



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Análisis de la sostenibilidad de sistemas piscícolas en el territorio Arhuaco de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia, mediante análisis emergético

Rafael José Mindiola Romo

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia

Departamento de Producción Animal

Bogotá, Colombia

2019

Análisis de la sostenibilidad de sistemas piscícolas en el territorio Arhuaco de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia, mediante análisis emergético

Rafael José Mindiola Romo

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Producción Animal

Directora:

Adriana Patricia Muñoz Ramírez Z, Máster, Dra.

Línea de Investigación: Nutrición Animal

Sublínea: Nutrición de Peces

Grupo de Investigación: UN-ACUICTIO

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Departamento de Producción Animal
Bogotá, Colombia

2019

A mi madre María Dolores Romo Salas y a toda mi familia, que me apoyaron constantemente durante el tiempo comprendido para la investigación y construcción de este documento y que irradian constantemente energía para poder avanzar en el camino, sin desfallecer por difícil que haya sido.

A mi esposa por su compañía y dedicación infinita

A mis padres

A mis hermanos

A mis sobrinos

Los intercambios culturales deben respetar el desarrollo de nuestras culturas nacionales sin menospreciar las ventajas y puntos fuertes de cada uno de nuestros países para que podamos conocernos y asimilarnos mutuamente (zhou enlai)

Agradecimientos

Agradezco a mi madre María dolores Romo Salas por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido alcanzar todos mis logros.

A mis familiares.

A mis hermanos con quienes he compartido mi vida y me han animado en cada proyecto que inicio y siempre han estado junto a mí en muestra de esa unión familiar que nos inculcaron nuestros padres.

De manera especial a las autoridades y mamás de la comunidad de Jimaín y Nabusímake, quienes me brindaron el apoyo y me dieron lineamientos para lograr así la implementación y desarrollo del proceso de investigación.

Agradezco a Juan Carlos Durán Izquierdo, colega y amigo quien me apoyo incondicionalmente durante todo el proceso de investigación.

A los profesores Juliana Schober Gonçalves Lima y Elmer Alberto Ccopa Rivera por su dedicado apoyo para la revisión de datos y orientación sobre el análisis emergético.

A la profesora Adriana Patricia Muñoz Ramírez directora de la tesis por sus aportes y enseñanzas en el campo científico, su apoyo decidido en la estructuración y ejecución del proyecto de investigación.

Resumen

Los desafíos que enfrenta la acuicultura son diversos pues, aunque es vista como una de las principales opciones para enfrentar las problemáticas de seguridad alimentaria mundial, es necesario buscar que la producción asegure un desarrollo sostenible en términos económicos, sociales y medioambientales, especialmente si la actividad es desarrollada en territorios indígenas. Así, el objetivo de este estudio fue realizar la evaluación de la sostenibilidad de tres sistemas piscícolas instalados en el territorio Arhuaco de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), Colombia, mediante metodología emergética. El primer sistema se localizó en la comunidad de Nabusímake, en la parte alta de la SNSM, donde se evaluó el cultivo de trucha arco iris (T) en régimen semi intensivo. Los otros dos sistemas se instalaron en la comunidad de Jimaín en la parte baja de la SNSM, donde se estudió el policultivo de cachama y bocachico en un modelo de agro acuicultura integrada con o sin uso de sustratos para fijación de perifiton (PCp y PSp respectivamente). Para el análisis de sostenibilidad se utilizaron índices emergéticos, calculados a partir de la transformación de los recursos renovables (R), no renovables (N), materiales (M), servicios (S) y productos (O) de cada sistema a unidades de energía solar (sej). La evaluación emergética mostró que todos los sistemas son altamente dependientes de recursos no renovables como el agua y suelo, así como de materiales provenientes de la economía humana como alimento y materiales para la adecuación de estanques. Los índices emergéticos indicaron que los policultivos de cachama y bocachico, con o sin uso de perifiton, son sistemas con nivel de sostenibilidad similares, sin embargo, el cultivo de trucha mostró ser más eficiente, al incorporar menos emergía por valor de producto.

Palabras clave: Bocachico, cachama, perifiton, policultivo, seguridad alimentaria, trucha arco iris.

Abstract

The challenges facing aquaculture are different because, although it is seen as one of the main options for addressing the issues of global food security, it is necessary that fish production gives sustainable development in economic, social and environmental terms, mainly if the fish farm is localized in indigenous land. Thus, the aim of this study was to evaluate the sustainability of three farming systems situated in the Sierra Nevada de Santa Marta, using emergy methodology. The first system was located in the community of Nabusimake, at the top of the SNSM, where the growth of rainbow trout (T) in semi-intensive regimen was evaluated. Other systems were installed in the community of Jimaín, at the bottom of the SNSM, where cachama and bocachico polyculture was studied in a model of agro-integrated aquaculture with or without use of substrates for periphyton growth (PCp, PSp respectively). For sustainability analysis, emergy indicators were used; they were calculated from the conversion of renewable (R) and nonrenewable (N) resources, materials (M), services (S) and products (O) of each system to units of solar energy (sej). The emergy evaluation shows that all systems are highly dependent on non-renewable resources such as water and soil, as well as materials from the human economy as food and materials for the adequacy of ponds. Emergy indicators indicated that polyculture of cachama and bocachico, with or without periphyton use, are systems with similar level of sustainability, however, trout culture showed to be more efficient by incorporating worth less emergy in its product.

Keywords: Bocachico, cachama, periphyton, polyculture, rainbow trout, food security.

Contenido

	Pág.
Resumen y Abstract	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de Símbolos y abreviaturas	XV
Introducción	1
1. Marco teórico	3
1.1 Acuicultura en Colombia	3
1.1.1 Estado de la producción acuícola	3
1.1.2 Sistemas de producción piscícola	4
1.2 Análisis de eficiencia emergética integral (EMERGY)	6
1.3 La Sierra Nevada de Santa Marta	7
1.3.1 Comunidad de Nabusímake	8
1.3.2 Comunidad de Jimaín	9
1.4 Bibliografía	10
2. Análisis emergético de tres sistemas piscícolas en el territorio Arhuaco de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia	13
2.1 Introducción	14
2.2 Materiales y métodos	16
2.2.1 Aspectos culturales y del territorio	16
2.2.2 Localización de los sistemas de producción	16
2.2.3 Análisis emergético	21
2.3 Resultados y discusión	23
2.3.1 Parámetros productivos	23
2.3.2 Análisis emergético	25
2.4 Conclusiones	34
2.5 Bibliografía	35
3. Conclusiones y recomendaciones	39
3.1 Conclusiones	39

3.2 Recomendaciones	40
Anexos.....	41
Anexo A: sistema de producción de truchas	41
Anexo B: sistema de producción de Cachama y bocachico con perifiton	47
Anexo C: sistema de producción de Cachama y bocachico sin perifiton	53

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1. Sistemas productivos piscícolas instalados en la Sierra Nevada de Santa Marta. T - Trucha arco iris (izquierda), PSp - policultivo cachama-bocachico sin uso de sustratos para perifiton (centro), PCp - policultivo cachama-bocachico con uso de sustratos para perifiton (derecha).....	18
Figura 2-2. Diagrama de flujos de energías en el sistema de producción de Truchas -Nabusímake	26
Figura 2-3 Diagrama de flujos de energías en el sistema de producción de cachama y bocachico con perifiton.	27
Figura 2-4 Diagrama de flujos de energías en el sistema de producción de cachama y bocachico sin perifiton.	27

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1 Producción piscícola por especie en Colombia 2015-2017 (en Toneladas).....	4
Tabla 1-2 Características técnicas de sistemas de producción de trucha arcoíris	5
Tabla 2-1. Flujos de energía utilizados en el conteo medioambiental	22
Tabla 2-2. Indicadores energéticos usados en la contabilidad medioambiental.....	22
Tabla 2-3. Parámetros técnicos de sistemas de producción de trucha (T), de policultivo de cachama y bocachico con perifiton (PCp) y sin perifiton (PSp).....	25
Tabla 2-4. Evaluación energética del sistema de producción de truchas (T)	29
Tabla 2-5. Evaluación energética del sistema de producción en policultivo de cachama y bocachico con perifiton (PCp)	30
Tabla 2-6. Evaluación energética del sistema de producción en policultivo de cachama y bocachico sin perifiton (PSp).....	31
Tabla 2-7 Flujos energéticos agregados en los sistemas de producción de trucha, policultivo cachama y bocachico con perifiton y sin perifiton	32
Tabla 2-8 Indicadores energéticos calculados de los sistemas de producción de trucha (T), policultivo cachama y bocachico con perifiton (PCp) y sin perifiton (PSp)	33

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
%R	Porcentaje de renovabilidad
A_e	Área del estanque
AT	Alimento total suministrado
B_{Bc}	Biomásas de bocachicos
B_{Ch}	Biomásas de cachamas
B_f	Biomasa final del estanque
$B_{PL \text{ final}}$	Biomasa del policultivo por estanque
B_{Tr}	Biomásas de las truchas
CA	Conversión alimenticia
CT	Crecimiento total
E	Energía de los productos
EER	Tasa de intercambio emergético
EIR	Tasa de inversión emergética
ELR	Tasa de carga ambiental
ESI	Índice de sostenibilidad emergética
EYR	Tasa de rendimiento emergético
F	Contribución de la economía humana
GDP	Ganancia diaria de peso
G_p	Ganancia de peso
I	Contribución de la naturaleza
J	Julios
Kg/ha	Kilogramos por hectárea
LE	Longitud estándar
L_{Final}	Longitud estándar final
L_{Incial}	Longitud estándar inicial
M	Materiales totales
m^2	Metro cuadrado
M_N	Materiales no renovables
M_R	Materiales renovables
$msnm$	Metros sobre el nivel del mar
N	Recursos no renovables
N_{final}	Número de peces cosechados
$N_{inicial}$	Número de peces sembrados
N_d	Número de días del experimento
O	Producto

°C	Grados <i>celsius</i>
P_{BC}	Productividad del bocachico
P_{Ch}	Productividad de las cachamas
PC_p	Policultivo de cachama y bocachico con sustrato para fijación de perifiton
P_{final}	Peso final
$P_{inicial}$	Peso inicial
P_{PI}	productividad del policultivo
PS_p	Policultivo de cachama y bocachico sin sustrato para fijación de perifiton
P_{Tr}	Productividad de la trucha
R	Recursos renovables
S	Servicios totales
$S(\%)$	Sobrevivencia
SAAI	Sistema de agro acuicultura integrada
sej	Unidad de energía solar
S_N	Servicios no renovables
SNSM	Sierra Nevada de Santa Marta
S_R	Servicios renovables
SS	Sin Sustratos
T	Cultivo de trucha arco iris
t	Toneladas
TCA	Tasa de conversión alimenticia
TEC	Tasa de crecimiento específico
Tr	Transformidad solar
Y	Energía total

Introducción

La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) es habitada por cuatro grupos indígenas, entre los cuales está la etnia Arhuaca. Gran parte de este territorio está amparado bajo la figura de territorio de resguardo, razón por la cual tiene también unas políticas de uso de la tierra y los demás recursos desde una visión cultural, que van de la mano con la búsqueda de la sostenibilidad ambiental y el cumplimiento tradicional desde la cosmogonía de cada uno de los pueblos indígenas que la habitan. La SNSM ha sido testigo de muchas colonizaciones a través de la historia, como la llegada de los españoles, las bonanzas, los grupos guerrilleros, los paramilitares y constantemente por grupos campesinos que buscan en este ecosistema un lugar donde producir y asentarse. Lo anterior ha ocasionado que la población indígena que en sus inicios tenían sus territorios desde las orillas del mar hasta los picos nevados, se haya ido ubicando hacia la parte alta de la Sierra. Hoy día, por las presiones poblacionales existentes se hace necesario realizar la recuperación territorial de los espacios que anteriormente pertenecían a estos grupos indígenas. Como estrategia, desde el año 2000 se viene desarrollando con apoyo del gobierno y con recursos del sistema general de participación, la compra de fincas que están en la parte baja del territorio donde se construyen los asentamientos que hoy día se conocen como pueblos talanquera (CIT Confederación Indígena Tairona, 2018), donde también se hace necesario la implementación de nuevos sistemas de producción para el sustento económico de la población.

De esta manera, en la SNSM se han venido estableciendo sistemas de producción piscícola que buscan generar una nueva actividad económica en la región, aprovechando las aguas de calidad adecuada para especies como la trucha, la cachama y el bocachico, que a su vez tienen constante demanda en el mercado local. Como estos sistemas de producción se encuentran en un territorio de resguardo, que cuenta con unas políticas claras de conservación del medio ambiente, se hace necesario evaluar la sostenibilidad de estos sistemas, con el fin de utilizar la información generada como herramienta para la

toma de decisiones o estudios futuros en la región. Aunque la actividad piscícola en el territorio Arhuaco ha sido desarrollada anteriormente en niveles extensivos y semi intensivos, no se cuenta con documentación disponible sobre parámetros técnicos ni el impacto generado por estas.

Según Del Pozo et ál. (2014) los sistemas productivos tienen acceso a distintos tipos de energía que se pueden clasificar en naturales (eólica, mares, lluvia, sol, viento), de los procesos antrópicos, el trabajo humano, ecosistemas naturales, los aportes de energías de los ecosistemas naturales (suelo, biodiversidad, depósitos de agua), como también los flujos monetarios y de información. De este modo, el análisis emergético propuesto por Odum (1996), constituye una metodología válida de la evaluación integral y sistémica de los ecosistemas, la cual estima los valores de emergías incorporados en los productos, procesos y los servicios ambientales.

Así, el objetivo de este estudio fue realizar la evaluación de la sostenibilidad de tres sistemas piscícolas instalados en el territorio Arhuaco de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), Colombia, mediante metodología emergética. El presente documento está conformado por marco teórico general de producción acuícola en Colombia, tipos de producción piscícola, contextualización de la comunidad indígena Sierra Nevada de Santa Marta y conceptos de la metodología emergética. Posteriormente se presentan los resultados del análisis emergético de un sistema de producción de trucha arco iris y dos sistemas de policultivo de cachama y bocachico con y sin sustratos para fijación de perifiton instalados en el territorio Arhuaco, con el fin de conocer su sostenibilidad. Finalmente son presentadas conclusiones y recomendaciones generales de la temática estudiada.

1. Marco teórico

1.1 Acuicultura en Colombia

1.1.1 Estado de la producción acuícola

La FAO (2018) en su informe *El estado mundial de la pesca y acuicultura* menciona que especies como la carpa, el bagre y la tilapia son las que han tenido un crecimiento notable y representarán el 62 % de la producción acuícola total para el 2030; menciona también que se espera que la producción de especies de alto valor, como el camarón, el salmón y la trucha, siga aumentando. De este mismo modo, de manera similar al crecimiento de la acuicultura, el incremento poblacional a nivel mundial va a un ritmo acelerado. En este sentido, el mismo documento informa que para el año 2025 la población mundial será de 8.100 millones y para el año 2050 llegará a 9.600 millones de habitantes, lo que ocasionará una alta demanda de productos alimenticios, que necesariamente hace que la acuicultura esté llamada a ser más eficiente y competitiva para poder abastecer la demanda venidera. Así, el informe indica que 59,6 millones de personas participaron en el sector primario de la pesca de captura y la acuicultura en 2016, de los cuales 19,3 millones de personas lo hicieron en la acuicultura, sin embargo, se cree que existen más de 500 mil familias que dependen de la acuicultura de pequeña escala para su seguridad alimentaria e ingreso familiar en la región.

Sánchez et ál. (2014) mencionan que la contaminación del agua se ha convertido en un grave problema para la industria acuícola, acompañada por un elevado deterioro de los suelos productivos por procesos de sobreexplotación. En este mismo sentido el Departamento Nacional de Planeación (DNP 2014) menciona que en Colombia la desecación de cuerpos de agua, la construcción de obras de infraestructura, la contaminación, la pesca ilegal y las malas prácticas pesqueras han causado una reducción importante de la oferta pesquera continental que asciende a las 60.000 toneladas en la última década. Los autores mencionan que la disponibilidad y calidad del agua ha sido

impactada por actividades tanto naturales como antropogénicas, conduciendo a la baja calidad del líquido y una reducida productividad en ecosistemas acuáticos. Como se mencionó, la problemática del agua está directamente relacionada con el sistema de producción; de este modo, en el transcurso del tiempo se han realizado diversos estudios para encontrar soluciones a las problemáticas ambientales, nutricionales y de sanidad que se generan en los sistemas de producción acuícolas.

Según la Federación Colombiana de Acuicultores (Fedeacua 2018) para el año 2017 en Colombia la tilapia representó el 61% de la producción nacional, seguida por la cachama con el 19%, la trucha con el 17% y otras especies el 3% (Tabla 1-1). Cabe resaltar que la producción nacional de trucha se incrementó en un periodo de tres años (2015-2017) en 4.398 toneladas, mientras que la cachama presentó un crecimiento menor, representado en 1.678 toneladas, sin embargo, esta última sigue siendo más representativa para el sector. De acuerdo con Pardo et ál. (2018) nuevas iniciativas piscícolas han sido implementadas en Colombia en regiones previamente afectadas por el conflicto armado, donde grupos de excombatientes están desarrollando la piscicultura para la sustitución de cultivos ilícitos. La piscicultura también ha sido implementada en territorios indígenas donde tradicionalmente no se realizaba esta actividad, como alternativa productiva para la obtención de proteína animal.

Tabla 1-1 Producción piscícola por especie en Colombia 2015-2017 (en Toneladas)

Especie	2015	2016	2017
Tilapia	63.157	66.946	73.641
Cachama	20.777	22.024	22.455
Trucha	15.828	16.778	20.226
Otras especies	3.351	3.552	3.907
Total	103.114	109.300	120.230

Fuente: (Fedeacua 2018)

1.1.2 Sistemas de producción piscícola

Los diferentes sistemas de producción que se manejan son clasificados según su intensidad, magnitud y utilización de los alimentos. Como ejemplo, en la tabla 1-2 se presenta de forma resumida un comparativo entre los distintos tipos de sistemas de producción, según lo propuesto por Panné y Luchini (2012) para trucha arcoíris.

Tabla 1-2 Características técnicas de sistemas de producción de trucha arcoíris

Tipo de sistema	Suministro de alimento	Densidad en el sistema	Infraestructura utilizada
Extensivo	Nulo	Baja	Ríos, lagos, lagunas
Semi intensivo	Suplemento	Media	Estanques y jaulas
Intensivo	Factor principal	Alta	Estanques y jaulas, sistemas de recirculación

Fuente: Panné y Luchini (2012).

Los mencionados sistemas de producción de peces son muy conocidos y utilizados en el país, no obstante, sistemas semi intensivos con uso de suplementos alimenticios para trucha o para otras especies ícticas son poco estudiados en algunas regiones y apenas se inicia su implementación como opción para mejorar la disponibilidad de alimentos. Esta alternativa va acompañada de la inclusión de formas compuestas de producir, como es el sistema de agro acuicultura integrada (SAAI) y la inclusión de las superficies fijadoras de perifiton para mejorar los rendimientos de algunas especies de peces en términos productivos. En el SAAI se integran la Acuicultura Rural en Pequeña Escala (ARPE) con dinámicas productivas agrícolas, pecuarias y sociales (Murray y Little 2000; FAO 2004). En este sentido, Ahmed et ál. (2014) mencionan que el SAAI presenta un gran potencial para incrementar la producción de alimentos y reducir los riesgos asociados a la escasez de agua. Por otro lado, Rodríguez-Vázquez y Flores-Nava (2013) mencionan que la ARPE es la actividad realizada por acuicultores rurales que presentan limitaciones por sus condiciones socioeconómicas y los enfoques productivos se basan en el autoconsumo, la comercialización parcial, con numerosas intervenciones estatales, pero poco eficaces.

Las productividades obtenidas en los SAAI podrían incrementarse con el uso de superficies fijadoras de perifiton el cual, según Biswas et ál. (2017), es un componente de las comunidades bióticas acuáticas, comprendido en su mayoría por un complejo de microbiota, algas, bacterias, hongos, animales, detritos orgánicos e inorgánicos, adherido a un sustrato, que puede ser orgánico o inorgánico, vivo o muerto. También mencionan que estas poblaciones son consideradas de alto valor nutritivo para especies detritívoras y que a través del perifiton obtienen un alto porcentaje alto de proteína para la dieta. De modo similar, García et ál. (2016) y David et ál. (2018) afirman que es posible disminuir el uso del alimento artificial en el cultivo de tilapia nilótica, mediante el aporte de nutrientes

proveniente del perifiton fijado en superficies adecuadas para tal fin, incrementado la sostenibilidad del sistema de producción.

La instalación de sistemas piscícolas no tradicionales requiere de una evaluación de su sostenibilidad, haciendo énfasis en su impacto al medio ambiente de los ecosistemas donde se localizan, mediante metodologías precisas, que no incluyan solamente los procesos económicos, sino que tengan en cuenta los diferentes componentes que participan en el proceso de producción como son los recursos renovables y no renovables de la naturaleza. Así, estudios como el de Sánchez-Tovar et ál. (2006) y David et ál. (2018), muestran la posibilidad de evaluar la sostenibilidad de los sistemas de producción de peces en ambientes específicos, buscando generar el menor impacto posible en el ecosistema.

1.2 Análisis de eficiencia emergética integral (EMERGY)

Según Muhlert et ál. (2013), la evaluación de eficiencia emergética integral es una herramienta que ayuda a cuantificar todos los efectos directos e indirectos de una actividad en las mismas unidades conocida como una “moneda” única, por lo tanto, se plantea como una metodología para comparar sistemas de acuicultura con diferentes usos de recursos. En este sentido, Odum y Jan (1991) mencionan que la emergía tiene en cuenta diferentes formas de energía y recursos (luz del sol, agua, combustibles fósiles, minerales), donde cada una de ellas se produce a través de procesos de transformación en la naturaleza y tiene una determinada capacidad para realizar el trabajo, tanto en sistemas ecológicos como humanos. Los autores definen que el reconocimiento de esas diferencias en la “calidad” es un concepto clave en la metodología de la emergía. En este sentido, Campbell y Brown (2012) mencionan que la evaluación emergética también proporciona información pertinente para la discusión sobre la acuicultura orgánica y la sostenibilidad, la comparación de los costos de los diferentes sistemas de producción y sus productos.

Brown y Herendeen (1996) y Odum (1998), definen al concepto de “Emergy” como la cantidad de energía solar que se utilizó, directa o indirectamente, para obtener un producto o servicio final. Así, Odum (1998) menciona que la cantidad de emergía que fue originalmente requerida para proporcionar una unidad de cada entrada se denomina “Su emergía”. En el mismo sentido, Brown y Herendeen (1996) mencionan que para obtener

la energía solar de un recurso o *commodity*, es necesario rastrear hacia atrás a través de todos los recursos y energía que se utilizan para producir y expresar en la cantidad de energía solar que fue utilizado en su producción.

Según Lima et ál. (2012), para la implementación de la metodología emergética es necesario obtener datos de las piscícolas como son densidad, tamaño de los estanques, número de ciclos/año, productividad, tasa de mortalidad, costos del alimento, ciclos de lluvia, trabajo humano empleado en la producción y los servicios públicos que generan gastos en las explotaciones, entre otros, buscando realizar un análisis del desempeño ambiental del sistema en la escala global. De acuerdo con Brown y Herendeen (1996), la metodología utiliza la energía solar incorporada en las entradas del sistema como base de medición, por lo tanto, las entradas de un proceso se estandarizan en una sola unidad, equivalente a emjulios solares (sej). Los autores también mencionan que de esta manera la unidad *emergy* se define como la cantidad de energía solar que se utilizó, directa o indirectamente, para obtener un producto o servicio final. A partir de la información de entradas y salidas transformadas a emjulios se calculan diversos índices emergéticos. Según Sánchez-Tovar et ál. (2006) los índices emergéticos evalúan diferentes aspectos del ecosistema, tales como intensidad del uso de los recursos, eficiencia del proceso, interacciones económicas y medioambientales y la sostenibilidad de los sistemas basados en datos cuantitativos de los diversos flujos de energía que son transformados dentro de cada sistema productivo. Esta metodología también ha sido usada como herramienta para el análisis de los sistemas de producción de alimentos y de igual modo como herramienta para evaluación de sostenibilidad de los sistemas de producción y recientemente se ha venido implementando cada vez más en el análisis de diversos sistemas acuícolas (David et ál. 2018).

1.3 La Sierra Nevada de Santa Marta

La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) está ubicada al norte de Colombia y en el año 1979 fue declarada por la Unesco como Reserva del Hombre y de la Biosfera (Unesco 2007). Es una subregión estratégica para el Caribe colombiano que se eleva abruptamente desde las costas del Mar Caribe y en tan sólo 42 kilómetros en línea recta alcanza una altura hasta de 5.775 msnm (Parques Nacionales de Colombia 2016) . La Unesco (2007),

menciona que la SNSM es la principal fuente de abastecimiento de agua para los departamentos del Cesar, Magdalena y Guajira.

En la SNSM se encuentran cuatro etnias indígenas (Kogis, Arhuacos, Kankuamos y Wiwas) que habitan cada una un territorio propio, con usos y costumbres particulares, con su idioma y forma de vestir característico. El territorio Arhuaco está compuesto por un total de 53 comunidades, de las cuales 43 están amparadas bajo la ley de resguardos y 10 son pueblos talanquera, construidos en el marco de la recuperación territorial ancestral, ubicados estratégicamente en la parte baja de la Sierra con el objetivo de frenar la colonización y apoyar la recuperación del territorio.

Los Arhuacos son una cultura milenaria que habitan las estribaciones de la SNSM, para quienes es fundamental el hecho de vivir dentro del territorio, no solo por la riqueza que allí hay, sino por lo que significa para ellos desde su cosmogonía. Para el pueblo Arhuaco la Sierra es considerada el corazón del mundo, es decir, es la parte de la tierra que primero recibió luz, donde todos los seres tienen sus raíces. Las culturas indígenas que la habitan afirman que les fue dejado el legado desde la creación para ser los guardianes de este espacio, con el que contribuirán a la conservación del mundo.

La organización social comprende un complejo esquema donde a la cabeza se encuentra el líder espiritual al cual se le conoce como mamo (*mamu*), quien tiene la misión de cuidar a la comunidad y ser el interlocutor con los padres espirituales, quienes dan los lineamientos para mantener el equilibrio en el mundo terrenal. Atendiendo este mandato, para todas las labores que se desarrollan en las comunidades, se debe consultar y realizar los pagos espirituales para pedir permiso a la madre naturaleza con el fin de mantener el equilibrio y el orden del mundo.

1.3.1 Comunidad de Nabusímake

Nabusímake es una de las 53 comunidades del territorio y es considerada la capital del pueblo Arhuaco, localizándose en la cabecera del río Fundación, a 1.820 msnm, con una temperatura promedio de 18-21 °C, periodo de lluvias bimodal y una población total de 5.488 habitantes (CIT 2018). Se destaca la actividad agrícola de cultivo familiar, donde las extensiones no pasan de 1,7 hectáreas de cultivos, entre los cuales se encuentran en su gran mayoría hortalizas, frutas, bastimento (banano verde-guineo y yuca), café y caña. La

producción pecuaria es muy baja y radica en la cría de animales de patio, en su mayoría gallinas, cerdos y algunos ovejos. En la comunidad de Nabusímake existe una gran oferta hídrica propicia para establecer piscicultura, sin embargo, no se cuenta con sistemas de instalados. En el pasado, según relatos de los pobladores, hubo iniciativas que se plantearon para la producción de truchas, pero no tuvieron éxito debido a que después de un ciclo productivo, no se dio continuidad. No obstante, la especie se encuentra en los ríos y quebradas de la comunidad, por lo que sus habitantes la capturan mediante pesca con anzuelo para consumo familiar.

1.3.2 Comunidad de Jimaín

Jimaín está ubicada en la parte baja de la Sierra, a una altura de 300 msnm, en el kilómetro 15 sobre la carretera que de Valledupar conduce a Pueblo Bello, Cesar, caracterizándose por contar con temperatura promedio de 30 °C y periodos de lluvia bimodal. Posee una población de 1000 habitantes Arhuacos (CIT 2018), cuya actividad principal es la agricultura en pequeña escala en fincas, donde se tienen cultivos de pancoger y algunas producciones de traspatio. Por su ubicación está estratégicamente establecida, conformando uno de los 10 pueblos talanqueras, que en el marco de la recuperación territorial busca frenar el ingreso de los colonos a las tierras altas. Los habitantes de esta comunidad anteriormente vivían en las comunidades de Jewrwa, Morotro y Karwa, ubicadas en la parte alta de la Sierra y que se han desplazado para asentarse en estas tierras. En esta región también habitan grupos de campesinos dedicados a actividades como la agricultura, ganadería y avicultura.

Desde el año 2000 cuando se inició el proceso de compra de las tierras del territorio ancestral, se hace reocupación en las fincas adquiridas y es así como se reconoce la necesidad de establecer sistemas de producción que contribuyan a la estabilidad económica de estas comunidades, como a garantizar el acceso a los alimentos necesarios para una buena nutrición. En el año 2015, en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia, se buscó contribuir a solventar las necesidades de proteína de origen animal, mediante la implementación de un sistema de agro acuicultura integrada, que se adaptara a las formas tradicionales de producción de alimentos.

1.4 Bibliografía

- Ahmed, N., Ward, J. D., & Saint, C. P. (2014). Can integrated aquaculture-agriculture (IAA) produce “more crop per drop”? *Food Security*, 6(6), 767–779. <http://doi.org/10.1007/s12571-014-0394-9>
- Atencio-García V, Kerguelén E, Wadnipar L, Narváez A. (2003). Manejo de la primera alimentación del bocachico (*Prochilodus magdalenae*). *Revista MVZ Córdoba*. 8(1): 254-260.
- Biswas, G., Sundaray, J. K., Bhattacharyya, S. B., Anand, P. S. S., Ghoshal, T. K., De, D., ... Kailasam, M. (2017). Influence of feeding, periphyton and compost application on the performances of striped grey mullet (*Mugil cephalus* L.) fingerlings in fertilized brackishwater ponds. *Aquaculture* 481(May), 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.08.026>
- Brown, M. T. y Herendeen, R. A. (1996). Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. *Ecological Economics*, 19(3), 219-235. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(96\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(96)00046-8)
- Campbell, E.T. y Brown, M.T. (2012). Environmental accounting of natural capital and ecosystem services for the US National Forest System. *Environment, Development and Sustainability*, 14(5), 691-724. <https://doi.org/10.1007/s10668-012-9348-6>
- CIT. Confederación Indígena Tairona (2018). Guía general del pueblo Arhuaco.
- David, L. H. C., Pinho, S. M., and Garcia, F. (2018). Improving the sustainability of tilapia cage farming in Brazil: An emergy approach. *Journal of Cleaner Production*, 201, 1012–1018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.124>
- Del Pozo, P.R., Vallim, D.M. y Ortega, E.R. (2014). El análisis emergético como herramienta para evaluar la sustentabilidad en dos sistemas productivos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 59-63.
- DNP. (2014). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018: «Todos por un Nuevo País». Versión para el Consejo Nacional de Planeación, 861.
- FAO. (2004). *AGRO-ACUICULTURA INTEGRADA*. Manual Básico. (Instituto Internacional para la Reconstrucion Rural, Ed.). Roma, Italia.

- FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Fedeacua (2018). *Cifras sectoriales piscicultura continental Colombia*. Recuperado de www.fedeacua.org
- Garcia, F., Romera, D.M., Sousa, N.S., Paiva-Ramos, I., Onaka, E.M., 2016. The potential of periphyton-based cage culture of Nile tilapia in a Brazilian reservoir. *Aquaculture* 464(November), 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.031>.
- García, J. J, Celis, L. M, Villalba, E. L, Mendoza, L. C, Brú, S. B, Atencio, V. J, & Pardo, S. C. (2011). Evaluación del policultivo de bocachico *Prochilodus magdalenae* y tilapia *Oreochromis niloticus* utilizando superficies fijadoras de perifiton. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 58(2), 71-83.
- Lima, J. G. S., Rivera, E. C., y Focken, U. (2012). Emergy evaluation of organic and conventional marine shrimp farms in Guaira Lagoon, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 35, 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.009>
- Muhlert, A. C. S., Lima, J. S. G., Machado, L., and Evangelista, R. A. (2013). Numerical indicators as a tool for the evaluation of the ecological sustainability of marine shrimp farms in Sergipe, Brazil. *Interciencia*, 38(8), 615–620.
- Murray, F. J., & Little, D. C. (2000). The nature of small-scale farmer managed irrigation systems in north west province, Sri Lanka and potential for aquaculture. Stirling, Scotland, Institute of Aquaculture, University of Stirling.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental accounting: emergy and environmental decision making*. New York, U.S.A : John Wiley & Sons, 1996.
- Odum, H. T. (1998). Energy flows in ecology and economy. *memory of International Workshop on Advances in Energy Studies Porto Venere, Italy, May 27,1998.*, .Environmental Engineering Sciences.
- Odum H.T y Jan E.A. (1991). Working paper emergy analysis of shrimp marlculture in Ecuador. *Engineering Sciences*, 1-127.
- Panné S. y Luchinni, L. (2012). Análisis económico para producción de trucha arcoiris. Trabajo elaborado dentro del Proyecto “Incremento de actividad de acuicultura en las

regiones NEA, NOA y Centro”. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Argentina. 7 p.

Parques Nacionales de Colombia. (2016). Plan de manejo Parque Nacional Natural Tayrona.

Pardo, S., Muñoz, A., Atencio V. J. G., & Bonilla, S. P. (2018). Aquaculture in Colombia. *World Aquaculture*, 49(2), 22–26

Rodríguez-Vázquez, H., y Flores-Nava, A. (2013). Acuicultura de pequeña escala y recursos limitados en América Latina y el Caribe: Hacia un enfoque integral de políticas públicas. Recuperado de <http://www.racua.org/es/publicaciones/hacia-un-enfoque-integral-de-politicas-publicas/>

Sánchez, O. I., Sanguino, O. W., Gómez, C. A., & García, C. R. (2014). Evaluation of a rainbow trout (*Oncorhynchus mikyss*) culture water recirculating system. *Revista MVZ Cordoba*, 19(3), 4226-4241.

Sánchez-Tovar, V., Gutiérrez-Álvarez L. F. y Osorio-García, J.A. (2006). Análisis emergético del policultivo de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y bocachico (*Prochilodus* sp.) en la estación piscícola Vai, municipio de el Doncello – Caquetá – Colombia. *Momentos de Ciencia*; 3(2), 116-121.

Unesco. (2007). Extensión y estado de las reservas de la biósfera en América Latina. Anexo 1.

Vallecia J, Caicedo J, Pérez A, Medina I. (2002). Monocultivo del bocachico (*Prochilodus magdalenae*) durante las fases de alevinaje, levante y engorde, con tres densidades de siembre, en estanques en tierra del Centro Nacional de Investigaciones Acuícolas de Repelón. Informe Preliminar. Proyecto No. 981082006 Investigación Aplicada. INPA - PRONATTA. 64 p

2. Análisis emergético de tres sistemas piscícolas en el territorio Arhuaco de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia

Resumen

El análisis de sostenibilidad mediante metodología emergética utiliza índices que son calculados a partir de la transformación de los recursos renovables (R), no renovables (N), materiales (M), servicios (S) y productos (O) de cada sistema a unidades de energía solar (sej). Una vez son estimados los valores de emergía que se incorporan en los productos, teniendo en cuenta el impacto de las actividades antrópicas, es posible realizar una evaluación integral y sistémica de los diferentes sistemas de producción. En este sentido y teniendo en cuenta la introducción de sistemas piscícolas en el territorio Arhuaco de la Sierra Nevada de Santa Marta, se estudió la sostenibilidad de tres cultivos de peces en dos comunidades Arhuacas, a través del cálculo y análisis de los siguientes índices emergéticos: transformidad solar (Tr), tasa de rendimiento emergético (EYR), tasa de inversión emergética (EIR), tasa de carga ambiental (ELR), porcentaje de renovabilidad (%R), tasa de intercambio emergético (EER) e índice de sostenibilidad emergética (ESI). Los sistemas estudiados fueron monocultivo de trucha arco iris (T), policultivo de cachama y bocachico con uso de perifiton (PCp) y policultivo de cachama y bocachico sin uso de perifiton (PSp). El índice Tr mostró que T ($6,77E+05$) requirió menos emergía para la producción de pescado que PCp ($5,66E+07$) y PSp ($3,02E+07$), sin embargo, generó mayor carga ambiental (ELR 1097,13), principalmente por el mayor uso de recursos no renovables (N) como el agua. Se observó que la menor tasa de rendimiento energético (EYR) encontrada para PCp (1,29) muestra que el sistema posee un mayor potencial de utilización de recursos de la energía invertida desde la economía, seguido de PSp (1,82) y T (2,16). Para la tasa de inversión emergética (EIR) fue encontrado para T (0,89) el menor valor respecto a PSp (1,23) y PCp (3,45) por el aporte que hacen los materiales y servicios no renovables ($M_N + S_N$) al flujo emergético, frente a los recursos que entran libremente al sistema (R y N). Los valores del índice de sostenibilidad emergética (ESI) de los sistemas analizados

muestran una diferencia notable entre los tres sistemas, donde el sistema de policultivo de cachama y bocachico con perifiton ($3,78E-03$) presentó la menor sostenibilidad por la utilización de varas vegetales como sustratos para fijación de perifiton, que incorporaron el 41,7% del total (Y), frente a los sistemas de trucha ($1,97E-03$) y policultivo sin sustratos ($1,07-02$). Respecto a las tasas de intercambio emergético (EER) calculadas para T, PCp y PSp se observaron valores diferenciados (2,26, 11,82 y 6,25 respectivamente), mostrando que el sistema de producción de trucha presentó un intercambio emergético con el mercado más justo que los sistemas en policultivo. El %R muestra que el sistema PSp posee un índice de renovabilidad más alto (0,59%), comparado con PCp (0,29%) y T (0,09%), indicando una mayor eficiencia en el uso de los recursos renovables en los policultivos que en el cultivo de trucha. La evaluación emergética mostró que todos los sistemas son altamente dependientes de recursos no renovables como el agua y suelo, así como de materiales provenientes de la economía humana como alimento y materiales para la adecuación de estanques. Asimismo, los índices emergéticos indicaron que los policultivos de cachama y bocachico, con o sin uso de perifiton, son sistemas con nivel de sostenibilidad similares, sin embargo, el cultivo de trucha mostró ser más eficiente, al incorporar menos emergencia por valor de producto.

Palabras clave: agua, índices emergéticos, medio ambiente, sostenibilidad, transformidad

2.1 Introducción

Según el informe de la FAO (2018) el crecimiento poblacional a nivel mundial va a un ritmo acelerado, similar al incremento que presenta la acuicultura, por lo que se espera que para el 2030 las especies como la carpa, el bagre y la tilapia alcancen el 62% de la producción acuícola. El mismo informe menciona que especies como la trucha, el salmón y el camarón, consideradas especies de alto valor, mantengan la tendencia de aumento para el mismo año. Del modo similar, Colombia ha presentado un crecimiento significativo del sector piscícola, encontrando que para el año 2017 fue de 10,2%, con 120,230 t representadas en 73.641 t de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), 22.455 t de cachamas (*Piaractus brachypomus* y *Colossoma macropomum*), 20.226 t de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y 3.907 t de otras especies (piracucú *Arapaima gigas*, bocachico *Prochilodus magdalenae* y yamú *Brycon amazonicus*) (Fedeaqua 2018).

Una de las regiones de Colombia donde se han implementado nuevos sistemas piscícolas es la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), específicamente en el territorio indígena Arhuaco. En la SNSM se encuentran cuatro etnias indígenas que habitan cada una un territorio propio. El territorio de la etnia Arhuaca está compuesto por 53 comunidades que se encuentran distribuidas por todo el territorio, dentro de las cuales están Nabusimake y Jimaín (CIT 2018). El territorio Arhuaco se destaca por su actividad agrícola de cultivo familiar, donde las extensiones no pasan de 1,7 hectáreas de cultivos, entre los cuales se encuentran en su gran mayoría hortalizas, frutas, bastimento (banano verde-guineo y yuca), café y caña. La producción pecuaria es muy baja y radica en la cría de animales de patio en su mayoría gallinas, cerdos y algunos ovejoes. En la región existe una gran oferta hídrica propicia para establecer sistemas de producción de peces de agua dulce, sin embargo, no se cuenta con registros técnicos de experiencias que hayan sido desarrolladas hasta la actualidad. La piscicultura en la Sierra busca mejorar las condiciones económicas de las familias que trabajan en el proceso de recuperación del territorio ancestral y que no disponen de recursos económicos suficientes para implementar sistemas productivos a escala comercial, como tampoco para la compra de insumos, como es el alimento balanceado.

El crecimiento de la acuicultura genera preocupaciones, como la reportada por la FAO que ha advertido sobre la insostenibilidad por la que está atravesando la actividad, haciendo referencia a que cerca de 6 millones de toneladas de pescado provenientes de poblaciones naturales sujetas a presión pesquera se emplean para fabricar alimentos balanceados (FAO 2010). En este mismo sentido la Federación Colombiana de Acuicultores (Fedeacua 2015) menciona que la contaminación del agua y el alto costo del alimento se han convertido en un grave problema para la industria acuícola. La Federación resalta que éstos y otros factores que ponen en riesgo la actividad acuícola generan una serie de desafíos en los sistemas productivos para lograr proporcionar alimentos de calidad, logrando satisfacer las necesidades sin la preocupación de poner en riesgo la sostenibilidad de estos ecosistemas y buscar las herramientas adecuadas para evaluar los impactos ambientales y económicos que son los que definirán en este caso la sostenibilidad.

El análisis emergético constituye una herramienta adecuada para la evaluación integral y sistémica de la producción, pues estima los valores de emergía incorporados en los

productos y el impacto de las actividades antrópicas (Odum 1996). La evaluación emergética integral ayuda a cuantificar todos los efectos directos e indirectos de una actividad en las unidades de emergía como una "moneda" única, por lo tanto, se plantea como una metodología para comparar sistemas de acuicultura con diferentes usos de recursos (Muhlert et ál. 2013). La herramienta emergética proporciona también información pertinente para la discusión sobre la acuicultura orgánica y la sostenibilidad, la comparación de los costos de los diferentes sistemas de producción y sus productos (Campbell y Brown 2012). Teniendo en cuenta que la actividad piscícola ha incrementado en el territorio Arhuaco y que su introducción requiere de análisis cuantitativos sobre su sostenibilidad, se realizó la evaluación emergética de tres sistemas piscícolas instalados en las comunidades Nabusimake y Jimaín de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia.

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Aspectos culturales y del territorio

En el territorio Arhuaco se desarrollan diferentes tipos de producción agropecuaria sin perder el objetivo de la sostenibilidad, tanto ambiental como espiritual con el medio ambiente, a través de una interrelación hombre naturaleza, buscando afectar lo menos posible el entorno; es así como la producción orgánica es predominante frente a otros tipos de producción y el uso de la tierra y los recursos naturales están ligados a una política de conservación. Teniendo en cuenta las características socioculturales del territorio Arhuaco donde se llevó a cabo el estudio, en cada comunidad fueron realizados los respectivos procesos de diálogos con autoridades y líderes, así como los pagamentos dirigidos por el mamɛ, para la realización de las actividades de implementación de los sistemas, siembra, manejo y cosecha de los peces.

En este sentido, la implementación de los sistemas piscícolas se realizó atendiendo los lineamientos internos de la comunidad Arhuaca frente al uso del territorio (CIT 2018), respetando las áreas designadas para conservación y uso racional de los recursos naturales.

2.2.2 Localización de los sistemas de producción

El estudio se realizó en la Sierra Nevada de Santa Marta, ubicada en la región Caribe de Colombia, que comprende tres departamentos (Cesar, Magdalena y Guajira) y que alcanza

una altura máxima de 5.775 msnm (Parques Nacionales de Colombia, 2016). En la SNSM se encuentran las etnias indígenas Kogis, Arhuacos, Kankuamos y Wiwas que habitan cada una un territorio propio. Los sistemas piscícolas evaluados se localizaron en el territorio Arhuaco del departamento del Cesar, en las comunidades de Nabusímake y Jimaín.

La comunidad de Nabusímake es considerada la capital del pueblo Arhuaco, se localiza en la cabecera del río Fundación, a 22 Km del municipio de Pueblo Bello, a una altura de 1.820 msnm y con población de 5.488 habitantes (CIT 2018). La principal actividad es la agricultura familiar en huertas que no superan las dos hectáreas de extensión, utilizadas para establecer cultivos como hortalizas, frutas, bastimento (banano verde-guineo y yuca), café y caña y algunas producciones de traspatio como son las gallinas los cerdos y los ovejoes. La toma de datos para el sistema de producción de trucha se realizó en la granja Ágora (10° 33' 53,17" N – 73° 37' 19,03" O) donde se instalaron los estanques para tal fin.

Jimaín está ubicada en la parte baja de la Sierra, a una altura de 300 msnm (10° 21' 42,18 " N -73° 27' 4,24" O) en el kilómetro 15 sobre la carretera que de Valledupar conduce a Pueblo Bello – Cesar. Cuenta con temperatura promedio de 30 °C y periodos de lluvia bimodal. Posee una población de 1000 habitantes Arhuacos (CIT, 2018), además de algunos grupos de campesinos y colonos. Las actividades principales son la agricultura en pequeña escala, donde se tienen cultivos de pancoger y algunas producciones de traspatio y ganadería extensiva. En esta comunidad se recolectó información del policultivo de cachama y bocachico, en un sistema de agro acuicultura integrada (SAAI) que se venía trabajando en la huerta del espacio comunitario de Jimaín, donde ya se contaba con los estanques en producción. Descripción de los sistemas de producción y parámetros productivos.

Para el análisis emergético se estudiaron tres diferentes sistemas de producción, correspondientes a un cultivo de trucha arco iris (T), un policultivo de cachama híbrida y bocachico con sustrato para fijación de perifiton (PCp) y un policultivo con las mismas especies sin el uso de sustratos para fijación de perifiton (PSp) (Figura 2-1).

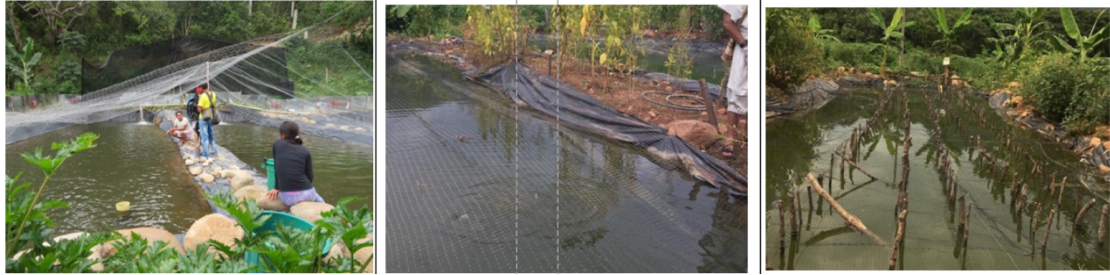


Figura 2-1. Sistemas productivos piscícolas instalados en la Sierra Nevada de Santa Marta. T - Trucha arco iris (izquierda), PSp - policultivo cachama-bocachico sin uso de sustratos para perifiton (centro), PCp - policultivo cachama-bocachico con uso de sustratos para perifiton (derecha)

El cultivo de trucha arcoíris (T) instalado consistió en dos estanques excavados en tierra de 81 m^2 c/u ($18 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 1,20 \text{ m}$; $97,2 \text{ m}^3$), cubiertos con doble capa de plástico negro de alto calibre para evitar filtraciones. Cada estanque contó con entrada y salida de agua independiente y caudal de 200 l/min , malla antipájaro y cercado con láminas de zinc en su perímetro, para evitar la entrada de predadores. Se instalaron dos filtros por decantación a la salida de los estanques y un filtro biológico compuesto por tres especies de plantas acuáticas (20 de bore, *Alocasia macrorrhiza* (L) Schott, 30 de taro o mundi *Colocasia esculenta* y 15 de junco *Juncace*), antes de retornar el agua al río Fundación. Se sembraron 620 alevinos/estanque que fueron adquiridos en una piscícola comercial en el municipio de Guasca-Cundinamarca y que contaban con $4,5 \pm 0,3 \text{ cm}$ de longitud estándar y $2,12 \pm 1,9 \text{ g}$ de peso promedio inicial. El cultivo se llevó a cabo durante 180 días en tres fases: alevinaje (60 días), levante (105 días) y finalización (15 días). Los peces fueron alimentados con alimento comercial de 50, 43 y 40% de proteína bruta para cada una de las etapas.

Los policultivos de cachama y bocachico en sistemas de agro acuicultura integrada en la comunidad de Jimaín correspondieron a tres estanques con superficies fijadoras de perifiton (PCp) y tres estanques sin la inclusión de superficies fijadoras de perifiton (PSp). Los sustratos usados para la fijación de perifiton fueron varas de madera obtenidas en la misma finca, de 1,20 metros de largo y un diámetro promedio de 6 cm, instalando 3 varas/ m^2 . El área de cada estanque fue de 90 m^2 c/u ($18 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$; 90 m^3), excavados en tierra y cubiertos con doble capa de plástico negro de alto calibre para evitar filtraciones. Cada uno contó con entrada y salida de agua independiente, caudal de 36 l/min y malla antipájaro. Se instaló un filtro biológico común, compuesto por 100 plantas de malanga, antes de retornar el agua a la fuente de origen. Los peces de ambos sistemas (PCp, PSp)

fueron alimentados con suplementos fabricados con materias primas locales (hojas y tubérculos de malanga, hojas de botón de oro, hojas y panícula de amaranto y tubérculo de ñame), con 16,4 y 13,5 % de proteína cruda para alevinaje y levante respectivamente. Se sembraron 135 alevinos de cachama /estanque y 135 alevinos de bocachico / estanque, que fueron adquiridos en una piscícola comercial en el municipio de La Paz-Cesar. El peso promedio de los alevinos de cachama y bocachico fue de $0,49 \pm 0,14$ g y $1,83 \pm 1,61$ g respectivamente.

En los tres sistemas, durante el periodo experimental y de toma de datos, se realizaron muestreos quincenales del 5% de la población en la producción de cachama y bocachico y del 10% de la población de truchas. Se tomaron las medidas de longitud estándar (LE) y peso vivo (P), utilizando un ictiómetro y una balanza digital (precisión 0,1 g). Finalizado el periodo experimental se contaron y pesaron la totalidad de los peces y se determinaron adicionalmente los siguientes parámetros:

Sobrevivencia (%): se calculó con el número de animales sembrados y el número de animales cosechados; esta variable se determinó para cada unidad experimental y con cada especie basados en la formula $S(\%) = \frac{N_{final}}{N_{inicial}} * 100$, donde **S** es la sobrevivencia, N_{final} es el número de peces cosechados y $N_{inicial}$ es el número de peces sembrados

Productividad (Kg/ha- (días de cultivo)): se calculó por estanque, para cada una de las especies y para el policultivo y se expresó en kilogramos por hectárea, según las siguientes ecuaciones:

$$\text{Productividad de truchas: } P_{Tr} = \frac{B_{Tr\ final} (Kg)}{Ae\ m^2} * 10.000$$

$$\text{Productividad de cachamas: } P_{Ch} = \frac{B_{Ch\ final} (Kg)}{Ae\ m^2} * 10.000$$

$$\text{Productividad de bocachico: } P_{Bc} = \frac{B_{Bc\ final} (Kg)}{Ae\ m^2} * 10.000$$

$$\text{Productividad del policultivo: } P_{Pl} = \frac{B_{Pl\ final} (Kg)}{Ae\ m^2} * 10.000$$

Donde:

P_{Ch} : productividad de la cachama expresada en kilogramos por hectárea;

P_{BC} : productividad del bocachico expresada en kilogramos por hectárea;

P_{Tr} : productividad de la trucha expresada en kilogramos por hectárea;

P_{Pl} : productividad del policultivo expresada en kilogramos por hectárea;

A_e : al área del estanque en metros cuadrados;

$B_{PL\ final}$: biomasa del policultivo por estanque,

$B_{Pl\ final}$: biomasa cosechada del policultivo al finalizar el experimento,

B_{Ch} , B_{Bc} y B_{Tr} corresponden a las biomásas de las cachamas, bocachicos y truchas respectivamente.

Ganancia de peso (g): $G_p = P_{final} - P_{inicial}$

Donde G_p corresponde a ganancia de peso, $P_{inicial}$ corresponde al peso vivo al inicio del experimento y P_{final} corresponde al peso vivo al final del experimento.

Ganancia diaria de peso (g/día): $GDP (g/dia) = \frac{G_p}{Nd}$

GDP corresponde a la ganancia diaria de peso y Nd al número de días que duró el experimento; este cálculo se realizó con cada una de las tres especies en estudio.

Conversión alimenticia: para este caso en el policultivo de cachama y bocachico se tomó en cuenta la conversión de todo el estanque, ya que ambas especies están en igual cantidad al momento de la siembra y fueron alimentados como uno solo.

Conversión alimenticia: $CA = \frac{AT}{B_f - B_i}$

En donde AT corresponde a la totalidad del alimento suministrado al estanque, B_f y B_i corresponden a biomasa final e inicial del estanque, respectivamente.

2.2.3 Análisis emergético

El análisis realizado en este estudio está basado en la metodología emergética propuesta por Odum (1996). Según Lima et ál. (2012) esta metodología toma en cuenta todas las contribuciones ambientales liberadas al sistema tales como insolación, viento y lluvia, así como el soporte medioambiental indirecto incorporado en la mano de obra y servicios, los cuales son normalmente excluidos en los análisis tradicionales que incorporan energía. Los autores mencionan que la metodología emergética usa la energía solar contenida en las entradas del sistema como una unidad de mediada, así las entradas a un proceso son por lo tanto normalizadas a una unidad llamada Julios equivalentes solares (sej). En este sentido, Brown y Herendeen (1996) y Odum (1998) definen al concepto de “Emergy” como la cantidad de energía solar que se utilizó, directa o indirectamente, para obtener un producto o servicio final.

Para un mejor análisis de los flujos emergéticos se elaboraron los diagramas de flujo de emergía de cada uno de los tres sistemas piscícolas, siguiendo el lenguaje de sistemas desarrollado por Odum (1996). En el estudio emergético las entradas de energía fueron cuantificadas en unidades de masa (Kg) o energía (jul) para ser compatibles con las unidades usadas en el factor de productividad global o de transformidad de cada ítem. Teniendo en cuenta que algunos ítems no pudieron ser contabilizados en esas unidades, fueron evaluados en unidades monetarias y convertidos a equivalentes de emergía multiplicando el flujo monetario USD\$ por la tasa obtenida del Departamento Nacional de Planeación de Colombia (<https://www.dnp.gov.co>) (tasa = producto interno bruto USD\$/emergía del país en el año de referencia). Para cada sistema, las ecuaciones para los cálculos de masa y energía de cada entrada y salida fueron proyectadas a hectáreas por ciclo (ha/ciclo); los correspondientes cálculos son presentados en los anexos A, B y C. Las tablas 2-1 y 2-2 presentan los flujos e indicadores emergéticos usados en el conteo medioambiental, los cuales fueron utilizados en el análisis de los datos provenientes de los sistemas. La información para realizar las transformidades, así como información secundaria relevante, fueron consultadas en literatura científica.

Tabla 2-1. Flujos de emergía utilizados en el conteo medioambiental

Entradas y servicios	Descripción
I: Contribución de la naturaleza	R+N
R: Recursos renovables de la naturaleza	Insolación, lluvia, viento.
N: Recursos no renovables de la naturaleza	Agua, pérdida de suelo por uso en huerta o estanques
F: Contribución de la economía humana	F=M +S
M: Materiales provenientes de la economía humana	M=M _R +M _N
M _R : Materiales y energía renovables	Materiales renovables provenientes de la naturaleza
M _N : Materiales y energía no renovables	Materiales, combustibles.
S: Servicios	S=S _R +S _N
S _R : Servicios renovables	Mano de obra
S _N : Servicios no renovables	Otros servicios externos
Y: Emergía total	Y = I +F

Fuente (Odum 1996)

Tabla 2-2. Indicadores emergéticos usados en la contabilidad medioambiental

Indicadores	Fórmula	Significado
Transformidad solar (Tr) <i>Solar transformity</i>	Y/E	Relación entre la emergía requerida para obtener un producto y la energía de lo producido. Evalúa solamente la eficiencia de la producción y no considera la fuente del recurso usado (ej: renovables, no renovables, economía).
Tasa de rendimiento energético (EYR) <i>Emergy yield ratio</i>	Y/ (M _N + S _N)	Relación de la emergía requerida para obtener un producto dividida por la emergía de aquellos materiales y servicios no renovables que ingresan al proceso. Suministra una medida de cuánto un proceso de producción contribuye a la economía y al balance de costos y beneficios.
Tasa de inversión emergética (EIR) <i>Emergy investment ratio</i>	(M _N + S _N) / (R + M _R + SR + N)	Relación de la emergía de los recursos de la economía, divididos por la emergía de los recursos que entran libremente al sistema (renovables y no renovables)

Indicadores	Fórmula	Significado
Tasa de carga ambiental (ELR) <i>Environmental loading ratio</i>	$(M_N + S_N + N) / (R + M_R + S_R)$	Relación entre la emergía no renovable, incluyendo recursos de la economía y la energía renovable
Porcentaje de renovabilidad (%R) <i>% Renewability</i>	$100 * (R + M_R + S_R) / Y$	Relación entre la emergía de los insumos renovables divididos por el total de la emergía del sistema
Tasa de intercambio emergético (EER) <i>Emergy exchange ratio</i>	$Y / [(US\$) * (sej/US\$)]$	Relación entre la emergía utilizada para obtener un producto para la economía y la emergía recibida por la venta de ese producto
Índice de sostenibilidad emergética (ESI) <i>Emergy sustainability index</i>	EYR/ELR	Relación entre la tasa de rendimiento emergético y la tasa de carga ambiental, que mide la contribución de un proceso a la economía por unidad de impacto ambiental que éste genera

Fuente: adaptado de David et ál. (2018), Lima et ál. (2012) y Odum (1996)

2.3 Resultados y discusión

2.3.1 Parámetros productivos

La descripción de los parámetros técnicos de los sistemas estudiados es presentada en la Tabla 2-3. Por las características productivas de los sistemas de trucha (T) y policultivo de cachama y bocachico (PCp y PSp) y de acuerdo con lo descrito por Panné y Luchinni (2012) se verificó su clasificación como producciones semi intensivas. Los sistemas utilizaron estanques excavados en tierra, cubiertos con plástico negro de alto calibre y área similar (81 y 90 m²). La utilización del plástico fue necesaria para controlar las filtraciones de los estanques, que fueron ubicados en los sitios asignados por las autoridades indígenas para la construcción de estos. El número y tamaño promedio de estanques para trucha y policultivos permitió que la piscicultura, que previamente no se practicaba, fuera adoptada dentro de las labores diarias de las familias del territorio, sin convertirse en una actividad con dedicación exclusiva. En ninguno de los sistemas se realizó fertilización orgánica o inorgánica, por lo tanto, no se cuantificó en los flujos emergéticos de los sistemas. Se encontró en los tres sistemas que el uso de plantas como filtros de agua, previo a su retorno a las fuentes hídricas fue un factor fundamental para minimizar el impacto ambiental generado por la producción piscícola. Lo anterior atendió lo recomendado por FAO (2004) para sistemas de agro acuicultura integrada.

Adicionalmente se verificaron marcadas diferencias entre los sistemas como son el flujo de agua, el tipo de alimento suministrado, la duración del cultivo, la productividad Kg/ha/ciclo y los precios de venta del producto final. El conocimiento las diferencias tecnológicas fue fundamental, pues los datos se utilizaron para calcular los indicadores emergéticos específicos de cada sistema y poderlos comparar. Lo anterior coincide con lo mencionado por Lima et ál. (2012), quienes realizaron una evaluación emergética, comparando un sistema orgánico y uno convencional de camarón marino en la laguna Guaraíra en Brasil, con el fin de entender y discutir las múltiples dimensiones de la sostenibilidad en esos sistemas de producción. De modo similar, Del Pozo et ál (2014) mencionan que a partir de herramientas participativas e indicadores biofísicos identificados fue posible caracterizar las tecnológicas utilizadas en dos sistemas de producción de banano (convencional y agroforestal) estudiados, así como establecer aquellos elementos de carácter comparativos desde el punto de vista productivo y ecológico.

Para calidad de agua en el cultivo de trucha en promedio se registró oxígeno $8,05 \pm 0,98$ ppm, saturación $79,34 \pm 33,42\%$ y temperatura agua $14,09 \pm 2,2$ °C, que atendieron los requerimientos de la especie. Al final del cultivo los peces alcanzaron peso vivo de $284 \pm 54,78$ g (biomasa final $2,0 \text{ Kg/m}^3$), longitud total $25,8 \pm 1,21$ cm, conversión alimenticia de 1,06 y sobrevivencia de 97%. La cosecha total fue de 331,06 Kg de trucha, representando un aporte significativo de proteína animal para los habitantes de la comunidad. Para PCp se registró oxígeno disuelto de 7,9 ppm, pH 7,9 y 27,8 °C de temperatura; para PSp se registró oxígeno disuelto de 8,2 ppm, pH 8,0 y 28,3 °C de temperatura. Los parámetros encontrados de calidad de agua estuvieron dentro de los rangos adecuados cultivo de las especies. Al final del cultivo, las cachamas y bocachicos alcanzaron pesos promedios para PCp de $101,99 \pm 25,50$ g y $90,81 \pm 23,58$ g, para PSp de $108,61 \pm 49,13$ g y $65,68 \pm 17,56$ g respectivamente. La sobrevivencia para cachamas y bocachicos para PCp fue de 87,65% y 60,4%, para PSp de 91,11% y 55,06% respectivamente. Los anteriores parámetros productivos muestran la viabilidad para el establecimiento de cultivos de trucha y cachama, sin embargo, la menor sobrevivencia del bocachico sería un limitante para su cultivo. Lo anterior puede estar explicado por la densidad utilizada de 1,5 bocachicos/m², que fue superior a lo recomendado por Atencio et ál. (1995), Vallecía et ál. (2002) y García et ál. (2011).

Tabla 2-3. Parámetros técnicos de sistemas de producción de trucha (T), de policultivo de cachama y bocachico con perifiton (PCp) y sin perifiton (PSp)

	T	PCp	PSp
	Trucha arco iris	Cachama y bocachico con perifiton	Cachama y bocachico sin perifiton
Tipo de sistema	Semi intensivo	Semi intensivo	Semi intensivo
No. estanques	2	3	3
Area: m ² /estanque	81	90	90
Flujo de agua l/min	Continuo 200	Continuo 36	Continuo 36
Alevinos/ estanque	620 truchas	135 cachamas 135 bocachicos	135 cachamas 135 bocachicos
Peso inicial g	2,12	0,49 cachamas 1,83 bocachicos	0,49 cachamas 1,83 g bocachicos
Duración del cultivo días	180	135	135
Sustrato para perifiton varas/ m ²	sin	3	sin
Uso de fertilizantes	no	no	no
Alimento	comercial	alternativo	alternativo
Ganancia diaria de peso g/día	1,66	0,76 cachamas 0,67 bocachicos	0,80 cachamas 0,49 bocachicos
Conversión alimenticia	1,06	3,75	3,69
Sobrevivencia %	97	87,6 cachamas 60, 4 bocachicos	91,11 cachamas 55,06 bocachicos
Productividad Kg/ha/ciclo	21.738	1.351,2 cachamas 807,5 bocachicos	1.455,3 cachamas 546,9 bocachicos
Precio de venta/Kg *			
USD\$ **	6,44	3,22	3,22
(COP\$)	20.000	10.000	10.000
Ingreso bruto USD\$/ha/ciclo	140.250	6.950	6.447
(COP\$)	434'775.000	21'545.000	19'985.700

*pescado fresco eviscerado vendido en finca

** El valor monetario se calculó con una tasa de cambio de 3.100 COP\$/

2.3.2 Análisis emergético

Las figuras 2-2, 2-3 y 2-4 presentan los flujos de emergía de cada uno de los sistemas estudiados; los diagramas muestran que todos los sistemas utilizan recursos renovables de la naturaleza como son el sol, la lluvia y el viento; de igual manera se incorporan recursos no renovables como el agua y suelo, lo cual muestra la forma cómo el ser humano hace uso

de los recursos disponibles en la naturaleza para que, interactuando con otros recursos como los materiales renovables y no renovables, se logre obtener un producto final.

Los dos sistemas estudiados dependen de materiales y servicios de la economía, aunque la producción de trucha tiene mayores requerimientos de agua y alimento, comparado con los sistemas de policultivos instalados en la comunidad de Jimaín. Se observa que el sistema PCp incorpora materiales adicionales a PSp y T, como lo son las varas de madera para fijación de perifiton. En los diagramas se observa que el territorio es un componente fundamental que interactúa con los flujos de energía; dentro de este territorio se encuentran elementos como la población y los recursos R y N_R que son indispensables para la producción de los sistemas. Con respecto a la huerta, aunque es un factor común para los tres sistemas, tiene un rol diferenciado en PCp y PSp debido a que se requiere un área cultivada para disponer de las materias primas para la producción del alimento suplementario que es suministrado a los peces. De otro modo en el sistema T la huerta juega un rol importante para la economía de la familia, pero no interactúa de forma directa con la producción de truchas.

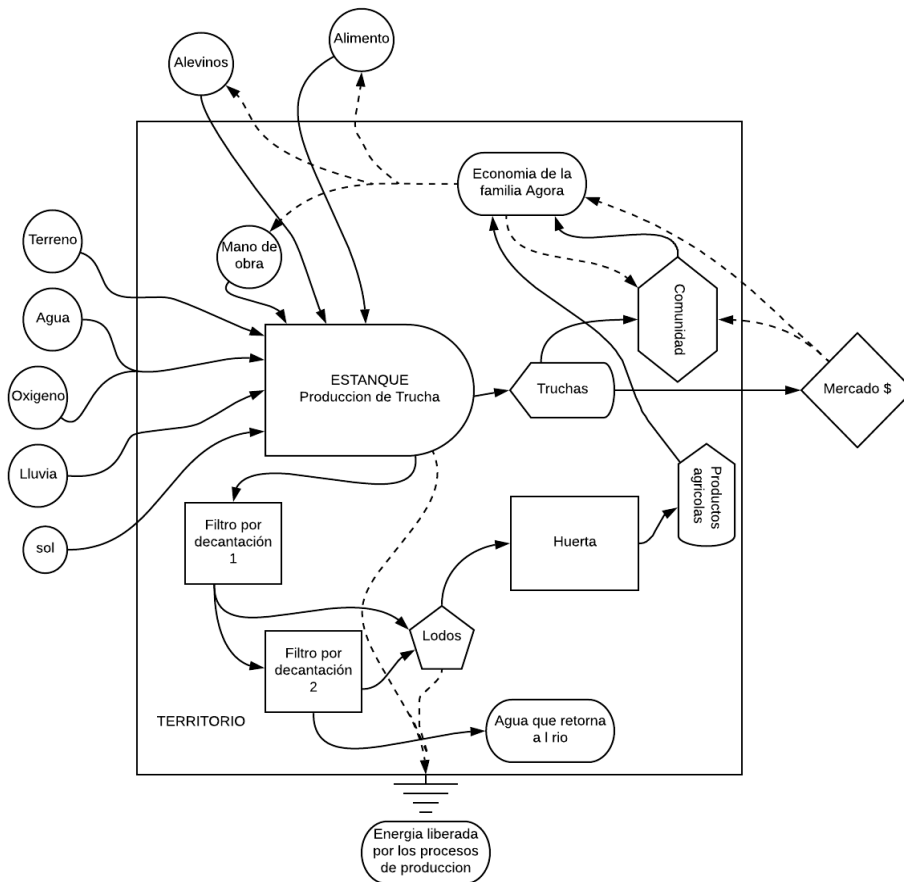


Figura 2-2. Diagrama de flujos de energías en el sistema de producción de Truchas -Nabusímake

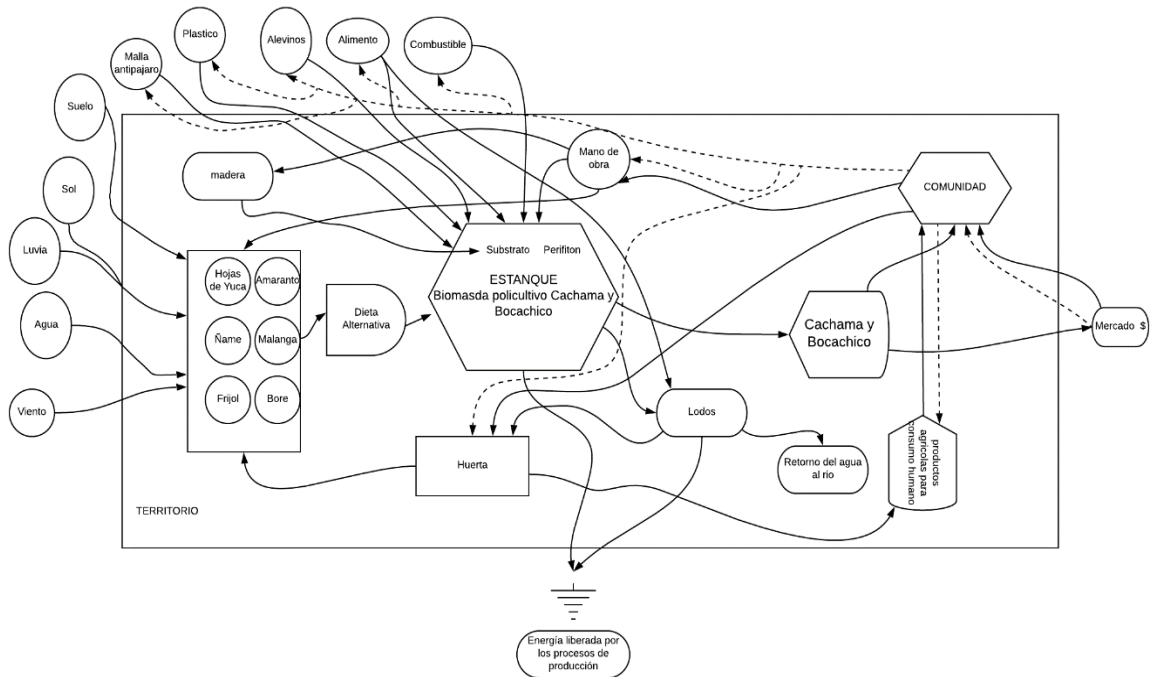


Figura 2-3 Diagrama de flujos de energías en el sistema de producción de cachama y bocachico con perifiton.

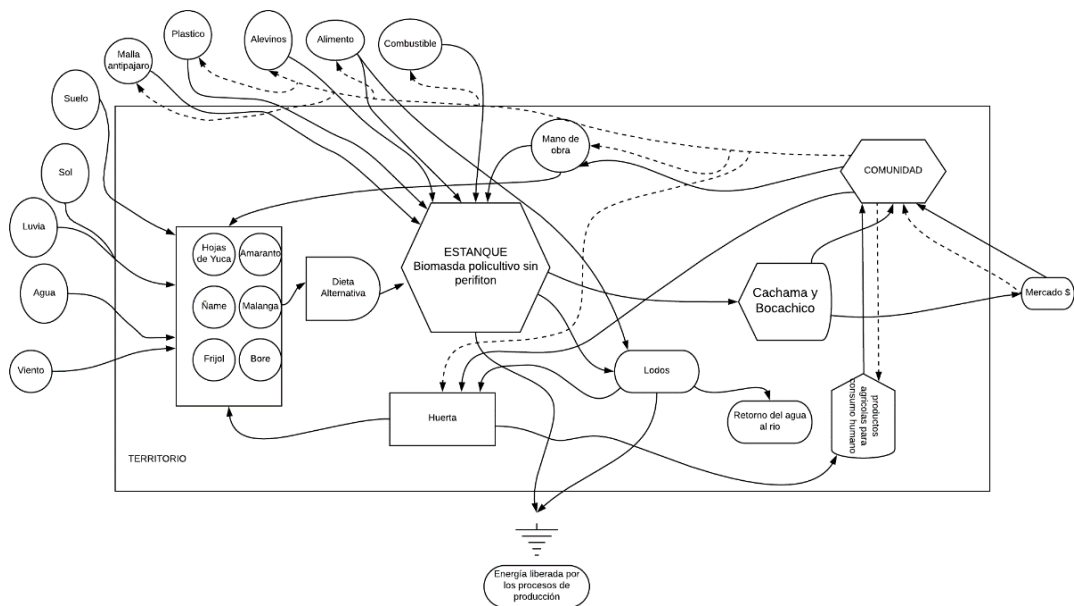


Figura 2-4 Diagrama de flujos de energías en el sistema de producción de cachama y bocachico sin perifiton.

A partir de los diagramas elaborados y los datos obtenidos en el periodo experimental de cada uno de los sistemas se realizó la evaluación emergética, presentada en las tablas 2-4, 2-5 y 2-6. Los resultados de estas tablas muestran el flujo total de emergía (Y) y contribución porcentual de cada una de las entradas (%).

Se observa que para los tres sistemas estudiados la contribución de los recursos renovables (R) es similar, puesto que se localizan en la misma área geográfica, recibiendo la misma insolación, viento y lluvias durante el año, de manera similar a lo reportado por Lima et ál (2012) en un estudio comparando dos sistemas de producción de camarones en Brasil. Respecto a los recursos no renovables (N), el agua representó la mayor contribución porcentual en el flujo de emergía, (53,4% y 41,7 %) para los sistemas T y PSp respectivamente; el valor para T obedece a los requerimientos de la especie frente a peces de aguas cálidas como la cachama y el bocachico; por otro lado, para PCp el agua no tuvo un papel predominante en el flujo total (20,8%), puesto que para este sistema las estacas de madera para fijación de perifiton representaron la mayor incorporación emergética con 41,7% del total. Los valores porcentuales de flujo de emergía correspondientes al alimento son más altos en el sistema PSp con 43,2%, seguido de T con 37,3% y PCp con 26,2%. En general se encuentra que los valores incorporan los flujos emergéticos y costos propios de las materias primas con los que producen. Lo anterior coincide con lo mencionado por Albuquerque (2006), quien afirma que la contribución porcentual del alimento al flujo de energía siempre va a ser el más alto después del agua en los sistemas de producción, debido a que los insumos para los alimentos piscícolas son muy costosos. Aunque el alimento suministrado para los sistemas PCp y PSp es el mismo y con cantidades similares, las diferencias encontradas pueden ser explicadas por la incorporación emergética de las varas de madera para fijación de perifiton como un material (M, 41,7%), lo cual en el sistema PCp disminuyendo el aporte del alimento. Lo anterior se diferencia de lo indicado por David et ál. (2018), quienes incluyeron el aporte del perifiton y de los sustratos de bambú como recursos renovables (R) en un estudio donde evaluaron el uso del perifiton como un recurso alimenticio complementario, analizando su aporte a la reducción de la densidad de cultivo de tilapia en jaulas y al mejoramiento de la sostenibilidad del sistema.

Tabla 2-4. Evaluación emergética del sistema de producción de truchas (T)

Nota	Item	Unidad	Unidad/ha/ciclo	sej/unidad	Referencia para sej/unidad	Flujo total de emergía	%
Entradas renovables (R)							
1	Insolación	J	2,87E+13	1,00E+00		0,00E+00	0,0%
2	Viento	J	1,42E+05	1,86E+03	(Odum et ál. 2000)	0,00E+00	0,0%
3	Lluvia	J	7,50E+10	2,35E+04	(Odum et ál. 2000)	1,76E+15	0,1%
Entradas no renovables (N)							
4	Entrada de agua	J	3,20E+13	3,23E+04	(Buenfil 2001)	1,03E+18	53,4%
5	Pérdida de suelo (erosión)	Kg	6,66E+04	7,94E+10	(Cheng et ál. 2017)	5,29E+15	0,3%
Materiales (M)							
6	Densidad de siembra	J	3,03E+05	2,54E+06	(Brown et ál. 1992)	7,70E+11	0,0%
7	Uso de alimento	J	5,58E+11	1,30E+06	(Odum 2001)	7,23E+17	37,3%
8	Combustible para transporte	J	3,09E+10	8,38E+04	(Brown y Bardi 2001)	2,59E+15	0,1%
9	Plástico para impermeabilizar estanques	Kg	2,55E+03	1,08E+13	(Brown et ál. 2009)	2,76E+16	1,4%
10	Malla antipájaro	Kg	8,04E+02	9,38E+12	(Sha et ál. 2015)	7,54E+15	0,4%
11	Láminas para cerca (zinc)	Kg	1,95E+04	5,72E+12	(Brown et ál. 2005)	1,11E+17	5,8%
12	Estacas de madera para cercado	Kg	1,54E+04	1,12E+12	(Meillaud et ál. 2005)	1,72E+16	0,9%
13	Arena (filtro)	Kg	4,94E+03	7,58E+11	(Wang et ál. 2018)	3,74E+15	0,2%
14	Cemento (filtro)	Kg	1,98E+03	6,32E+11	(Wu et ál. 2014)	1,25E+15	0,1%
15	Macrófitas (filtro)	Kg	3,83E+04	2,45E+04	(Brown et ál. 2005)	9,39E+08	0,0%
16	Entrada de nitrógeno	Kg	1,60E+03	3,07E+10	Lima et ál. 2012 (de Odum et ál. 2000)	4,90E+13	0,0%
17	Entrada de fósforo	Kg	2,51E+02	2,80E+10	Lima et ál. 2012 (de Odum et ál. 2000)	7,03E+12	0,0%
Servicios (S)							
18	Mano de obra	J	1,31E+08	5,73E+06	Lima et ál. 2012(de Odum et ál. 2000)	7,51E+14	0,0%
19	Externalidades	J	5,49E+07	3,60E+06	(Zhou et ál. 2009)	1,98E+14	0,0%
Emergía total (Y)						1,94E+18	100,0%
Salidas (O)							
20	Trucha	J	5,99E+11				
21	Lodos	J	2,26E+12				

Tabla 2-5. Evaluación emergética del sistema de producción en policultivo de cachama y bocachico con perifiton (PCp)

Nota	Item	Unidad	Unidad/ha/ciclo	sej/unidad	Referencia para sej/unidad	Flujo total de emergía	%
Recursos renovables (R)							
1	Insolación	J	2,87E+13	1,00E+00		0,00E+00	0,0%
2	Viento	J	1,42E+05	1,86E+03	(Odum et ál. 2000)	0,00E+00	0,0%
3	Lluvia	J	7,50E+10	2,35E+04	(Odum et ál. 2000)	1,76E+15	0,3%
Recursos no renovables (N)							
4	Entrada de agua	J	3,89E+12	3,23E+04	(Buenfil 2001)	1,26E+17	20,8%
5	Pérdida suelo (erosión huerta)	Kg	4,99E+04	7,94E+10	(Cheng et ál. 2017)	3,96E+15	0,7%
6	Pérdida suelo (erosión estanques)	Kg	4,99E+04	7,94E+10	(Cheng et ál. 2017)	3,96E+15	0,7%
Materiales (M)							
7	Densidad de siembra (cachama)	J	1,37E+04	5,42E+05	(Brown et ál. 1992)	7,43E+09	0,0%
8	Densidad de siembra (bocachico)	J	5,13E+04	5,42E+05		2,78E+10	0,0%
9	Perifiton	J	4,99E+12	4,53E+03	(Brown et ál. 2006)	2,26E+16	3,7%
10	Uso de alimento	J	1,22E+11	1,30E+06	(Odum 2001)	1,58E+17	26,2%
11	Combustible para transporte	J	2,71E+09	8,38E+04	(Brown y Bardi 2001)	2,27E+14	0,0%
12	Electricidad	J	1,05E+09	2,04E+05		2,14E+14	0,0%
13	Plástico para impermeabilizar estanques	Kg	2,55E+03	1,08E+13	(Brown et ál. 2009)	2,76E+16	4,6%
14	Malla antipájaro	Kg	8,04E+02	9,38E+12	(Sha et ál. 2015)	7,54E+15	1,3%
15	Estacas de madera para substrato perifiton	Kg	2,25E+05	1,12E+12	(Meillaud et ál. 2005)	2,51E+17	41,7%
16	Macrófitas (filtro)	Kg	9,26E+03	2,64E+04	(Brown et ál. 2005)	2,45E+08	0,0%
17	Entrada de nitrógeno	Kg	1,73E+02	3,07E+10	Lima et ál. 2012 (de Odum et ál. 200)	5,32E+12	0,0%
18	Entrada de fósforo	Kg	2,33E+01	2,80E+10	Lima et ál. 2012 (de Odum et ál. 200)	6,54E+11	0,0%
Servicios (S)							
19	Mano de obra	J	1,96E+07	5,73E+06	Lima et ál. 2012(de Odum et ál. 2000)	1,12E+14	0,0%
Emergía total (Y)						6,02E+17	100,0%
Salidas (O)							
20	Cachama	J	6,91E+09				
21	Bocachico	J	3,74E+09				

Tabla 2-6. Evaluación emergética del sistema de producción en policultivo de cachama y bocachico sin perifiton (P_{Sp})

Nota	Item	Unidad	Unidad/ha /ciclo	sej/unidad	Referencia para sej/unidad	Flujo total de emergía	%
Entradas renovables (R)							
1	Insolación	J	2,87E+13	1,00E+00		0,00E+00	0,0%
2	Viento	J	1,42E+05	1,86E+03	(Odum et ál. 2000)	0,00E+00	0,0%
3	Lluvia	J	7,50E+10	2,35E+04	(Odum et ál. 2000)	1,76E+15	0,6%
Entradas no renovables (N)							
4	Entrada de agua	J	3,89E+12	3,23E+04	(Buenfil 2001)	1,26E+17	41,7%
5	Pérdida de suelo (erosión huerta)	Kg	4,99E+04	7,94E+10	(Cheng et ál. 2017)	3,96E+15	1,3%
6	Pérdida de suelo (erosión estanques)	Kg	4,99E+04	7,94E+10	(Cheng et ál. 2017)	3,96E+15	1,3%
Materiales (M)							
7	Densidad de siembra (cachama)	J	1,37E+04	5,42E+05	(Brown et ál. 1992)	7,43E+09	0,0%
8	Densidad de siembra (bocachico)	J	5,13E+04	5,42E+05		2,78E+10	0,0%
9	Uso de alimento	J	1,00E+11	1,30E+06	(Odum 2001)	1,15E+16	43,2%
10	Combustible para transporte	J	2,71E+09	8,38E+04	(Brown y Bardi 2001)	2,27E+14	0,1%
11	Electricidad	J	8,97E+08	2,04E+05		1,83E+14	0,1%
12	Plástico para impermeabilizar estanques	Kg	2,55E+03	1,08E+13	(Brown et ál. 2009)	2,76E+16	9,2%
13	Malla antipájaro	Kg	8,04E+02	9,38E+12	(Sha et ál. 2015)	7,54E+15	2,5%
14	Macrófitas (filtro)	Kg	9,26E+03	2,64E+04	(Brown et ál. 2005)	2,45E+08	0,0%
15	Entrada de nitrógeno	Kg	1,48E+02	3,07E+10	Lima et ál 2012 (de Odum et ál. 2000)	4,54E+12	0,0%
16	Entrada de fósforo	Kg	1,99E+01	2,80E+10	Lima et ál. 2012 (de Odum et ál. 2000)	5,59E+11	0,0%
Servicios (S)							
17	Mano de obra	J	1,96E+07	5,73E+06	Lima et ál. 2012(de Odum et ál. 2000)	1,12E+14	0,10
Emergía total (Y)						1,82E+17	100,0%
Salidas (O)							
18	Cachama	J	7,44E+09				
19	Bocachico	J	2,54E+09				

En la Tabla 2-7 son presentados los flujos emergéticos agregados en los sistemas de producción de trucha, policultivo cachama y bocachico con perifiton y sin perifiton, los cuales representan diversos aspectos del ecosistema tales como intensidad del uso de recursos, eficiencia de procesos, interacciones económicas-medioambientales y sostenibilidad de los sistemas basados en datos cuantitativos de varios flujos emergéticos que son transformados dentro de cada uno de los sistemas estudiados (David et ál. 2018).

Tabla 2-7 Flujos emergéticos agregados en los sistemas de producción de trucha, policultivo cachama y bocachico con perifiton y sin perifiton

Flujos emergéticos (sej/ha/ciclo)	Trucha	Policultivo con perifiton	Policultivo sin perifiton
Recursos renovables (R)	1,76E+15	1,76E+15	1,76E+15
Recursos no renovables (N)	1,04E+18	1,33E+17	1,33E+17
Contribución de la naturaleza (I)	1,04E+18	1,35E+17	1,35E+17
Materiales renovables (MR)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Materiales no renovables (MN)	8,94E+17	4,67E+17	1,66E+17
Materiales totales (M)	8,94E+17	4,67E+17	1,66E+17
Servicios renovables (SR)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Servicios no renovables (SN)	9,48E+14	1,12E+14	1,12E+14
Servicios totales (S)	9,48E+14	1,12E+14	1,12E+14
Contribución de la economía humana (F)	8,95E+17	4,67E+17	1,66E+17
Energía total (Y)	1,94E+18	6,02E+17	3,01E+17

En la tabla 2-8 son presentados los indicadores emergéticos calculados para los sistemas estudiados. El índice Tr mostró que T ($6,77E+05$) requirió menos energía para la producción de pescado que PCp ($5,66E+07$) y PSp ($3,02E+07$). Se observó que la menor tasa de rendimiento energético (EYR) encontrada para PCp (1,29) muestra que el sistema posee un mayor potencial de utilización de recursos de la energía invertida desde la economía, seguido de PSp (1,82) y T (2,16). Por otra parte, la tasa de carga ambiental (ELR) mostró que el sistema PSp ejerció una menor presión sobre el ambiente (169,76), comparado con PCp (340,81) y T (1097,13); el sistema de producción de truchas presentó el mayor valor de ELR, lo cual está explicado por el uso de recursos no renovables como la entrada de agua, alimento y los materiales; los dos últimos, debido a la ubicación geográfica del cultivo de truchas, requieren mayores inversiones en transportes y recurso económico que los sistemas para cachama y bocachico.

Para la tasa de inversión emergética (EIR) fue encontrado para T (0,89) el menor valor respecto a PSp (1,23) y PCp (3,45) por el aporte que hacen los materiales y servicios no renovables ($M_N + S_N$) al flujo emergético, frente a los recursos que entran libremente al sistema (R y N); en este mismo sentido, es importante considerar que el mayor valor de EIR se encontró para PCp, puesto que las varas para fijación de perifiton y el perifiton, a pesar de ser recursos alimenticios que se generan en el territorio por procesos de la naturaleza, se cuantificaron dentro del ítem materiales (M), para que su aporte emergético

al sistema se pudiera evidenciar. Lo anterior difiere de lo reportado por David et ál (2018) quienes contabilizaron el aporte del perifiton como un recurso renovable (R).

Tabla 2-8 Indicadores emergéticos calculados de los sistemas de producción de trucha (T), policultivo cachama y bocachico con perifiton (PCp) y sin perifiton (PSp)

Indicadores emergéticos		Trucha (T)	Policultivo con perifiton (PCp)	Policultivo sin perifiton (PSp)
Tr	Transformidad solar <i>Solar transformity</i>	6,77E+05	5,66E+07	3,02E+07
EYR	Tasa de rendimiento energético <i>Emergy yield ratio</i>	2,16	1,29	1,82
EIR	Tasa de inversión emergética <i>Emergy investment ratio</i>	0,89	3,45	1,23
ELR	Tasa de carga ambiental <i>Enviromental loading ratio</i>	1097,13	340,81	169,76
%R	Porcentaje de renovabilidad % <i>Renewability</i>	0,09	0,29	0,59
EER	Tasa de intercambio emergético <i>Emergy exchange ratio</i>	2,26	11,82	6,25
ESI	Índice de sostenibilidad emergética <i>Emergy sustainability index</i>	1,97E-03	3,78E-03	1,07E-02

Los valores del índice de sostenibilidad emergética (ESI) de los sistemas analizados muestran una diferencia notable entre los tres sistemas, donde el sistema de policultivo de cachama y bocachico con perifiton (3,78E-03) presentó la menor sostenibilidad por la utilización de varas vegetales como sustratos para fijación de perifiton, que incorporaron el 41,7% del total (Y), frente a los sistemas de trucha (1,97E-03) y policultivo sin sustratos (1,07-02). Este último sistema (PSp), al requerir menos recursos no renovables como agua (truchas) o varas vegetales (para perifiton), fue encontrado como el sistema más sostenible al generar mayor contribución del proceso a la economía por unidad de impacto ambiental que este genera.

Respecto a las tasas de intercambio emergético (EER) calculadas para T, PCp y PSp se observaron valores diferenciados (2,26, 11,82 y 6,25 respectivamente), mostrando que el sistema de producción de trucha presentó un intercambio emergético con el mercado más justo que los sistemas en policultivo. Lo anterior obedeció al precio final de venta del producto, puesto que en la comunidad de Nabusimake hay una alta demanda de pescado,

pero muy poca oferta, a diferencia de las cachamas y bocachicos obtenidos en los sistemas en policultivo con o sin perifiton.

Teniendo en cuenta el concepto de sostenibilidad ecológica-energética definido por Del Pozo et ál. (2014) es posible cuantificar la sostenibilidad emergética a través del porcentaje de renovabilidad (%R), que indica la proporción de emergía de tipo renovable respecto a la emergía total gastada para producir un determinado recurso o producto. Este índice bajo la perspectiva metodológica emergente, se denomina renovabilidad, permitiendo comparar la sostenibilidad de las alternativas tecnológicas para un ecosistema. De este modo, el análisis emergético contribuye a la discusión de las estrategias más convenientes para alcanzar mejores estándares de sostenibilidad. Es así como para el estudio realizado el %R muestra que el sistema PSp posee un índice de renovabilidad más alto (0,59%), comparado con PCp (0,29%) y T (0,09%), indicando una mayor eficiencia en el uso de los recursos renovables en los policultivos que en el cultivo de trucha.

2.4 Conclusiones

Se encontró que los sistemas piscícolas analizados contaban con la escala adecuada, logrando ser vinculados a las actividades rutinarias de sus habitantes.

El análisis emergético mostró que los sistemas deben entenderse como parte de un todo, ya que las interacciones van más allá de sólo el estanque y los peces, pues entra a valorarse el entorno, la población, la vegetación y demás recursos que acompañan al sistema y que directa o indirectamente se interrelacionan para lograr que funcione.

La evaluación emergética mostró que todos los sistemas son altamente dependientes de recursos no renovables como el agua y suelo, así como de materiales provenientes de la economía humana como alimento y materiales para la adecuación de estanques.

Los índices emergéticos indicaron que los policultivos de cachama y bocachico, con o sin uso de perifiton, son sistemas con nivel de sostenibilidad similares, sin embargo, el cultivo de trucha mostró ser más eficiente, al incorporar menos emergía por valor de producto.

La producción de trucha con alimentos que incluyan proteína animal proveniente de pesquerías es un factor que aumenta la insostenibilidad del sistema piscícola.

El análisis emergético evidenció que los sistemas de producción de cachama y bocachico utilizaron de una manera más sostenible los recursos naturales de la región, al incorporar materias primas locales y perifiton para la alimentación de los peces.

Los sistemas de producción que utilizan los recursos locales disminuyen la carga emergética cuantificada en el transporte y el uso de combustible fósiles, por lo tanto, los sistemas de policultivos analizados en el presente estudio cuentan con niveles bajos de carga energética, comparados con el sistema de producción de trucha que utiliza alimento comercial para la producción.

2.5 Bibliografía

- Albuquerque, T. C.: (2006). *Avaliacao emergética de propriedades agrosilvopastoris do Brasil e da Colombia*, Tesis de Maestría, Facultad de Engenharia de Alimentos, Universidad de Campinas-UNICAMP, Campinas, Brasil. Disponible en: www.fea.unicamp.br.br/ortega.
- Brown, M., & Herendeen, R. (1996). Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. *Ecological Economics*, 19(3), 219-235. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(96\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(96)00046-8)
- Brown, M. T., & Bardi, E. (2001). Emergy of Ecosystems Folio #3. *A Compendium of Data for Emergy Computation*, (July), 94.
- Brown, M. T., Cohen, M. J., Bardi, E., & Ingwersen, W. W. (2006). Species diversity in the Florida Everglades, USA: A systems approach to calculating biodiversity, *Aquatic sciences* 68(3), 254-277. <https://doi.org/10.1007/s00027-006-0854-1>
- Brown, M. T., Comar, V., & Tilley, D. (2005). Emergy synthesis 3:, (November).
- Brown, M. T., Green, P., Gonzalez, A., & Venegas, J. (1992). Emergy analysis perspectives , development guidelines for the volume 2 : EmergyAnalysis and Public Policy Options By policy options , and development, (904).
- Brown, S. C., Mason, C. A., Spokane, A. R., Cruza-guet, M. C., Lopez, B., & Szapocnik, J. (2009). NIH Public Access. *Journal of Aging Health*, 21(3), 431-459. <https://doi.org/10.1177/0898264308328976>.
- Buenfil, A. A. (2001). EMERGY EVALUATION OF WATER. *Friends and Enemies in Organizations: A Work Psychology Perspective*, 23(1), 148-156. <https://doi.org/10.1057/9780230248359>

- Campbell, E.T. y Brown, M. T. (2012). Environmental accounting of natural capital and ecosystem services for the US National Forest System. *Environment, Development and Sustainability*, 14(5), 691-724. <https://doi.org/10.1007/s10668-012-9348-6>
- Cheng, H., Chen, C., Wu, S., Mirza, Z. A., & Liu, Z. (2017). Emergy evaluation of cropping, poultry rearing , and fish raising systems in the drawdown zone of Three Gorges Reservoir of China. *Journal of Cleaner Production*, 144, 559-571. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.053>
- CIT. Confederacion Indigena Tairona. (2018). Guía general del pueblo Arhuaco.
- David, L. H. C., Pinho, S. M., and Garcia, F. (2018). Improving the sustainability of tilapia cage farming in Brazil: An emergy approach. *Journal of Cleaner Production*, 201, 1012–1018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.124>
- Del Pozo, P.R., Vallim, D.M. y Ortega, E.R. (2014). El análisis emergético como herramienta para evaluar la sustentabilidad en dos sistemas productivos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 59-63.
- DNP. (2014). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018: «Todos por un Nuevo Pais». Version para el Consejo Nacional de Planeacion, 861.
- FAO. (2004). *Agro-acuicultura integrada. Manual básico*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/006/y1187s/y1187s00.htm>
- FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Fedeacua (2018). Cifras sectoriales piscicultura continental Colombia. Recuperado de www.fedeacua.org
- Fedeacua (2015). Plan de negocio sectorial de la piscicultura colombiana (pp. 1– 414)
- Lima, J. G. S., Rivera, E. C., & Focken, U. (2012). Emergy evaluation of organic and conventional marine shrimp farms in Guaraíra Lagoon, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 35, 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.009>
- Wu, M., Robinson, J.E. and W. J. J. (2014). NIH Public Access, 71(11), 3831-3840. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-10-4002.BONE>
- Meillaud, F., Gay, J., & Brown, M. T. (2005). Evaluation of a building using the emergy method, *Solar energy* 79(2), 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.11.003>
- Muhler, A. C. S., Lima, J. S. G., Machado, L., and Evangelista, R. A. (2013). Numerical indicators as a tool for the evaluation of the ecological sustainability of marine shrimp farms in Sergipe, Brazil. *Interciencia*, 38(8), 615–620
- Odum, H. T. (1995). Tropical Forest Systems and the Human Economy. *Tropical Forest:*

- Management and Ecology*, 343-393.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental accounting: emergy and environmental decision making*. New York, U.S.A : John Wiley & Sons, 1996.
- Odum, H. T. (1998). Energy flows in ecology and economy. *memory of International Workshop on Advances in Energy Studies Porto Venere, Italy, May 27,1998.*, Environmental Engineering Sciences.
- Odum, H. T. (2001). Energy, Hierarchy and Money. *Understanding Complexity*, 139-148. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1313-1_17
- Odum, H. T., Brown, M. T., & Brandt-williams, S. (2000). Handbook of Emergy Evaluation Folio # 1 Introduction and Global Budget, (May).
- Odum H.T y Jan E.A. (1991). Working paper emergy analysis of shrimp mariculture in Ecuador. *Engineering Sciences*, 1-127.
- Panné, S. y Luchini, L. (2012). Análisis económico para producción de trucha arcoiris. Trabajo elaborado dentro del Proyecto “Incremento de actividad de acuicultura en las regiones NEA, NOA y Centro”. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, Argentina. 7 p.
- Parques Nacionales de Colombia. (2016). Plan de manejo Parque Nacional Natural Tayrona.
- Sha, S., Melin, K., Kokkonen, D. V. De, & Hurme, M. (2015). Solar energy footprint of ethylene processes. *Ecological Engineering*, 82, 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.057>
- Wang, Y., Zhang, X., Liao, W., Wu, J., Yang, X., Shui, W., ... Peng, H. (2018). Investigating impact of waste reuse on the sustainability of municipal solid waste (MSW) incineration industry using emergy approach : A case study from Sichuan province, China. *Waste Management*, 77, 252-267. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.003>
- Zhou, J. B., Jiang, M. M., Chen, B., & Chen, G. Q. (2009). Emergy evaluations for constructed wetland and conventional wastewater treatments. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 14(4), 1781-1789. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2007.08.010>

3. Conclusiones y recomendaciones

3.1 Conclusiones

La implementación de nuevos sistemas de producción en los territorios de la Sierra Nevada de Santa Marta tiene un rol fundamental en el proceso de diversificación de productos para la economía familiar; de igual modo representan una alternativa importante para contar con una oferta de proteína de origen animal en la dieta diaria que en la actualidad es mínima, pues el mercado de la carne se basa en el ganado vacuno (una vez por mes como máximo) y ocasionalmente animales de traspatio como las gallinas o cerdos. Es importante resaltar que estos últimos en su mayoría son consumidos solo en días especiales.

Las materias primas de la piscicultura tienden a poseer altos valores de tasa de intercambio energético (EER) que, si bien es un referente que indica que es necesario buscar fuentes alternativas de alimento, no debe ser el único factor para toma de decisiones. Por lo anterior, un valor que debe ser calculado es el índice de sostenibilidad energética (ESI), el cual muestra la contribución de un proceso a la economía por unidad de impacto medio ambiental que genera. Lo anterior indica que es necesario realizar un análisis más profundo de otras características específicas de cada sistema para poder determinar cuan sostenible es.

En los sistemas productivos piscícolas los precios de los productos en el mercado son estimados basados en los valores de las actividades antrópicas y el uso de materiales necesarios para su obtención, no obstante, no es común encontrar un análisis que cuantifique el valor de los recursos disponibles en la naturaleza y que indirectamente incorpore energía al sistema y contribuya al proceso de producción.

Los sistemas de producción que utilizan los recursos locales disminuyen la carga energética cuantificada en el transporte y el uso de combustible fósiles, por lo tanto, los

sistemas de policultivos analizados en el presente estudio cuentan con niveles bajos de carga energética, comparados con el sistema de producción de trucha que utiliza alimento comercial para la producción.

3.2 Recomendaciones

Se recomienda que, para futuras implementaciones de sistemas de producción piscícola en el territorio, se tenga presente el tamaño y número de los estanques y su implementación como un sistema de agro acuicultura integrada para que estos puedan ser incorporados dentro de las actividades diarias normales de las fincas y no le represente a la familia una carga laboral que conlleve a dificultades en el manejo, apropiación y posterior abandono de estos.

En aras de contribuir la disminución de los impactos ambientales generados por la piscicultura, se recomienda el uso de filtros con la inclusión de plantas que ayuden a retener sólidos y nutrientes provenientes de la actividad piscícola y que puedan ser utilizadas posteriormente para el alimento de los animales de la finca.

Es recomendable que para las especies ícticas que no son carnívoras, se utilice la mayor cantidad de recursos locales las huertas de las familias que no son consumidos por estas, puesto que puede generar un impacto positivo en los índices de renovabilidad y de sostenibilidad de los sistemas.

Se recomienda el uso de la metodología emergética para realizar los análisis de sostenibilidad de diferentes sistemas de producción acuícola, ya sean tradicionales o alternativos, pues se incorporan en el análisis elementos como los recursos naturales renovables y no renovables que no siempre son considerados en los análisis tradicionales y que son recursos no valorados pero que se incorporan de manera significativa al total de la emergía utilizada para obtener el producto final.

Anexos

Anexo A: sistema de producción de truchas

1. Insolación

Insolación = 9.615'000.000 W-h/ha/ciclo (ciclo = 180 días)

Albedo = 17,00%

Conversión = 3.600 J/W-h

Insolación = (insolación) × (1- albedo) × conversión (J/W-h)

Insolación = (9.615'000.000 W-h/ha/ciclo) × (1 - 0,17) × (3.600 J/W-h)

Insolación = 2,87 E13 J/ha/ciclo

2. Viento

Velocidad del viento = 7,0 m/seg

Densidad del aire= 1,3 Kg/m³

Coefficiente de arrastre = 1,0E-03

Conversión = 1,56E+07 seg/ciclo

Viento = (velocidad del viento) × (densidad del aire) × (coeficiente de arrastre) × (conversión)

Viento = (7,0 m/seg) × (1,3 Kg/m³) × (1,0E-03) × (1,56E+07 seg/ciclo)

3. Lluvia

Lluvia = 15'000.000 L/ha/ciclo

Energía libre de Gibbs del agua = 5.000 J/Kg

Densidad del agua = 1 Kg/L

Lluvia = (lluvia) × (energía libre de Gibbs del agua) × (densidad del agua)

Lluvia = (15'000.000 L/ha/ciclo) × (5.000 J/Kg) × (1 Kg/L)

Lluvia = 7,50E10 J/ha/ciclo

4. Entrada de agua

Entrada de agua: = 6.400'000.000 L/ha/ciclo

Energía libre de Gibbs del agua = 5.000 J/Kg

Densidad del agua = 1 Kg/L

Entrada de agua = (entrada de agua) × (energía libre de Gibbs del agua) × (densidad del agua)

Entrada de agua = (6.400'000.000 L/ha/ciclo) × (5.000 J/Kg) × (1 Kg/L)

Entrada de agua = 3,20E13 J/ha/ciclo

5. Pérdida de suelo (erosión)

Tasa de pérdida del suelo = (13.500 g/m²/año) × (180/365) = 6.657,534 g/m²/ciclo

Conversión = 10.000 m²/ha

Conversión = 1 Kg/1.000 g

Pérdida de suelo = (6.657,534 g/m²/ciclo) × (10.000 m²/ha) × (1 Kg/1.000 g)

Pérdida de suelo (erosión) = 6,66E4 Kg/ha/ciclo

6. Densidad de siembra

Densidad de siembra = 76.543 alevinos/ha/ciclo

Peso de un alevino = 2,12 g/alevino

Contenido energético de un alevino = 1,87E-03 kJ/g

Conversión = 1.000 J/kJ

Densidad de siembra = (76.543 alevinos/ha/ciclo) × (2,12 g/alevino) × (1,87E-03 kJ/g) × (1.000 J/kJ)

Densidad de siembra = 3,03E5 J/ha/ciclo

7. Uso de alimento

Uso de alimento = 24.440,15 Kg/ha/ciclo

Conversión = 22'821.642 J/Kg

Uso de alimento = (24.440,15 Kg/ha/ciclo) × (22'821.642 J/Kg)

Uso de alimento = 5,58E11 J/ha/ciclo

8. Combustible para transporte

Combustible para transporte = 648,0 L/ha/ciclo

Conversión= 1,14E+04 Kcal/L

Conversión= 4.186 J/Kcal

Combustible para transporte = (648,0 L/ha/ciclo) × (1,14E+04 Kcal/L) × (4.186J/Kcal)

Combustible para transporte = 3,09E10 J/ha/ciclo

9. Plástico para impermeabilizar estanques

Plástico para impermeabilizar estanques= 380,0 m²/estanque/ciclo

Conversión = 1 Kg/18.4 m² de plástico

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Plástico para impermeabilizar estanques = (380,0 m²/estanque/ciclo) × (1 Kg/18.4 m² de plástico) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha)

Plástico para impermeabilizar estanques = 2,55E3 Kg/ha/ciclo

10. Malla antipájaro

Malla antipájaro = 95,0 m²/estanque/ciclo

Conversión = 1 Kg/14.58 m² de malla

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Malla antipájaro = (95,0 m²/estanque/ciclo) × (1 Kg/14.58 m² de malla) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha)

Malla antipájaro = 8,04E2 Kg/ha/ciclo

11. Láminas para cerca (zinc)

Láminas para cerca (zinc) = 40,0 láminas/estanque/ciclo

Conversión = 3,94 Kg/lámina

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Láminas para cerca (zinc) = (40,0 láminas/estanque/ciclo) × (3,94 Kg/lámina) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha)

Láminas para cerca (zinc) = 1,95E4 Kg/ha/ciclo

12. Estacas de madera para cercado

Estacas de madera para cercado = 50,0 estacas/estanque/ciclo

Conversión = 2,5 Kg/estaca

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Estacas de madera para cercado = (50,0 estacas/estanque/ciclo) × (2,5 Kg/estaca) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha)

Estacas de madera para cercado = 1,54E4 Kg/ha/ciclo

13. Arena (filtro)

Arena (filtro) = 40,0 Kg/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Arena (filtro) = (40,0 Kg/estanque/ciclo) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha)

Arena (filtro) = 4,94E3 Kg/ha/ciclo

14. Cemento (filtro)

Cemento (filtro) = 16,0 Kg/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Cemento (filtro) = (16,0 Kg/estanque/ciclo) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha)

Cemento (filtro)= 1,98E3 Kg/ha/ciclo

15. Macrófitas (filtro)

Macrófitas (filtro) = 309,99 Kg/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Macrófitas (filtro) = (309,99 Kg/estanque/ciclo) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha)

Macrófitas (filtro) = 3,83E4 Kg/ha/ciclo

16. Entrada de nitrógeno

Entrada de nitrógeno = 12.936,69 g N/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Conversión = 1 Kg/1.000 g

Entrada de nitrógeno = (12.936,69 g N/estanque/ciclo) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha) × (1 Kg/1.000 g)

Entrada de nitrógeno = 1,6E3 Kg/ha/ciclo

17. Entrada de fósforo

Entrada de fósforo = 2.029,55 g P/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Conversión = 1 Kg/1.000 g

Entrada de fósforo = (2.029,55 g P/estanque/ciclo) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha) × (1 Kg/1.000 g)

Entrada de fósforo = 2,51E2 Kg/ha/ciclo

18. Mano de obra

Mano de obra = 12,5 días de trabajo/ha/ciclo

Conversión = 2.500 Kcal/persona/día

Conversión = 4.186 J/Kcal

Mano de obra = (12,5 días de trabajo/ha/ciclo) × (2.500 Kcal/persona/día) × (4.186 J/Kcal)

Mano de obra = 1,31E8 J/ha/ciclo

19. Externalidades (mano de obra para construcción de canal de desagüe desde los estanques hasta retornar al río)

Externalidades (mano de obra para construcción) = 5,25 horas/ha/ciclo

Conversión = 2.500 Kcal/persona/día

Conversión = 4.186 J/Kcal

Mano de obra = (5,25 días de trabajo/ha/ciclo) × (2.500 Kcal/persona/día) × (4.186 J/Kcal)

Externalidades (mano de obra para construcción) = 5,49E7 J/ha/ciclo

20. Trucha

Trucha = 20.435,9 Kg/ha/ciclo

Conversión = 2,93E7 J/Kg

Trucha = (20.435,9 Kg/ha/ciclo) × (2,93E7 J/Kg)

Trucha = 5,99E11 J/ha/ciclo

21. Lodos

Lodos = 2,025 Kg/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Conversión = 9,07E6 J/Kg

Lodos = (2,025 Kg/estanque/ciclo) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha) × (9,07E6 J/Kg)

Lodos = 2,26E12 J/ha/ciclo

Anexo B: sistema de producción de Cachama y bocachico con perifiton

1. Insolación

Insolación = 9.615'000.000 W-h/ha/ciclo (ciclo = 180 días)

Albedo = 17,00%

Conversión = 3.600 J/W-h

Insolación = (insolación) × (1- albedo) × conversión (J/W-h)

Insolación = (9.615'000.000 W-h/ha/ciclo) × (1 - 0,17) × (3.600 J/W-h)

Insolación = 2,87 E13 J/ha/ciclo

2. Viento

Velocidad del viento = 7,0 m/seg

Densidad del aire= 1,3 Kg/m³

Coeficiente de arrastre = 1,0E-03

Conversión = 1,56E+07 seg/ciclo

Viento = (velocidad del viento) × (densidad del aire) × (coeficiente de arrastre) × (conversión)

Viento = (7,0 m/seg) × (1,3 Kg/m³) × (1,0E-03) × (1,56E+07 seg/ciclo)

Viento = 1,42E05 J/ha/ciclo

3. Lluvia

Lluvia = 15'000.000 L/ha/ciclo

Energía libre de Gibbs del agua = 5.000 J/Kg

Densidad del agua = 1 Kg/L

Lluvia = (lluvia) × (energía libre de Gibbs del agua) × (densidad del agua)

Lluvia = (15'000.000 L/ha/ciclo) × (5.000 J/Kg) × (1 Kg/L)

Lluvia = 7,50E10 J/ha/ciclo

4. Entrada de agua

Entrada de agua = 777'600.000 L/ha/ciclo

Energía libre de Gibbs del agua = 5.000 J/Kg

Densidad del agua = 1 Kg/L

Entrada de agua = (entrada de agua) × (energía libre de Gibbs del agua) × (densidad del agua)

Entrada de agua = (777'600.000 L/ha/ciclo) × (5.000 J/Kg) × (1 Kg/L)

Entrada de agua = 3,89E12 J/ha/ciclo

5. Pérdida de suelo (erosión huerta)

Tasa de pérdida del suelo = (13.500 g/m²/año) × (135/365) = 4.993,151 g/m²/ciclo

Conversión = 10.000 m²/ha

Conversión = 1 Kg/1.000 g

Pérdida de suelo = (4993.151 g/m²/ciclo) × (10.000 m²/ha) × (1 Kg/1.000 g)

Pérdida de suelo = 4,99E4 Kg/ha/ciclo

6. Pérdida de suelo (erosión estanque)

Tasa de pérdida del suelo = (13.500 g/m²/año) × (135/365) = 4.993,151 g/m²/ciclo

Conversión = 10.000 m²/ha

Conversión = 1 Kg/1.000 g

Pérdida de suelo = (4.993,151 g/m²/ciclo) × (10.000 m²/ha) × (1 Kg/1.000 g)

Pérdida de suelo = 4,99E4 Kg/ha/ciclo

7. Densidad de siembra (cachama)

Densidad de siembra (cachamas) = 15.000 alevinos/ha/ciclo

Peso de un alevino = 0,49 g/alevino

Contenido energético de un alevino = 1,87E-03 KJ/g

Conversión = 1.000 J/KJ

Densidad de siembra (cachama) = (15.000 alevinos/ha/ciclo) × (0,49 g/alevino) × (1,87E-03 kJ/g) × (1.000 J/KJ)

Densidad de siembra (cachama) = $1.37E4$ J/ha/ciclo

8. Densidad de siembra (bocachico)

Densidad de siembra (bocachico) = 15.000 alevinos/ha/ciclo

Peso de un alevino = 1,83 g/alevino

Contenido energético de un alevino = $1,87E-03$ kJ/g

Conversión = 1.000 J/kJ

Densidad de siembra (cachama) = $(15.000 \text{ alevinos/ha/ciclo}) \times (1,83 \text{ g/alevino}) \times (1,87E-03 \text{ KJ/g}) \times (1.000 \text{ J/KJ})$

Densidad de siembra (bocachico) = $5,13E4$ J/ha/ciclo

9. Perifiton

Perifiton = $2,55E7$ g/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/90,0 m²

Conversión = 10.000 m²/ha

Conversión = 1.000 J/KJ

Conversión (valor energético del perifiton) = 1,76 KJ/g

Perifiton = $(2,55E7 \text{ g/estanque/ciclo}) \times (1 \text{ estanque/90,0 m}^2) \times (10.000 \text{ m}^2/\text{ha}) \times (1.000 \text{ J/KJ}) \times (1,76 \text{ KJ/g})$

Perifiton = $4,99E12$ J/ha/ciclo

10. Uso de alimento

Uso de alimento = 7.775,6 Kg/ha/ciclo

Conversión = 15'634.806 J/Kg

Uso de alimento = $(7.775,6 \text{ Kg/ha/ciclo}) \times (15'634.806 \text{ J/Kg})$

Uso de alimento = $1,22E+11$ J/ha/ciclo

11. Combustible para transporte

Combustible para transporte = 56,8 L/ha/ciclo

Conversión = $1,14E+04$ Kcal/L

Conversión= 4.186J/Kcal

Combustible para transporte = (56,8 L/ha/ciclo) × (1,14E+04 Kcal/L) × (4.186J/Kcal)

Combustible para transporte = 2,71E+09 J/ha/ciclo

12. Electricidad

Electricidad = 291,6 Kw/ha/ciclo

Conversión= 3,60E+06 J/kWh

Electricidad = (291,6 Kw/ha/ciclo) × (3,60E+06 J/kWh)

Electricidad = 1,05E+09 J/ha/ciclo

13. Plástico para impermeabilizar estanques

Plástico para impermeabilizar estanques= 380,0 m²/estanque/ciclo

Conversión = 1 Kg/18.4 m² de plástico

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Plástico para impermeabilizar estanques = (380,0 m²/estanque/ciclo) × (1 Kg/18.4 m² de plástico) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha)

Plástico para impermeabilizar estanques = 2,55E3 Kg/ha/ciclo

14. Malla antipájaro

Malla antipájaro = 95,0 m²/estanque/ciclo

Conversión = 1 Kg/14.58 m² de malla

Conversión = 1 estanque/81,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Malla antipájaro = (95,0 m²/estanque/ciclo) × (1 Kg/14.58 m² de malla) × (1 estanque/81,0 m²) × (10.000 m²/1 ha)

Malla antipájaro = 8,04E2 Kg/ha/ciclo

15. Estacas de madera para substrato perifiton

Estacas de madera para substrato perifiton = 810,0 estacas/estanque/ciclo

Conversión = 2,5 Kg/estaca

Conversión = 1 estanque/90,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Estacas de madera para substrato perifiton = (810,0 estacas/estanque/ciclo) × (2,5 Kg/estaca) × (1 estanque/90,0 m²) × (10.000 m²/1 ha)

Estacas de madera para substrato perifiton = 2,25E5 Kg/ha/ciclo

16. Macrófitas (filtro)

Macrófitas (filtro) = 83,33 Kg/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/90,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Macrófitas (filtro) = (83,33 Kg/estanque/ciclo) × (1 estanque/90,0 m²) × (10.000 m²/1 ha)

Macrófitas (filtro) = 9,26E3 Kg/ha/ciclo

17. Entrada de nitrógeno

Entrada de nitrógeno = 1.559,11 g N/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/90,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Conversión = 1 Kg/1.000 g

Entrada de nitrógeno = (1.559,11 g N/estanque/ciclo) × (1 estanque/90,0 m²) × (10.000 m²/1 ha) × (1 Kg/1.000 g)

Entrada de nitrógeno = 1,73E2 Kg/ha/ciclo

18. Entrada de fósforo

Entrada de fósforo = 209,941 g P/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/90,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Conversión = 1 Kg/1.000 g

Entrada de fósforo = (209,941 g P/estanque/ciclo) × (1 estanque/90,0 m²) × (10.000 m²/1 ha) × (1 Kg/1.000 g)

Entrada de fósforo = 2,33E1 Kg/ha/ciclo

19. Mano de obra

Mano de obra = 1,875 días de trabajo/ha/ciclo

Conversión = 2.500 Kcal/persona/día

Conversión = 4.186 J/Kcal

Mano de obra = (1,875 días de trabajo/ha/ciclo) × (2.500 Kcal/persona/día) × (4.186 J/Kcal)

Mano de obra = 1,96E7 J/ha/ciclo

20. Cachama

Cachama = 1.351,21 Kg/ha/ciclo

Conversión = 5,11E6 J/Kg

Cachama = (1.351,21 Kg/ha/ciclo) × (5,11E6 J/Kg)

Cachama = 6,91E9 J/ha/ciclo

21. Bocachico

Bocachico = 807,5 Kg/ha/ciclo

Conversión = 4,64E6 J/Kg

Bocachico = (807,5 Kg/ha/ciclo) × (4,64E6 J/Kg)

Bocachico = 3,74E9 J/ha/ciclo

Anexo C: sistema de producción de Cachama y bocachico sin perifiton

1. Insolación

Insolación = 9.615'000.000 W-h/ha/ciclo (ciclo = 180 días)

Albedo = 17,00%

Conversión = 3.600 J/W-h

Insolación = (insolación) × (1- albedo) × conversión (J/W-h)

Insolación = (9.615'000.000 W-h/ha/ciclo) × (1 - 0,17) × (3.600 J/W-h)

Insolación = 2,87 E13 J/ha/ciclo

2. Viento

Velocidad del viento = 7,0 m/seg

Densidad del aire= 1,3 Kg/m³

Coeficiente de arrastre = 1,0E-03

Conversión = 1,56E+07 seg/ciclo

Viento = (velocidad del viento) × (densidad del aire) × (coeficiente de arrastre) × (conversión)

Viento = (7,0 m/seg) × (1,3 Kg/m³) × (1,0E-03) × (1,56E+07 seg/ciclo)

Viento = 1,42E05 J/ha/ciclo

3. Lluvia

Lluvia = 15'000.000 L/ha/ciclo

Energía libre de Gibbs del agua = 5.000 J/Kg

Densidad del agua = 1 Kg/L

Lluvia = (lluvia) × (energía libre de Gibbs del agua) × (densidad del agua)

$$\text{Lluvia} = (15'000.000 \text{ L/ha/ciclo}) \times (5.000 \text{ J/Kg}) \times (1 \text{ Kg/L})$$

$$\text{Lluvia} = 7,50\text{E}10 \text{ J/ha/ciclo}$$

4. Entrada de agua

$$\text{Entrada de agua} = 777'600.000 \text{ L/ha/ciclo}$$

$$\text{Energía libre de Gibbs del agua} = 5.000 \text{ J/Kg}$$

$$\text{Densidad del agua} = 1 \text{ Kg/L}$$

$$\text{Entrada de agua} = (\text{entrada de agua}) \times (\text{energía libre de Gibbs del agua}) \times (\text{densidad del agua})$$

$$\text{Entrada de agua} = (777'600.000 \text{ L/ha/ciclo}) \times (5.000 \text{ J/Kg}) \times (1 \text{ Kg/L})$$

$$\text{Entrada de agua} = 3,89\text{E}12 \text{ J/ha/ciclo}$$

5. Pérdida de suelo (erosión huerta)

$$\text{Tasa de pérdida del suelo} = (13.500 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (135/365) = 4.993,151 \text{ g/m}^2/\text{ciclo}$$

$$\text{Conversión} = 10.000 \text{ m}^2/\text{ha}$$

$$\text{Conversión} = 1 \text{ Kg}/1.000 \text{ g}$$

$$\text{Pérdida de suelo} = (4993.151 \text{ g/m}^2/\text{ciclo}) \times (10.000 \text{ m}^2/\text{ha}) \times (1 \text{ Kg}/1.000 \text{ g})$$

$$\text{Pérdida de suelo (erosión huerta)} = 4,99\text{E}4 \text{ Kg/ha/ciclo}$$

6. Pérdida de suelo (erosión estanques)

$$\text{Tasa de pérdida del suelo} = (13.500 \text{ g/m}^2/\text{año}) \times (135/365) = 4.993,151 \text{ g/m}^2/\text{ciclo}$$

$$\text{Conversión} = 10.000 \text{ m}^2/\text{ha}$$

$$\text{Conversión} = 1 \text{ Kg}/1.000 \text{ g}$$

$$\text{Pérdida de suelo} = (4.993,151 \text{ g/m}^2/\text{ciclo}) \times (10.000 \text{ m}^2/\text{ha}) \times (1 \text{ Kg}/1.000 \text{ g})$$

$$\text{Pérdida de suelo (erosión estanques)} = 4,99\text{E}4 \text{ Kg/ha/ciclo}$$

7. Densidad de siembra (cachama)

$$\text{Densidad de siembra (cachamas)} = 15.000 \text{ alevinos/ha/ciclo}$$

$$\text{Peso de un alevino} = 0,49 \text{ g/alevino}$$

$$\text{Contenido energético de un alevino} = 1,87\text{E}-03 \text{ KJ/g}$$

Conversión = 1.000 J/KJ

Densidad de siembra (cachama) = (15.000 alevinos/ha/ciclo) × (0,49 g/alevino) × (1,87E-03 kJ/g) × (1.000 J/KJ)

Densidad de siembra (cachama) = 1.37E4 J/ha/ciclo

8. Densidad de siembra (bocachico)

Densidad de siembra (bocachico) = 15.000 alevinos/ha/ciclo

Peso de un alevino = 1,83 g/alevino

Contenido energético de un alevino = 1,87E-03 kJ/g

Conversión = 1.000 J/kJ

Densidad de siembra (cachama) = (15.000 alevinos/ha/ciclo) × (1,83 g/alevino) × (1,87E-03 KJ/g) × (1.000 J/KJ)

Densidad de siembra (bocachico) = 5,13E4 J/ha/ciclo

9. Uso de alimento

Uso de alimento = 6.642,5 Kg/ha/ciclo

Conversión = 15'112.683 J/Kg

Uso de alimento = (6.642,5 Kg/ha/ciclo) × (15'112.683 J/Kg)

Uso de alimento = 1,0E+11 J/ha/ciclo

10. Combustible para transporte

Combustible para transporte = 56,8 L/ha/ciclo

Conversión= 1,14E+04 Kcal/L

Conversión= 4.186J/Kcal

Combustible para transporte = (56,8 L/ha/ciclo) × (1,14E+04 Kcal/L) × (4.186J/Kcal)

Combustible para transporte = 2,71E+09 J/ha/ciclo

11. Electricidad

Electricidad = 249,1 Kw/ha/ciclo

Conversión= 3,60E+06 J/kWh

Electricidad = (249,1 Kw/ha/ciclo) × (3,60E+06 J/kWh)

Electricidad = $8,97E+08$ J/ha/ciclo

12. Plástico para impermeabilizar estanques

Plástico para impermeabilizar estanques = $380,0$ m²/estanque/ciclo

Conversión = 1 Kg/ $18,4$ m² de plástico

Conversión = 1 estanque/ $81,0$ m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Plástico para impermeabilizar estanques = $(380,0$ m²/estanque/ciclo) × $(1$ Kg/ $18,4$ m² de plástico) × $(1$ estanque/ $81,0$ m²) × $(10.000$ m²/1 ha)

Plástico para impermeabilizar estanques = $2,55E3$ Kg/ha/ciclo

13. Malla antipájaro

Malla antipájaro = $95,0$ m²/estanque/ciclo

Conversión = 1 Kg/ $14,58$ m² de malla

Conversión = 1 estanque/ $81,0$ m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Malla antipájaro = $(95,0$ m²/estanque/ciclo) × $(1$ Kg/ $14,58$ m² de malla) × $(1$ estanque/ $81,0$ m²) × $(10.000$ m²/1 ha)

Malla antipájaro = $8,04E2$ Kg/ha/ciclo

14. Macrófitas (filtro)

Macrófitas (filtro) = $83,33$ Kg/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/ $90,0$ m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Macrófitas (filtro) = $(83,33$ Kg/estanque/ciclo) × $(1$ estanque/ $90,0$ m²) × $(10.000$ m²/1 ha)

Macrófitas (filtro) = $9,26E3$ Kg/ha/ciclo

15. Entrada de nitrógeno

Entrada de nitrógeno = $1.331,109$ g N/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/ $90,0$ m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Conversión = 1 Kg/1.000 g

Entrada de nitrógeno = (1.331,109 g N/estanque/ciclo) × (1 estanque/90,0 m²) × (10.000 m²/1 ha) × (1 Kg/1.000 g)

Entrada de nitrógeno = 1,48E2 Kg/ha/ciclo

16. Entrada de fósforo

Entrada de fósforo = 179,34 g P/estanque/ciclo

Conversión = 1 estanque/90,0 m²

Conversión = 10.000 m²/1 ha

Conversión = 1 Kg/1.000 g

Entrada de fósforo = (179,34 g P/estanque/ciclo) × (1 estanque/90,0 m²) × (10.000 m²/1 ha) × (1 Kg/1.000 g)

Entrada de fósforo = 1,99E1 Kg/ha/ciclo

17. Mano de obra

Mano de obra = 1,875 días de trabajo/ha/ciclo

Conversión = 2.500 Kcal/persona/día

Conversión = 4.186 J/Kcal

Mano de obra = (1,875 días de trabajo/ha/ciclo) × (2.500 Kcal/persona/día) × (4.186 J/Kcal)

Mano de obra = 1,96E7 J/ha/ciclo

18. Cachama

Cachama = 1.455,3 Kg/ha/ciclo

Conversión = 5,11E6 J/Kg

Cachama = (1.455,3 Kg/ha/ciclo) × (5,11E6 J/Kg)

Cachama = 7,44E9 J/ha/ciclo

19. Bocachico

Bocachico = 546,9 Kg/ha/ciclo

Conversión = 4,64E6 J/Kg

Bocachico = (546,9 Kg/ha/ciclo) × (4,64E6 J/Kg)

Bocachico = 2,54E9 J/ha/ciclo