos de camarón originados en piscinas camaroneras y en pesquerías de arrastre del Caribe y el Pacífico colombianos y exportados a España. | 56 |

1. INTRODUCCIÓN

Los océanos enfrentan diversas presiones debido a las actividades humanas, y cada vez hay más evidencia que señala la continua degradación de los ecosistemas marinos y su biodiversidad, generado, entre otras causas, por el cambio climático (FAO, 2014; IPCC, 2013). La contaminación, la sobrepesca y el uso insostenible de los recursos marinos representan un riesgo para todas las poblaciones de las especies que actualmente se pescan. Hoy ya se han perdido casi el 90% de las especies de porte grande y de interés comercial, y muchas otras que son fuente de alimento para la comunidad mundial son sobre-explotadas o totalmente explotadas). La acuicultura toma cada vez mayor relevancia como una alternativa productiva ante el deterioro de los ecosistemas marinos, y en la actualidad aporta casi la mitad de la producción pesquera para alimento humano (FAO, 2014). La población humana continua creciendo y la demanda por productos pesqueros sigue aumentando, pero la sostenibilidad de las pesquerías marinas y la acuicultura es incierta debido a los procesos y actividades que involucran estos sistemas 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. 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 (paso 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, 2013).

Con relación al camarón, la captura industrial de especies como *Farfantopenaeus notialis* (camarón rosado), *Xiphopenaeus kroyeri* (camarón tití), *Litopenaeus schmitti* (langostino), *Litopenaeus occidentalis* (camarón blanco), *Xiphopenaeus riveti* (camarón tití), *Farfantopenaeus brevirostris* (camarón rojo) y *Solenocera agassizi* (camarón coliflor) ha disminuido, pero la creciente demanda de productos de camarón en países como EEUU, la UE y Japón ha generado un incremento en la producción mundial de camarón de cultivo. Entre 1970 y 2008 la producción en granjas se incrementó en más del 350% (FAO, 2010). China y Tailandia son los principales productores mundiales, y a nivel latinoamericano Ecuador y Nicaragua aportan la mayor producción. Colombia es un jugador menor en estos escenarios, ya que produce menos del 5% de lo que se produce en Ecuador (CCI, 2010).

Los productos de camarón se derivan de dos fuentes principales, los que son capturados en el mar y los que son producidos en granjas acuícolas. En la región del Pacífico colombiana las zonas central y sur son las más productivas para camarón silvestre. En la región Caribe, las zonas central y norte son las más productivas para camarón silvestre dada la gran diversidad de hábitats y los

amplios fondos arrastrables (Esquivel *et al.*, 2014; Gómez-Canchong *et al.*, 2004; Invemar, 2014). Para el caso del cultivo en granjas, en la región Caribe se concentra más del 95% de la producción, y en el departamento de Nariño se encuentra el resto de la producción (AUNAP, 2013). Históricamente, el cultivo de camarón en la región pacífica tuvo un colapso a principios de los años 90's debido a enfermedades virales como el virus del Taura y el virus 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 del peso colombiano acumulada y un incremento en los costos de producción, provocando un descenso cercano al 57% entre los años 2007 y el 2011 (AUNAP, 2013).

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. Sin embargo, 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, 2013).

El gobierno nacional ha adelantado esfuerzos por mejorar la sostenibilidad de la producción de camarón. A partir del 2010, en un trabajo articulado con el sector productor de camarón iniciaron el programa llamado Programa de Transformación Productiva de la Camaronicultura en Colombia, el cual tiene 8 áreas estratégicas, donde se resaltan mejorar la eficiencia operativa de las fincas, mejorar constantemente el material genético y promover las certificaciones de sostenibilidad como medio de diferenciación para acceder a posibles primas de precio. Esta iniciativa está en desarrollo y se espera genere un impacto positivo en próximos años. Con relación a la pesca de camarón silvestre se han definido algunas estrategias de manejo pesquero, siendo la más importante el establecimiento de cuotas de pesca. En el mar Caribe se tiene una cuota de pesca global de 790 t de camarón de aguas someras, y en el Pacífico corresponden a 2060 t de camarón de aguas someras y 940 t de camarón de aguas profundas (Esquivel *et al.*, 2014). Sin embargo, es posible que estas cuotas de pesca estén por fuera de los límites de la sostenibilidad de las poblaciones naturales (Díaz *et al.*, 2011; Duarte *et al.* 2004).

Las pesquerías de arrastre de camarón, especialmente las del trópico, tienen muchos conflictos por los impactos ambientales que generan. Las proporciones de la pesca acompañante (descarte e incidental), el daño en el fondo marino, los conflictos con las pesquerías de pequeña escala y la sobre-explotación del recurso son algunos de los problemas que se reconocen ampliamente (Díaz *et al.*, 2011; MADS, 2011; Ziegler *et al.* 2011). Caso similar es la producción del camarón en

granjas acuícolas, debido a que se pueden presentar impactos ambientales negativos en los sistemas acuáticos y en comunidades costeras. Estos impactos incluyen deterioro de la biodiversidad, eutrofización y cambio en el uso de la tierra (AUNAP, 2013; Cao *et al.*, 2011). En este sentido las cadenas de producción juegan un papel muy importante, pues según el desempeño ambiental o impactos potenciales que se generen durante todas las etapas, el producto final tendrá asociado mayor o menor impacto ambiental. Por esta razón, el consumo de alimentos representa una parte considerable del impacto promedio de las personas.

Para evaluar el desempeño ambiental de los productos de camarón es necesario considerar las diferentes actividades que toman lugar en la cadena de valor. El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) 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 (ISO, 14040). Dentro de las categorías de impactos ambientales que suelen estimarse en productos alimenticios se encuentran el potencial de contribución al cambio climático, la eutrofización, el agotamiento de recursos no renovables, la acidificación y el agotamiento de recursos (Henriksson *et al.*, 2012). En algunos estudios se incluyen algunos impactos biológicos como el deterioro de las poblaciones naturales y el daño en ecosistemas (Kruse *et al.*, 2009; Ziegler and Valentinsson, 2008; Ziegler *et al.*, 2011).

Los diferentes estudios de los productos pesqueros concluyen que los mayores impactos se asocian a la fase de captura y producción acuícola. También señalan que hay significativos impactos ambientales generados por el consumo de energía y de recursos, a la generación de residuos y a la baja optimización de los procesos (Cao *et al.*, 2011; Kruse *et al.*, 2009; Hospido and Tyedmers, 2005; Thrane, 2004 a y b; Ziegler and Valentinsson, 2008; Ziegler *et al.*, 2011; entre otros). El ACV provee una base sólida para direccionar las alternativas y los esfuerzos para disminuir el impacto ambiental asociado a los productos.

A la fecha, se han realizado pocos estudios sobre el ciclo de vida de productos pesqueros. Los aspectos ambientales negativos asociados a la pesca y al cultivo del camarón son ampliamente reconocidos, pero el análisis del ciclo de vida genera un panorama confiable de toda la cadena de valor y permite identificar los impactos ambientales potenciales asociados a cada etapa. Es muy importante que los productores colombianos disminuyan el impacto socio-ambiental del proceso e implementen alternativas que aporten a la sostenibilidad biológica de este recurso. Para desarrollar políticas ambientales gubernamentales y corporativas que buscan 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. Considerando que el origen de los productos de camarón es muy diferente, este estudio evalúa y compara los impactos ambientales asociados al ciclo de vida de los productos de camarón originados en pesquería industrial de arrastre y acuicultura continental en Colombia.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las características propias y diferenciales del ciclo de vida de los productos de camarón originados en pesquería industrial de arrastre y acuicultura continental en términos de tipos y magnitud de los impactos ambientales potenciales?

3. OBJETIVOS

General

- Evaluar y comparar los impactos ambientales asociados al ciclo de vida de los productos de camarón originados en pesquería industrial de arrastre en el Caribe y el Pacífico colombianos y en acuicultura continental en el departamento de Bolívar, Colombia.

Específicos

- Cuantificar impactos biológicos y ambientales asociados al ciclo de vida de los productos de camarón originados en pesquería industrial y acuicultura con modelo semi-intensivo de producción.
- Comparar el desempeño ambiental y biológico de los diferentes procesos relacionados con cada etapa en el ciclo de vida de los productos de camarón originados en pesquería industrial y acuicultura semi-intensiva.
- Definir y caracterizar diferencialmente en qué etapas del ciclo de vida los productos de camarón son contrastantes en términos de los impactos ambientales potenciales.
- Comparar el desempeño ambiental de los productos de camarón producidos en Colombia con los producidos en otros países.

4. Antecedentes y Estado del arte

4.1 Flota industrial de arrastre camaronero en Colombia

La historia de la pesca de camarón se remonta a los años 1966, y su desarrollo con embarcaciones pequeñas se dio en 1968. Su actividad estaba restringida a algunas áreas centrales de las costas del Caribe y del Pacífico, y en la actualidad se distribuyen a lo largo de las costas, con mejores volúmenes de captura en la zona norte y central del Caribe, y en la zona sur y central del Pacífico (AUNAP, 2013).

En los últimos 20 años, la captura de camarón por barcos con redes de arrastre ha disminuido en las dos regiones, sobre todo el camarón de aguas profundas en el Pacífico. Hasta el año 2002, el camarón (Pennaeidae) era un recurso de gran valor comercial para la región y el país. En el año 2000, el camarón capturado, era destinado principalmente a mercados internacionales, pero en el 2010 su participación en los productos de exportación fue casi nula. Algunas especies y tallas de camarón de menor valor, junto con la pesca acompañante que está constituida por una gran diversidad de peces y moluscos, se comercializa casi totalmente en el interior del país (Díaz *et al.*, 2011).

Las especies de camarón que se pescan en el mar Caribe corresponden principalmente a *Farfantopenaeus notialis* (camarón rosado), *Xiphopenaeus kroyeri* (camarón tití) y *Litopenaeus schmitti* (langostino). Estas especies son camarones de aguas someras y su distribución se da aproximadamente hasta los 70 m de profundidad. En la región Pacífica, se pescan principalmente el camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*; Street, 1871) y camarón tití (*Xiphopenaeus riveti*; Bouvier, 1907) en las zonas de aguas someras, y en las zonas profundas (entre 40 y 400 m aproximadamente) se capturan individuos de camarón rojo (*Farfantopenaeus brevirostris*; Kingsley, 1878) y camarón coliflor (*Solenocera agassizi*; Faxon, 1893). Las faenas del Pacífico toman lugar principalmente en la región central, pero también pesca a lo largo de toda la costa. Los volúmenes de pesca de camarón para el primer semestre de 2014 fueron 359 t para el pacífico, y 129 t para el Caribe (AUNAP, 2014).

La flota camaronera del Caribe y del Pacífico ha sido muy similar en cuanto a la tecnología empleada. Entre los años 1969 y 1980, la pesca de camarón se daba con embarcaciones que operaban con dos redes (con una dimensión de relinga superior entre 75 y 80 pies), una por cada banda, y las faenas no duraban más de 25 días. En los años 80's, las embarcaciones adoptaron dos redes por banda, cuyas dimensiones de relinga superior eran entre 42 y 45 pies. Las redes tienen mallas de 2" en el cuerpo de la red y de ½" en el copo (extremo final). Todas las redes cuentan con una "cadena despertadora", la cual tiene una longitud cercana a 23 m y cumple la función de penetrar unos pocos centímetros el sustrato para

que el camarón salte a su paso y haya una mayor captura de individuos. También es obligatorio contar con un dispositivo excluidor de tortugas ubicado antes de la entrada del copo (Díaz *et al.*, 2004).

La flota de barcos camaroneros continúa operando con las mismas características, y actualmente hay cerca de 12 embarcaciones para capturar camarón de aguas someras en el Caribe y 20 en el Pacífico, y 13 embarcaciones para camarón de aguas profundas que se encuentra exclusivamente en el Pacífico (Esquivel *et al.*, 2014). Sin embargo, en los últimos años el número de embarcaciones activas ha disminuido debido a la baja en los índices de rentabilidad. Los costos de los combustibles son muy altos y el precio de venta del camarón ha disminuido (AUNAP, 2013).

Las características de las faenas de pesca se asocian con el consumo de insumos, lo cual incide directamente en los impactos ambientales potenciales de esta actividad. Las faenas de los barcos camaroneros pueden durar entre 30 y 45 días, y operar cerca de 12 a 20 horas diarias. La pesca es nocturna o diurna, y cada lance puede durar entre tres y seis horas (usualmente se hacen tres a cinco lances por día). Si la operación de las faenas se extiende a 16 o 18 horas al día, las embarcaciones suelen permanecer solo 35 o 38 días en el mar. El tiempo promedio de virado e izado de la red es de 25 minutos. La profundidad de pesca esta entre 21 y 70 m para el camarón de aguas someras del Caribe (Manjarres *et al.*, 2006) y el Pacífico (Díaz *et al.*, 2011) (entre 12 y 36 brazas aproximadamente), mientras que para el camarón de aguas profundas del Pacífico es de 40 a 400 m (Díaz *et al.*, 2011). La velocidad de arrastre esta entre 1.4 y 1.7 m/s (2.7 a 3.3 nudos), lo cual equivale a unas 1600 rpm en promedio de la máquina principal (Manjarres *et al.*, 2006). Estas características se relacionan con el consumo de combustible y de otros insumos que representan una carga ambiental de esta etapa.

Las proporciones de la pesca acompañante (descarte e incidental), el daño en el fondo marino, los conflictos con las pesquerías de pequeña escala y la sobre-explotación del recurso son algunos de los problemas que se asocian con la pesca de arrastre de camarón (FAO, 2009). Cabe resaltar que la pesca de camarón de aguas someras registra mayores capturas de pesca acompañante que el camarón de aguas profundas (MADS, 2011).

La pesca acompañante tiene dos grandes componentes: la fracción que es retenida para uso comercial o autoconsumo (pesca incidental) y la fracción que es retornada al agua como descarte por diferentes factores económicos, legales o culturales (FAO, 2009). La pesca de arrastre, al tener una tasa tan alta de pesca acompañante puede afectar otras pesquerías y también poner en riesgo especies que ya están bajo alguna categoría de amenaza (MADS, 2011; Díaz *et al.*, 2011).

La pesca de arrastre impacta también la estructura del hábitat y las funciones del ecosistema (García *et al.*, 2008; Ziegler *et al.*, 2011). Los impactos biológicos, ecológicos, económicos y culturales de este arte se describen en muchos estudios y se estima que los descartes pueden llegar a ser muy importantes en términos económicos (MADS, 2011). El estudio de Viaña *et al.* (2004) para la región Caribe reporta 175 especies como pesca acompañante, de las cuales 88 especies (peces y otros grupos) corresponden al descarte. Dentro de estas especies se incluyen macroalgas, anémonas, estrellas de mar, ofiuros, pepinos de mar, erizos, cangrejos, caracoles, corales duros y blandos, pulpos, esponjas, medusas, calamares, bivalvos y crustáceos no comerciales. El estudio de Duarte *et al.* (2004) señala que la tasa de pesca acompañante del camarón del Caribe oscila entre 12:1 y 30:1, o sea, que por cada 30 kilos que se pescan con las redes de arrastre se captura solamente 1 kilo de camarón. Duarte *et al.* (2006) registran 223 especies como pesca acompañante en la zona norte del Caribe, y en la zona sur registran 180 especies. Manjarres *et al.* (2006) encontraron que la pesca acompañante estaba compuesta por 273 especies en la zona sur del mar Caribe, y el 80% de esta pesca corresponde al descarte, ubicándola entre las más altas del mundo.

Cuando los barcos recogen la red de arrastre y suben la captura, se realiza una selección manual de la pesca. El descarte es arrojado al mar, el camarón entero es sumergido 5 minutos en una solución con bisulfito de sodio, y una vez muertos pasan a un cuarto de congelación junto con la pesca incidental que tiene algún valor comercial o alimenticio para los pescadores. Cuando la embarcación llega a puerto, descargan las capturas realizadas y las transportan hasta la planta de procesamiento (Díaz *et al.* 2011).

El consumo de energía es uno de los impactos más importantes que tiene toda la cadena de valor. Hay tres procesos que demandan gran cantidad de energía: la pesca, el transporte y el enfriamiento. El enfriamiento es muy importante en las etapas de distribución y venta de los productos, mientras que el transporte es muy importante en la etapa de uso y exportación de los productos (Thrane, 2004b) (Figura 1).

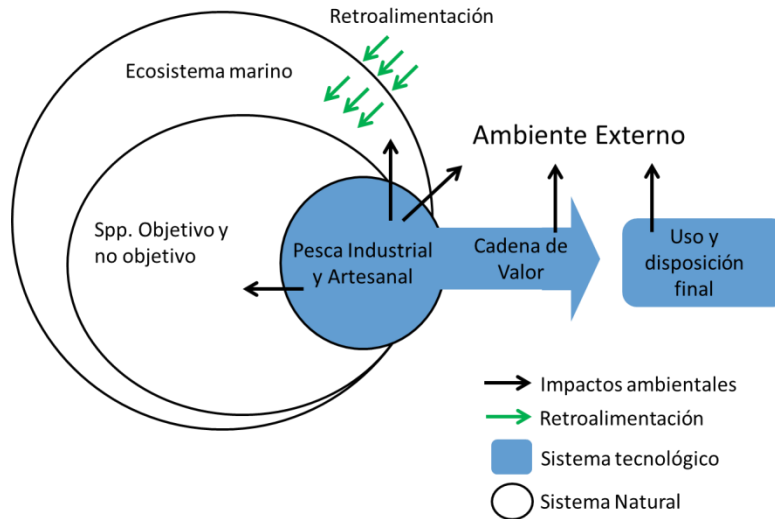


Figura 1. Aspectos generales de los impactos ambientales de los productos pesqueros (Basado en Thrane, 2004b).

4.2 Granjas de Camarón en Colombia

4.2.1 Aspectos generales del cultivo de camarón

El cultivo de camarón se divide en tres grandes etapas: 1) la producción de semillas (Hatchery) que parten de reproductores seleccionados y comprende las fases de larvas y post-larvas de los individuos (20 a 22 días), 2) el Engorde que involucra el crecimiento del camarón hasta llegar al tamaño comercial (95 a 120 días), y 3) el procesamiento del camarón. Sin embargo, el ciclo del camarón se puede presentar según los productos obtenidos en cada proceso y desglosarse en cuatro fases principales (Tabla 1). Entre cada una de las fases existe una comercialización y distribución del producto obtenido en el proceso, lo cual implica impactos asociados.

Tabla 1. Etapas de la cadena de producción de camarón de cultivo.

| Fases | Instalación | Producto por proceso |
|---------------|---------------------|--|
| Maduración | Laboratorio | Nauplios |
| Larvicultura | Laboratorio | Larvas |
| Engorde | Fincas camaronerías | Camarón sin procesar |
| Procesamiento | Plantas de proceso | Camarón procesado (pelado, cocido, apanado, en pincho, etc.) |

Maduración: Esta fase se desarrolla en los laboratorios. Para el proceso se cuenta con diferentes tanques que están diseñados para la reproducción, el desove o la cuarentena. Los reproductores que se tienen en el laboratorio tienen una alimentación especial que consiste en alimentos frescos de mar como poliquetos,

artemia y calamares que provienen de actividades de pesca diaria de la zona donde se crían los camarones. El primer proceso involucra el apareamiento de hembras y machos. Estos son seleccionados por peso y morfología externa, de un grupo de animales cuya procedencia, en el caso bajo estudio, son fincas de engorde. Una vez los individuos alcanzan la madurez sexual, se da la danza de la cópula, se observan persecuciones del macho a la hembra y copulan. La inseminación también se puede realizar artificialmente (Cuellar *et al.*, 2010). Después de la cópula las hembras son transferidas al tanque de desove, y al cabo de 3 días aproximadamente estas desovan. Una hembra puede producir entre 150.000 y 300.000 huevos según su especie y procedencia, y de estos se pueden obtener entre 70.000 y 180.000 nauplios. Las hembras se devuelven a los tanques de maduración, y se inicia el periodo de cuarentena donde los huevos son incubados a 33 – 34 °C hasta su eclosión. La eclosión ocurre pasados 10 a 20 días. Los nauplios se extraen por medio de una selección inicial de los individuos que responden a los estímulos de luz, pues son atraídos con una lámpara y succionados suavemente para trasladarlos a otro tanque. En esta etapa se consume gran cantidad de agua y energía. En el tanque de recepción de nauplios se inicia la alimentación con microalgas que han sido cultivadas previamente en otra sección del mismo laboratorio. Después del tercer día de desarrollo de los nauplios, inicia la alimentación combinada con las artemias, que también fueron cultivadas en el laboratorio. En esta etapa también se utilizan otros recursos como combustibles, químicos y jabones. En este proceso se generan residuos sólidos y aguas residuales.

Larvicultura: En esta etapa se cuida el nauplio hasta convertirse en post-larva. Se cuida y controla la calidad del agua, se les provee de alimento y nutrientes inorgánicos para estimular su crecimiento. Una vez se alcanza el estadio de post-larvas, los individuos se comercializan a granjas camaroneras para su engorde (Cuellar *et al.*, 2010). Entre más desarrollo tengan los animales que se siembran en las piscinas, mayor tasa de sobrevivencia se puede obtener en las piscinas, pues hay mayor resistencia a los cambios y perturbaciones del medio que se generan durante los traslados y las siembras finales. Las intervenciones ambientales durante esta fase están asociadas a las aguas que salen de las piscinas y al uso de recursos (como combustibles y energía) para realizar el recambio del agua, como también el uso de recursos y emisiones asociadas a la producción de insumos y alimentos utilizados. Finalmente, cuando se comercializan las larvas de camarón, se deben trasladar hasta la finca que tiene las piscinas receptoras.

Engorde: Este proceso se da en las granjas camaroneras. En estas se cuidan las post-larvas hasta obtenerse el camarón adulto y de talla apropiada para su comercialización y consumo. Existen varios tipos de modelos de producción, como lo son el intensivo (>12 ind/m²), semi-intensivo ($<12, >5$ ind/m²) y extensivo (<5

ind/m²). La granja bajo estudio utiliza un modelo de producción semi-intensivo, con densidad de siembras cercanas a 10 individuos por m². Este proceso toma alrededor de 120 días en promedio. Las piscinas se llenan con agua del Canal del Dique, que en los puntos de desembocadura tiene agua de mar rica en materia orgánica. La siembra de los individuos se realiza de noche para disminuir el estrés de los animales. Las piscinas tienen 1,2 m de profundidad en promedio, y no cuentan con sistemas de aireación artificial. Se realizan recambios de agua de acuerdo con las necesidades, pues se puede acumular mucha materia orgánica o reducir mucho su carga. En los primeros 30 días de engorde solo se recambia entre un 4 o 6%, entre los 30 y 70 días se pueden hacer recambios hasta de un 20%, y en el último periodo también se pueden hacer recambios hasta de un 30% según las necesidades. Los animales se alimentan 3 veces utilizando lanchas con motores de 5 hp. El alimento es fundamental en la sobrevivencia y desarrollo de los individuos. El camarón es omnívoro, y se alimenta de plancton y alimento concentrado. El alimento balanceado es una mezcla de proteínas (de origen animal o vegetal), carbohidratos, fibra, calcio, fósforo y aminoácidos, entre otros elementos. El monitoreo del crecimiento es muy importante, pues determina los ajustes que se deben realizar en cuanto a la alimentación. Dos días antes de la cosecha de camarón, se suspende su alimentación. Al momento de cosecharse, los animales son extraídos de la piscina con motobombas y cosechadoras especiales, y son sumergidos en una solución con bisulfito de sodio que les da muerte y disminuye la velocidad del proceso de descomposición de los tejidos blandos, desinfecta los animales y los preserva por un tiempo considerable. Es importante mencionar que el bisulfito es una sustancia considerada peligrosa para la salud y el medio ambiente (*Special Health Hazard Substance List*. Departamento de Salud de Nueva Jersey). Luego se ponen en contacto con el hielo para su congelación y deben transportarse lo más pronto posible a la planta de procesamiento. Las piscinas donde estaba el camarón son vaciadas totalmente (cerca de 30 días), se les aplican carbonato e hidróxido de calcio para disminuir la acidez, estabilizar la salinidad y los contenidos orgánicos. En los lugares de las piscinas donde se empoza el agua utilizan cloro para limpiar y desinfectar.

Procesamiento (esta etapa se comparte con los camarones que provienen de la pesca industrial): Las plantas de procesamiento reciben el camarón y lo clasifican de acuerdo con la talla y el estado de los individuos (pues hay unos que vienen lastimados, con indicios de enfermedades y otros defectos). El camarón se procesa y puede tomar diferentes presentaciones, como por ejemplo enteros, colas, crudos, cocidos, etc. se congela y se empaca. La congelación se realiza a una temperatura de 45 °C bajo cero para garantizar su frescura, con lo cual puede durar cerca de dos años (Ramírez y Duque, 2008). El producto se puede conservar a 18 °C bajo cero, donde no existe actividad bacteriana. Usualmente estas empresas también comercializan el camarón congelado. El principal destino de los productos de camarón son EEUU y Europa, y cerca del 10% se

comercializa en el interior del país. En esta etapa se utiliza mucha energía y se generan volúmenes significativos de residuos sólidos que deben ser dispuestos en un relleno sanitario, incinerados o reciclados según sea el caso. Las aguas residuales de todo el procesamiento (cargadas de materia orgánica), en el caso de estudio, reciben tratamiento en una Planta de Tratamiento de Agua Residuales y luego son vertidas al océano.

4.2.2 Producción de camarón de cultivo en Colombia

Desde 1982 se identificó el cultivo de camarón como una actividad con potencial de exportación en Colombia, y a partir de 1983 se construyeron las primeras granjas camaroneras en las zonas de Cartagena, San Onofre y Sucre. En la actualidad, la acuicultura de camarón se concentra en la región de Bolívar y Sucre, y la producción se da principalmente con objetivos de exportación (AUNAP, 2014). La especie que más siembra en el Caribe es el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). Históricamente, el sector ha tenido problemas tecnológicos, biológicos y económicos que han impedido un crecimiento constante, y han provocado un descenso en la actividad desde el año 2007 (Figura 2) (ICA, 2012).

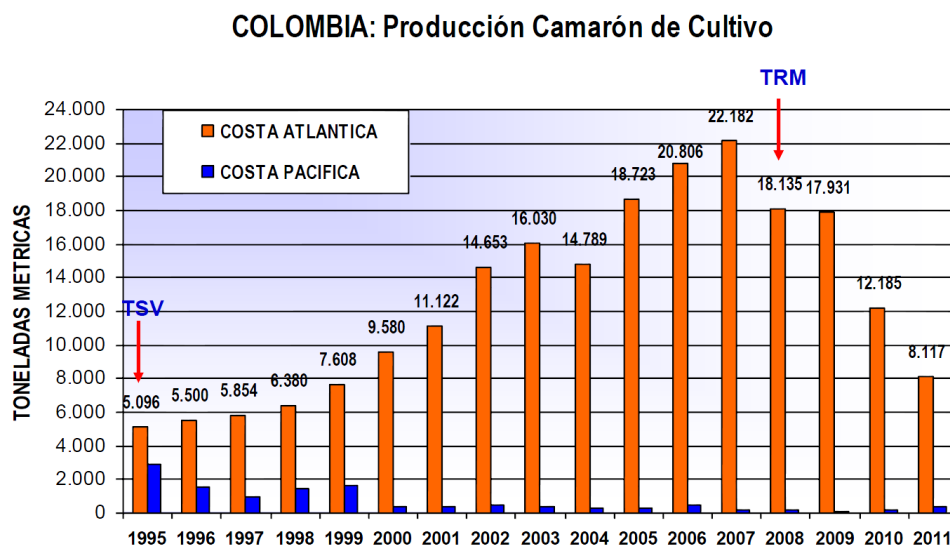


Figura 2. Producción histórica de camarón de cultivo en Colombia. Tomado de ICA (2012).

La mayor producción de camarón de cultivo se da en los departamentos de Sucre y Bolívar. Durante el 2010 se produjeron 12.576 t, y el 96% de la producción se dio en los departamentos antes mencionados. En el 2012 solo el 48.8% de las piscinas construidas para cultivar camarón estuvieron activas, representadas en 2216 ha de 4538 ha. Entre las principales razones de este comportamiento se relacionaron los altos costos de producción y la baja cotización del dólar en el mercado internacional, que a su vez desestimuló las exportaciones y por ende la

producción, y el fuerte invierno que se presentó durante el segundo semestre de 2010 que incidió negativamente en su producción (AUNAP, 2013).

Históricamente, el cultivo del camarón en Colombia ha sufrido diferentes circunstancias adversas como plagas generalizadas que se presentaban fácilmente en piscinas con altas densidades de animales (producidas por virus como la WSSV-manchas blancas, YHV-cabeza amarilla, TSV-síndrome de Taura, IHNV-necrosis hipodérmica y hematopoyética infecciosa). Ya que la producción depende mucho del uso de combustibles y su precio presenta un continuo incremento, los costos de producción también se elevaron mucho, mientras que el precio del camarón se mantuvo con una tendencia a la baja (ICA, 2012).

Actualmente, los costos de producción del camarón se dividen de la siguiente manera (ICA, 2012): 45% Alimento balanceado, 22% Mano de obra, 16% Energía y combustible, 5% Larvas, 5% Administrativos y ventas, 4% Empaques, 3% Mantenimiento y otros.

De acuerdo a las condiciones de producción y del mercado internacional, los principales retos y barreras que enfrenta el sector camaronero son, según su importancia: 1) controlar las enfermedades, 2) los altos costos del alimento concentrado, 3) precios bajos en el mercado internacional, 4) calidad de semillas y disponibilidad, 5) acceso a material libre de enfermedades, 6) elevados costos del combustible, 7) químicos prohibidos y el uso de antibióticos, 8) elevados costos de producción por mano de obra, energía y otros, 9) manejo ambiental, 10) acceso a créditos, 11) barreras de comercio internacional, 12) infraestructura, 13) coordinación del mercado, 14) conflictos con otros usos (ICA, 2012).

4.3 Análisis del Ciclo de Vida de productos pesqueros

Por definición, el análisis del ciclo de vida (ACV) es la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema de producción a través de su ciclo de vida (ISO, 2006) (figura 3). Dentro de los impactos ambientales que se deben considerar están el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas. Además de las preocupaciones con la sostenibilidad biológica de las actividades pesqueras, existe un interés creciente en conocer cuál es la contribución de la producción de alimentos a los impactos ambientales mundiales, especialmente al cambio climático.

El ACV comprende recopilar la información de los intercambios que se asocian al proceso unitario (unidad funcional), lo cual corresponde a la unidad más pequeña del sistema del producto para el cual se recolectando la información. Las entradas corresponden a materiales o energía que ingresan al sistema del proceso unitario.

Las salidas son materiales o energía que salen del sistema del proceso unitario. Las entradas y salidas (intercambios) deben ser descritas en términos de intercambios ambientales, y en muchos casos como flujos, los cuales se representan como productos que entran o salen de un sistema del producto hacia otro.

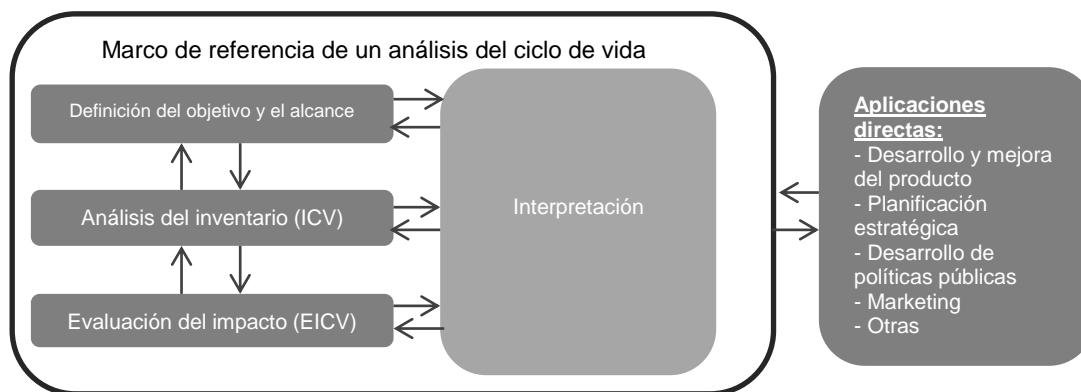


Figura 3. Etapas de un ACV (ISO, 2006).

El análisis del ciclo de vida (ACV) tiene una metodología definida, lo cual permite la comparación y homologación de los estudios que se realizan sin importar la ubicación geográfica. Existen procedimientos estandarizados para evaluar y calcular algunos de los impactos ambientales potenciales de un producto (ISO, 2006), pero los impactos biológicos no están estandarizados aún. Varios estudios han incorporado aspectos biológicos en el ACV, como también aspectos socio-económicos (Kruse *et al.*, 2009; Ziegler and Valentinsson, 2008; Ziegler *et al.*, 2011).

El consumo de energía es uno de los impactos más importantes que tiene toda la cadena de valor. Hay tres procesos que demandan gran cantidad de energía: el cultivo, el transporte y el enfriamiento. El enfriamiento es muy importante en las etapas de distribución y venta de los productos, mientras que el transporte es muy importante en la etapa de uso y exportación de los productos (Ramírez y Duque, 2008).

Desde los años 90, el ACV de productos pesqueros (mejillones, bacalao, salmónidos, atún, camarón, entre otras) se han desarrollado en diferentes pesquerías industriales (Farmery *et al.*, 2015; Hospido and Tyedmers, 2005; Parker *et al.* 2014; Pelletier and Tyedmers, 2010; Thrane M., 2004 a y b; Ziegler and Valentinsson, 2008; Ziegler *et al.*, 2003) y en granjas camaroneras (Anh *et al.* 2010; Cao *et al.*, 2011; Kautsky *et al.*, 1997; Mungkung *et al.*, 2006; Ramírez y Duque, 2008), pero ninguno de ellos se ha adelantado en Colombia. En términos generales, los estudios en estas pesquerías industriales arrojan dos grandes

conclusiones, que la etapa de la pesca de los animales es la que presenta los mayores impactos ambientales en todas las categorías evaluadas, y que existen diferencias grandes de acuerdo al método que se utilice para pescar una misma especie (Ziegler *et al.*, 2011, Winther *et al.* 2009). Los estudios en las camarónicas señalan que la etapa de cultivo en las piscinas es la que demanda mayor cantidad de recursos, y a su vez es la de mayor impacto ambiental (Cao *et al.*, 2011; Kautsky *et al.* 1997; Mungkung *et al.*, 2006; Ramírez y Duque, 2008). Algunos estudios comparativos entre pesca artesanal de camarón y pesca industrial de camarón señalan que son más impactantes los procesos industriales principalmente por el alto consumo de combustibles fósiles (Ziegler *et al.*, 2011).

4.4 Certificaciones y etiquetas ambientales de productos pesqueros

Para abordar el tema de las certificaciones de desempeño ambiental, durante la última década el eco-etiquetado se ha ido introduciendo en los productos pesqueros y cada vez se expande más su uso. En los mercados europeos y estadounidenses, las grandes cadenas distribuidoras y comercializadoras de productos se han puesto metas para incrementar la venta de productos certificados, por alguna entidad, que garanticen que se han tomado medidas para disminuir el impacto ambiental generado durante su producción (Ziegler *et al.*, 2011). Las etiquetas ambientales que existen actualmente para productos pesqueros se concentran en los aspectos biológicos de la pesca, como por ejemplo el impacto en las poblaciones de las especies objetivo y no objetivo, manejo de las pesquerías y efectos sobre los ecosistemas (Fao, 2009). Para que las industrias puedan acceder a las certificaciones deben proporcionar información específica relacionada con la operación de la misma, lo cual requiere programas completos de monitoreo y seguimiento de sus actividades, por ejemplo, el monitoreo de la pesca acompañante. La demanda por productos eco-etiquetados se ha incrementado en varios países desarrollados. En el mercado colombiano, y en general en los países en desarrollo, las iniciativas de eco-etiquetado en el sector pesquero son incipientes, principalmente por la ausencia de la información necesaria (registros detallados de operación) y por el poco conocimiento que se tiene de las posibilidades de recibir un precio más elevado por demostrar un bajo impacto durante la elaboración del producto.

5. MÉTODOS

Para abordar el ACV se van a seguir los requisitos y directrices descritos en la NTC ISO 14040 (ver Figura 5).

5.1 Definición de los límites del ACV

Los principales actores involucrados en la cadena de valor de los productos de camarón son:

- Los pescadores de camarón
- Los laboratorios de producción de larvas de camarón
- Las empresas de acuicultura continental
- Las empresas procesadoras de productos pesqueros

El ciclo de vida de los productos de camarón se puede dividir en las siguientes etapas:

- Fabricación de materias primas (incluye transporte de algunos insumos a los puntos de producción)
- Producción de camarón en cultivo o en pesquería industrial
- Procesamiento del producto (incluye transporte desde los sitios de producción)
- Distribución y transporte hasta puerto de destino o ciudad de destino

En el presente estudio no se consideran las etapas de uso y disposición final, sino que se incluye todo el ciclo de vida desde *“la cuna hasta el puerto de destino”* en el caso de los productos de exportación (España), y desde *“la cuna hasta la ciudad de Bogotá”* en el caso de los productos para consumo nacional (figura 4). El principal destino del camarón de exportación es España, por lo tanto se escogió este país para realizar el análisis.

Los objetos de estudio son los productos de camarón originados en: 1) la pesca industrial de arrastre de camarón de aguas someras (CAS) que operan en el Caribe colombiano. Este grupo se denota más adelante con la sigla “CAS_CA”, 2) la pesca industrial de arrastre de camarón de aguas someras que operan en el Pacífico colombiano. Este grupo se denota más adelante con la sigla “CAS_PA”, 3) la pesca industrial de arrastre de camarón de aguas profundas (CAP) que operan en el Pacífico colombiano. Este grupo se presenta con la sigla “CAP_PA”, 4) las granjas camaroneras que están en la bahía de Barbacoas, Bolívar, Colombia (este grupo se presenta como “CULTIVO”). Para los fines comparativos, se asumen cuatro sistemas de producción diferentes. Una vez ingresan en la etapa de procesamiento, el manejo de los productos es muy similar. El transporte de los productos finales, ya sea a España o a Bogotá, se incluyen como la última etapa del ciclo de vida bajo estudio.

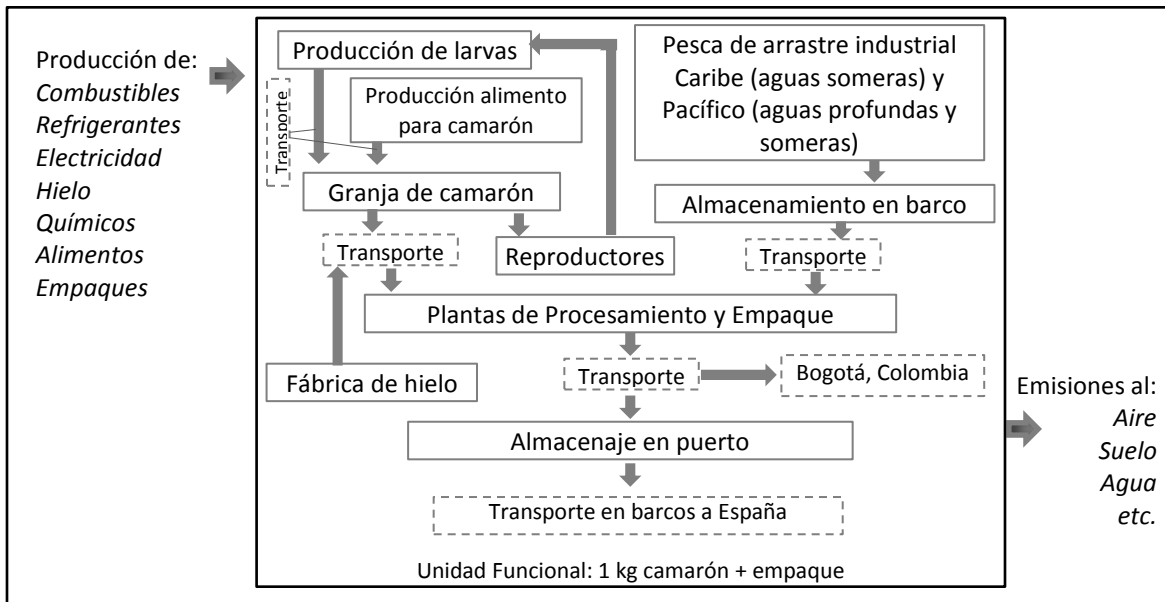


Figura 4. Límites del sistema para un ACV desde la cuna hasta el puerto de destino o hasta la ciudad de destino de los productos de camarón procesados en Colombia.

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, más el empaque que lo acompaña (bolsa plástica + caja de cartón). Con base en esta unidad funcional, se identificaron todos los registros de entrada y salida de los procesos involucrados.

El sistema de estudio inicia con la extracción y producción de materiales utilizados en la acuicultura y en la pesca industrial, lo cual incluye las redes de pesca, los combustibles, los refrigerantes, el concentrado para los camarones, los fertilizantes, el hielo, entre otros. Se incluyen todos los procesos asociados al cultivo del camarón (producción de larvas, maduración de larvas, engorde en piscinas y cosecha) y a la pesca industrial de arrastre (faena, almacenamiento y desembarco).

Para producir las larvas de camarón es necesario contar los camarones reproductores. Las piscinas bajo estudio producen los reproductores en los mismos estanques donde se engordan los camarones que van para procesamiento. Entonces, con base en los impactos asociados a la etapa engorde de los camarones, se estimó el impacto para producir los reproductores. Adicionalmente se incluyó un transporte de reproductores desde la finca camaronera en la Bahía de Barbacoas (Bolívar, Cartagena) hasta el laboratorio ubicado en Tolú, Sucre.

Durante la etapa de larvicultura, 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, 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). También es importante mencionar que cuando se producen las larvas de camarón en el laboratorio, se deben trasladar hasta la finca que tiene las piscinas receptoras. En el caso del presente estudio, se consideró el recorrido que se hace desde el laboratorio (Tolú, Sucre) hasta la bahía de barbacoas (Bolívar, Cartagena) en un camión que utiliza diesel, con una eficiencia de 15 km/gal. También se utiliza oxígeno en pipetas para mantener en muy buen estado de aireación los tanques donde se transportan las larvas.

Luego se pasa a la etapa de procesamiento del camarón, donde se limpia, clasifica y empaqueta el producto final. Finalmente los productos son transportados a los muelles de embarque o hacia el interior del país. Algunos productos se embarcan hasta España 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 9).

Los límites geográficos corresponden a las actividades que se realizan en Colombia, en la región central y norte del Caribe colombiano (cultivo de camarón en piscinas, camarón arrastrado en aguas someras y la etapa de procesamiento) y en la región central y sur del Pacífico colombiano (camarón arrastrado en aguas someras y en aguas profundas). Las únicas actividades que se incluyen en el inventario y que se desarrollan en otros lugares son la producción del alimento balanceado (Ecuador), el transporte en barco del alimento balanceado (Guayaquil - Ecuador hasta Cartagena - Colombia) y el transporte de los productos terminados desde Cartagena hasta España, o desde Cartagena hasta Bogotá.

5.2 Impactos Ambientales a Evaluar

Existen una gran cantidad de impactos ambientales asociados al ciclo de vida de los productos de camarón. Ya que actualmente los esfuerzos internacionales están concentrados en mitigar el cambio climático, determinar la sostenibilidad biológica de los productos pesqueros, mejorar el uso de recursos y disminuir la emisión de componentes tóxicos para la salud humana y el medio ambiente, en el presente estudio se incluye las siguientes categorías de impactos ambientales potenciales (tabla 2):

Tabla 2. 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 | Huijbregts, 1999a |
| Eutrofización | PO ₄ equivalente | Heijungs et al., 1992 |
| Demanda acumulada de energía | MJ | Frischknecht and Jungbluth, 2003 |
| Toxicidad acuática, humana, terrestre | 1,4-DB equivalente | Huijbregts, 1999b |
| Potencial de deterioro del ozono | CFC-11 equivalente | Heijungs et al., 1992 |
| Daño en el lecho marino* | m ² | NA |
| Pesca acompañante* | Porcentaje | NA |

* Exclusivos de la pesca industrial de arrastre camarónero.

Es importante notar que el impacto de “cambio de uso de la tierra” no se contempla en este estudio. Este impacto se asocia principalmente al calentamiento global, pues el manglar que fue eliminado para establecer un estanque para camarones era un reservorio de carbono que fue liberado a la atmósfera. Sin embargo, los estanques bajo estudio tienen más de veinte años de transformación, y de acuerdo con el IPCC (2006) ya no es necesario considerarlo porque transcurrió mucho tiempo desde su transformación.

Los índices descriptores de estos impactos ambientales individuales no tienen una unidad de relación directa que permita reunirlos en una sola escala de análisis, entonces se utilizó un método que agrupa varios coeficientes de ponderación que permite estimar un solo valor de impacto ambiental total basado en los 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, 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 valor es el indicador, mayor valor es el impacto ambiental. Este método considera tres tipos de impactos para agrupar los diferentes efectos negativos que se generan en el medio ambiente: *Salud Humana, Calidad de Ecosistema y Consumo de Recursos*:

- Los impactos a la salud humana se presentan en unidades DALY, que significan 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. Los efectos que se incluyen son: efectos cancerígenos y respiratorios, cambio climático, radiación ionizante (nuclear) y disminución de la capa de ozono.

- Los impactos a la calidad del ecosistema se presentan en unidades PDF*m2yr, que significan Potentially Disappeared Fraction of plant species (pérdida potencial de especies de plantas), e incluye el efecto sobre la diversidad de especies, especialmente en las plantas vasculares y los organismos sencillos. Los impactos que se incluyen son: ecotoxicidad, acidificación/eutroficación y uso de la tierra (la etapa de cultivo de camarón no incluye este indicador).
- El impacto a los recursos se presenta en unidades MJ surplus energy, que expresa el exceso de energía requerida en el futuro para extraer mineral de baja calidad y combustibles fósiles (Goedkoop *et al.*, 1999).

La mayoría de estos impactos se generan en diferentes etapas del ciclo de vida de los productos de camarón, como lo son la extracción de materias primas, la fabricación, el transporte del producto, el uso y la disposición final. En este método los procesos que requieren petróleo, gas o algunos minerales se incluyen en el grupo de impacto a los recursos. Los productos de producción agrícola se reflejan en el efecto uso de la tierra, y las sustancias que tienen un periodo de vida corto contribuyen menos al indicador que aquellas que tienen un periodo de vida largo.

Los valores de los 11 eco-indicadores son cifras sin dimensión, y como base utilizan “punto Eco-indicador” (Pt). La escala de valores está definida de tal forma que 1 Pt represente una centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano europeo medio (este valor se calcula dividiendo la carga ambiental total en Europa entre el número de habitantes y multiplicándolo por 1000 - *factor de escala*) (Goedkoop *et al.*, 1999).

Algunas sustancias o elementos pueden generar un impacto ambiental que puede contribuir a uno de los efectos considerados por el Eco-indicador 99, y como tal, tendrán un coeficiente de equivalencia que permita estimar su equivalencia con una sustancia de referencia de cualquiera de los 11 efectos negativos que impactan el medio ambiente considerados en el método. La sumatoria de las cantidades de estos elementos multiplicado por sus respectivas equivalencias representa el impacto total de la etapa evaluada (Goedkoop *et al.*, 1999).

5.3 Recopilación de Datos

Cada proceso representa entradas y salidas, como se puede observar en la figura 5. En el presente estudio, 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 datos fueron estimados a partir de información secundaria (insumos, operación y producción de las faenas en pesquerías industriales de arrastre, empresa

productora de alimento balanceado de camarón) y otros a partir de bases de datos internacionales de ACV (los impactos generados por las empresas fabricantes de insumos utilizados).

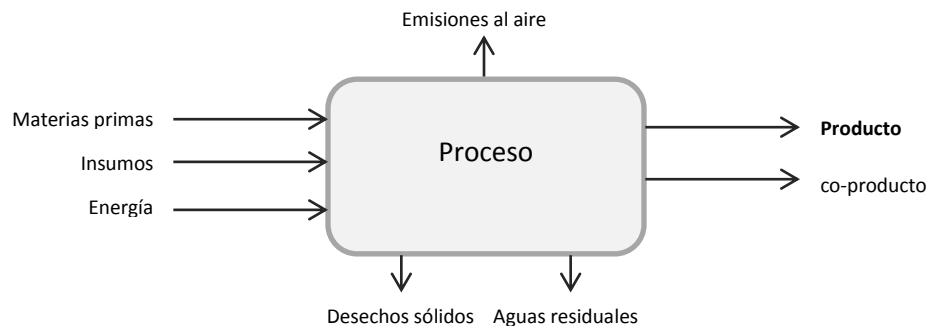


Figura 5. Esquema de un proceso desde la perspectiva del ACV.

En cada proceso que fue identificado en el ciclo de vida se obtuvo y analizó la siguiente información:

- Las entradas de energía, de materia prima, entradas auxiliares, otras entradas físicas.
- Los productos, co-productos y residuos generados.
- Las emisiones al aire, los vertidos al agua y el suelo.
- Otros aspectos ambientales.

Los insumos que se utilizan en los procesos son fabricados en diferentes lugares. En el caso de los que se producen en Colombia, los inventarios del ciclo de vida no están disponibles o no existen. Entonces para poder considerar esta etapa de fabricación en el presente estudio, fue necesario utilizar bases de datos internacionales con uso privado o libre (ECOINVENT v.3, USLCI y LCAFood Denmark). También es importante notar que muchos materiales son importados, así que las bases de datos son una fuente de información apropiada.

Los datos de los procesos corresponden a las actividades productivas de algunas empresas colombianas que operan en la región Caribe (una fábrica de hielo, un laboratorio de larvicultura, una granja camaronera y una empresa de procesamiento de camarón) y de estudios e investigaciones de las faenas de la pesca industrial de arrastre de camarón en las regiones del Caribe (camarón aguas someras CAS_CA) y el Pacífico colombiano (camarón de aguas someras CAS_PA, y camarón de aguas profundas CAP_PA) (Díaz *et al.* 2011; Zúñiga *et al.* 2005).

Las cuatro empresas del Caribe bajo estudio llevan registros mensuales del consumo 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, es solo una aproximación al escenario del laboratorio colombiano. La fábrica de hielo no lleva control de las aguas residuales, y por lo tanto, no fue posible considerar este residuo en el estudio. Las aguas residuales de las piscinas de camarón fueron calculadas a partir de unos muestreos semestrales en las 2 bocatomas del reservorio principal del agua y en las 3 desembocaduras de los canales que recogen las aguas de las salidas de las piscinas que realiza una empresa especializada y certificada de la ciudad de Cartagena. Los datos utilizados corresponden a las actividades realizadas durante todo el año 2012 y los primeros 6 a 10 meses de 2013, dependiendo de la empresa.

Las actividades de arrastre de camarón fueron tomadas de diferentes estudios, pues no fue posible obtenerla directamente con los pescadores. Se utilizaron reportes de los promedios de los insumos utilizados en cada faena y las producciones de camarón obtenidas. Para el CAP_PA y el CAS_PA se utilizaron registros del año 2009 (Díaz *et al.* 2011) (promedios de captura e insumos invertidos de acuerdo con los registros de toda una flota camaronera del pacífico monitoreada por el INVEMAR y otras instituciones), mientras que para el caso del CAS_CA se utilizaron los registros del año 2005 de una flota del Caribe (Zúñiga *et al.* 2005). Ya que estas investigaciones representan diferentes escenarios de pesca de arrastre de camarón, son una muestra apropiada para presentar la variación y sensibilidad del sistema a los cambios en las variables de operación y rendimiento.

Para relacionar el número de larvas necesarias para cosechar 1 kg de camarón de las piscinas, se consideró la producción de 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.

Los datos de producción de alimento balanceado para camarones (industria ecuatoriana) fueron obtenidos del estudio de Ramírez y Duque (2008), y otros insumos químicos, agrícolas y combustibles, que son producidos en China, Alemania, Colombia, Ecuador, EEUU, entre otros países, fueron obtenidos de bases de datos internacionales (como ECOINVENT v.3, US Life Cycle Inventory y LCA of Food Denmark). Para comparar el desempeño ambiental de los productos de camarón originados en Colombia se utilizaron las investigaciones que han sido realizadas en Australia, Tailandia, Ecuador, Brasil y Dinamarca.

Los datos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociado 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 utilizaron 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 gr CO₂e/kWh) (UPME, 2012).

La información relacionada con las etapas de transporte se estimó con base en la ciudad de origen del insumo, el lugar de destino y el vehículo utilizado. En el caso de 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 (Sucre) y la Bahía de Barbacoas (Bolívar) 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 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). Y para el transporte de los productos de camarón hasta Bogotá se calculó a partir del consumo promedio de combustible del camión utilizado para esto y la distancia de recorrido total, considerando el peso transportado.

Para recoger los datos de todos los procesos involucrados se utilizaron algunos formatos básicos sugeridos por la NTC-ISO 14044 (2007) como *hojas para la recopilación de datos*.

5.4 Asignación

La asignación es un método que se aplica cuando se presenta la situación de que a partir de un proceso se originan dos o más productos (figura 10), y no es posible definir cuál es el impacto específico (o cantidad de recursos invertidos) asociado a cada producto. Cuando se presenta esta situación, lo ideal es tratar de realizar una expansión del sistema (diferente de asignación), lo cual busca agregar procesos que producen exclusivamente el producto adicional (co-producto) al sistema para poder identificar flujos (insumos) que serían evitados, y de esta

manera se podría cuantificar el impacto ambiental atribuible exclusivamente al producto de interés. En este estudio no fue posible utilizar este método, sino que se definió una regla general para asignar los impactos cuando un proceso tuviera como resultado más de un producto. El valor económico de los productos finales es la regla de asignación para este estudio, o sea, de acuerdo con el valor de cada subproducto y su contribución a los ingresos económicos de toda la producción del proceso, se definió el porcentaje de participación en los impactos del proceso. Para el caso de las pesquerías industriales que capturan camarones y otros animales, ya que el camarón es el producto más valioso de la pesca de arrastre, representado en más del 94% de los ingresos de una faena, el valor económico es el criterio de asignación que mejor refleja el esfuerzo invertido. De una manera similar, en el proceso de larvicultura se comercializan dos estadios de desarrollo del camarón: nauplios y larvas. Una larva tiene 3 veces el valor comercial de un nauplio y alrededor de 20 días de nacido, mientras que el nauplio tiene alrededor de 10 días. Entonces, el valor económico también representa un criterio apropiado para distribuir la carga ambiental del proceso de larvicultura. De esta manera, los resultados que se presentan relacionados con los procesos que tienen subproductos, representan el 94% de los impactos totales de esos procesos.

5.5 Cálculo de Datos y Métodos de Evaluación

El proceso de cálculo empezó con relacionar todas las entradas y salidas de cada proceso con uno de los productos de ese proceso. Luego se calcularon los flujos asociados a la unidad funcional definida en este estudio, 1 kg de camarón. Para procesar todos los datos del inventario se utilizó el software SIMAPRO 8 con licencia PhH aportada para esta investigación por la entidad desarrolladora (PRé, 2012), utilizado a nivel mundial para realizar análisis de ciclo de vida debido a su interoperabilidad con las diferentes bases de datos que existen sobre estudios de ACV y su facilidad de manejo. Ya que el ciclo de vida requiere información corriente arriba y corriente debajo, que hace referencia a procesos que suceden antes en la cadena de valor y después en la cadena de valor, de las industrias que se consideraron en este estudio fue necesario apoyarse de investigaciones que están reportadas en estas bases de datos (ECOINVENT v3, LCA of Food_Denmark y United States Life Cycle Inventory) y permiten suplir la información asociada principalmente a la fabricación de los insumos que se utilizan en los sistemas de producción de camarón en Colombia, como por ejemplo los combustibles, plásticos, químicos, entre otros.

El daño en el lecho marino se estimó tomando como referencia el área que es arrastrada o barrida por las redes durante las faenas, considerando las dimensiones típicas de las redes, la velocidad promedio de las embarcaciones, las horas de arrastre diario y el número promedio de días de la faena. Multiplicando cada uno de estos factores, se estimó la extensión en metros cuadrados que es

afectada durante la pesca en el Pacífico (Díaz *et al.* 2011) y en el Caribe (Zúñiga *et al.* 2005). En ninguno de los estudios reportan el número de barcos que fueron utilizados para estimar los resultados ni los rangos de variación que se presentaron en sus unidades de muestras, entonces no se incluye esta información en esta investigación. Sin embargo, los escenarios encontrados en cada pesquería (una para el Caribe y dos para el Pacífico) son diferentes y permiten evaluar la sensibilidad de los indicadores de desempeño ambiental ante condiciones diferenciales de operación (rangos de variación).

Para estimar la pesca acompañante del camarón, que es todo aquello que se pesca diferente al camarón, como peces, crustáceos, moluscos, cnidarios, equinodermos, elasmobranquios, poríferos y algas, se consideraron los estudios que reportan esta información y están compilados por el MADS (2011) y el estudio de Díaz *et al.* (2011). La información utilizada fue colectada durante los años 2004 a 2009 para el Caribe y 2007 a 2009 para el Pacífico. Se consideró la relación del volumen de pesca acompañante con el volumen de camarón capturado para definir el impacto de las pesquerías de arrastre sobre las poblaciones de otras especies. La relación de pesca acompañante por cada kilogramo de camarón capturado denota el impacto en cuestión de peso vivo acompañante extraído para capturar el camarón.

Para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se utilizó el estándar establecido por las Directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2006) para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Para calcular las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), dióxido de azufre (SO₂) e hidrofluorocarbonos (HFC) se utilizó el método que consiste en combinar la información sobre el alcance hasta el cual tiene lugar una actividad determinada durante el ciclo de vida de los productos de camarón (denominado datos de la actividad o AD, del inglés activity data) con los coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones por actividad unitaria. Se denominan factores de emisión (EF, del inglés, emission factors). Por consiguiente, la ecuación básica es:

$$\text{Emisiones} = \text{AD} * \text{EF}$$

En el caso del consumo de combustibles, se identificó la cantidad de ACPM, gasolina, Gas Licuado de Petróleo (GLP) y gas natural que se utilizó en cada etapa del ciclo de vida, lo cual corresponde al dato de la actividad. La cantidad de combustible se multiplicó por la masa de dióxido de carbono, óxido nitroso y metano que es emitida por cada unidad de combustible (factor de emisión). Este mismo procedimiento se aplicó para las diferentes fuentes de emisión de gases de efecto invernadero que se identificaron en el ciclo de vida de los productos de camarón (IPCC, 2006).

El potencial de deterioro del ozono se estimó a partir del modelo desarrollado por la Organización Meteorológica Mundial – WMO (por sus siglas en Inglés) y que está incluido en el método CML 2001 desarrollado por el Centro de Ciencias Ambientales (CML) de la Universidad de Lieden en Holanda (disponible en www.cml.leiden.edu). Este modelo define el potencial de deterioro de ozono de diferentes gases en relación al deterioro que produce el gas triclorofluorometano (CFC-11). Cada gas que deteriora el ozono es multiplicado por su factor de equivalencia con el CFC-11, y la sumatoria de estos valores representa el indicador (Heijungs *et al.*, 1992). Para el estudio se consideraron los gases HCFC y CFC que se emiten en las diferentes etapas del ciclo de vida.

La acidificación se estimó según el método propuesto por Huijbregts (1999a). Los gases ácidos que se emiten o se forman por reacciones en la atmosfera resultan capturados por la lluvia produciendo lluvia ácida. Para los cálculos, se estimaron las emisiones de NO_x, HCl, NH₃ y SO₂ durante las diferentes etapas del ciclo de vida, y cada emisión fue multiplicada por un factor de equivalencia con el potencial de acidificación del SO₂.

La toxicidad humanos, terrestre, agua dulce y agua marina fue estimada según el método de Huijbregts (1999b). La emisión de algunas sustancias puede tener efectos tóxicos, y esta toxicidad tiene una equivalencia con el efecto tóxico del 1,4 diclorobenceno. Para efectos de los cálculos, cada una de las sustancias tóxicas emitidas durante el ciclo de vida fue multiplicada por su factor de equivalencia en 1,4 diclorobenceno, y a su vez, se define si las emisiones afectan al agua dulce, al agua marina, a zonas terrestres o a la salud humana.

La eutrofización se estimó utilizando el método de Heijungs *et al.* (1992). La contribución potencial de un producto camaronero a la eutrofización es el resultado de las entradas de nutrientes que provocan un incremento en la producción de biomasa en los ecosistemas acuáticos. Se consideraron las emisiones y deposiciones de sustancias que contienen Nitrógeno o Fósforo. La ecuación que describe este método es la siguiente:

$$I_{Eu}(a) = \sum_{j=1}^n x_j(a) * Eqv_j$$

Donde:

$x_j(a)$ = entrada efectiva (tasa) de sustancia j al sistema a

Eqv_j = factor de equivalencia de la sustancia j

La demanda acumulada de energía (CED por sus siglas en Inglés) se estimó utilizando el método descrito por Frischknecht and Jungbluth (2003). Este método considera la cantidad y origen de la energía que se utiliza durante las diferentes

etapas del ciclo de vida. En el caso del ciclo de vida de los productos de camarón, se identificó la cantidad de combustibles requeridos para los diferentes procesos y de acuerdo con el poder calorífico específico se estimó la energía utilizada. La sumatoria de la energía utilizada representa la demanda acumulada de energía, y el origen de la misma se dividió en fuentes no renovables (fósil, nuclear y biomasa) y fuentes renovables (biomasa, eólica, solar, geotérmica e hidráulica). La información de cada proceso estaba relacionada con el total de una producción, ya fuera durante un mes, seis meses o un año. Para homologar los análisis se relacionó toda la información con la unidad funcional de este ACV que corresponde a un kilogramo de camarón entero (más el empaque acompañante).

5.6 Análisis de Sensibilidad y Escenarios de Producción para los Productos de Camarón

La incertidumbre de la información utilizada en esta investigación no fue posible estimarla debido a la naturaleza de los datos, pues la información de las empresas participantes correspondía a los valores totales para producir una cantidad determinada de kilogramos de camarón. No se pudo obtener información de los rangos de variación (solamente en algunos insumos utilizados durante el engorde de los camarones) porque solo se tenía un dato relacionado con un volumen de producción. Los estudios utilizados para conocer las actividades de la pesquería industrial y la demás fuentes de información secundaria tampoco reportan los rangos de variación ni el número de muestras para presentar los resultados. Por este motivo no se cuenta con series de tiempo, ni rangos de variación ni intervalos de confianza. Solo en el caso de las piscinas de camarón se consideraron 111 turnos de producción completos, que permitieron estimar el rango de variación en algunos de los insumos utilizados (alimento balanceado, químicos orgánicos e inorgánicos). La variación identificada para el alimento balanceado se considera para analizar la sensibilidad de los impactos ambientales evaluados, mientras que la variación en los demás no fue considerada debido a su baja contribución al total de los impactos (<5%).

Sin embargo, la metodología ISO 14040 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 pesquerías industriales, el cultivo de camarón en piscinas y el procesamiento de camarón. De esta manera se pudo evidenciar que tan sensible son los resultados a una variación en los datos que se utilizaron. Para este análisis se modificó la información de las actividades que mayor impacto generan.

Los escenarios plantean la disminución y sustitución de los combustibles fósiles debido a que estos recursos son altamente impactantes y no son renovables. También se consideran las alternativas para hacer uso de energía solar, eliminar el uso de pesticidas, sustituir el gas refrigerante R22 controlado por el Protocolo de Montreal, la sustitución de la harina de pescado como principal fuente de proteína del alimento balanceado y algunos otros cambios que se describen en la sección de resultados.

6. RESULTADOS

6.1 Pesca Industrial de Arrastre en el Caribe y en el Pacífico.

La primera etapa del ciclo de vida de los productos de camarón originados en pesca industrial de arrastre se encuentra asociada a la fabricación de los insumos que son utilizados durante las faenas.

La segunda etapa en el ciclo de vida es la faena de los barcos pesqueros. Sin importar la ubicación geográfica de las faenas, bien sea en el Caribe o en el Pacífico, se utilizan básicamente los mismos insumos: diesel, redes de nylon, aceite para los motores, refrigerante r22, agua dulce y bisulfito de sodio (conservante del camarón) (tabla 3).

En la pesca de arrastre, la fauna acompañante del camarón representa al menos el 70% del volumen total de pesca, pero contribuye con cerca del 4% del valor comercial de la faena. El daño generado en otros grupos de especies es el más alto de todas las pesquerías industriales, pues en el Caribe se tiene registro de al menos 273 especies de fauna y 16 de macroalgas afectadas, y en el Pacífico se tienen registros de 555 especies de fauna. En los reportes de otras investigaciones se encontró que alrededor del 50% del volumen total de la pesca es descarte, y como tal, solo contribuye a generar una gran mortandad en las comunidades marinas (MADS, 2011; Díaz *et al.*, 2011). La mayor proporción de pesca acompañante se presenta en el CAS_PA (1:14), seguido del CAS_CA (1:12) y el CAP_PA (1:9) (tabla 3, figura 11).



Figura 6. Pesca acompañante en pesquería de camarón de aguas someras del Caribe. a. Peces de varias especies. b. Langosta y especie de camarón objetivo. (Fotos de Juan Eduardo Hernández).

En la tabla 3 se puede observar los valores asociados a las hectáreas arrastradas para capturar un kilogramo de camarón en cada pesquería. La mayor área arrastrada la presenta el CAS_PA, con cerca de 7,8 hectáreas arrastradas por cada kg camarón capturado, mientras que el CAS_CA arrastra alrededor de 2,6 hectáreas/kg camarón, y el CAP_PA 0,8 hectáreas/kg camarón. El CAS_PA es la que menor captura de camarón presentó en el estudio, pero el esfuerzo invertido es muy similar en todas las pesquerías.

Tabla 3. Consumo de recursos en la pesca industrial de arrastre. Camarón de aguas someras Caribe (CAS_CA), Camarón aguas someras Pacífico (CAS_PA), Camarón aguas profundas Pacífico (CAP_PA) entre 2004 y 2009.

| INSUMOS FAENA DE PESCA INDUSTRIAL | UNIDAD | VALOR / kg CAMARÓN | | |
|-----------------------------------|----------------|--------------------|--------|--------|
| | | CAP_PA | CAS_CA | CAS_PA |
| Camarón capturado | Kg | 1 | 1 | 1 |
| Pesca Acompañante | Kg | 9 | 12 | 14 |
| Área de arrastre | m ² | 8429 | 26740 | 78125 |
| Diesel colombiano | L | 2,5 | 17,5 | 15,5 |
| Nylon (polietileno) | Kg | 0,0023 | 0,0077 | 0,0225 |
| Aceite motor | Kg | 0,017 | 0,115 | 0,102 |
| Gas Freón 22 | Kg | 0,0016 | 0,0052 | 0,0153 |
| Bisulfito | Kg | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 |
| Agua dulce | L | 1,09 | 3,64 | 10,63 |

En la tabla 3 se pueden apreciar los principales insumos que se utilizan en las faenas de pesca de camarón. La mayor cantidad de insumos para capturar 1 kg de camarón lo presenta el CAS_CA, seguido del CAS_PA (representado por la suma de todos los valores de la tabla que se asocian a insumos). El diesel es el

recurso más costoso y el que tiene mayor impacto asociado, debido a su producción y a su uso. El nylon corresponde a las redes que se utilizan y se desgastan en cada faena (definida, según los reportes de mantenimiento, por un desgaste en las redes del 0,01% en cada faena). El gas freón r22 es un hidrofluorcarbonado (HCFC) utilizado en los sistemas de congelación que tiene un potencial de calentamiento global 1810 veces más que el CO₂, y el cual es considerado como un insumo que debe ser adquirido para cada faena. El bisulfito de sodio lo utilizan para sacrificar y conservar el camarón capturado, el cual es un químico que evita la descomposición rápida de los tejidos blandos del camarón y que se oscurezcan, y también desinfecta en alguna medida los animales. El camarón no puede llegar a la planta de procesamiento con una concentración de bisulfito de sodio en los tejidos mayor de 80 ppm, entonces este valor de referencia se utilizó como la cantidad de bisulfito por kg de camarón que se utiliza en los barcos pesqueros.

En la tabla 4 se puede apreciar que el mayor impacto ambiental potencial, previo a la etapa de procesamiento del camarón capturado, se genera en la pesca de camarón de aguas someras del Caribe, seguido del camarón de aguas someras del Pacífico, el camarón de aguas profundas del Pacífico.

La contribución al calentamiento global de las tres pesquerías industriales fue 11.3, 66.5 y 78.9 kg CO₂e/kg camarón capturado en CAP_PA, CAS_CA y CAS_PA respectivamente. Manteniendo el mismo orden, las principales fuentes de emisión son la quema del diesel (61, 72 y 53,8%), las fugas del gas freón R22 (25, 13 y 34%), la fabricación del diesel (11, 13 y 10%), la fabricación del R22 (0.9, 0.5 y 1.2%) y la fabricación del aceite para motor (0.18, 0.2 y 0.15%).

La demanda acumulada de energía en cada pesquería varió en gran medida, pues se encontró que el CAP_PA presenta 123,6 MJ/kg camarón, el CAS_CA 854,7 MJ/kg camarón y el CAS_PA 759,3 MJ/kg camarón. El insumo que aporta una mayor energía acumulada es la fabricación y el uso del ACPM, generando más del 99% de la demanda acumulada de energía en todas las pesquerías analizadas.

El potencial de acidificación atmosférica fue de 0.0295, 0.203 y 0.181 kg SO₂e/kg camarón en CAP_PA, CAS_CA y CAS_PA respectivamente. La principal fuente de emisión de SO₂e es la quema de diesel (70%), y le siguen los procesos de fabricación de diesel (28,7%), aceite para motor (0,4%), gas freón R22 (0,4%), redes de nylon (0,24%) y bisulfito de sodio (0,06%). Las emisiones asociadas a la quema de diesel están relacionadas con el contenido de azufre del combustible, el cual puede variar entre 50 y 500 ppm. Los procesos de fabricación del nylon, el bisulfito, el r22 y el ACPM también generan emisiones de compuestos con azufre, y estas son emitidas directamente en las instalaciones donde se fabrican.

El potencial de eutrofización fue 0.0007 kg PO_{4e}/kg camarón (CAP_PA), 0.004 kg PO_{4e}/kg camarón (CAS_CA) y 0,004 kg PO_{4e}/kg camarón (CAS_PA). Similar al potencial de acidificación, este indicador tiene su mayor contribución asociada con los procesos de fabricación de los insumos utilizados en las faenas. En promedio para las pesquerías industriales, la fabricación de diesel aporta el 95%, de las redes de nylon 2,4%, del aceite para motor 1,6%, del R22 1% y del bisulfito de sodio 0,05%. Las emisiones de fosfatos están muy relacionadas con el uso y desperdicio de detergentes y con las aguas residuales que contienen materia orgánica generadas durante los procesos de fabricación de los insumos. A pesar de que durante las faenas también se generan vertimientos de aguas servidas al mar, no fue posible cuantificar su contribución al potencial de eutrofización por falta de información.

El potencial de deterioro en la capa de ozono es generado principalmente por el gas HFC R22 (contribuye con el 88% del deterioro de la capa de ozono estimado para cada una de las pesquerías), el cual es liberado debido al uso de los sistemas de refrigeración en los barcos camaroneros. La fabricación de los combustibles representa el 11% del indicador para cada pesquería y el aceite para motor aporta el 0,1%. El nylon y el bisulfito de sodio tienen asociado menos del 0,01% del impacto en cada pesquería.

La toxicidad es un indicador que se agrupa en tres grupos: acuática (marina y dulce), terrestre y humana. La asignación de cada elemento a un grupo se hace de acuerdo al lugar que puede afectar. En la tabla 4 se describe el total de estos indicadores para las tres pesquerías industriales. En la toxicidad humana la producción de diesel aporta en promedio el 97% de este impacto, seguido de la fabricación de aceite para motor (1,7%), las emisiones de gas R22 (0,9%), la quema de diesel (0,19%) y la fabricación de bisulfito de sodio (0,04%). En la toxicidad en agua dulce (generado en el momento de la fabricación del combustible) la fabricación de diesel es lo que más contribuye (96,8% en promedio para las tres pesquerías), seguido del aceite para motor (1,6%), la fabricación de R22 (0,9%) y del nylon (0,7%). La toxicidad marina es mucho más alta que cualquier otra toxicidad estimada, y el orden de los elementos según su contribución al total del impacto es el mismo que en el caso de la toxicidad de agua dulce, pero cambian un poco los porcentajes promedio de participación (98,4; 1,1; 0,47; 0,02%). Por último, la toxicidad terrestre presenta valores bajos, y está asociado principalmente a las fabricaciones de diesel (96,5% en promedio), aceite (2%), R22 (1,3%) y del bisulfito de sodio (0,08%).

Tabla 4. Indicadores de desempeño ambiental en la captura de camarón de aguas profundas del Pacífico (CAP_PA), camarón de aguas someras del Caribe (CAS_CA), camarón de aguas someras del Pacífico (CAS_PA).

| Indicador de desempeño ambiental | Unidad | (Valor/kg CAMARÓN) / % participación | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|--------------------------------------|----|---------|----|---------|----|
| | | CAP_PA | | CAS_CA | | CAS_PA | |
| | | | % | | % | | % |
| Energía Acumulada | MJ | 123,63 | 7 | 854,72 | 49 | 759,55 | 44 |
| Calentamiento Global a 100 años | kg CO2e | 11,3 | 7 | 66,5 | 42 | 78,9 | 50 |
| Eutrofización | kg PO4e | 0,00071 | 7 | 0,0048 | 48 | 0,0044 | 44 |
| Acidificación | kg SO2e | 0,029 | 7 | 0,2 | 49 | 0,18 | 44 |
| Deterioro en la capa de ozono | kg CFC-11 eq | 4,9E-06 | 7 | 1,7E-05 | 26 | 4,4E-05 | 67 |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq | 0,84 | 7 | 5,8 | 49 | 5,19 | 44 |
| Toxicidad agua dulce | kg 1,4-DB eq | 0,02 | 7 | 0,14 | 49 | 0,12 | 44 |
| Toxicidad Marina | kg 1,4-DB eq | 769,6 | 7 | 5316,6 | 49 | 4730,1 | 44 |
| Toxicidad Terrestre | kg 1,4-DB eq | 0,0031 | 7 | 0,021 | 49 | 0,019 | 44 |
| Área de arrastre fondo marino | m2 | 8429 | 7 | 26740 | 24 | 78125 | 69 |
| Pesca acompañante | kg | 9 | 26 | 12 | 35 | 14 | 39 |
| Promedio porcentaje de participación | | | 9 | | 43 | | 48 |

De acuerdo con el método de evaluación de los impactos ambientales ECOINDICATOR 99 (figura 7), se puede apreciar que el sistema que tiene mayor impacto potencial es el camarón de aguas someras del Caribe colombiano. Le sigue muy de cerca el camarón de aguas someras del Pacífico, dejando por último al camarón de aguas profundas del Pacífico.

En las pesquerías industriales el consumo de recursos es el que más *puntos ecoindicator* representa, dado principalmente por la extracción de diesel (98% en promedio) y por la fabricación de aceite para motor (1,1%). En la categoría de la calidad de ecosistema, la quema de diesel contribuye con el 60.5% en promedio, y la fabricación de diesel con 34,5% en promedio, la del aceite con 1,9%, la del R22 otro 1,9% y el nylon con 1,1%. En la categoría de la salud humana, la quema de diesel representa 56,4% en promedio, y la fabricación del diesel el 28%, las fugas el R22 el 13,8%, la fabricación del R22 0,9%, la producción del aceite 0,5% y la fabricación del nylon el 0,3%.

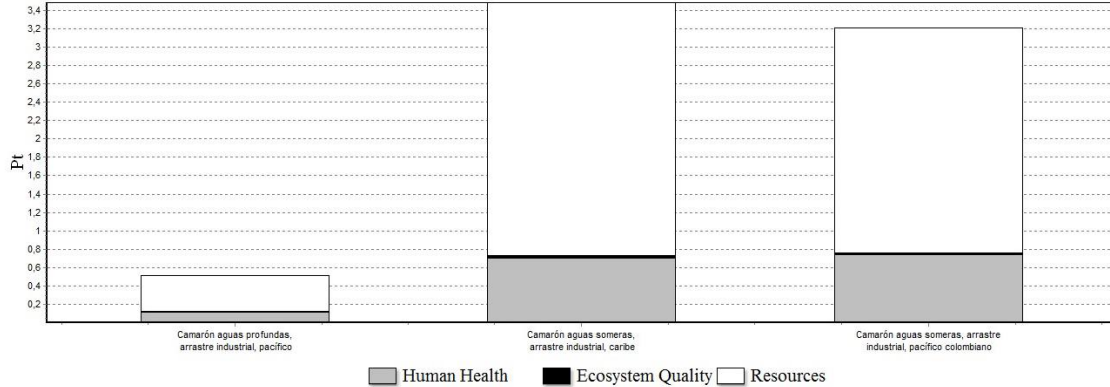


Figura 7. Evaluación de los impactos ambientales utilizando el método ECOINDICATOR 99.

6.2 Escenarios de producción en las pesquerías industriales de camarón y su efecto en la Evaluación de desempeño ambiental ECOINDICATOR 99

De acuerdo con los impactos ambientales asociados a las etapas del ciclo de vida de las pesquerías industriales se plantearon algunos escenarios para estimar la sensibilidad de los resultados observados. Estos escenarios se plantean de acuerdo con alternativas productivas que pueden generar mejoras operativas considerando una viabilidad económica y ambiental aceptable. En este sentido, se consideraron dos escenarios alternativos para cada pesquería industrial: el primero contempla la disminución del consumo de combustible fósil en los barcos que realizan las faenas mediante la adquisición de unos motores de nueva generación que tienen una potencia igual o superior (motores modelo C12 o C9 marca Catterpillar, o modelos de la serie Electrónica Quantum de la marca Cummins), pueden ser importados al país y ahorran un 15% de combustible en promedio. El segundo escenario alternativo consiste en sustituir el gas freón R22 por el gas R407a, pues tiene menor potencial de deterioro de ozono y toxicidad, pero mayor potencial de calentamiento global al ser un mezcla de R134a (40%), R125 (40%) y R32 (20%).

Los resultados de la evaluación ambiental con el método Ecoindicator 99 del escenario que considera la disminución del consumo de combustible en un 15% al mejorar la tecnología de propulsión de los barcos camaroneros, señalan que existe un 14,1% de disminución de impactos ambientales (figura 8). Esto demuestra que cualquier mejora en el consumo de combustible va a tener un gran impacto sobre los productos finales de camarón, y que si aumenta el consumo de combustible por kg de camarón capturado también se incrementa claramente la carga ambiental final.

Los resultados del Econdicator 99 para el segundo escenario alternativo que corresponde a la sustitución del gas freón R22 por el gas R407a, utilizados en los sistemas de refrigeración que tienen los barcos camaroneros, arrojan que la carga ambiental disminuye 0,2% en promedio en cada pesquería, lo cual no es muy representativo.

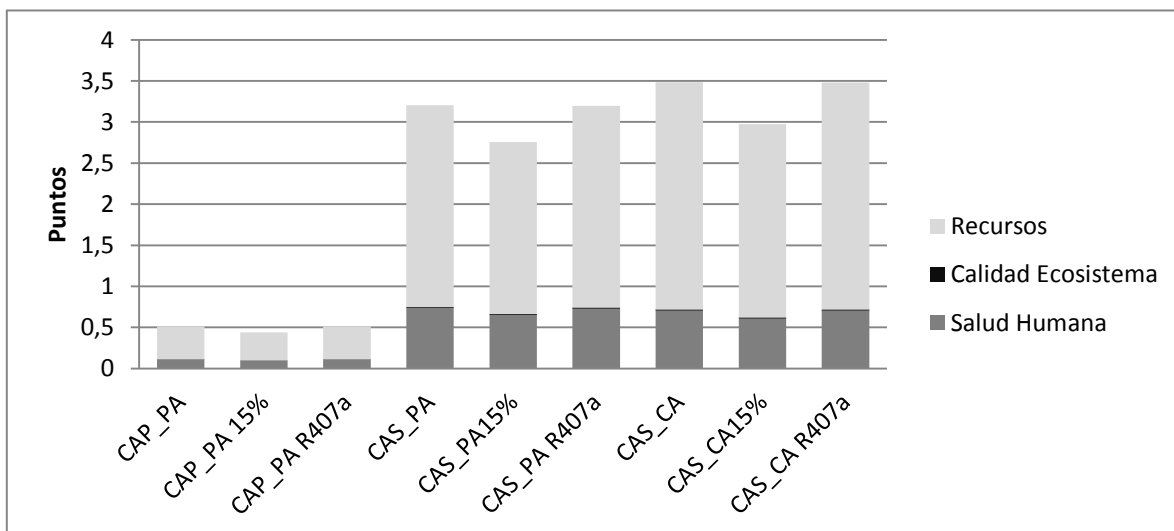


Figura 8. Desempeño ambiental de las faenas de pesquerías industriales bajo tres escenarios de operación: convencional, disminución del 15% en el consumo de diesel y sustitución del gas R22 por el gas R407a.

6.3 Larvicultura y Cultivo de camarón en piscinas

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, las actividades de reproducción y maduración de individuos adultos, y la eclosión y crecimiento de las larvas de camarón para ser comercializadas (nauplios: 10 días de nacidos aprox., larvas: 20 días de nacidos aprox.).

En la etapa de reproducción de los camarones en el laboratorio y la cría de las larvas, los insumos requeridos para producir las microalgas y las arteminas están considerados en el total de los insumos requeridos para producir las larvas, pues no fue posible diferenciar con mayor detalle el uso de los recursos para cada una de estas actividades de manera separada. En la tabla 5 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 que se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Insumos utilizados en larvicultura, considerando el cultivo de microalgas y artemia, reproducción de camarones, desarrollo y transporte de larvas hasta las piscinas objeto de estudio.

| INSUMOS LABORATORIO LARVICULTURA | UNIDAD | Valor/108 Larvas |
|---|---------------|-------------------------|
| ACPM | ml | 2,04 |
| OXIGENO INDUSTRIAL EN PIPETAS | gr | 1,01 |
| HIPOCLORITO DE SODIO | gr | 0,38 |
| GAS PROPANO de pipeta | gr | 0,34 |
| COLORURO FÉRRICO INDUSTRIAL | gr | 0,296 |
| FORMOL AL 37% | gr | 0,131 |
| TRIPLE 15, AGP COMPLETE, NUTRIMINS: | | |
| fertilizantes para algas | gr | 0,056 |
| VITAMINA C (ACIDO ASCÓRBICO), ACIDO | | |
| AGUAS | gr | 0,076 |
| SODA CAUSTICA ESCAMAS | gr | 0,022 |
| MATASILICATO DE SODIO INDUSTRIAL | gr | 0,014 |
| ACEITES MOTOR y COMPRESOR de | | |
| REFRIGERACIÓN | gr | 0,059728 |
| DIÓXIDO DE TITANIO | gr | 0,007 |
| SILICONA TRANSPARENTE | gr | 0,002 |
| DETERGENTE EN POLVO | gr | 0,007 |
| CAL | gr | 0,020 |
| ALCOHOL ETÍLICO | ml | 0,011 |
| THINER CORRIENTE | gr | 0,007 |
| GAS FREÓN 22 | gr | 0,006 |
| POLISOMBRA, PLÁSTICO INVERNADERO | gr | 0,001 |
| PLÁSTICO BOLSAS EMPAQUE | gr | 0,010 |
| GASOLINA | ml | 0,002 |
| CEMENTO | gr | 0,034 |
| COBALTO | gr | 0,0003 |
| ALIMENTO MAR FRESCO: POLIQUETOS, | | |
| CALAMARES, ARTEMIA | kg | 0,00042 |
| CAMARÓN CULTIVO - REPRODUCTORES | kg | 0,0000124 |
| PERÓXIDO DE HIDROGENO | gr | 0,0002 |
| SALIDAS ESTANQUES LARVICULTURA | | |
| AGUAS RESIDUALES | | |
| NITRITO | mg | 18,7 |
| FOSFATO | mg | 4 |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS | mg | 1296378 |
| DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO | mg | 3105,4 |
| DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO 5 | mg | 294,1 |
| TRANSPORTE LARVAS TOLÚ-CARTAGENA | | |
| diesel | l | 5,64E-03 |

En la larvicultura, el insumo que más se utiliza es el diesel, pues el laboratorio no cuenta con un suministro de energía continuo proporcionado por el sistema municipal de distribución de energía eléctrica, y por lo tanto, debe mantener los sistemas de aireación y filtración con el apoyo de unas plantas eléctricas que utilizan diesel. El oxígeno en pipetas también es un recurso muy necesario, pues la aireación de todos los estanques (microalgas, reproductores, larvas, artemia) no se realiza exclusivamente con motores eléctricos. El hipoclorito de sodio está relacionado con la limpieza y desinfección de las instalaciones (tanques, utensilios, infraestructura, indumentaria del personal, etc.). El uso de gas propano está relacionado con procesos de purificación de aguas y otras actividades del laboratorio. El cultivo de microalgas requiere de fertilizantes, minerales y luz para favorecer su crecimiento, y otros insumos como bolsas y plásticos son utilizados para su almacenaje. La silicona se utiliza para el mantenimiento de los tanques y otros lugares de almacenamiento de agua. El aceite lubricante para motor es fundamental para el correcto funcionamiento de los motores y plantas eléctricas con las que cuenta el laboratorio. El gas freón R22 se utiliza en sistemas de refrigeración para el almacenamiento de insumos. El cemento se utiliza para la construcción y reparación de tanques y otros aspectos de infraestructura del laboratorio.

La etapa de cultivo (engorde) de camarón incluye muchas actividades de trabajo, y por lo tanto, requiere de muchos insumos (tabla 6). Las actividades y los principales insumos son: 1) Adecuación de las piscinas: Una vez se desocupa la piscina de camarón, pueden quedar algunos parches de agua. Algunos de estos se secan con ayuda de una motobomba (diesel y aceite de motor), pero otros reciben una dosis de cloro concentrado para acabar con organismos que puedan ser una competencia para los camarones que se sembrarán en el futuro. Las compuertas de entrada y salida del agua se limpian con cepillo y agua, y se cambian las mallas y filtros (plásticos). Si las piscinas tienen el fondo oscuro (denota acumulación de materia orgánica) o alguna apariencia de mala calidad, es necesario arar el terreno y luego rastrillarlo. Esto implica el uso de maquinaria pesada para realizar este trabajo (diesel y aceite de motor). Esto permite una mejor aireación del fondo del terreno y mejora las características del estanque para los próximos camarones que van a ser sembrados. Esta práctica solo es posible en época de verano, cuando no está lloviendo en la zona. Por este motivo, este proceso solo se realiza una solo vez en el año en cada piscina, aunque en algunas ocasiones puede suceder hasta dos veces según las fechas de cosecha que se realicen en la piscina. 2) Llenado de piscinas: Llenado de las piscinas se realiza mediante la apertura de compuertas que conecta la piscina con un canal que cumple la función de reservorio de agua a lo largo de la finca. La cantidad de agua dulce para que el cultivo se desarrolle fue estimada de acuerdo con las dimensiones promedio de los estanques y los recambios de agua que se realizan.

Este reservorio está a una mayor altura que el canal del dique, por lo que es necesario bombear el agua para llenarse (principal energía para esto viene de gas natural, pero también se utiliza diesel, aceites para motor). La piscina está construida con una pendiente que dirige las aguas hacia un drenaje (salida). La salida se sella y se abre la entrada de agua para ser llenada hasta el volumen deseado. La profundidad oscila entre los 80 y 180 cm. Para realizar la fertilización de las piscinas se toma el insumo que se desea aplicar (fertilizantes, minerales) y se pone dentro de un saco o costal justo en la entrada del agua, y de esta manera el insumo se va diluyendo de manera progresiva con el paso del agua. Los insumos se adicionan de manera individual, logrando una mayor uniformidad en la mezcla con el agua. Después de esto se realiza la siembra de las larvas (de 7 a 9 mm, y 21 días de nacidas) de manera directa (caso de estudio), o provenientes de una transferencia de otra piscina de crecimiento. 3) Engorde: los animales se alimentan con ayuda de lanchas pequeñas y motores de 5 hp, tres veces al día. La calidad del agua se mantiene estable haciendo muestreos de algas, turbidez, salinidad y adicionando los elementos necesarios (fertilizantes o minerales) o recambiando el agua. 4) Cosecha: Lo primero que se hace es verificar que la bomba de succión y la cosechadora están con aceite para motor, acpm (diesel), agua (radiador) y aceite hidráulico. Una vez se inicia el proceso de cosecha, el agua de la piscina empieza a ser extraída a partir de la succión de una bomba. Para evitar que los camarones se pierdan, al inicio de la toma de agua se ubica una malla (plásticos) que captura todos los elementos sólidos que estén en el agua y se realiza la separación inicial. Una vez quedan atrapados en la malla, la bomba de la cosechadora saca los animales a través de un tubo con forma de caracol, y estos suben por una tubería hasta ser transportados a una canasta que permite el flujo de agua pero retiene nuevamente los camarones. Estos camarones se empiezan a depositar en canastas de más o menos 25 kilos de capacidad, los cuales son sumergidos inmediatamente en una solución de bisulfito de sodio durante aproximadamente cinco minutos. Una vez los animales se mueren durante ese tiempo, son depositados en contenedores que almacenan cerca de 300 kilos de camarón, y cubiertos totalmente con hielo triturado finamente (energía eléctrica). Una vez están cosechados todos los animales, estos contenedores son transportados en barco hasta la planta de procesamiento (diesel y aceite para motor) y descargados con ayuda de lifters o montacargas (GLP o gasolina).

Tabla 6. 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 REEMPACADO | kg | 0,05 |
| COLORO GRANULADO (Hipoclorito de calcio) | kg | 0,0032 |
| CLORURO FÉRRICO ANHIDRO | kg | 0,0011 |
| HIDRÓXIDO DE CALCIO REEMPACADO | kg | 0,07 |
| MALATHION | 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 AGRICOLA | 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 |
| ACPM | kg | 0,15 |
| ACEITE DOS TIEMPOS | kg | 0,0007 |
| ACEITE CUATRO TIEMPOS | kg | 0,00008 |
| GAS NATURAL | m3 | 0,61 |
| AGUA DE RIO_ALTA MATERIA ORGÁNICA | l | 13526 |
| SALIDAS PISCINAS DE CAMARÓN | | |
| AGUAS RESIDUALES | | |
| NITRITO | mg | 349 |
| FOSFATO | mg | 501 |
| ACEITES Y GRASAS | mg | -85173 |
| DBO5 | mg | -32626 |
| NITRATO | mg | -1169 |
| AMONIO | mg | -3738 |
| OTROS RESIDUOS | | |
| ACEITE USADOS | l | 0,001 |
| TRANSPORTE ALIMENTO CAMARÓN | | |
| BUQUE GUAYAQUIL(EC)-CARTAGENA (COL) | kgkm | 4123,58 |

El alimento del camarón (concentrado) que se utiliza en la finca bajo estudio es producido e importado de Guayaquil, Ecuador. En la tabla 7 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 7. 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 |

Los indicadores de impactos ambientales de estas etapas (larvicultura y engorde en piscinas) se presentan en la tabla 8. En general se puede observar que el porcentaje de impacto que representa la larvicultura de 108 larvas, las cuales son 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 GLP (20%), fabricación de diesel (4%), hipoclorito de sodio (1,6%), R22 (1,6%), cloruro férrico (1,3%), GLP (1%) y de 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 otros insumos como el nylon.

La eutrofización 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 R22 (1,4%).

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

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

En la larvicultura la toxicidad humana está muy relacionada con la fabricación de diesel (50%), cloruro de férrico (38%), hipoclorito de sodio (20%), GLP (12%), químicos inorgánicos (7,6%), aceites lubricantes (4%), detergentes (3,9%), R22 (2,9%) y óxido de titanio (2,9%). La toxicidad dulce acuícola también está distribuida de una manera más homogénea entre los insumos que más contribuyen al impacto, teniendo 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 ácido acuoso) (7%), hipoclorito de sodio (6%) y cloruro férrico (6%). La toxicidad marina si se ve más influenciada por la producción de diesel (66%) que por otros insumos como la fabricación de GLP (13%), hipoclorito de sodio (4%), aceites de motor (3%), cloruro férrico (3%) y químicos inorgánicos (2%). Y 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).

Tabla 8. Indicadores de impacto ambiental asociados a la larvicultura y la producción de camarón en piscinas.

| Indicador de desempeño ambiental | Unidad | Valor/108 larvas | | Valor/kg CAMARÓN | |
|--------------------------------------|--------------|------------------|--------|-------------------|------|
| | | LARVICULTURA | % | CULTIVO (ENGORDE) | % |
| Energía Acumulada | MJ | 0,0014 | 0,002 | 59,09 | 99,9 |
| Huella de Carbono a 100 años | kg CO2e | 0,000224598 | 0,006 | 3,6 | 99,9 |
| Eutroficación | kg PO4e | 0,000001 | 0,01 | 0,0047 | 99,9 |
| Acidificación | kg SO2e | 3,4E-07 | 0,001 | 0,024 | 99,9 |
| Deterioro en la capa de ozono | kg CFC-11 eq | 1,6E-10 | 0,02 | 7,2E-07 | 99,9 |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq | 0,00002 | 0,001 | 1,6 | 99,9 |
| Toxicidad agua dulce | kg 1,4-DB eq | 0,0000008 | 0,0001 | 0,93 | 99,9 |
| Toxicidad Marina | kg 1,4-DB eq | 0,0088 | 0,002 | 531,2 | 99,9 |
| Toxicidad Terrestre | kg 1,4-DB eq | 0,0000002 | 0,0001 | 0,255 | 99,9 |
| Promedio porcentaje de participación | | | <1% | | >99% |

La distribución de los impactos ambientales asociados a los insumos requeridos en el cultivo de camarón en piscinas se describe a continuación. Es importante resaltar que este proceso 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. En la figura 14 se presenta de manera separada los impactos asociados a la fabricación del concentrado y a los demás procesos que toman lugar en la etapa del cultivo. El impacto total de producir un kg de camarón en las piscinas se presenta en la tabla 8. En ocho de las 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%).

Para producir el hielo utilizado en la etapa del cultivo, se consideraron los insumos y los impactos que se producen en una fábrica de hielo en Cartagena. De acuerdo con las actividades de la fabricación del hielo, los insumos requeridos para fabricar un kilo de hielo se describen en la tabla 9. Se puede apreciar que el insumo que más contribuye al impacto del hielo es cloruro de sodio (NaCl), pues aporta casi el 83% del impacto del proceso. Este insumo está relacionado con una salmuera en la cual se sumergen los moldes de metal que contienen el agua potable y donde se congela 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.

Tabla 9. 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 ECOINDICATOR 99 | Unidad | Hipoclorito sodio | Amoniaco | Aceite Motor | Prod. Diesel | Quema Diesel | NaCl | Agua potable | Elect. Colombia |
|----------------------------------|------------|----------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|--------------------|
| Total | puntos | 0,011 | 0,018 | 0,002 | 0,008 | 0,002 | 0,422 | 0,00006 | 0,188 |
| Carcinógenos Orgánicos | DALY | 3,2 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 96,7 | 0,0 | 0,0 |
| Respiratorios Inorgánicos | DALY | 1,4 | 2,2 | 2,9 | 6,2 | 0,0 | 87,3 | 0,0 | 0,0 |
| Respiratorios | DALY | 2,2 | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 0,7 | 94,6 | 0,0 | 0,0 |
| Cambio Climático | DALY | 0,3 | 1,1 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 10,6 | 0,0 | 87,3 |
| Radiación | DALY | 2,5 | 0,9 | 0,7 | 0,0 | 0,0 | 95,8 | 0,0 | 0,0 |
| Capa de ozono | DALY | 22,1 | 0,6 | 14,7 | 0,0 | 0,0 | 62,7 | 0,0 | 0,0 |
| Ecotoxicidad | PAF*m2yr | 1,3 | 0,1 | 0,8 | 0,1 | 0,0 | 97,8 | 0,0 | 0,0 |
| Acidificación / Eutroficación | PDF*m2yr | 1,9 | 1,2 | 0,9 | 1,5 | 0,5 | 94,0 | 0,0 | 0,0 |
| Uso de tierra | PDF*m2yr | 0,4 | 0,0 | 0,9 | 0,0 | 0,0 | 98,7 | 0,0 | 0,0 |
| Minerales | MJ surplus | 1,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 98,7 | 0,0 | 0,0 |
| Combustibles fósiles | MJ surplus | 1,9 | 15,3 | 0,9 | 6,3 | 0,0 | 75,6 | 0,0 | 0,0 |
| | Promedio | 3,5 | 2,0 | 2,1 | 1,4 | 0,2 | 82,9 | 0,0 | 7,9 |

Las actividades del cultivo de camarón requieren de una gran cantidad de insumos y sus impactos ambientales son muy variados. La contribución al calentamiento global de este proceso se genera principalmente por el consumo de alimento balanceado (58,9%). Le sigue 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, la cosecha y el transporte de los animales hasta la planta de procesamiento (13% en total). La producción de úrea 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 úrea (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, los combustibles fósiles.

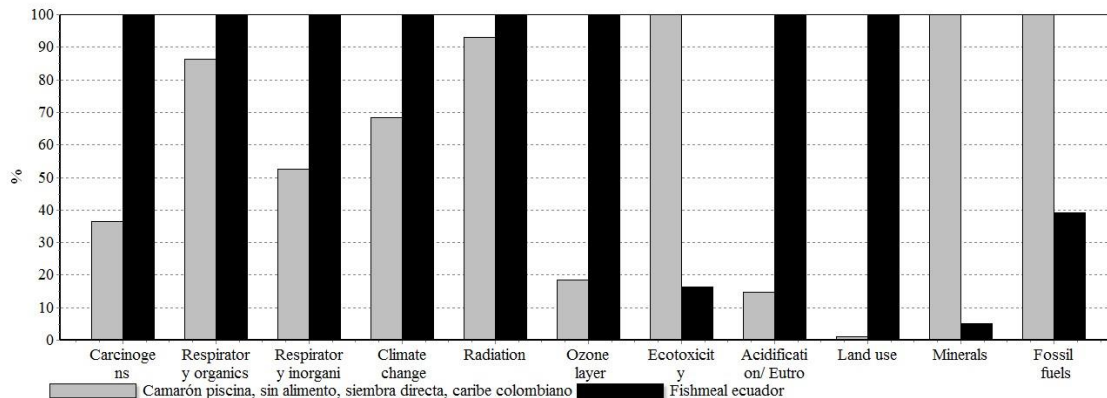


Figura 9. Comparación de los impactos ambientales del cultivo de 1 kg de camarón en piscinas sin incluir el alimento para los camarones (camarón piscina, sin alimento, siembra directa) y los impactos asociados al alimento balanceado utilizado para el engorde de 1 kg de camarón (Fishmeal Ecuador).

Con relación a la eutrofización, es importante hacer notar 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 gr 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 potencial generada en la etapa de cultivo proviene principalmente de la pesca industrial para producir la harina de pescado que tiene el alimento balanceado (67%) y los procesos de las piscinas aportan 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%, y 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%), el gas natural (3,2%), el diesel (3,5%) y del metasilicato de sodio (1,6%). La toxicidad dulce-acuícola está relacionada también con la harina de pescado (59%), con el uso del pesticida Malathion (18%), la fabricación de gasolina y gas natural (4 y 6%). La toxicidad marina se relaciona con la pesca para sacar 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 Malathion como pesticida (3,8%), la producción de úrea (1,3%) y el sulfato de cobre (1,2%).

6.4 Procesamiento de camarón

El procesamiento es igual para el camarón que viene de las fincas o que viene 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 de todos los otros insumos que son necesarios para presentar el camarón crudo. La lista de insumos necesarios se describe en la tabla 10. Las muestras de las aguas residuales se tomaron de los muestreos que hace la planta con el objetivo de mantener unas certificaciones de calidad y gestión ambiental corporativa. La mayoría de las presentaciones del camarón van con 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 10. 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 |
| ACPM - 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 |
| DBO5 | mg | 123,2 |
| ACEITES Y GRASAS | mg | 271,2 |
| SOLIDOS 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 |

| SALIDAS PLANTA DE PROCESAMIENTO | | |
|--|-------|---------|
| RESIDUOS SÓLIDOS | | |
| 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 |

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%), del cartón del empaque (11%) y de 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 gases de efecto invernadero 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 de presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Indicadores de desempeño ambiental asociado al procesamiento de los productos de camarón.

| Indicador de desempeño ambiental | Unidad | VALOR/ KG CAMARÓN PROCESADO |
|---|----------------------|------------------------------------|
| Energía Acumulada | 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 en 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 |

6.5 Escenarios de producción de camarón en piscinas y procesamiento de camarón y sus efectos en la evaluación de desempeño ambiental Ecoindicator 99.

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 la harina de pescado que contiene y la cual proviene de otras faenas de pesca industriales. El primer escenario alternativo consideró el pollo como la principal fuente de proteína, el segundo escenario considera la soya como principal fuente de proteína y el tercero escenario considera una mezcla de pollo, carne y cerdo. El alimento balanceado tiene 286 gr de harina de pescado, lo cual representa alrededor de 183 gr de proteína (64%). Si fuera sustituida por proteína de pollo, sería necesario utilizar cerca de 309 gr de harina de vísceras de pollo (59% proteína) (Gutiérrez et al. 2011). Para sustituirla con harina de soya sería necesario incorporar 415 gr en el alimento (Luna, 2006), y para sustituirla por una harina que mezcla pollo, carne y cerdo es necesario utilizar 360 gr (51% de proteína) (FEDNA, 2014). Ninguno de estos escenarios representó una disminución en la carga ambiental de los camarones producidos (figura 15). En el caso del pollo, el impacto creció 16%. En el caso de la proteína de soya el impacto aumento 105%, dado el uso de químicos y cambios en la cobertura de la tierra que representa el cultivo agrícola en cuestión. Y en el caso de la harina mezclada el impacto aumento 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 alterno es de 1,72 kg. Algunas variables que pueden incidir en la tasa de conversión: la mortalidad prematura del camarón (la mortandad se puede disminuir si se realizan transferencias: esto es sembrar en una piscina y después de que crezcan más los camarones se transfieren a un nuevo estanque), mucha producción de alimento primario en el estanque (dado en parte por el alimento balanceado que nos 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 (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 como disminuir el 10% en consumo de diesel, disminuyendo 1) el número de viajes para transportar los insumos (más volumen promedio transportado, resulta en un menor consumo promedio de combustible por unidad

transportada), 2) el funcionamiento de las plantas eléctricas de apoyo, 3) cambiando 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 permite 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 10).

Otro impacto asociado al cultivo es el uso de Malathion (pesticida). Un séptimo escenario alternativo presenta una disminución del 100% en el uso de Malathion, el cual es altamente impactante en el medio ambiente. La idea sería promover un manejo del cultivo sin el uso de compuestos fosforados ni otros plaguicidas que representan un impacto importante en el medio ambiente. 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 10).

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 instalar 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 las plantas se utilizan en los momentos en 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. Y 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.

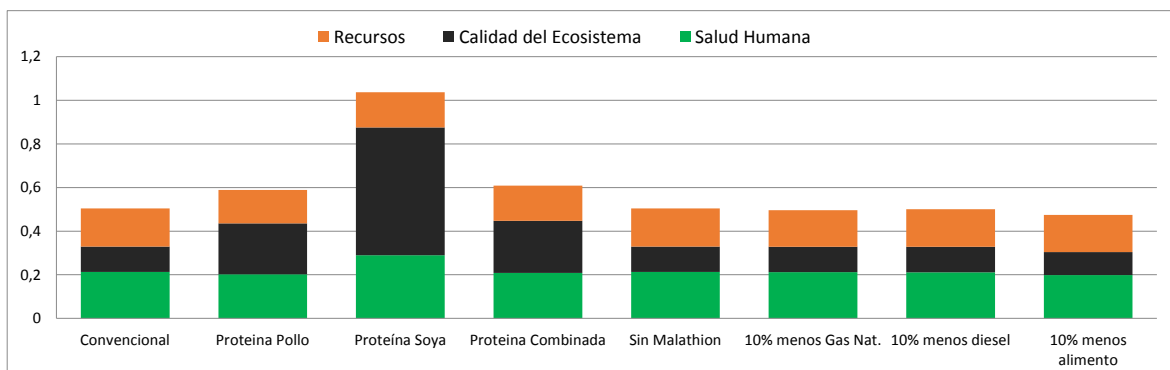


Figura 10. Ecoindicator 99 para los escenarios de producción de camarón en piscinas con variaciones en el tipo y cantidad de recursos empleados.

6.6 Comparación ciclos de vida pesquerías vs. cultivos

Las cadenas de valor de los productos de camarón que se originan en pesca industrial o en cultivo en piscinas confluyen en el momento en que llegan a la planta de procesamiento. La carga ambiental de las etapas de procesamiento y transporte a los lugares de destino es la misma para los productos de camarón originados en pesquería industrial o en camaronicultura. En la tabla 12 se puede apreciar el impacto potencial (Ecoindicator 99) que tienen los camarones producidos en cada sistema considerado, previo a la etapa de procesamiento. El camarón de aguas someras del Caribe es el que mayor carga ambiental representa. Le sigue el camarón de aguas someras del Pacífico, el camarón de aguas profundas del Pacífico y por último, el camarón de cultivo. El ciclo de vida completo, “de la cuna hasta el puerto de destino (España) o ciudad de destino (Bogotá)”, se presentan en la figura 11 y se separan de acuerdo con la contribución de cada una de las etapas que tienen los sistemas analizados. Las pesquerías industriales incluyen faena, procesamiento y transporte, mientras que el cultivo en piscinas incluye larvicultura, cultivo, procesamiento y transporte. El cultivo de camarón y la pesca de camarón de aguas profundas del Pacífico generan un impacto potencial similar, pero distribuido en diferentes categorías. El camarón de cultivo presenta menos de la mitad de la energía acumulada que tiene el CAP_PA, y un tercio de la huella de carbono. Sin embargo, la toxicidad acuática es más de 35 veces superior en el camarón de cultivo y la toxicidad terrestre 80 veces superior, originado principalmente por el uso de Malathion en las granjas camaroneras y otros pesticidas en los cultivos de los cereales que se necesitan para el alimento balanceado.

Tabla 12. Comparación de los impactos ambientales de las etapas previas al procesamiento de los productos de camarón de los cuatro sistemas analizados.

| Indicador de desempeño ambiental | Unidad | VALOR/kg CAMARÓN / % participación | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|------------------------------------|----|---------|----|---------|----|------------------------|----|
| | | CAP_PA | % | CAS_CA | % | CAS_PA | % | Larvicultura + Cultivo | % |
| Energía Acumulada | MJ | 123,63 | 7 | 854,72 | 48 | 759,55 | 42 | 59,1 | 3 |
| Huella de Carbono a 100 años | kg CO2e | 11,3 | 7 | 66,5 | 41 | 78,9 | 49 | 3,6 | 2 |
| Eutroficación | kg PO4e | 0,00071 | 5 | 0,0048 | 33 | 0,0044 | 30 | 0,0047 | 32 |
| Acidificación | kg SO2e | 0,029 | 7 | 0,2 | 46 | 0,18 | 41 | 0,02 | 6 |
| Deterioro en la capa de ozono | kg CFC-11 eq | 4,9E-06 | 7 | 1,7E-05 | 26 | 4,4E-05 | 66 | 7,2E-07 | 1 |
| Toxicidad humana | kg 1,4-DB eq | 0,84 | 6 | 5,8 | 43 | 5,19 | 39 | 1,6 | 12 |
| Toxicidad agua dulce | kg 1,4-DB eq | 0,02 | 2 | 0,14 | 11 | 0,12 | 10 | 0,93 | 77 |
| Toxicidad Marina | kg 1,4-DB eq | 769,6 | 7 | 5316,6 | 47 | 4730,1 | 42 | 531,3 | 5 |
| Toxicidad Terrestre | kg 1,4-DB eq | 0,0031 | 1 | 0,021 | 7 | 0,019 | 6 | 0,25 | 85 |
| Área de arrastre fondo marino | m2 | 8429 | 7 | 26740 | 24 | 78125 | 69 | NA | NA |
| Pesca acompañante | Kg | 9 | 26 | 12 | 35 | 14 | 39 | NA | NA |
| Promedio porcentaje de participación | | | 7 | | 33 | | 39 | | 25 |

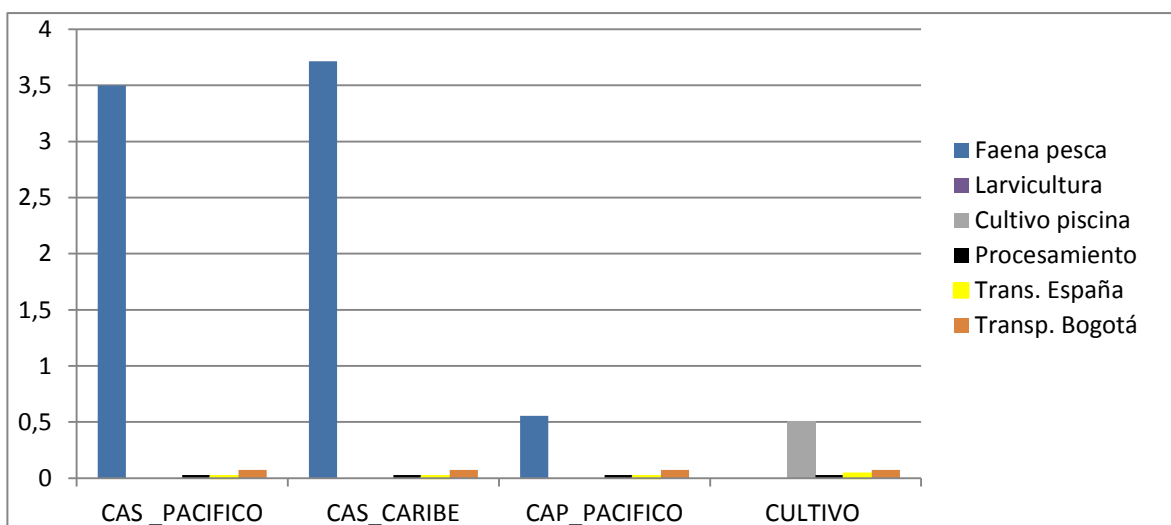


Figura 11. Desempeño ambiental de cada etapa considerada en el ACV de los productos de camarón originados en pesquerías de arrastre de aguas someras del Pacífico (CAS_PA), aguas someras del Caribe (CAS_CA), aguas profundas del Pacífico y Cultivo en granjas camaroneras utilizando el método ECOINDICATOR 99 para evaluar.

En la tabla 13 se puede apreciar cuál es la contribución total acumulada de cada kilogramo de camarón considerando todas las etapas de cada ciclo de vida. El camarón de aguas someras del Caribe es el sistema productivo de camarón que más impacto potencial tiene en el ambiente y en la salud humana. Le sigue el camarón de aguas someras del Pacífico, el camarón de aguas profundas del Pacífico y por último, y con la menor carga ambiental asociada, está el camarón de cultivo en piscinas.

En la figura 12 se puede apreciar un análisis en el cual se agrupan los diferentes impactos ambientales en tres grandes categorías generales: salud humana, calidad del ecosistema y recursos. El uso de recursos es la categoría que tiene la mayor contribución a los impactos totales, lo cual está asociado al uso de los combustibles fósiles como el diesel, el gas natural y el GLP. El impacto en la salud humana también representa un impacto importante, pues las emisiones de gases de efecto invernadero, de sustancias que afectan la capa de ozono y compuestos que son cancerígenos son altas debido a la quema de combustibles fósiles, la fuga de R22 (gas refrigerante) y a las emisiones de las industrias que fabrican varios insumos. Es importante notar que el cultivo y la pesca de camarón de aguas profundas del Pacífico (CAP_PA) son muy cercanos en los impactos totales, mientras que las pesquerías de aguas someras representan alrededor de 6 veces más impacto potencial.

Tabla 13. Análisis de los impactos del ciclo de vida de los productos de camarón originados en piscinas camaroneras y en pesquerías de arrastre del Caribe y el Pacífico colombianos y exportados a España.

| IMPACTOS ECOINDICADOR 99 | Unidad puntos | CAP-PA | CAS-CA | CAS-PA | CULTIVO |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| TOTAL | Pt | 0,67 | 3,84 | 3,62 | 0,56 |
| Carcinógenos | Pt | 5,4E-07 | 2,1E-06 | 2,0E-06 | 1,7E-06 |
| Orgánicos Respiratorios | Pt | 8,8E-09 | 5,2E-08 | 4,7E-08 | 3,6E-09 |
| Inorgánicos | | | | | |
| Respiratorios | Pt | 2,8E-06 | 1,4E-05 | 1,2E-05 | 2,8E-06 |
| Cambio Climático | Pt | 2,6E-06 | 1,4E-05 | 1,7E-05 | 8,9E-07 |
| Radiación | Pt | 9,8E-09 | 6,2E-08 | 5,5E-08 | 2,3E-09 |
| Capa de ozono | Pt | 5,7E-09 | 1,9E-08 | 4,7E-08 | 1,2E-09 |
| Ecotoxicidad | Pt | 0,47 | 1,55 | 1,43 | 0,84 |
| Acidificación / | | | | | |
| Eutrofización | Pt | 0,08 | 0,35 | 0,31 | 0,17 |
| Uso de tierra | Pt | -0,02 | -0,22 | -0,19 | 1,43 |
| Minerales | Pt | 0,04 | 0,11 | 0,10 | 0,15 |
| Combustibles fósiles | Pt | 11,01 | 68,38 | 60,88 | 5,38 |

En el ciclo de vida de los camarones capturados en pesquería industrial la etapa que más contribuye a los impactos ambientales es la faena de los barcos, representando entre el 84% y 92% en todas las pesquerías industriales (de acuerdo con el destino final del producto producido: Bogotá o España respectivamente) (figura 18). El transporte es la segunda o tercera etapa más impactante, pues si se lleva el producto hasta España puede representar entre el 0,5% y 3,2%, mientras que el transporte hasta Bogotá puede representar entre el 1,9% (en Camarón de Aguas Someras) y el 11% del total (en Camarón de Aguas Profundas). El procesamiento del camarón puede representar la segunda o la tercera etapa en contribución de impactos, aportando entre el 0,7% y el 4,5% según el transporte que se contemple (hasta España o hasta Bogotá). Para el caso del camarón producido en piscinas, la distribución de los impactos es de la siguiente manera: la etapa de piscina es la que más impacto negativo genera (83-88% según la distribución final del producto: Bogotá o España respectivamente). El transporte hasta España o hasta Bogotá puede representar el entre 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.

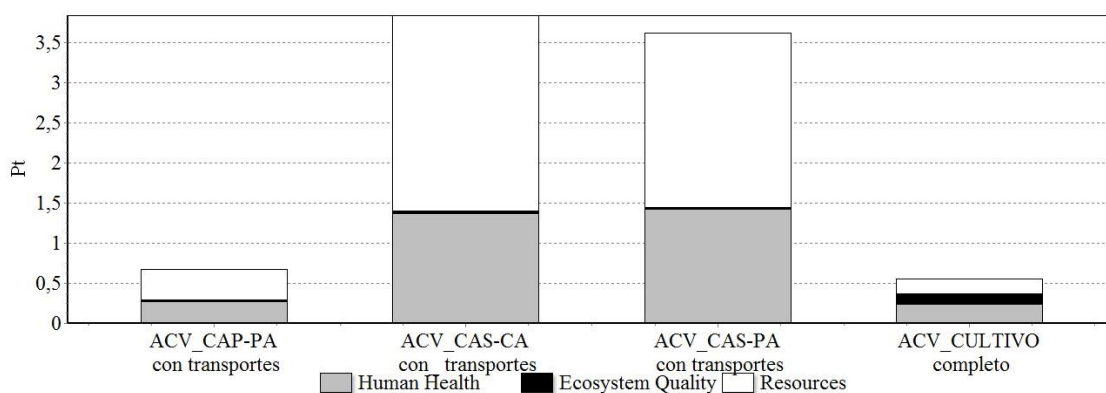


Figura 12. Análisis del Ciclo de Vida “desde la cuna hasta el puerto de destino” de los productos originados en las pesquerías de arrastre industrial (Camarón de Aguas Profundas del Pacífico: CAP_PA; Camarón de Aguas Someras del Caribe: CAS_CA; Camarón de Aguas Someras del Pacífico)A y el cultivo en piscinas (CULTIVO) considerando las tres categorías de agrupamiento del método de evaluación de impactos ECOINDICATOR 99.

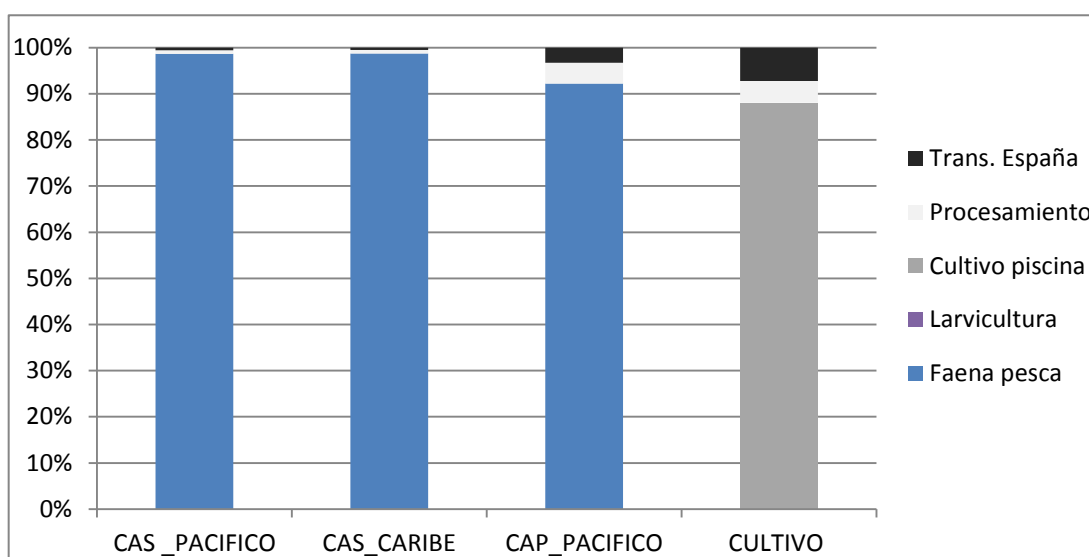


Figura 13. Contribución del impacto asociado a cada etapa del ciclo de vida de los sistemas de producción de camarón: a) pesquerías industriales incluyendo el transporte hasta España, b) pesquerías industriales incluyendo el transporte hasta Bogotá, c) cultivo en piscinas incluyendo el transporte hasta Bogotá.

7. DISCUSIÓN

Los productos de camarón que tienen el mayor impacto ambiental asociado son los que se originan en la pesca industrial de arrastre en aguas someras del Caribe colombiano (figura 10), al menos en términos relativos a 1 kg de camarón, pues el impacto agregado en el Pacífico puede ser más debido a que hay mayor esfuerzo de pesca que en el Caribe. Le siguen los productos originados en pesquerías de

aguas someras del Pacífico, en aguas profundas del Pacífico y el cultivado en granjas camaroneras. Las tres pesquerías industriales consideradas son un ejemplo de las variaciones que pueden tener los recursos invertidos para capturar el camarón y cómo pueden verse aumentados o disminuidos los impactos ambientales bajo tres escenarios de faenas con diferente nivel de éxito en la captura, poblaciones agotadas en el Caribe y en el Pacífico somero. Se puede apreciar que la pesca de CAP_PA, no está muy lejos del impacto generado por el cultivo en piscinas, indicando que bajo pequeños cambios en las variables de operación, los dos sistemas pueden tener un desempeño ambiental similar.

Las pesquerías industriales generan más impacto que el cultivo de camarón y una explicación de estos resultados en la gran cantidad de diesel que se utiliza en los barcos pesqueros. Este estudio utilizó datos del consumo promedio de insumos en las faenas durante todo un año de operación. Cada año la pesquería de camarón presenta picos de producción y captura, lo cual se puede apreciar en la variación de los ingresos que reciben los pescadores en cada faena (grandes ganancias o pérdidas económicas). El impacto ambiental está completamente relacionado con el éxito de la captura, pues si el volumen de camarón baja utilizando el mismo esfuerzo, la relación de insumos por cada kg capturado aumenta y el impacto asociado también. Esto puede indicar que si hubiera habido una buena administración pesquera tendríamos el doble logro de mantener una industria camaronera extractiva y en consecuencia, con un impacto ambiental bajo por kg de camarón extraído.

En el caso del cultivo de camarón, la producción de las piscinas tiene un comportamiento estable y la cantidad de recursos que se utiliza para producir no tiene una variación muy alta. De un total de 111 muestras analizadas, la desviación estándar del promedio del alimento proporcionado (que es el insumo que más se utiliza) fue de 18%. Sin embargo en las pesquerías industriales puede darse una gran diferencia en la cantidad de diesel utilizado para capturar un kg de camarón dependiendo de la pesquería (2,5 litros de diesel/kg de camarón en CAP_PA, y 17,5 litros de diesel/kg de camarón) o de otras variables que no se cuantificaron en este investigación. Esto es un reflejo del comportamiento que puede existir entre una faena y otra. Sin un adecuado manejo de las pesquerías industriales (vedas y tallas mínimas), no se puede asegurar o propender una buena población de camarones silvestres cada vez que se realicen las faenas, y por lo tanto, es muy difícil mejorar la relación insumos utilizados/kg de camarón capturados.

De acuerdo con la resolución No. 00334 de 2013 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, se establecen las cuotas de pesca de camarón del Caribe (790 ton/año) y el Pacífico (2060 ton de camarón blanco y tití; y 940 ton de camarón pink, coliflor y café). Las embarcaciones registradas a 2014 por la

AUNAP ascienden a 32 para CAS y a 13 para CAP (Esquivel *et al.*, 2014). Considerando que un barco realiza 5 faenas al año en promedio, estos datos arrojan una producción aproximada a 14,4 ton de CAP/faena y de 17,8 ton de CAS/faena. En este estudio se reporta una producción máxima de 8,3 ton CAP/faena (Díaz *et al.*, 2011) y de 2,4 ton CAS/faena (Duarte *et al.*, 2004). Esto representa que el recurso no tiene ningún límite de explotación real y que el esfuerzo de captura puede seguir dándose de manera continua. A pesar de la veda que existe en Colombia para el CAS del Pacífico durante los meses de enero y febrero, es necesario ejercer mayor control sobre el volumen de pesca que se puede extraer. Un claro ejemplo del manejo de la pesquería del camarón se puede encontrar en Australia, en la costa norte, en el Plan de Manejo de la Pesquería Norte de Camarón de 1995. La pesca de camarón solo se permite entre abril y mayo (para *Fenneropenaeus merguensis*), y entre agosto y septiembre (para *Penaeus esculentus*; *P. semisulcatus*). Los resultados de esta gestión muestran que la contribución al calentamiento global por kg de camarón capturado es 4.3. kg CO₂e, y la captura incidental puede representar el 50% del volumen total pescado (Farmery *et al.*, 2015). En contraste, en Colombia el indicador de calentamiento global puede oscilar entre 11,3 kg CO₂e/kg camarón y 78 kg CO₂e/kg camarón dependiendo de la pesquería, y la pesca acompañante representa entre un 90% y 93% del volumen total capturado.

Las pesquerías industriales de camarón generan impactos biológicos debido que se capturan especies no objetivo (la pesca acompañante), se arrastra el fondo marino con grandes cadenas y se extraen individuos de las poblaciones naturales de camarón (Gillet, 2008; Pitcher *et al.*, 2009). El camarón capturado en arrastre industrial es la especie que más pesca acompañante reporta a nivel mundial (He and Balzano, 2011) y a nivel de Colombia (MADS, 2011), encontrándose que para el Caribe la proporción puede ser de 1:14 hasta 1:30 y para el Pacífico hasta de 1:20 (Díaz *et al.*, 2011). Hay alternativas para disminuir este impacto, y están enfocadas principalmente al uso de dispositivos especiales que excluyan fauna no objetivo (como el Dispositivo Excluidor de Tortugas - DET - que se debe usar en el Caribe y Pacífico colombiano debido a exigencias de mercado internacional para exportación de camarón) y a la creación de incentivos comerciales, los cuales podrían asociarse al tema de las certificaciones de buen desempeño socio-ambiental. Sin embargo, sería necesario considerar que los dispositivos no aumenten la resistencia de la red al arrastre, pues esto generaría un mayor consumo de combustible. Los pescadores pueden comunicar a sus clientes que su producto de camarón tiene un valor agregado, el cual estaría relacionado con las buenas prácticas que ellos decidieran implementar para mejorar el desempeño ambiental del producto final (p. ej. con menor pesca acompañante) comparado con el escenario convencional. Hay algunas iniciativas que promueven unos pocos restaurantes del país, donde se ofrece *comida de origen*, en los cuales los pescados que han sido capturados con buenas prácticas de pesca y tienen menor

impacto ambiental, pueden recibir un mejor precio comercial que otros pescados que no fueron capturados con prácticas de menor impacto ambiental.

El fondo marino es arrastrado e impactado de acuerdo con la duración de los arrastres de cada lance durante la faena (alrededor de 5 lances diarios y 3-4 horas de duración y el área barrida de cada red (Duarte *et al.*, 2004). Si el recurso camarón es cada vez más escaso, puede ser que la tendencia de los pescadores es tener que aumentar la duración de los arrastres para capturar la misma cantidad de camarón. Si esto sucede, el volumen total de la pesca acompañante tiende a aumentar y además se genera mayor impacto en el fondo. Y si el recurso de camarón disminuye, la cantidad de barcos activos también disminuye (como se puede apreciar históricamente), lo cual reduce el área total que es arrastrada anualmente. Sin embargo, la relación de área arrastrada por kg de camarón capturado se puede mantener igual o incrementarse si consideramos la tendencia que existe de aumentar el esfuerzo de captura. En los resultados se puede apreciar que este indicador cambia mucho si se compara un kg de camarón capturado en aguas profundas del Pacífico frente a uno capturado en aguas someras del Caribe. El indicador pasa de 0,84 hectáreas a 7,81 hectáreas por kg camarón, explicado principalmente por la relación entre el número de días de una faena y el volumen de pesca capturado, siendo alrededor de diez veces menor cuando en menos días se capturan más individuos. En general, la captura de camarón de aguas profundas es más específica, y la abundancia del recurso también es mayor (Esquivel *et al.*, 2014). Una posibilidad para disminuir el área arrastrada vuelve a estar relacionada con una buena estrategia de manejo pesquero, donde son considerados los picos de abundancia del camarón para poder definir los tiempos (en el año) en los cuales se obtendrían los mejores rendimientos pesqueros, y de esta manera restringir las actividades en otros periodos del año, por medio de vedas (no solo dos meses al año como es el caso del Pacífico colombiano), para evitar grandes esfuerzos y pocas producciones.

El otro impacto biológico de las pesquerías industriales, que no fue analizado en este estudio por la dificultad de conseguir estudios del estado de las poblaciones de camarón en los dos océanos, es la explotación directa de las poblaciones de camarón silvestre, las cuales solo pueden mantener su viabilidad si la tasa de captura no excede la tasa de recuperación de la especie (considerando nacimientos, mortandad natural, edades de madurez sexual, entre otros). Según las tablas de vida del camarón publicadas en algunos estudios y recopiladas en algunos documentos, el recurso está en sobreexplotación o en sus límites de explotación (Barreto y Borda, 2008; Díaz *et al.* 2011). Entonces la tendencia es que la abundancia de las poblaciones del camarón siga disminuyendo si no se ejerce el control de pesca sobre el recurso (tallas mínimas de captura y vedas en más de dos meses al año) (AUNAP, 2013). A su vez, la pesca artesanal de camarón representa un riesgo si no se controla, pues la extracción de individuos

en las bocatomas y zonas de estuarios (juveniles y adultos) corta el ciclo de reproducción que tienen varias especies de camarón, impidiendo el paso continuo de los animales que vienen de mar adentro a reproducirse en zonas poco profundas y costeras (Díaz *et al.* 2011).

Para el manejo de las pesquerías de camarón es fundamental considerar que el número de barcos que pueden explotar este recurso debe ser limitado, pues así como cualquier otro recurso que tiene una capacidad de carga definida, el número de barcos pesqueros debe estar directamente relacionado con la disponibilidad de camarón, pues si excede los niveles de carga, para nadie resultará rentable la actividad a largo plazo y el recurso será agotado completamente. Esto también genera la necesidad de promover la diversificación de las actividades de pesca, pues cuando no se tenga restringida la actividad de pesca del camarón, se puede pescar otras especies, según las condiciones de manejo que se definan para otros grupos. Las embarcaciones multipropósito (pesca de camarón y pesca blanca) se pueden encontrar en el Caribe (100% de las embarcaciones: *conv. pers.* 2013) y en el Pacífico (30% de embarcaciones CAS y 5% de las embarcaciones de CAP) (Díaz *et al.* 2010), impulsado principalmente por la falta del recurso de camarón. Sin embargo, en países como Australia, se tienen vedas y periodos de pesca específicos para los recursos pesqueros, lo que mejora el desempeño ambiental de las etapas de pesca en el ciclo de vida de los productos de camarón (Farmery *et al.* 2015).

De acuerdo con los resultados, la faena (en las pesquerías industriales) y el cultivo en piscinas son las etapas que mayor impacto generan en el ciclo de vida de los productos de camarón analizados. Las pesquerías de arrastre se caracterizan por utilizar una gran cantidad de combustible diesel durante la faena, y el consumo por kg camarón capturado presenta una gran diferencia entre las pesquerías consideradas (2,5; 17,5; 15,5 litros/kg camarón). La fabricación y uso de este recurso es la principalmente fuente de impacto ambiental. La contribución al cambio climático, la energía acumulada, la acidificación y la toxicidad en todas las categorías, están relacionadas con el diesel. Esto corrobora otros estudios que describen a los productos pesqueros como energéticamente intensivos (Farmery 2015; Nijdam *et al.* 2012; Parker *et al.* 2014; Parker and Tyedmers, 2014). Los motores de las embarcaciones tienen diferentes potencias y eficiencias de operación, y en todos los casos analizados, el costo del combustible representa al menos el 53% del costo total de las faenas. Sin duda, la disminución en el consumo de diesel generaría un gran impacto en el desempeño ambiental de las pesquerías industriales. Si el consumo disminuye 10%, el impacto ambiental total se disminuiría 9,4%, y si disminuye 20% baja el impacto ambiental 18,6%, presentando una relación prácticamente lineal. Estudios realizados en otros países (Noruega, Holanda, Australia, España, etc.) señalan que la carga ambiental de los productos pesqueros es muy diferente y está ligado al modelo productivo y al

consumo de combustibles que se genera, lo cual no ocurre en los sistemas de aves de corral y cría de marranos, pues estos tienen desempeños ambientales más homogéneos a nivel mundial (Nijdam *et al.*, 2012).

Existen dos estrategias técnicas para disminuir el consumo de combustible en las faenas. La primera aborda los equipos y técnicas de pesca, y la segunda, los sistemas de propulsión y generadores de energía. Esto involucra el tipo de redes (hay unas que generan menor resistencia al arrastre por no tener nudos, son más livianas y tienen más durabilidad), los sistemas de arrastre (con menor impacto en el fondo y menor resistencia al arrastre) y los motores con menor consumo de combustible (mejor tecnología para propulsión y generación de electricidad). El cambio de las redes de nylon por otras que generan menor resistencia al agua (que no tienen nudos y son trenzadas) y son más livianas, pueden generar alrededor de un 10% en el consumo de combustible (Zuñiga *et al.*, 2005). Los costos de los cambios son una barrera para los pescadores (MADS, 2011), y no hay un mecanismo claro que facilite el acceso a los cambios de tecnologías. Establecer un subsidio o un fondo para facilitar estos cambios tecnológicos sería un mecanismo para mejorar la eficiencia en consumo de combustible, lo cual disminuiría el impacto ambiental de las faenas, el costo de las mismas y podría utilizarse como una declaración ambiental de los productos (eco-etiqueta), favoreciendo su mercadeo como productos verdes. Al mismo tiempo sería apropiado limitar el número de faenas, pues de lo contrario se perdería la ganancia lograda con la reducción del consumo de combustible por faena.

Otro insumo que genera mucho impacto ambiental es el gas freón R22. Tiene un potencial de calentamiento global 1810 veces superior al CO₂, y su fabricación y uso también genera mucho impacto en el ambiente. Las fugas de este refrigerante afectan la capa de ozono más que cualquier otro insumo (88% de la contribución en las pesquerías). Este gas es el que genera que el CAS_PA tenga la mayor contribución al cambio climático asociada (78,8 kg CO₂e/kg camarón capturado), pues se compra la misma cantidad de refrigerante y se gasta en menos días de faena (5 menos). Sustituir este gas refrigerante por otro como el R134a disminuiría la huella de carbono asociada a este insumo en cerca de 20%, lo que representa alrededor del 7% en el CAS_PA, el 2,5% en el CAS_CA y el 5% en el CAP_PA. La energía acumulada tiene mayor relación con el uso de diesel, y participa en el 99% del total del indicador, cualquier porcentaje que se disminuya en el consumo de diesel se verá reflejado en el indicador de energía acumulada del camarón capturado. La toxicidad en general también tiene relación directa con la fabricación del diesel que se consume en la faena (96-98% del impacto), por lo que reducir su consumo disminuiría este indicador en el mismo porcentaje que reduzca el consumo.

El bisulfito de sodio es un componente tóxico, y como tal, su uso y fabricación representa un impacto en la salud humana y en el ecosistema. Sin embargo, no hay alternativas muy comerciales para este químico, y su gestión se puede enfocar hacia su correcto manejo y disposición, pues el agua con bisulfito que se utiliza para sumergir a los animales siempre se descarta sin ningún tipo de tratamiento.

El ACV de la camaronicultura señala que en promedio, tiene menor impacto producir un camarón en piscina que capturarlo en el mar. Sin embargo, en tres categorías de impacto tiene mayor daño que las pesquerías industriales. La toxicidad en agua dulce es 48% superior que en las pesquerías de arrastre, la toxicidad terrestre es 44% superior y la eutrofización, asociada al cultivo de cereales utilizados en el alimento balanceado, supera dos de las tres pesquerías industriales consideradas (tabla 12). Esto está muy asociado a las faenas de pesca para capturar el pescado de donde se obtiene la harina de pescado para el alimento balanceado, al uso de Malathion 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 Malathion en el sistema, los impactos en el agua dulce y en la tierra podrían disminuir 75% y 18%, reflejado en cerca de un 10% del impacto total del producto final.

Cuando se comparan los impactos de los diferentes ciclos de vida (pesquerías y cultivo), el camarón cultivado representa el 25% de los impactos considerando todos los sistemas, mientras que el CAP_PA representa el 7% (tabla 12). La pesca de camarón de aguas profundas del Pacífico es la que más volumen de camarón logra en una faena entre las pesquerías analizadas (Díaz *et al.*, 2011), y como tal, en una faena se pueden registrar capturas de 8 toneladas de camarón, mientras que en las pesquerías de aguas someras los registros utilizados solo reportan 2,5 y 0,9 toneladas por faena (CAS_PA y CAS_CA respectivamente) (Duarte *et al.*, 2008). Esta diferencia en la abundancia del recurso condiciona todo el impacto ambiental que se relaciona finalmente con cada kg de camarón capturado por los barcos. Si las pesquerías fueran bien manejadas y las poblaciones del camarón pudieran recuperarse en las zonas de aguas poco profundas, el desempeño ambiental mejoraría desde todas las perspectivas consideradas en este estudio, como se demuestra el caso del camarón white-banana y tigre que se pescan en Australia (Farmery *et al.*, 2015). La comparación también señala que la energía para producir un camarón en piscinas representa la mitad de la energía requerida en el mejor escenario de pesca industrial (CAP_PA) o una sexta parte de la que se requiere para capturar el camarón de aguas someras. Si se comparan otros indicadores como la contribución al cambio climático, el deterioro de la capa de ozono y la toxicidad humana la menor afectación la genera la producción del camarón en piscinas. Otros estudios también identifican que la acuicultura tiene

menor impacto que la pesquería industrial de arrastre, como es el caso de Tailandia (Lebel *et al.*, 2010; Mungkung 2006) o Vietnam (Anh *et al.*, 2010).

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. La fabricación de diesel aporta cerca el 40% de los impactos y su quema el 10,9%, el refrigerante R22 el 13%, la fabricación de hipoclorito de sodio (8,8%), la fabricación de GLP (8,2%) y su quema (5,8%) y la fabricación de cloruro férrico (7.8%). Los esfuerzos para disminuir el impacto ambiental de esta fase estarían dirigidos a disminuir el consumo de diesel, y se podría lograr si la zona del laboratorio contará con un suministro estable y continuo de energía eléctrica provisto por el sistema interconectado nacional, o cambiar las plantas eléctricas de diesel por unas a gas natural. Este cambio es muy costoso, y no es muy atractivo para las empresas. El R22 si se puede cambiar por otro HFC (R407a) que genere menor daño en la capa de ozono pero más potencial de calentamiento global. Sin embargo su sustitución no representaría una disminución 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 disminuyera su consumo en un 10%, podría reducir 1,4% en del impacto total.

En cuanto al cultivo en las piscinas, 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 se logra mantener la oxigenación suficiente 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 los motores más antiguos y que más consumo de diesel generan 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). 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 de fertilizantes y manejan muchos residuos que tiene un impacto importante en el ecosistema. 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. La cantidad de alimento balanceado utilizado para producir un kg de camarón si puede mejorar realizando un monitoreo más rigurosos 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 disminuye 10% el promedio de uso de alimento balanceado, el impacto ambiental asociado al cultivo de camarón disminuiría 6%.

Las estrategias para mejorar el desempeño ambiental del alimento balanceado están orientadas a cambiar la fuente principal de proteína, que corresponde a la harina de pescado (la cual se origina en la pesca industrial de otros recursos pesqueros y representa un residuo). En Colombia, no hay un molino o fábrica de alimento para animales que esté dispuesto a producir un alimento para camarón con los ingredientes que podrían sustituir la harina de pescado (pollo y granos). El principal motivo es la baja demanda que existe en el mercado nacional para este tipo de alimento. Debido a diferentes circunstancias, una gran cantidad de granjas camaroneras han dejado de funcionar, y como tal, solo quedan unas pocas empresas camaroneras que cultivan el camarón. Por esta razón, se ven en la necesidad de importar el alimento para los camarones. 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. Si esto no es posible, sería necesario continuar en la búsqueda de proveedores internacionales que produzcan este tipo de insumo, como en China. El estudio de Nijdam *et al.* (2012), se encuentra la huella de carbono y la energía acumulada 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 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.

El presente estudio corrobora los resultados de otros estudio de ACV de productos de camarón, donde el proceso de pesca (en el caso de las pesquerías industriales de arrastre) y el proceso de cultivo en piscinas (en el caso de los productos de granjas camaroneras) son las etapas que más impacto generan en la cadena de valor (Cao *et al.*, 2011; Farmery *et al.*, 2015; Kruse *et al.*, 2009; Hospido and Tyedmers, 2005; Thrane, 2004 a y b; Ziegler and Valentinsson, 2008; Ziegler *et al.*, 2011). De la misma manera, se corroboró que el alimento de camarón es el

producto que más impacto tiene en las actividades de acuicultura, principalmente por la cantidad utilizado para engordar un kg de camarón y por el origen de los ingredientes que lo componen.

Al comparar la producción en granjas que tienen en otros países encontramos que el de Colombia tiene un mayor indicador de la demanda acumulada de energía, pero contribuye menos al calentamiento global que los demás. 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; 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.

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 “la cuna hasta la ciudad de destino” (consumo nacional). La empresa de procesamiento está certificada bajo la NTC ISO 14001, la cual está relacionada con la gestión ambiental de los procesos. Esto denota 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 contribuyen con 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 cambiar para utilizar unas que pesen 15% menos, lo que se reflejaría en un 1% de los impactos ambientales asociados. También es posible considerar cambiar las plantas eléctricas diesel por unas que funcionen con gas natural. Esta mejora puede llegar 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. En todos los escenarios se encontró que el transporte es una etapa que representa en promedio el 6% de los impactos asociados. Entonces, sería muy adecuado considerar optimizar el transporte al máximo y mejorar la eficiencia de los motores o sustituir combustibles utilizados por algunos más limpios, p. ej. el ACPM por Gas Natural. Si el transporte es nacional (en camión) 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 parámetros ambientales como la eficiencia en el consumo de combustible. De esta manera se puede 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.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta investigación se analizó el ciclo de vida de los productos de camarón que son producidos en pesquerías industriales y en acuicultura continental. Se consideraron las etapas de extracción de materiales, producción, procesamiento y transporte hasta el lugar de destino (España o Bogotá). Se utilizó el software Simapro v8 para procesar la información y simular los diferentes escenarios de producción que fueron analizados. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

- Los productos de camarón que más impacto tienen asociado en su ciclo de vida corresponden a aquellos que se originan en pesquerías industriales de arrastre en las condiciones actuales de extracción y el cultivo en piscinas. Los productos de camarón que se capturan en aguas someras del Caribe son los que tienen el mayor impacto potencial asociado. Les siguen muy de cerca los productos que se originan en aguas someras del Pacífico. En tercer lugar se encuentran los que se originan en aguas profundas del Pacífico (probablemente en razón al estado de las poblaciones naturales de camarón) y en cuarto lugar están los que provienen de granjas camaroneras.
- En el ciclo de vida de los productos de camarón (desde “la cuna hasta el puerto de destino”) que se originan en pesquerías industriales de arrastre, la etapa que genera el mayor impacto ambiental es la faena o pesca industrial, contribuyendo con un porcentaje que oscila entre 84 y 92% del total de los impactos estimados. El transporte puede ser la segunda o tercera etapa con mayor impacto ambiental asociado, dependiendo de la pesquería que se considere (0,5 a 3,2%). En el tercer lugar, que también puede tomar el segundo en algunos escenarios, corresponde a la fase de procesamiento del camarón (entre 0,7 y 4,5%).
- 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, contribuyendo en un 50% sobre el total de todos los indicadores de desempeño ambiental. Esto 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, 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.
- El consumo de diesel es el insumo que más impacto genera en las pesquerías industriales. La disminución en el uso de diesel genera una reducción prácticamente lineal en los impactos ambientales potenciales. Si se mejora la tecnología de los motores, o se mejoran las tasas de captura promedio por faena, o se utilizan redes que ofrezcan menor resistencia al arrastre, el impacto potencial será disminuido casi en la misma proporción que se reduzca el consumo de diesel.
- Un adecuado manejo de la pesquería de camarón requeriría de cuotas de pesca globales inferiores a las establecidas en la actualidad, pues no se puede dejar abierta la posibilidad de aplicar un esfuerzo de captura igual o superior al que se reporta en este estudio, pues la disponibilidad del recurso de camarón ha disminuido en los últimos años.
- Se recomendaría aumentar el tiempo de veda de captura de camarón de dos meses a por lo menos 6 meses, y extender la normativa a la costa Caribe para procurar la recuperación del recurso.
- El gas refrigerante HCFC R22 es altamente impactante en la capa de ozono, en la salud humana y en la contribución al cambio climático. Sin embargo la sustitución de este gas por un gas R407a, que es el típicamente utilizado para su reemplazo, no disminuye considerablemente el impacto ambiental potencial durante la faena debido a su alto potencial de calentamiento global.
- 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 el uso de diesel, gas natural, de cloruro de sodio e hipoclorito de sodio son los elementos que más impacto generan. La cocción del camarón representa el 22% del impacto total del procesamiento.
- 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 difieran considerablemente de los estudios que se reportan.
- 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.

9. BIBLIOGRAFIA

ACCEFYN, 2003. Factores de emisión de los combustibles colombianos. Informe final presentado a la Unidad de Planeación Minero Energético. Bogotá. Disponible en <http://www.siame.gov.co/Portals/0/FECOCupme.xls>

Anh P., C. Kroeze, S. R. Bush and A. Mol, 2010. Water pollution by intensive brackish shrimp farming in south-east Vietnam: Causes and options for control. *Agricultural Water Management*. 97:872-882

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. Pp 58.

Barreto C. G y Borda C. A, 2008. Propuesta técnica para la definición de Cuotas Globales de Pesca para Colombia, vigencia 2009. Muñoz S. E, Puentes V., Sanabria A.I (editores). Documento técnico concertado en el comité Técnico Interinstitucional. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, ICA, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. Pp 263

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

CCI, 2010. Pesca y acuicultura Colombia 2010. En convenio Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – Corporación Colombia Internacional. Informe anual. Pp 160

Cuellar J., C. Lara, V. Morales, A. De Gracia y O. García, 2010. Manual de buenas prácticas de manejo para el cultivo del camarón blanco *Penaeus vannamei*. New Concept Publications, Panama. Pp 132

Díaz J.M., C.A. Vieira y G.J. Melo (eds.). 2011. Diagnóstico de las principales pesquerías del Pacífico colombiano. Fundación Marviva – Colombia, Bogotá. Pp 242

Duarte L., C. Garcia, J. Altamar & L. Manjarres, 2004. Bottom trawl bycatch of the shrimp fishery in the upwelling area of Colombia, Caribbean sea. Current status and historical insights. En: L. Manjarres (ed.). *Dinámica espacio-temporal del ecosistema de afloramiento del area Bocas de Ceniza – Punta Espada (Caribe colombiano) y sus 13 implicaciones para un régimen de pesca responsable*. Informe técnico. UNIMAG, COLCIENCIAS, INCODER, INPA, UNAL. Santa Marta. Pp 24

Duarte L. & F. Cuello, 2006. Sistema de información evaluación y ecología pesquera, SIEEP (versión 1.1). Actualidad para estudios de la captura acompañante en pesquerías de camarón. *Rev. Intropica*. 3: 101-108

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

Esquivel, M.A., M.C. Merino, J. J. Restrepo, A. Narváez, C. J. Polo, J. Plata y V. Puentes, 2014. Estado de la Pesca y la Acuicultura 2014. Documento de compilación de información. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca -AUNAP- Colombia. Pp 26

FAO 2009. The state of the world's fisheries and aquaculture SOFIA 2008. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, Italy.

FAO, 2010. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Disponible en <http://www.fao.org>.

FAO, 2014. El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura; oportunidades y desafíos. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, Italy. Pp 253

FAO – INCODER, 2011. Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia. MADR, Colombia. Pp 131

Farmery A., C. Gardner, B. S. Green, S. Jennings and R. Watson, 2015. Lyfe cycle assessment of wild capture prawns: expanding sustainability considerations in the Australian Northern Prawn Fishery. Journal of Cleaner Production. 87: 96-104,

FEDNA, 2014. Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal. Disponible en línea: http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/harina-de-carne-501426
Fecha de consulta: noviembre 2014.

Frischknecht R. and N. Jungbluth, 2003. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent 2000, Swiss Centre for LCI. Duebendorf, CH, www.ecoinvent.ch

Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H. J., Doka, G., Dones, R., Hirschler, R., et al. (2007). Implementation of life cycle impact assessment methods: Data v2.0. ecoinvent report No. 3. Dübendorf, Switzerland: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

García C. B., D. Perez, L. Duarte & L. Manjarres, 2008. Experimental results with a reducing device for juvenile fishes in a tropical shrimp fishery: impact on the invertebrate bycatch. Pan American Journal of aquatic science. 3 (3):275-281

Gillett, R., 2008. Global Study of Shrimp Fisheries. FAO Fisheries Technical Paper 475. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Goedkoop M. and R. Spriensma, 1999. The Eco-indicator 99 – A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report. PRé Consultants. Amersfoort, Netherlands. Disponible en: <http://www.pre.nl/eco-indicator99/ei99-reports.htm>

Gómez-Canchong P., L. Manjarres, L.O. Duarte y J. Altamar, 2004. Atlas pesquero del área norte del Mar Caribe de Colombia. Universidad del magdalena, Santa marta. Pp 230

Gutiérrez M., M. Yossa y W. Vásquez, 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, Universidad de los Llanos, Villavicencio - Meta. 15 (2); 169-179

He P. and V. Balzano, 2011. Rope Grid: a new grid design to further reduce finfish bycatch in the Gulf of Maine pink shrimp fishery. Fish Research. 111, 100-107.

Heijungs R., J. B. Guinee, G. Huppes, R. M. Lankreijer, H. A. Udo De Haes, A. Wegener, A. Ansems, P. G. Eggels, R. van Duin and H. P. De Goede, 1992. Environmental life-cycle assessment of products. Guide and Backgrounds. CML, Leiden University. Leiden, The Netherlands. Pp 121

Henriksson P. J. G., J. B. Guinée, R. Kleijn & Geert R. de Snoo, 2012. Life cycle assessment of aquaculture systems - a review of methodologies. International Journal of Life Cycle Assessment. (17): 304–313.

Hospido A. and P. Tyedmers, 2005. Life cycle environmental impacts of Spanish tuna fisheries. Fisheries Research. 76 (2): 174-186

Huijbregts MAJ, 1999 a. Life cycle impact assessment of acidifying and eutrophying air pollutants. Interfaculty Department of Environmental Science, Faculty of Environmental Science, University of Amsterdam, Calculations of equivalency factors with RAINS-LCA.

Huijbregts MAJ, 1999 b. 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.

INVEMAR, 2014. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2013. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 192p.

IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. National Greenhouse Gas Inventories Programme, Intergovernmental Panel on Climate Change. Vol. 1 - 5

IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

ISO, 2006. Norma técnica colombiana NTC ISO 14040. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de vida. Principios y Marco de Referencia. ICONTEC. Bogotá, Colombia. Pp 24

ISO, 2007. Norma técnica colombiana NTC ISO 14044. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de vida. Requisitos y directrices. Requisitos del Ciclo de Vida. ICONTEC. Bogotá, Colombia. Pp 50

Kautsky, Nils, H Berg, C Folke, J Larsson, y M Troell, 1997. Ecological Footprint for Assessment Resource Use and Development Limitations in Shrimp and Tilapia Aquaculture. *Aquaculture Research*, Pp 753-766.

Kruse, S., A. Flysjö, N. Kasperczyk and A. J. Sholz, 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., R. Mungkung, H. S. Gheewala and P. Lebel, 2010. Innovation cycles, niches and sustainability in the shrimp aquaculture industry in Thailand. *Environmental Science and Policy*. 13: 291-302

Luna A., 2011. Valor nutritivo de la proteína de soya. *Revista Investigación y Ciencia*, Universidad Autónoma de aguas calientes. 36: 29-34

Nijdam D., T. Rood and H. Westhoek, 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: 760-770

Manjarres, L., L. Duarte, C. Garcia, J. Altamar, F. Cuello, F. Escobar, P. Gómez, H. Zuñiga, J. Paramo, J. Viaña, D. Perez, K. Tejada, J. Sánchez, N. Correa y E. Egurrola, 2006. Informe final del proyecto Valoración biológico-pesquera y ecológica de la pesca industrial de arrastre camaronero e impacto de la introducción de dispositivos reductores de fauna acompañante, en el mar Caribe de Colombia. Código Colciencias 1117-09-13723. Universidad del Magdalena – Universidad Nacional de Colombia – COLCIENCIAS – INCODER. Santa Marta. Pp 363 + 2 cd-rom

MADS, 2011. Revisión y análisis de la fauna y flora afectada por las capturas incidentales: Hacia la aplicación del enfoque ecosistémico para el manejo sostenible de las pesquerías de Colombia. Editorial Puentes Granada, Vladimir. Bogotá, Colombia. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Pp 60

Mungkung, Rattanawan Tam, Helias A Udo de Haes, y Roland Clif, 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.

Parker, R., K. Hartmann, B.S. Green, C. Gardner and R. Watson, 2014. Energy performance of Australian marine capture fisheries. *Journal of Cleaner Production*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.1009.1081>.

Parker, R.W.R. and P. H. Tyedmers, 2014. Fuel consumption of global fishing fleets: current understanding and knowledge gaps. *Fish and Fisheries*. <http://dx.doi.org/10.1111/faf.12087>.

Pas 2050, 2008. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standards Institution. London, UK. Pp 36

Pelletier N. and P. Tyedmers, 2010. Life cycle assessment of frozen tilapia fillets from Indonesian lake-based and pond-based intensive aquaculture systems. *Journal of Industrial Ecology*, 14 (3): 467-481

Pitcher, C.R., C.Y. Burridge, T.J. Wassenberg, B.J. Hill, and I.R. Poiner, 2009. A large scale BACI experiment to test the effects of prawn trawling on seabed biota in a closed area of the Great Barrier Reef Marine Park, Australia. *Fish. Res.* 99, 168-183.

PRé, 2012. SIMAPRO 8: LCA Software for measuring sustainability impact. PRé Consultants. The Netherlands. Disponible en: <http://www.pre-sustainability.com>

Ramírez A. D. y J.W. Duque, 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. Guayaquil, Ecuador. Pp 68

Rueda M., F. Rico, E. Vilorio & J. Viaña, 2010. Evaluación de recursos pesqueros clave y medidas de manejo sugeridas para comité ejecutivo de la pesca. Concepto técnico Tipo D. CPT-VAR 026-10. INVEMAR. Pp 30

Suarez A. M. & J. Rehder, 2009. Actualización del estado de la flota pesquera comercial industrial en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. Produmedios, Bogotá. Colombia. Pp 27

Thrane, M. 2004a. Energy consumption in the Danish fishery: Identification of key factors. *Journal of Industrial Ecology*. 8 (1-2): 223-239

Thrane, M. 2004b. Environmental impacts from Danish fish products, hot spots and environmental policies. Ph.D. dissertation. Aalborg University, Aalborg, Denmark. Pp 514

UPME, 2012. Sistema de Información Ambiental Minero Energético. Disponible en: <http://www.siame.gov.co/Inicio/C%C3%A1lculofactordeemisi%C3%B3n/tabid/77/Default.aspx> Fecha de Consulta: Julio de 2013.

Viaña, J. E., J. Medina, M. Barros, L. Manjarres, J. Altamar & M. Solano, 2004. Evaluación de la ictiofauna demersal extraída por la pesquería industrial de arrastre en el área norte del Caribe Colombiano (Enero/2000 – Junio/2001). En: Pesquerías demersales del área norte del mar Caribe de Colombia y parámetros biológico – pesqueros y poblaciones del recurso pargo. Instituto Colombiano para el desarrollo de la ciencia y tecnología “Francisco Jose de Caldas”. Colciencias. Pp 115-151

Winther, U., Ziegler F., E. Hognes, A. Emanuelsson, V. Sund and H. Ellingsen, 2009. Carbon footprint and energy use of Norwegian seafood products. SINTEF Fisheries and Aquaculture. Trondheim, Norway. Pp 91

Ziegler, F. and D. Valentinsson, 2008. Environmental life cycle assessment of Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) caught along the Swedish west coast by creels and conventional trawls: LCA methodology with case study. International Journal of Life Cycle Assessment. 13 (6): 487-497

Ziegler, F., P. Nilsson, B. Mattsson and Y. Walther, 2003. Life cycle assessment of frozen cod fillets including fishery-specific environmental impacts. International Journal of Life Cycle Assessment. 8 (1): 39-47

Ziegler, F., A. Emanuelsson, J. L. Eichelsheim, A. Flysjö, V. Ndiaye and M. Thrane, 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

Zúñiga C. Harley, J. Altamar and L. Majarrés. J., 2005. Caracterización de la flota de arrastre camaronero del mar Caribe de Colombia. Proyecto Innovación Tecnológica de la Flota Industrial Camaronera del Mar Caribe de Colombia - (EP/GLO/201/GEF). Laboratorio de Investigaciones Pesqueras Tropicales – LIPET, Universidad del Magdalena. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Pp 20