

## INFORME DESCRIPTIVO FINAL

- El presente informe debe ser completado y firmado por la persona de contacto del coordinador.
- La información facilitada en el presente informe debe corresponder a la información financiera descrita en el informe financiero.
- Rellene el informe usando una máquina de escribir u ordenador
- Use más espacio para cada párrafo cuando sea necesario.
- **Remítase a las Condiciones Particulares de su contrato de subvención y envíe una copia del presente informe a cada una de las direcciones mencionadas en las Condiciones Particulares de su contrato.**
- El Órgano de Contratación rechazará todo informe incompleto o relleno de forma incorrecta.
- Todas las respuestas deben corresponder al periodo de referencia, como se especifica en el punto 1.6.

### Índice

#### Lista de acrónimos utilizados en el informe

#### 1. Descripción

---

- 1.1. Nombre del coordinador del contrato de subvención: Maritza Guerrero Barrantes (17 diciembre 2021 a 30 julio 2023)/ Francinie Murillo Vega (01 de agosto 2023 a 30 noviembre 2023).
- 1.2. Nombre y cargo de la persona de contacto: Francinie Murillo Vega, Profesora e Investigador del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- 1.3. Nombre de los beneficiarios y entidades afiliadas que participan en la acción:  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura  
Centro acuícola Cantonal de Buenos Aires
- 1.4. Título de la acción: Acuicultura descarbonizada: Mitigación de carbono mediante la generación de suplementos alimenticios con microalgas nativas.
- 1.5. Número de contrato:90-51-03
- 1.6. Fecha de inicio y fecha final del periodo de referencia: 17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023.
- 1.7. País(es) o región(es) destinatario(s): Costa Rica, Regiones Central, Pacífico Central, Huetar Norte, Brunca, Huetar Atlántica.
- 1.8. Beneficiarios finales y/o grupos destinatarios<sup>1</sup> (si son diferentes) (incluyendo el número de hombres y mujeres):

---

<sup>1</sup> Los «grupos destinatarios» son los grupos o entidades que se verán directamente beneficiados por el proyecto a nivel del objetivo del proyecto, mientras que los «beneficiarios finales» son aquellos que se beneficiarán del proyecto a largo plazo y tanto a nivel social como sectorial, en sentido amplio.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

1. Apoyo con equipo de medición y materiales de construcción para arranque o mejoras y acondicionamiento de sus sistemas productivos
  - Cooperativa Coopetilaco, El Coco, Siquirres de Limón
  - Estación Experimental Acuícola del Sur, Buenos Aires de Puntarenas.
  - Asociación de mujeres y hombres emprendedores de Bella Vista
  - Sra. Olga Vargas Jiménez
  - Sra. Abigaíl Loría Vargas
2. Capacitación teórico práctica de 85 personas en total, incluyendo instituciones y productores.

#### Instituciones Beneficiarias

- Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura
- Instituto Tecnológico de Costa Rica
- Estación Experimental Acuícola del Sur, Buenos Aires de Puntarenas.
- Asociación de mujeres y hombres emprendedores de Bella Vista
- Asociación de Productores de Tilapia Tenorio Fish Farm, Guatuso Upala.

#### Productores



- Lista de participantes Anexo 8.

1.9. País(es) donde se desarrollan las actividades (si es o son diferentes de los mencionados en el punto 1.7): N/A

## **2. Evaluación de la ejecución de las actividades de la acción y de los correspondientes resultados**

### **2.1. Resumen de la acción**

Al 30 de noviembre del 2023, habiendo cumplido un 100 % del periodo total de la acción, el proyecto Acuicultura descarbonizada: Mitigación de carbono mediante la generación de suplementos alimenticios con microalgas nativas ha logrado avanzar satisfactoriamente los cuatro resultados propuestos en la Matriz de Ejecución del Proyecto. Se ha trabajado y concluido el 100 % de los productos propuestos y finalizado con éxito el 95 % de los mismos, para lo cual el 5% restante corresponde al análisis de datos y redacción de una publicación científica.

Se ha identificado a la microalga *Arthrospira sp.* por su composición bioquímica, como la microalga ideal para el diseño del suplemento nutricional para tilapias. Esta microalga, conocida como espirulina, presenta un alto porcentaje de proteína que aporta a la nutrición de los peces. Se diseñó un pienso para la alimentación de alevines de tilapia utilizado biomasa seca de esta microalga más un floculante. Este

Noviembre 2022

2 de 144

INFORME FINAL \_ Acuicultura Descarbonizada

Página

alimento se validó en un bioensayo de alimentación de alevines de tilapia utilizando distintos niveles de suplementación con espirulina para la evaluación de su efecto en los parámetros productivos de alevinaje. Se cuenta con los resultados del experimento en fase de laboratorio y se encuentra finalizada la fase de prueba del alimento en la finca de la productora Sra. Olga Vargas.

Como resultado se generó una tecnología descarbonizada para mejorar los proyectos productivos de las mujeres productoras de guapote, tilapia y camarón en diferentes sectores del país, mediante levantamiento de información que permitió captar las estadísticas, así dirigiendo las temáticas de las capacitaciones y permitiendo crear redes de transferencia de conocimiento y de esa manera fortalecer la producción nacional. Este resultado fue posible tras diversas visitas a fincas de mujeres productoras de tilapia en diferentes regiones del país, pudiendo comprobar muchas debilidades y falencias que estas productoras poseen. Por lo tanto, y adicional a los resultados comprometidos, se generó un diagnóstico nacional de las realidades de estas mujeres productoras que permitió contribuir con la mejora de equipamiento e infraestructura a 4 de los 14 proyectos productivos contemplados en el proyecto (Anexo 9), con diseños y materiales para el arranque de sus sistemas o mejora de la infraestructura existente y se cuenta con la información base con el fin de poder brindar a las autoridades como Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) herramientas de mejora y determinar los puntos de acción para poder ayudar de forma integral a las productoras.

Una de las principales necesidades reflejadas en el diagnóstico, fue la falta de capacitación en la acuicultura de tilapia, especialmente para las productoras principiantes, por lo que se ejecutaron cuatro capacitaciones en el Cultivo de Tilapia en diferentes regiones del país (Pacífico Central, Huetar Norte, Brunca, Huetar Atlántica).

Aunado al cumplimiento del objetivo de capacitar a los productores, se generó un curso virtual que cuenta con 18 súper didácticos con una duración de 3 a 4 minutos con temas claves para productores principiantes en cultivos de peces de agua dulce, distribuido a los productores participantes de las capacitaciones para la divulgación a demás productores cercanos. Este recurso virtual constituye una plataforma base para programar en el futuro, más capacitaciones tanto presenciales como virtuales y poder extender el alcance de la transferencia de conocimiento logrado en esta primera fase del proyecto.

La generación de programas de capacitación en acuicultura y la necesidad de desarrollar alternativas productivas incentivará la generación de empleo y reducción de pobreza en las zonas rurales donde se fomenta la acuicultura sostenible y en coordinación y apoyo del INCOPECA.

Respecto a los componentes de sostenibilidad y competitividad de proyectos acuícolas locales liderados por mujeres, el desarrollo de un suplemento acuícola (I+D) de alto impacto alimenticio con microalgas impacta en la salud de los peces, que reduce la mortalidad y los eventos de resiembra, a su vez baja los costos de implementar la producción de especies acuáticas y parcialmente a la reducción en el uso de antibióticos. Abonado a esto, la producción del suplemento alimenticio por sí mismo reduce el impacto de las emisiones de gases efecto invernadero, asociados al transporte de ingredientes alimenticios extranjeros. Se sabe que incluso una baja productividad de biomasa de microalgas producidos en el territorio nacional captura 155 ton/ha/año y producen 72 ton/ha/año de biomasa, que se proyecta poner a disposición de los productores de alimentos acuícolas.

Por lo tanto, los resultados alcanzados contribuyen a 4 de los 6 retos presentados en la Estrategia Económica Territorial 2020-2050 de Costa Rica: i) Calidad laboral precaria por falta de sofisticación económica -se propone el suplemento acuícola (I+D) de nueva tecnología-, ii) Hiperconcentración del espacio productivo en la GAM -la propuesta buscar llevar nuevas tecnologías fuera de la GAM hacia las zonas costeras del país,- iii) Desequilibrio entre territorios costeros y el interior del país -el proyecto está enfocado específicamente en generar un impacto positivo en mujeres de la acuicultura en zonas costeras-, iv) Enfrentar el desafío de la productividad con bajas emisiones de carbono -el cultivo de microalgas colaborará en gran medida con la fijación de CO<sub>2</sub>, convirtiendo al suplemento nutricional en una tecnología sustentable.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

**2.2. Resultados y actividades**

**Se obtuvieron los permisos:**

1. **CICUA 27 de febrero de 2023 CICUA-9-2023 para los experimentos con peces**
2. **CONAGEBIO R-CM-ITCR-003-2022-OT-CONAGEBIO para los análisis en biomásas microalgales y en peces**

**A. RESULTADOS: MATRIZ DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO ACTUALIZADA**

Resultados de desarrollo del proyecto	Productos	Actividades	Avances	
<b>Resultado 1:</b> Formulación del suplemento nutricional a base de un consorcio microalgal.	P1.1 Consorcio microalgal Identificado (Microalgas seleccionadas y caracterizadas)	A1.1.- Cultivar al menos dos especies de microalgas a escalas de 40000 litros.	100%	A1.1 Se trabajó en el cultivo de dos especies de microalgas, <i>Scenedesmus sp.</i> y <i>Arthrospira sp.</i> ; siendo esta última la elegida para realizar la formulación del suplemento nutricional (Anexo 1). A1.2 Se destinaron recurso para implementar mejoras en el sistema de cosecha de las microalgas cultivadas, dicha actividad se fortalece con la ampliación del proyecto y el presupuesto (Anexo 2). A1.3 Se instaló un equipo pasteurizador adquirido previamente y se realizaron pruebas de procesamiento, como resultado describen condiciones de proceso en laboratorio para realizarlo, sin embargo, se prescindió de la pasteurización en el flujo de proceso para el producto desarrollado (Anexo 1 y 2). A.1.4 A. <i>máxima</i> fue utilizada para diseñar formulaciones alimenticias, realizando combinaciones entre pienso comercial de tilapia, microalga y un aditivo comercial. Se utilizaron tres aditivos comerciales y un control sin aditivo para conseguir la unión de las partículas de alimento comercial con la biomasa seca de microalgas producida en el TEC. Se evaluó la capacidad de adherencia de la microalga mediante la suspensión del material en agua y la medición de la densidad óptica en el tiempo. Como resultado el aditivo empleado fue Pegalaq (Anexo 3).
		A1.2- Cosecha de dos diferentes especies de microalgas.	100%	
		A1.3-Pausterizar el concentrado de microalgas.	100%	
	P1.2 Diseño del suplemento nutricional (Microalgas conjuntadas en proporciones específicas)	A1.4. Diseñar y producir las formulaciones alimenticias en base a microalgas para generar un suplemento nutricional según el requerimiento de los cultivos acuícolas.	100%	
	P1.3 Diagnóstico físico químico del suplemento			

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

<p>nutricional (caracterizar la composición de lípidos, proteínas y carbohidratos)</p> <p>P1.4 Cuadro de los requerimientos nutricionales en los cultivos acuícolas.</p> <p>P1.5 Suplemento nutricional acuícola a base del consorcio microalgal construido y disponible para acuicultores</p>	<p>A1.5. Analizar químicamente los suplementos producidos con el fin de determinar la concentración de nutrientes y pigmentos presentes.</p>	100%	<p>A1.5 La mezcla pienso-microalga-aditivo fue analizada químicamente para determinar su porcentaje de composición de humedad, grasa, fibra, cenizas, carbohidratos solubles y proteína (Anexo 4).</p>
	<p>A1.6 Análisis de la necesidad nutricional del cultivo de tilapia</p>	100%	<p>A1.6 En conjunto con el INCOPECA, se cuenta con tablas de alimentación que contemplan la necesidad de macronutrientes contemplados en la dieta, aunado se investigó de forma bibliográfica, otras necesidades de micronutrientes. Este tema se abordó también en las capacitaciones impartidas a productores (Anexo 5 y Anexo 8).</p>
	<p>A1.7 Compra de equipo para control de calidad y empaque</p>	100%	<p>A1.7 Se trabajó en la compra e instalación de un equipo extrusor, único en el país para desarrollo de investigaciones de dietas y nuevas formulaciones de alimentos extruidos ampliamente empleado en las dietas acuícolas. Se trabajó en la adaptación de una sala de procesado, dotando de electricidad y condiciones para el trabajo bajo Buenas prácticas de manufactura. Se realizaron pruebas preliminares de formulación y se cuenta con una formulación basal para formular pellets con la microalga (Anexo 6). Se adquirió una maquina empacadora. Además se cuenta con las capacidades para el desarrollo futuro de más prototipos de productos dirigidos a nutrición acuícola, animal y humana. Se adquirió equipos para determinar color, humedad y actividad de agua del alimento elaborado (Anexo 2).</p>
	<p>A1.8 Empaque del suplemento nutricional.</p>	100%	<p>Se ejecutaron pruebas de empaque del producto en diferentes envolturas. Se trabajó con polietileno que evidenció mejores resultados respecto al empaque metalizado tomando en cuenta el</p>

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

		A1.9 Distribución del suplemento nutricional a las fincas productoras.	100%	precio y efectividad para conservar el producto seco (Anexo 2).  El producto elaborado se envió como muestra a 4 producciones en finca (Coopetilaco, Estación Acuícola de Buenos Aires, y El módulo acuícola acuapónico en la Escuela de Agronegocios del TEC y la Finca de Doña Olga Vargas), en esta última, se desarrollo el experimento de dietas durante 10 semanas (Anexo 11).
<b>Resultado 2:</b> Diagnóstico de la productividad acuícola alimentada con el suplemento nutricional formulado a base de un consorcio de microalgas.	P2.1 Diagnóstico de la digestibilidad del suplemento nutricional acuícola a base de microalgas.	A2.1 Incorporar el suplemento nutricional dentro de los estanques acuícolas a través de un diseño experimental y diseño de muestreo.	100%	Se llevó a cabo un bioensayo en el TEC para monitorear el crecimiento de alevines de tilapias con diferentes formulaciones nutricionales de suplementación con el alga <i>Arthrospira sp.</i> El bioensayo tuvo una duración de 2 meses.  Este bioensayo consistió en evaluar el efecto de la suplementación con espirulina sobre los parámetros productivos en tilapias de 5 días posteclosión, estos se mantuvieron por 9 días con alimentación comercial para que se adaptaran al medio. Se sembraron 100 peces por pecera y se iban reponiendo las mortalidades hasta que se inició el experimento a partir del noveno día. Este se mantuvo por un período de 56 días (Anexo 7).
	P2.2 Diagnóstico de la eficiencia del suplemento nutricional en las tasas de asimilación y tasa de conversión de los cultivos acuícolas.	A2.2 Realizar un análisis de la digestibilidad del suplemento nutricional.  A2.3 Analizar la eficiencia de asimilación y de tasa de conversión los cultivos acuícolas al incorporar el suplemento nutricional.	100%  100%	Se reportan las tasas de conversión de alimento en los cultivos acuícolas al incorporar el suplemento para el ensayo desarrollado en conjunto con la Escuela de Agronegocios en el TEC. Se evaluó humedad, grasa, fibra, cenizas, carbohidratos solubles y proteína.
	P2.3 Metodología de la frecuencia de aplicación y volúmenes requeridos de los suplementos nutricionales (núcleos alimenticios) según volumen de producción acuícola.	A2.4 Valorar la frecuencia y cantidad de aplicación dependiendo del tamaño (ha) y densidad del cultivo acuícola.	100%	Se determina que la frecuencia de aplicación diaria de un alimento suplementado con 10% de microalgas reduce la mortalidad de los peces, comparado con el tratamiento de 15%. La cantidad de aplicación del alimento se recomienda según la densidad que permita el sistema de cultivo por finca, siguiendo las tablas de alimentación del INCOPESCA de acuerdo al tamaño y talla del pez en cada etapa de desarrollo.
	P2.4 Análisis fisicoquímicos y anatómicos de los	A2.5 Medir los efectos de la introducción de un	100%	

	<p>cultivos acuícolas sometidos a las dietas con el suplemento nutricional.</p> <p><i>AMPLIACIÓN<sup>(b)</sup>: P2.5</i>  <i>Análisis de las comunidades bacterianas intestinales de los cultivos acuícolas sometidos a las dietas con el suplemento nutricional.</i></p>	<p>suplemento nutricional sobre las métricas de crecimiento, la digestibilidad proteica <i>in vitro</i>, la deposición en el filete de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga n-3 (LC PUFAs) y minerales.</p> <p>A2.6 Análisis estadístico de los resultados de la aplicación del suplemento nutricional en los diversos cultivos acuícolas.</p> <p>AMPLIACIÓN(a): A2.7 Análisis de la eficiencia de la asimilación y la tasa de conversión biomásica.</p> <p>AMPLIACIÓN(b): A2.8 Análisis de las comunidades microbianas intestinales de los cultivos acuícolas sometidos a las dietas con el suplemento nutricional a través de metagenómica.</p>	<p>100%</p> <p>100%</p> <p>100%</p>	<p>Este resultado se encuentra completo (Anexo 16), los resultados principalmente técnico-científicos se encuentran en compilación en un artículo científico publicable en el primer semestre del año 2024.</p> <p>Se cuenta con los resultados de la aplicación del suplemento en la Fincas: Estación acuícola del Sur, Estación los Diamantes, Guápiles, Laboratorio de Agronegocios del TEC y Finca de Olga Vargas Jiménez (Anexo 11).</p> <p>Se estimó por pez, la cantidad de alimento consumido versus la ganancia de peso por mes (Anexo 7)</p> <p>Se cuenta con el resultado del análisis genético en intestinos de los grupos de peces alimentados con y sin las microalgas (Anexo 7).</p>
--	---	--	-------------------------------------	---

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

<b>Resultado 3:</b> Capacitación a los acuicultores en el uso e implementación del suplemento nutricional formulado a base de un consorcio de microalgas.	P3.1 Documento con el modo de uso y aplicación el uso e implementación del suplemento nutricional formulado a base de un consorcio de microalgas.	A3.1. Redacción de documentos de los procedimientos y metodología aplicadas en las zonas productoras.	100%	Anexo 2 y 7.
	P3.2 Documento comprobatorio de los talleres y capacitaciones de las mujeres	A3.2 Capacitar a las acuicultoras en el uso y aplicación del suplemento nutricional formulado a base de un consorcio de microalgas.	100%	Se realizó una coordinación con INCOPESCA para efectuar Capacitaciones en el Cultivo de Tilapia en diferentes regiones del país. Se definieron zonas prioritarias para brindar estas capacitaciones: Zona de Upala-Guatuso (en conjunto con APROTILA), Zona de Buenos Aires (en conjunto con la Estación Acuícola de Sur) y Pacifico Central (Sede Puntarenas). Se planeó un Curso Introductorio al Cultivo de Tilapia Teórico - Práctico de dos días. Para lo cual se utilizaron instalaciones con facilidad de acceso a estanques de cultivo para hacer la parte práctica el día 2 de la capacitación. En las capacitaciones impartidas se priorizaron para mujeres productoras y una vez inscritas, los cupos libres se llenaron con productores interesados en capacitarse en cultivo de tilapia, incluyendo pequeños productores y asociaciones. Cada Capacitación se planteó para 20 personas. Adicionalmente se les entregó Material Didáctico de 4 volúmenes elaborando recientemente por la Universidad Técnica Nacional. La capacitación se impartió en conjunto con la empresa CONACUI contrada por el proyecto. La primera capacitación se llevó a cabo en Puntarenas y Palmital de Miramar, los días 8 y 9 de noviembre de 2022. (Anexo 3). La segunda capacitación se llevó a cabo en Buenos Aires de Puntarenas los días 01 y 02 de marzo del 2023, Estación Acuícola del Sur del Centro Cantonal Agrícola de Buenos Aires La última capacitación se impartió en Upala, en la Finca Tenorio Fish Farms Asociación de Productores de Tilapia (APROTILA) los días 26 y 27 de mayo.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

	P3.3 Documentos comprobatorios de asistencia a congresos y artículos publicados	A3.3 Participación en Congreso Internacional para difusión de los resultados		<p>Adicionalmente, realizó un Diagnóstico de la producción de Tilapia entre las diferentes productoras del país. Con el fin de conocer las necesidades y los puntos de mejora de los procesos productivos de las productoras nacionales. (Anexos 7, 8 y 9).</p> <p>Se generó un curso virtual con los aspectos claves para el cultivo de tilapia, con 18 súper didácticos de entre 2 a 4 min, constituye una base para continuar capacitando en la modalidad a distancia y lograr un mayor alcance en la transferencia del conocimiento generado, para lo que se hace imprescindible la búsqueda de financiamiento para concretarlo (Anexo 10).</p> <p>Se cuenta con un artículo publicado (Anexo 14) y asistencia a un congreso internacional para la difusión de los resultados, además de un artículo en redacción para su publicación en revista científica.</p>
<b>Resultados 4:</b> Dictamen de la reducción en la huella de carbono al sustituir parcial o totalmente las dietas de los cultivos acuícolas con el suplemento nutricional formulado.	P4.1 Documento con los datos de la mitigación de la huella de carbono en el proceso de producción microalgal.	A4.1 Análisis de cuantificación pro medio de parámetros internacionales de la mitigación de carbono.	100%	<p>Se calculó la reducción de huella de carbono para los modelos de 4 fincas estudiadas (Anexo 11), integrando el cultivo de tilapia con alimentos suplementados con microalgas y otras prácticas de mitigación como la acuaponía y el comercio local, aplicando las fórmulas y regulaciones nacionales para el cálculo de huella de carbono. Se concluyó que un modelo sinérgico en el cual se utilizan microalgas en la alimentación y se emplea el cultivo hidropónico de plantas 100% comestibles logra disminuir la huella de CO<sub>2</sub> a valores cercanos a cero. Además, es importante evitar el uso de energía para bombeo o recirculación del agua, por lo que la captación del agua de una fuente adecuada es lo recomendable.</p> <p>Se apoyó a las productoras con materiales para la mejora de sus sistemas (Anexo 12 y 13).</p>

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

**Explique de qué forma se han integrado en la acción cuestiones transversales como la igualdad de género<sup>2</sup> y la sostenibilidad medioambiental<sup>3</sup>.**

La igualdad de género ha sido integrada en cada fase del ciclo del proyecto. La promoción de la igualdad de género es un eje principal en el desarrollo del proyecto. La participación femenina sin discriminación es indispensable para un desarrollo sostenido y eficaz del país. Por lo tanto, la participación de mujeres productoras de tilapia es la clave de la acción, debido a la importancia del papel económico, social y medioambiental de la mujer. Desde la fase de análisis preliminar las consideraciones de género y desigualdades fueron evaluadas para la formulación del proyecto.

En Costa Rica, existe gran brecha de género, donde muchas mujeres se ha visto desfavorecidas de tecnologías de producción. Específicamente en este proyecto, se busca disminuir esta brecha al llevar tecnología a las mujeres productoras de tilapia, muchas veces jefas de hogar, que han tenido un desfavorecimiento en políticas públicas de equidad de género y acceso a tecnología; y lograr un empoderamiento de estas mujeres. Nuestra meta es poder acercar a las productoras de tilapia al conocimiento de las técnicas de cultivo moderno y que puedan impulsar sus emparedamientos, sin embargo, de igual manera y sin discriminación las capacitaciones realizadas han incluido también a hombres (muchos de zonas rurales) que también han sido limitados de tecnologías modernas.

La sostenibilidad medioambiental es un eje de igual importancia en la presente acción, tanto que todo un Resultado (Resultado 4) se centra en el dictamen de la reducción en la huella de carbono al sustituir parcial o totalmente las dietas de los cultivos acuícolas con el suplemento nutricional formulado.

## 2.4 Problemas técnicos durante la ejecución y soluciones

### 1. Estanque de cultivo de microalgas

Durante el año 2022, se empleó la biomasa producida y procesada para los experimentos, obteniendo resultados prometedores con una suplementación del 15% de contenido microalgal con espirulina (*Arthrospira* sp). Este resultado podría favorecer la tasa de mortalidad observada y de esta forma mejorar la producción de los sistemas actuales. Sin embargo, además de nuestras pruebas iniciales, era relevante validar los resultados en campo en un sistema convencional de cultivo (P1.5).

Nuestro equipo contaba con la capacidad de producción del suplemento para estas pruebas, pero durante el año 2022, el estanque de producción de microalgas tuvo daños en la membrana y motores principales. Además, por la compra de equipos de producción en el proyecto (descremadora y extrusora) la electricidad en nuestra planta piloto no era adecuada.

**Solución:** Para las pruebas de laboratorio y primeras pruebas en estanque de productoras se trabajó con biomasa de la microalga preservada en congelación, producida en el ITCR durante el 2021. La cual se sometió a proceso de secado y fue suficiente para satisfacer estas etapas del proyecto. Con lo que se replicó el experimento de laboratorio en la estación Acuícola de Buenos Aires de Puntarenas.

<sup>2</sup> Véase la Guía sobre la igualdad de género en [https://ec.europa.eu/europeaid/toolkit-mainstreaming-gender-equality-ec-development-cooperation\\_en](https://ec.europa.eu/europeaid/toolkit-mainstreaming-gender-equality-ec-development-cooperation_en)

<sup>3</sup> Véanse las directrices para la integración medioambiental en [https://ec.europa.eu/europeaid/sectors/economic-growth/environment-and-green-economy/climate-change-and-environment\\_en](https://ec.europa.eu/europeaid/sectors/economic-growth/environment-and-green-economy/climate-change-and-environment_en)

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Adicionalmente, se trabajó en la reparación del estanque principal (30.000L) para poder tener un nuevo lote de biomasa y poder hacer pruebas en más fincas. Se emplearon tanques auxiliares para poder aumentar la cantidad de biomasa mientras se daba mantenimiento y mejoras a la infraestructura existente.

Con esta nueva producción se complementó la biomasa en existencia y se logró para el proyecto llevar a cabo el experimento en la finca de la productora Olga Vargas Jiménez y darle continuidad una vez finalizado el financiamiento de MIDEPLAN, así como poder distribuirlo en más producciones de alevines, como la de INCOPESCA.

## **2. Impacto social en proyectos emergentes de cultivo de tilapia**

Durante la formulación del proyecto, el INCOPESCA aportó una lista con ocho mujeres productoras de tilapia en diferentes regiones del país que serían asociadas y beneficiadas por este proyecto. Con el desarrollo del proyecto fue posible mejorar las capacidades mediante las Capacitaciones, además algunas productoras interesadas se les apoyó con insumos materiales y equipamiento, asesoría y modelos para reducción de la huella de carbono.

Al iniciar el proyecto, nos encontramos con que la pandemia y crisis económica había afectado significativamente el desarrollo de estas personas, de manera que solo 3 de ellas contaban con sistemas activos y en buen estado. Inicialmente dicha situación limitó las posibilidades de seleccionar una finca adecuada que cumpla ciertos requisitos técnicos para validar el suplemento microalga, por lo que dicha actividad se aplazó, hasta que se logró culminar en octubre 2023.

**Solución:** Se trabajó prioritariamente en la capacitación de las productoras para que puedan implementar adecuadamente sus sistemas de producción de tilapia. Respecto a esta capacitación, en el proyecto estuvo contemplado como *Resultado 3 “Capacitación a los acuicultores en el uso e implementación del suplemento nutricional formulado a base de un consorcio de microalgas.”* Con el fin de suplir las necesidades de capacitación, esta se ha ampliado a cubrir más temas que puedan ayudar a las personas que desean reactivar sus cultivos, incluyendo desde el montaje de estanques, pruebas de calidad y buenas prácticas en el cultivo de tilapia. Esto se ha cubierto con los montos ya destinados en capacitación, debido a que se han optimizado a realizar capacitaciones centralizadas en 4 zonas clave del país, e invitando a todas y todos los interesados de la zona.

## **3. Mortalidad de Alevines en Fincas de ensayo.**

Tras el inicio de los experimentos en la finca productora de la Estación Acuícola de Buenos Aires de Puntarenas, se lidió con el problema de la mortalidad de los alevines, con lo que la prueba se debió repetir en 4 ocasiones.

**Solución:** Se realizó un diagnóstico de las condiciones de cultivo, como resultado se vio la necesidad de aumentar la temperatura de los tanques de cultivo, aumentar la oxigenación y reducir la densidad de siembra. Estas acciones se llevaron a cabo con los recursos del proyecto, logrando acondicionar el sitio para el desarrollo de los ensayos.

### **3. Beneficiarios/entidades afiliadas, becarios y otros tipos de cooperación**

3.1. ¿Cómo valora Ud. la relación entre los beneficiarios/entidades afiliadas de este contrato de subvención (es decir, los que hayan firmado el mandato del coordinador o la declaración de la entidad afiliada)? Aporte información específica sobre cada beneficiario/entidad afiliada.

La relación con las entidades afiliadas (INCOPECA, FUNDEVI, MIDEPLAN) ha sido fructífera y amena. La comunicación fluida entre las partes ha generado un clima de confianza, y de buen ambiente laboral que ha permitido el avance en la ejecución de los resultados del proyecto.

Se tuvo siempre una apertura de apoyo entre todas las partes que permitió la conclusión del proyecto según se planificó.

3.2. ¿Cómo valoraría Ud. la relación entre su organización y las autoridades estatales de los países en que se lleva a cabo la acción? ¿Cómo ha afectado dicha relación al desarrollo de la acción?  
N/A

3.3. Si es pertinente, describa su relación con cualquier otra organización implicada en la ejecución de la acción:

- Entidad(es) asociada(s) (en su caso). N/A
- Contratista(s) (en su caso). En general se destaca que el trabajo con los contratistas se llevó a cabo de buena forma, con apoyo fluido entre las partes para mejorar la comprensión de lo requerido y lograr los productos indicados. A continuación se detallan:
  - CONACUI S.A: La empresa llevó a cabo las acciones de capacitación a los productores de forma profesional. El apoyo y trayectoria en sistemas de cultivo acuícolas dio al proyecto un impacto mayor al planeado, además el acercamiento con los productores fue práctico y ameno. En lo que respecta a la rigurosidad científica, fue necesario el acompañamiento muy cercano de los investigadores para lograr el cumplimiento de los resultados.
  - **Sra. Yariela Nuñez Salazar:** La profesional se desarrolló de forma rigurosa, atendiendo las diversas actividades para la que le fue contratada y proponiendo de forma activa soluciones y mejoras para el laboratorio y el proyecto. Fue una profesional de apoyo para coordinar y llevar a cabo actividades de formación para los estudiantes asistentes involucrados en el quehacer del laboratorio de microalgas y del proyecto.
  - **Sr. César Bernal Samaniego.** El contratista se desarrolló de forma muy profesional, llevando a cabo las actividades para las que fue contratado, en el tiempo indicado, fue una figura de apoyo en la capacitación de estudiantes asistentes financiados por parte del TEC.
  - **Dimeltro S.A.** Empresa sumamente profesional, cumpliendo a cabalidad todo lo indicado en el contrato, inclusive aportando mejoras no contempladas en el contrato, lograron finalizar de manera exitosa la ampliación de la acometida eléctrica y pruebas de las máquinas y equipo para procesamiento de microalgas y alimentos para el proyecto.
  - **Sr. Gabriel Ruiz Calderón.** Se contrataron servicios electromecánicos, un profesional sumamente preparado y detallista, apoyó en el diseño e instalación de parte de los estantes para organizar el material adquirido con el proyecto.
  - **Soma Films S.A.** Empresa de Comunicación, involucrada en la creación de un curso virtual para el cultivo de tilapia. Desarrolló el material de forma amena, adaptando y haciendo sugerencias de mejora sobre el programa que se planteó inicialmente, ha adaptado el curso al público meta de forma muy asertiva.

- Beneficiarios finales y grupos destinatarios

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

**Grupos de Mujeres y productoras acuícolas:** Se dio una relación cordial entre las diferentes mujeres productoras y los ejecutores del proyecto. El aprendizaje mutuo, la comunicación, la empatía y las ganas de trabajar de las señoras ha sido clave para el avance del proyecto.

- Otras terceras partes implicadas (incluidos otros donantes, otras agencias gubernamentales o unidades locales gubernamentales, ONG, etc...). N/A
- 3.4. Si es pertinente, describa si ha habido contactos y sinergias con otras acciones. N/A
- 3.5. Si su organización ha recibido previamente subvenciones de la UE con el fin de apoyar al mismo grupo destinatario, ¿en qué medida esta acción ha sido capaz de desarrollar/complementar la(s) acción(es) previa(s)? (Detalle todas las subvenciones de la UE pertinentes previas). N/A
- 3.6. Cuando proceda, incluya un informe para cada beca finalizada en el período de referencia, a elaborar por el propio becario, que recoja los resultados de la beca y la evaluación de las calificaciones obtenidas por el becario, con miras a sus futuros empleos. N/A

#### 4. Visibilidad

¿Cómo se garantiza en esta acción la visibilidad de la contribución de la UE?

Cada documento, presentación o publicación que ha sido realizada ha llevado la mención y los logos de la UE. Como se puede apreciar en el siguiente ejemplo, el cual corresponde a la portada de todas las presentaciones que se realizaron en las Capacitaciones de Productores en Puntarenas.



Se aprecia el Logo de la UE como ente financiador de la acción.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Aunado en los videos del curso virtual, se disponen los logos mostrados en el mismo orden. En la página WEB creada en conjunto con la oficina de Comunicación del TEC, se ha hecho primordial acreditación del origen de los fondos y apoyo administrativo en la ejecución.

**La Comisión Europea puede decidir dar publicidad a los resultados de la acción. ¿Tiene alguna objeción a la posibilidad de que este informe sea publicado en la página web de EuropeAid? En caso afirmativo, indique cuáles son sus objeciones.**

Se le solicita respetuosamente a la Comisión Europea, y dentro de lo posible, no compartir todavía los Resultados crudos 1 y 2 de esta acción, ya que se está preparando un manuscrito científico para ser publicado, la difusión preliminar de la información limitaría la publicación en revistas del alto impacto. Se sugiere, de ser necesario hacer mención general sobre lo realizado, pero las gráficas y figuras todavía deben ser modificadas para una versión final.

En cuanto al Resultado 3 (Capacitaciones y Diagnóstico), al ser actividades de extensión, no hay objeción en puedan ser publicadas de inmediato en la página web. De necesitar más información o fotos favor comunicarse para entregarles más material.

Nombre de la persona de contacto de la acción:  
Francinie Murillo Vega

## **Anexo 1. Cultivo de las especies de microalgas en el laboratorio**

### **Metodología**

El cultivo de las especies de microalgas *Arthrospira máxima* y *Scenedesmus sp* se realizaron en el laboratorio de microalgas del ITCR, durante los años 2021 y 2022 respectivamente.

Se empleó un proceso de escalado partiendo de inóculos de 10 mL en el laboratorio hasta 1000 L en la planta Piloto del Laboratorio. Se evaluó el crecimiento de las microalgas durante un tiempo de 22 días, tiempo en el que se registró cada semana, el tamaño y conteo celular.

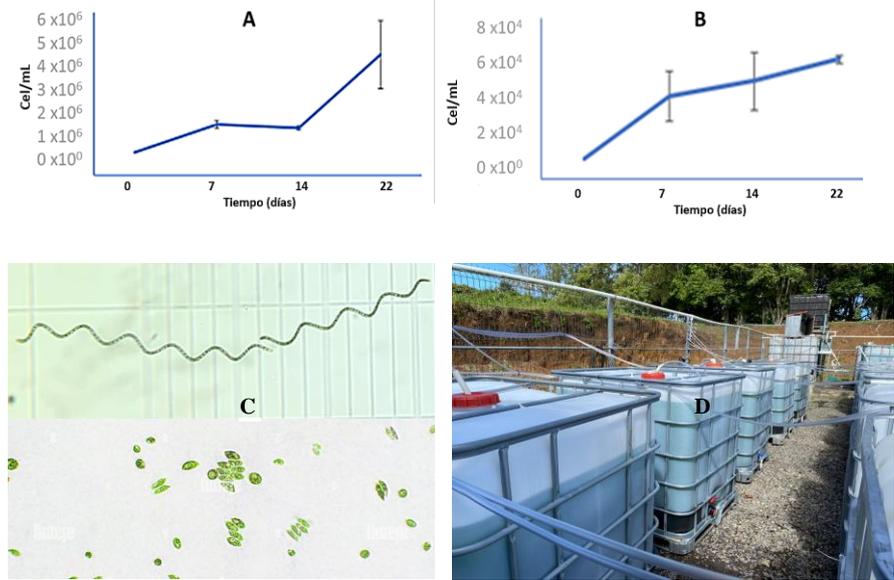
### **Resultados**

Tomando en cuenta los resultados del crecimiento de biomasa a los 22 días de ensayo, se obtuvo que la mayor concentración de biomasa se presentó en la tercera semana para la especie de *Scenedesmus sp* (Figura 1A), con un incremento de 5 veces la biomasa inicial, mientras que, para espirulina, el crecimiento es más rápido y a los 14 días se obtuvo 5 veces la concentración celular inicial (Figura 1B). Tomando en cuenta el tamaño celular y la tecnología de cosecha disponible y la facilidad para trabajar con cada especie, aunado a las propiedades nutricionales reportadas para espirulina, con mayor aporte de proteína (67% respecto a 35% *Scenedesmus*

**Comentado [1]:** Todos los nombre científicos deben ir en cursiva. También se debe evitar hacer párrafos de una oración

**Comentado [FMV2R1]:** atendido

sp), se toma la elección de trabajar con la especie de *A.maxima*, para lo cual se empleó biomasa congelada, debido a la dificultad de los primeros 12 meses para escalarla.



**Figura 1.** A) Cinética de crecimiento de *Scenedesmus* en tanques de 1000 L (2021). B) Cinética de crecimiento de *Arthrospira maxima* en tanques de 1000 L (2020). (n=3). C) Comparación del tamaño de múltiples células de *Scenedesmus* sp respecto al filamento espiralado de *A.maxima*. D) Tanques de cultivo de microalgas con el sistema de aireación instalado.

## Pausterizar el concentrado de microalgas.

### Objetivo

Determinar las condiciones adecuadas para llevar a cabo el proceso depasteurización a nivel de laboratorio para las biomásas producidas.

### Metodología

Con el fin de encontrar las condiciones adecuadas de pasteurización se estudia en un baño maría tres condiciones distintas de temperatura y tiempos para que ayuden a evitar el crecimiento de microorganismo en el alimento ya preparado cuadro 1.

Cuadro 1. Condiciones de pasteurización en baño maría.

temperatura °C	Tiempo en minutos		
60	15	30	45
70	8	15	23

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

80	1	2	3
----	---	---	---

Se toma 1 ml de biomasa en este caso se trabaja con biomasa concentrada humedad (mt-13) en tubo Falcón de 15 ml y se les agrega 4 ml de agua estéril, se toma un control a temperatura ambiente; realizándose por triplicado (Figura 3). Una vez cumplido los tiempos se deja reposar y se realizan rayados en media agar nutritivo a ver si hay presencia de microorganismo.

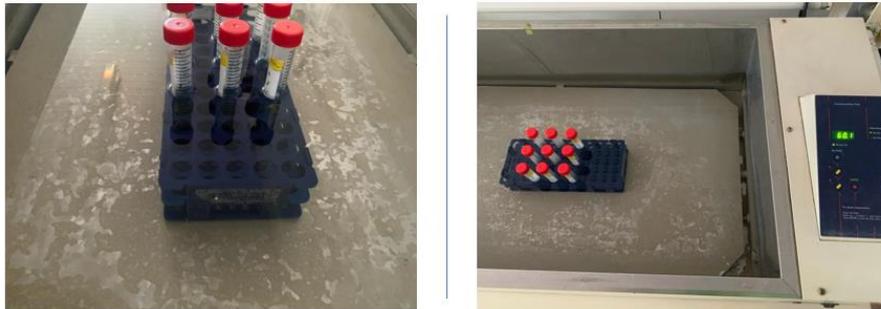


Figura 3. Pasteurización en baño maría a 60 °C.

Entre las condiciones estudiadas a temperatura ambiente hay presencia de colonias de microorganismos en este caso levaduras o bacterias; para la condición de 60 °C a 15 minutos hubo la presencia de una colonia, de igual manera a 80 °C hubo crecimiento de microorganismo. Los resultados se resumen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados de condiciones de pasterización en baño maría.

	60 °C	Si	No	70 °C	Si	No	80 °C	SI	No	Control 38 °C	Si	No
Minutos	15	x		8		X	1	X			X	
	30		X	15		X	3		X		X	
	45		X	23		X	5		X		X	

En este caso a 70 grados no se observa presencia de crecimiento de microorganismo a ningún tiempo en el baño maría. Siendo una buena opción lo que hay que tener presente es que a temperatura mayores de 70 grados quizás la microalga pueda ser afectada su composición o productividad (Figura 3).

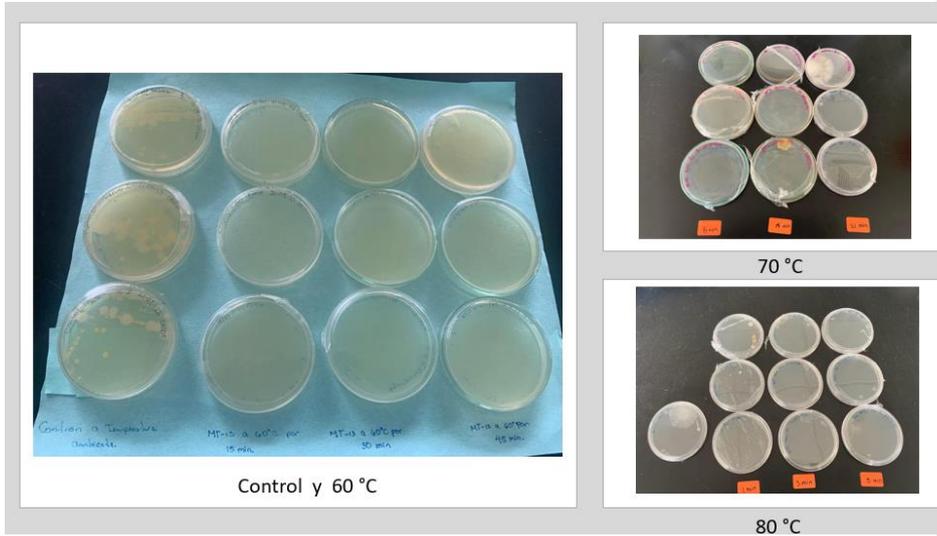
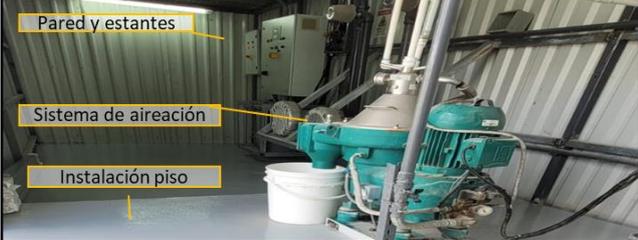


Figura 3. Resultados de rayados de las condiciones de pasteurización estudiadas en laboratorio.

**Anexo 2. Incremento de la capacidad productiva: Laboratorio de microalgas**

Registro fotográfico	Sitio	Descripción
	<p>Planta Piloto Micro algas (TEC)</p>	<p>Mantenimiento del biorreactor de cultivo: Compra e instalación de la geomembrana y confección de sistema de agitación</p>
	<p>Planta Piloto Micro algas (TEC)</p>	<p>Mantenimiento y ampliación del techo en bodega para ubicación de las peceras de ensayo. Sitio destinado a la instalación de capacidades propias del Centro de investigación para ensayos acuícolas, no disponible previo al proyecto.</p>
	<p>Planta Piloto Micro algas (TEC)</p>	<p>Mantenimiento de la cubierta de los biorreactores. Ampliación del biorreactor izquierdo para cultivo de diversas especies de microalgas con fines acuícolas</p>
	<p>Planta Piloto Micro algas (TEC)</p>	<p>Mejoras en la sala de cosecha de microalgas.                      A) Confección de división entre bodega de reactivos y sala de cosecha                      B) Confección de soportes en sistema de aireación y ampliación de tubería                      C) Instalación del piso</p>

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Registro fotográfico	Sitio	Descripción
	Sala de proceso Micro algas TEC)	Instalación y prueba de pasteurizado. Se escoge trabajar con producto pelletizado y microalgas secas por lo que se prescinde de la fase de pasteurización para las etapas posteriores en el proyecto.
	Sala de proceso Micro algas TEC	Se trabajó en el prototipo de un alimento en pellet para tilapia utilizando la tecnología de extrusión. La configuración del tornillo en tres zonas distintas para el mezclado, cocción y expansión fue fundamental para el éxito del proceso para lograr la plastificación adecuada de los almidones presentes en la formulación. Las condiciones preliminares de 80°C en la zona de cocción y expansión, 10,1 kg por hora en el alimentador, 95 Hz de rotación de los tornillos, y una harina acondicionada al 20% de humedad permitió obtener un producto que cumple con las expectativas en términos de textura y tamaño. Con un tamaño similar a la formula comercial partiendo de un dado con un diámetro de 6 mm. En este producto se busca una expansibilidad cercana a 1.1 y tras un proceso de secado se pueda ajustar la humedad y el tamaño, ya que esto contribuye a la calidad del producto final. Sin embargo, es importante destacar que una expansión excesivamente alta puede conducir a la fragilidad del producto, haciéndolo propenso a desmoronarse fácilmente, que implica mermas mayores.
<p>*El proceso de compra e instalación del equipo se vio retrasado por el acondicionamiento eléctrico en la sala de proceso, por lo que la mayoría del proceso se realizó en una base de alimento comercial del tamaño 0x0 mm y 2x2 mm. La instalación eléctrica de la extrusora finalizó en setiembre 2023, con lo que se corrieron experimentos para obtener el alimento extruido previamente formulado.</p>		

**Anexo 2. Incremento de la capacidad productiva:  
Modulo experimental acuapónico de la Escuela de Agronegocios**

Registro fotográfico	Sitio	Descripción
	Modulo experimental acuicola de la escuela de Agronegocios TEC	Cultivo de tilapia blanca en tres tanques en un sistema hidropónico. Se facilita colaboración en la determinación de parámetros de agua, y alimento con y sin las microalgas para las pruebas de alimentación
	Modulo experimental acuicola de la escuela de Agronegocios	Fotografía de las tilapias en los tanques de cultivo, alimentadas con el suplemento microalgal, integrado al sistema acuapónico se determina que el residual del alimento es viable para fertilizar las plantas y la recirculación de agua no afecta el desarrollo de los peces. Se descarta que las microalgas del alimento proliferen en el agua y den problemas en la calidad del agua.



### Anexo 3. Diseño del suplemento nutricional (Microalgas conjuntadas en proporciones específicas)

#### Efecto del estado de la biomasa en la adherencia al alimento comercial.

Se utilizó biomasa seca y húmeda para comparar la capacidad del aditivo Pegalag en adherir la microalga al producto comercial de peces de tamaño 2x2.

Las muestras se preparan con las siguientes proporciones indicadas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Mezcla de microalga y alimento empleado Pegalag

	Muestra 1 húmeda	Muestra 2 seco	Muestra 3 Seco macerado
Producto comercial	20,3038 g	20,0843 g	2,9590 g
Biomasa	4,3382 g	4,3939 g	1,1130 g
Pegalag	5,5011 g	5,2244 g	2,1409 g

Nota: La muestra 1 contiene un 80 % de humedad. La muestra 2 fue deshidratada 4 horas, su recolección se realizó el 6 de diciembre del 2019. La muestra 3 se macera el alimento y se mezcla con bimasa a ver si mejora la adherencia.

Al realizar la prueba de liberación de biomasa micro algal en agua en donde se determina la diferencia de absorbancia a una longitud de onda de 413 nm con respecto al tiempo Cuadro 2.

Cuadro 2. Liberación de microalga y alimento empleado Pegalag en agua.

Tiempo	Absorbancia		
	Biomasa húmeda (A)	Biomasa seco (B)	Biomasa seco molido (C)
0	0,134	0,119	0,118
10	0,345	0,861	0,640
20	0,428	0,905	0,909
30	0,499	0,912	0,917
40	0,557	0,908	0,908
50	0,652	0,907	0,911
60	0,795	0,911	0,915

De este modo la que presenta mejor adherencia al alimento es la muestras que contiene la biomasa húmeda, debido que registra menores valores de absorbancia con respecto al tiempo indicado que no hubo mucha liberación de la microalga en el agua, en comparación con las otras dos muestras Figura 1.

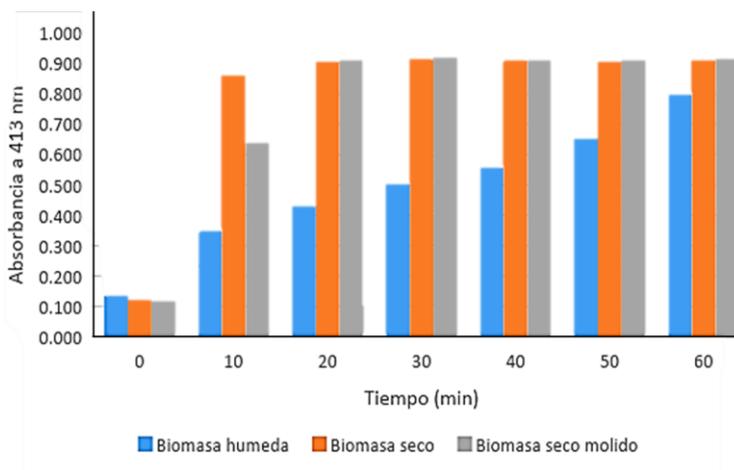


Figura 1. Resultados de absorbancia de microalga en agua aplicando producto Pegalag.

Se observa una mejor flotabilidad y adherencia en la muestra 3, en comparación con las demás, esto se debe a que esta muestra se tamizo para reducir el tamaño de partícula esto favoreció el proceso de adherencia de la biomasa.

El alimento formulado y deshidratado se almacenó en bolsas de polietileno, con un sello de calor (Figura 2).



Figura 2. Muestra para ensayo nutricional.

### **Efecto del porcentaje de adherente Pegalac en la formulación suplementada con microalgas**

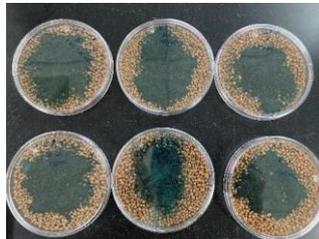
#### Objetivo

Determinar la adherencia de la microalga en el alimento de peces, comparando diferentes concentraciones de pegalag.

#### Metodología

Los ensayos se realizaron por triplicado, en presencia de testigo y para dos replicas. Se pesó en un plato Petri aproximadamente 15 gramos de alimentos y 2,3 g de microalgas, para los tratamientos y 15 gramos de alimento para el control. Se prepararon tres concentraciones de adherente Pegalag al 1%, 3% y al 5% en volúmenes totales de 100 mL y se aplicaron con botella espray.

Se roció el alimento con una pequeña cantidad de disolución de adherente, una vez humedecido la muestra, se mezcló la microalga con el alimento con la ayuda de una espátula hasta observar una homogeneidad. Se colocó a 50 °C por un período de tres horas hasta observar que la muestra está seca figura 3.



17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

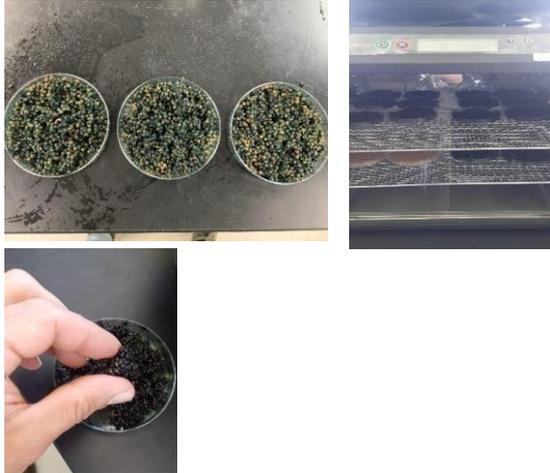


Figura 3. Representación de muestras pesadas y disoluciones preparadas, tratamiento mezcladas y secado.

A cada tratamiento se procedió a realizar los siguientes ensayos: Adherencias, flotabilidad, densidad para comparar cual concentración pegalag genera un efecto significativo con respecto a la adherencia de microalga en el alimento (Cuadro 3)

Cuadro 3. Datos de preparación de tratamientos.

Tratamiento	Replica	% Pegalag	Alimeto (g)	Biomasa (g)	Tratamiento	Replica	% Pegalag	Alimeto (g)	Biomasa (g)
1	1	1	15,0	2,3	1	2	1	15,0	2,4
1	1	1	15,0	2,3	1	2	1	15,0	2,4
1	1	1	15,0	2,4	1	2	1	15,1	2,3
2	1	3	15,2	2,4	2	2	3	15,1	2,4
2	1	3	15,0	2,3	2	2	3	15,2	2,3
2	1	3	15,0	2,4	2	2	3	15,0	2,3
3	1	5	15,0	2,3	3	2	5	15,2	2,4
3	1	5	15,0	2,4	3	2	5	15,2	2,3
3	1	5	15,1	2,6	3	2	5	15,0	2,3
T1	1	0	17,3	0	T2	2	0	17,3	0
T1	1	0	17,3	0	T2	2	0	17,4	0
T1	1	0	17,3	0	T2	2	0	17,4	0

Adherencia: Se colocaron las muestras en un tamiz de dos diferentes tamaños de poro y se agitaron por un periodo de 45 segundos se recolecta las muestras por separado y se pesan para ver la diferencia de más inicial figura 4.



Figura 4. Ensayo de adherencia de la microalga en el alimento.

Flotabilidad: Se tomaron 30 granos de pellet, por cada tratamiento, se tomó un beaker 50 ml al cual se le agregaron 30 mL de agua y se tomaron tres tiempos distintos 2 minutos, 5 minutos y 10 minutos. Se cuantifican cuantos granos se hunden y cuantos permanecen flotando en ese período de tiempo figura 8.

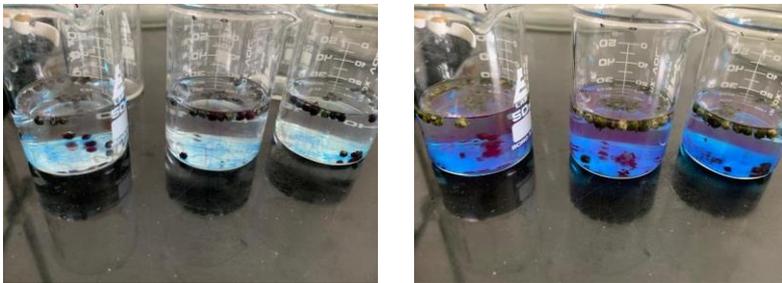


Figura 5. Representación de ensayo de flotabilidad de los tratamientos.

Densidad:

Se tomo una probeta de 50 mL, se agregaron 20 mL de agua y se le añadió 5 g de alimento de cada tratamiento en estudio. Se anoto el volumen de desplazamiento del agua en la probeta y se registra como volumen final figura 9. La densidad se calculó de la siguiente manera.

$$\rho = \frac{m}{v2 - v1}$$

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



Figura 6. Determinación de densidad en los tratamientos.

**Formular un producto con capacidad de adherirse a los alimentos de alevines de forma uniforme y capaz de mantenerse adherido al someterse a procesos de lavado con agua.**

#### Metodología

En este caso se trata de adherir la biomasa microalga sin presencia de aditivo de pegamento utilizado inicialmente, en este caso el aspersor mezcla la bimsa de microalga y se deja secar al sol por un periodo de 2 horas y se realizan las pruebas de adherencia y flotabilidad al alimento. El porcentaje de preparación de alimento es al 10 % de biomasa en este caso espirulina en estado sólido. Se dispersa con aproximadamente 500 ml de agua.



Figura 25. Preparación de muestra a condiciones normales (sin aditivo) de preparación.

Resulta como alternativa aplicar la biomasa al alimento de los peces sin presencia de un aditivo debido que mantiene flotabilidad y un tiempo muy similar de adherencia a los resultados obtenidos con pegalag siendo una buena alternativa para llevar a campo este tipo de suplemento alimenticio. Como se muestra a continuación después de 3 minutos inicia un deprendiendo de coloración en algunas de bolas del alimento en donde la humedad mediante el proceso de secado al sol fue de 9% figura 26.

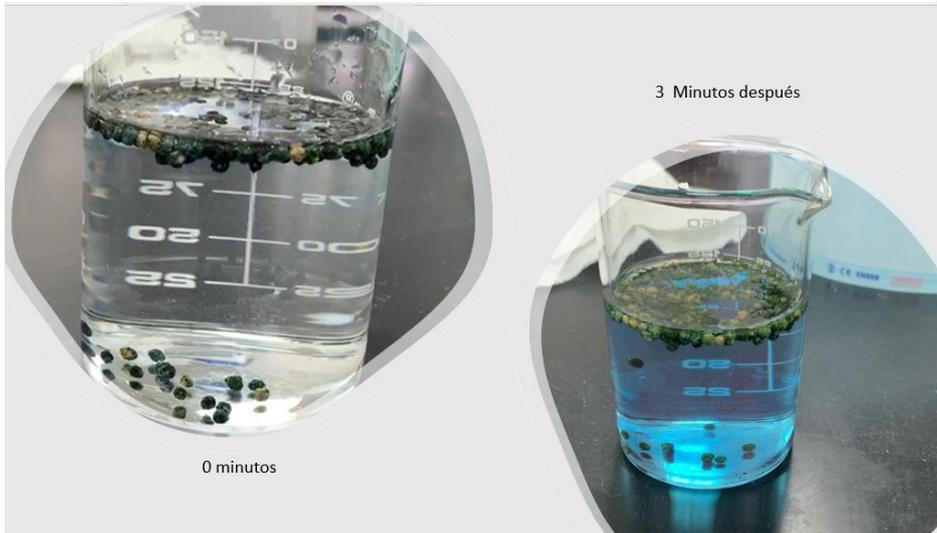


Figura 26. Resultado de flotabilidad y desprendimiento de biomasa de microalga en agua.

## Anexo 4. Análisis Químico Alimento



## Anexo 4. Análisis Químico Alimento

1/18

SAQ-5188-2021

R-SA-032 Emisión 7 31/10/2019

PROGRAMA DE APOYO A LA INDUSTRIA ALIMENTARIA  
 REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO

INFORMACIÓN GENERAL DE LA SOLICITUD	
TIPO DE SOLICITUD:	PATI
OFERTA N°:	SAQ-5188
EMPRESA O PROYECTO:	Instituto Tecnológico de Costa Rica
SOLICITANTE:	Francine Murillo Vega
TELÉFONO:	8807-9361
DIRECCIÓN:	1 km Sur de la Basílica de los Ángeles

# Muestra:	SAQ-5188-3	
Descripción:		
Alimento en polvo para peces Tratamiento C 200 g 10/11/2021		
Análisis	Resultado	Método Empleado
Carotenoides totales (equivalente de b-caroteno)	(1,879 ± 0,060) mg/100 g	Espectrofotometría Ultravioleta Visible
Vitamina C (HPLC)	No detectable (<2,7) mg/100 g	HPLC-UV desarrollado a partir de Lykkesfeldt, J. (2000) Anal. Biochem. 282:89-93 & Wechtersbach, L., Cigic, B. (2007) J. Biochem. Biophys. Methods 70:767-772, P-SA-MQ-024
Calcio	(1,72 ± 0,29) g/100 g	991.25 AOAC, P-SA-MQ-035
Potasio	(1,06 ± 0,16) g/100 g	985.35 AOAC, P-SA-MQ-035
Hierro	(21,7 ± 3,9) mg/100 g	999.11 AOAC, P-SA-MQ-035
Humedad	(5,54 ± 0,80) g/100 g	934.06 AOAC, P-SA-MQ-002
Grasa cruda	(8,91 ± 0,72) g/100 g	Carpenter, D.; Ngeh-Ngwainbi, J. & Lee, S. Lipid Analysis en Methods of Analysis for Nutrition Labeling. AOAC International, P-SA-MQ-005
Proteína (Nx6,25)	(35,9 ± 2,1) g/100 g	979.09 AOAC modificado, P-SA-MQ-003
Ceniza	(9,42 ± 0,69) g/100 g	923.03 AOAC, P-SA-MQ-004
Ácido Butírico C4:0	(0,00140 ± 0,00024) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Caproico C6:0	(0,00109 ± 0,00018) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Caprílico C8:0	(0,00212 ± 0,00036) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Cáprico C10:0	(0,00372 ± 0,00063) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Láurico C12:0	(0,0159 ± 0,0027) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

<b>Análisis</b>	<b>Resultado</b>	<b>Método Empleado</b>
Ácido Tridecanoico C13:0	(0,0125 ± 0,0021) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Mirístico C14:0	(0,087 ± 0,015) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Miristoleico C14:1	(0,0108 ± 0,0018) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Pentadecanoico C15:0	(0,0199 ± 0,0034) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Pentadecenoico C15:1	(0,00439 ± 0,00075) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Palmítico C16:0	(1,97 ± 0,33) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Palmitoleico C16:1	(0,301 ± 0,051) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Margárico C17:0	(0,0335 ± 0,0057) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Margaroleico C17:1	(0,0155 ± 0,0026) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Esteárico C18:0	(0,476 ± 0,081) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Oleico C18:1	(2,81 ± 0,48) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

<b>Análisis</b>	<b>Resultado</b>	<b>Método Empleado</b>
Ácido Trans-trans-linoeláidico C18:2t	(0,00370 ± 0,00063) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Linoleico C18:2	(2,41 ± 0,41) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido gamma-linolenico C18:3	(0,0155 ± 0,0026) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido alfa-linolenico C18:3	(0,196 ± 0,033) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Araquídico C20:0	(0,0314 ± 0,0053) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido cis-11-eicosenico C20:1	(0,0347 ± 0,0059) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido cis-11,14-eicosadienoico C20:2	(0,0117 ± 0,0020) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido 8-11,14-Eicosatrienoico C20:3	(0,0094 ± 0,0016) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido cis-5,8,11,14-eicosatetraenoico C20:4	(0,0465 ± 0,0079) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Behénico C22:0	(0,0552 ± 0,0094) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoico C20:5	(0,0125 ± 0,0021) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Análisis	Resultado	Método Empleado
Ácido Tricosanoico (C23:0)	(0,00284 ± 0,00048) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Lignocérico (C24:0)	(0,0304 ± 0,0052) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Nervónico 24:1	(0,245 ± 0,042) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Ácido Docosahexenoico DHA C22:6	(0,0089 ± 0,0015) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Grasa Saturada	(2,74 ± 0,26) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Grasa Monoinsaturada	(3,42 ± 0,26) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Grasa Poliinsaturados	(2,71 ± 0,26) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Grasa Trans	(0,00370 ± 0,00035) g/100 g	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, Cromatografía de gases (GC-FID), P-SA-MQ-034
Carbohidratos totales	(40,2 ± 7,7) g/100 g	Por diferencia 100-(%Humedad + %Ceniza + %Proteína + %Grasa)
Sodio	(623 ± 82) mg/100 g	985.35 AOAC, P-SA-MQ-035
Valor energético total	1 612 (385) kJ/100 (kcal/100 g)	kcal/100 g · 4,189 (4 · %Carbohidratos disponibles + 4 · %Proteína + 9 · %Grasa)
Valor energético por grasa	336 (80) kJ/100 (kcal/100 g)	kcal/100 g · 4,189 (9 · %Grasa)
Magnesio	(266 ± 35) mg/100 g	985.35 AOAC, P-SA-MQ-035

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Análisis	Resultado	Método Empleado
Fósforo	(1,24 ± 0,21) g/100 g	991.25 AOAC, Espectrofotometría UV-Visible
Cobre	(1,16 ± 0,28) mg/100 g	999.11 AOAC,P-SA-MQ-035
Zinc	(6,48 ± 0,27) mg/100 g	AOAC 989.32, P-SA-MQ-035
Vitamina A (Acetato de retinol)	No detectable (<0,17) mg/100 g	Método desarrollado por el laboratorio, HPLC-PDA, cuantificación a 325 nm (Vitamina A), 295 nm (Vitamina E) y 264 nm Vitamina D), P-SA-MQ-057
Vitamina A (Palmitato de retinol)	No detectable (<0,57) mg/100 g	Método desarrollado por el laboratorio, HPLC-PDA, cuantificación a 325 nm (Vitamina A), 295 nm (Vitamina E) y 264 nm Vitamina D), P-SA-MQ-057
Vitamina E (Alfa tocoferol)	(3,426 ± 0,034) mg/100 g	Método desarrollado por el laboratorio, HPLC-PDA, cuantificación a 325 nm (Vitamina A), 295 nm (Vitamina E) y 264 nm Vitamina D), P-SA-MQ-057
Vitamina E (Delta tocoferol)	No detectable (<0,15) mg/100 g	Método desarrollado por el laboratorio, HPLC-PDA, cuantificación a 325 nm (Vitamina A), 295 nm (Vitamina E) y 264 nm Vitamina D), P-SA-MQ-057
Vitamina E (Gamma tocoferol)	No detectable (<1,0) mg/100 g	Método desarrollado por el laboratorio, HPLC-PDA, cuantificación a 325 nm (Vitamina A), 295 nm (Vitamina E) y 264 nm Vitamina D), P-SA-MQ-057
Vitamina D <sub>2</sub> (Ergocalciferol)	No detectable (<0,26) mg/100 g	Método desarrollado por el laboratorio, HPLC-PDA, cuantificación a 325 nm (Vitamina A), 295 nm (Vitamina E) y 264 nm Vitamina D), P-SA-MQ-057
Vitamina D <sub>3</sub> (Colecalciferol)	No detectable (<0,26) mg/100 g	Método desarrollado por el laboratorio, HPLC-PDA, cuantificación a 325 nm (Vitamina A), 295 nm (Vitamina E) y 264 nm Vitamina D), P-SA-MQ-057

## **Anexo 5. Tablas de alimentación**

Las tablas de alimentación específicas para tilapia son herramientas esenciales para los acuicultores que utilizan alimentos balanceados. Estas tablas proporcionan información detallada sobre los requerimientos nutricionales de las tilapias en diferentes etapas de crecimiento, lo que permite a los acuicultores optimizar la alimentación y maximizar la eficiencia de la producción. Aquí se destacan algunas utilidades específicas :

**1.Eficiencia Alimentaria:** Con la información de las tablas, los acuicultores pueden ajustar las cantidades de alimento suministrado para lograr una eficiencia alimentaria óptima. Esto implica suministrar la cantidad adecuada de nutrientes sin desperdiciar alimento, lo que puede afectar positivamente los costos de producción.

**2.Gestión del Stock:** Las tablas de alimentación permiten a los acuicultores adaptar la alimentación a las diferentes etapas de crecimiento de las tilapias. Esto facilita la gestión del stock al garantizar que los peces reciban la nutrición adecuada en cada fase de su desarrollo.

**3.Mejora del Rendimiento:** Al seguir las recomendaciones de las tablas, los acuicultores pueden mejorar el rendimiento de sus cultivos de tilapia. Esto se traduce en tasas de crecimiento más rápidas, conversiones alimenticias eficientes y una mayor producción.

**4.Manejo de Factores Ambientales:** Las tablas de alimentación a menudo incluyen recomendaciones para ajustar la alimentación en función de factores ambientales, como la temperatura del agua. Esto ayuda a los acuicultores a adaptar la alimentación a condiciones específicas y maximizar el rendimiento incluso en entornos variables.

**5.Evaluación de Costos:** Las tablas de alimentación permiten a los acuicultores planificar y evaluar los costos asociados con la alimentación. Pueden ajustar las cantidades y composición de los alimentos según las necesidades nutricionales y los objetivos económicos de la operación.

**6.Reducción de Residuos:** Al conocer los requerimientos nutricionales específicos, los acuicultores pueden minimizar el desperdicio de alimentos, reduciendo así la cantidad de nutrientes no utilizados y los posibles impactos ambientales asociados.

En resumen, las tablas de alimentación de tilapia son herramientas prácticas y valiosas que permiten a los acuicultores mejorar la eficiencia, el rendimiento y la sostenibilidad de sus operaciones mediante una alimentación adecuada y bien gestionada con alimentos balanceados extruidos.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

SEMANA	PESO		TASA ALIMENTACIÓN (%)
	DESDE	HASTA	
1	1,0	2,0	9,0
2	2,0	4,5	7,8
3	4,5	8,0	7,5
4	8,0	14	7,8
5	14	20	5,6
6	20	28	5,3
7	28	38	5,2
8	38	48	4,2
9	48	58	3,6
10	58	68	3,3
11	68	80	3,2
12	80	100	3,0
13	100	120	2,9
14	120	140	2,9
15	140	160	2,6
16	160	180	2,4
17	180	200	2,2
18	200	220	2,1
19	220	245	1,9
20	245	270	1,8
21	270	295	1,7
22	295	320	1,6
23	320	345	1,5
24	345	370	1,5
25	370	395	1,4
26	395	420	1,4
27	420	445	1,4
28	445	470	1,4
29	470	500	1,4
30	500	530	1,3

Supongamos que tenemos 250 peces de 28G a una temperatura de 30 °C

**Multiplicamos . para obtener biomasa:**

28 gramos/pez x 250 peces = 7000 gr de biomasa o 7 kg

Multiplicamos . para obtener ración diaria:

7000 gr/bio x 5,3% tasa = 371 gr de alimento .

**Multiplicamos . para compensar con temperatura:**

371 gr x 0,8 = 296.8 gr/ración diaria .

**La ración diaria se puede dividir entre 3 a 4 tandas de alimentación en el día:**

296.8/3= 98,93 g por tanda de alimentación ( Ej 5 am/ 10 am / 3 pm.

Temperatura	Ofrecimiento	Multiplicar el valor de la tabla por
15 a 18 °C	40% del calculado	0,4
19 a 21 °C	60% del calculado	0,6
22 a 24 °C	80% del calculado	0,8
30 a 31 °C	80% del calculado	0,8
31 a 32 °C	60% del calculado	0,6

## Anexo 6. Diseño de Pruebas de extrusión

Se llevó a cabo la medición del alimentador de agua y del alimentador de sólidos en el equipo extrusor para establecer las condiciones de operación (Figura 1).

Se determinó que para una prueba de corrida con 10 kg de fórmula de alimento, para acondicionar a una humedad de 20%, se requiere de 2 kg de agua, tomando en cuenta que la harina aporta una humedad de 10% en promedio, sería necesario alimentar con 1 kg de agua por hora, a la mezcla, lo que sería posible a una velocidad de alimentación de la bomba de 4 rpm. La prueba se llevó a cabo y se logró obtener producto con la apariencia y tamaño esperado.

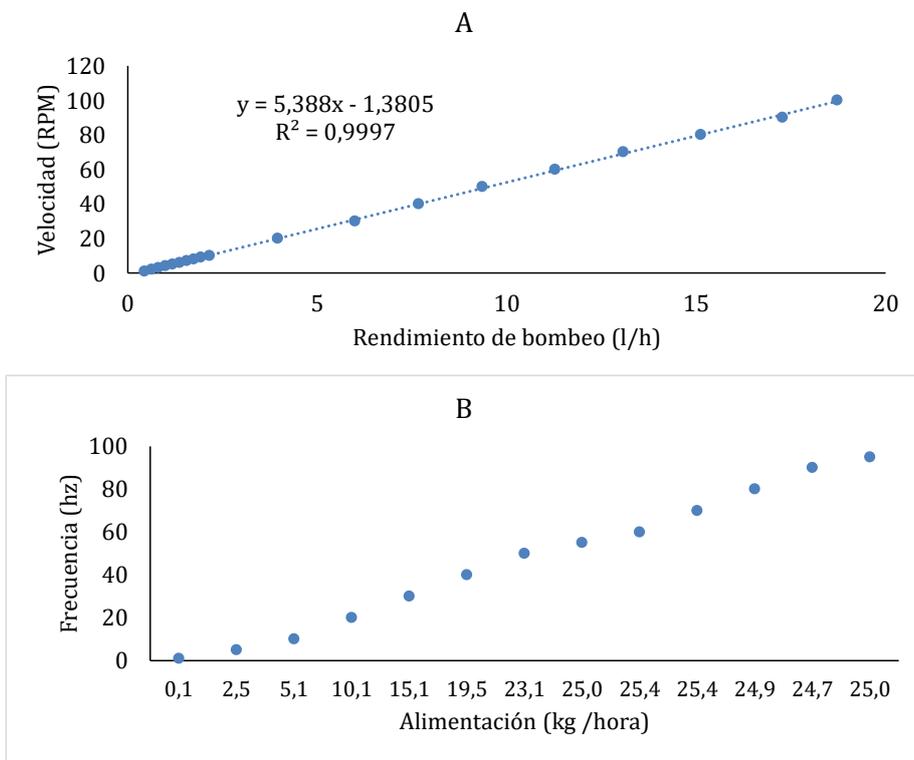


Figura 1. A) Curvas del rendimiento de la bomba de agua y B) del alimentador de sólidos que trabaja en frecuencias (Hz).

### Empaque de los alimentos generados

Objetivo:

Determinar el empaque más apropiado para cada uno de los productos prototipados que permita conservar las propiedades químicas y microbiológicas requeridas.

Metodología

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Se prepara el alimento con la biomasa adherido y secado correspondientemente, se procede a realizar distintos ensayos de almacenamiento en diferentes tipos: bolsas plásticas, bolsas aluminio y bolsas papel. Se determina la humedad del alimento antes de almacenar en las bolsas y además de la actividad de agua presente en el alimento el cual debe ser menor a 1 para evitar el crecimiento de microorganismo. Se realiza un ensayo con bolsas de aluminio por un periodo de 60 días en donde cada 15 días se abren las bolsas y se cuantifica su porcentaje de humedad y actividad de agua y se observa cualitativamente si hay crecimientos de microorganismo en el alimento figura 2.

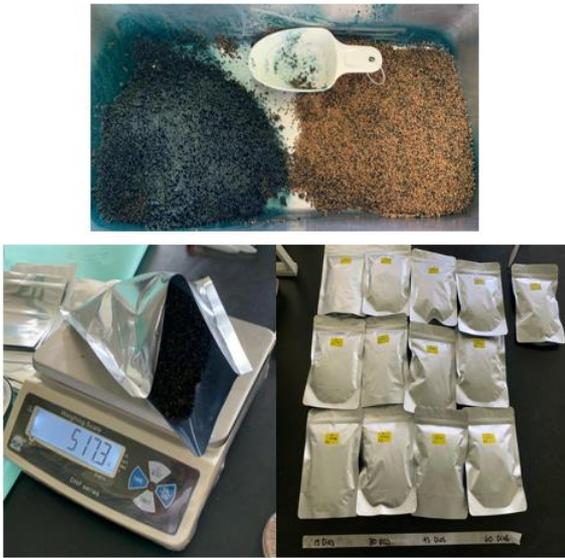


Figura 2. Preparación de bolsas de alimento con microalgas espirulina adherida.

El almacenamiento de alimento en bolsas de aluminio en relación con la humedad no supera el 10% y la actividad de agua almacenada dentro del alimento es menor a 1 demostrando que en todo este periodo de tiempo de 60 días no hubo crecimiento de hongos en ningunas de las muestras estudiadas como se demuestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados de almacenamiento de alimento en bolsa de aluminio.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Control 0 días				Control 15 días		Control 30 días		Control 45 días		Control 60 días	
Replicas	Muestras	% Humedad	Actividad de agua	% Humedad	Actividad de agua	% Humedad	Actividad de agua	% Humedad	Actividad de agua	% Humedad	Actividad de agua
1	Control										
2	Control	6,654	0,524	6,754	0,5236	7,650	0,5470	7,897	0,5621	8,100	0,5823
3	Control										
1	Bolsa 1										
2	Bolsa 1	4,979	0,5234	5,964	0,5332	6,936	0,5361	7,453	0,5467	8,013	0,5863
3	Bolsa 1										
1	Bolsa 2										
2	Bolsa 2	4,786	0,4553	4,875	0,5432	5,767	0,5442	6,265	0,5673	6,793	0,5801
3	Bolsa 2										
1	Bolsa 3										
2	Bolsa 3	5,672	0,4871	5,745	0,5448	6,634	0,5478	6,929	0,5764	7,178	0,5891
3	Bolsa 3										

Siendo una alternativa para el almacenamiento correcto de alimento formulado, se compara con otros tipos de bolsas, lo importante es mantener un porcentaje de humedad por debajo de 10 %, en comparación en bolsas de plástico en donde el alimento se almacena con un porcentaje superior a este valor; en una semana se observó que el alimento está totalmente contaminado y no es óptimo para alimentar a los peces.

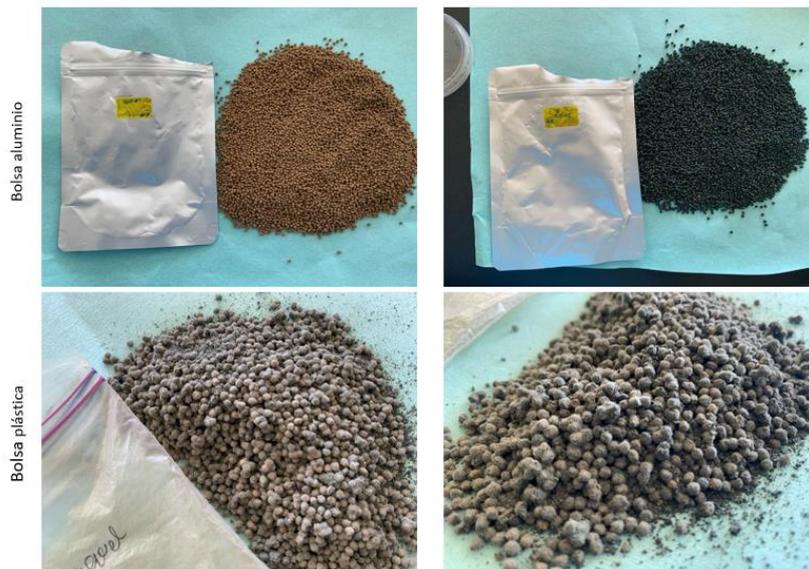


Figura 3. Comparación entre un alimento en donde se controla el porcentaje de humedad.

Se realiza otro ensayo con bolsas de papel biodegradables y bolsas de plásticos, pero selladas por un periodo de 15 días en comparación al ensayó anterior. Se realiza una producción mayor de alimento, para reducir costos las muestras se secan al sol por un periodo de dos horas pensado en obtener una manera practica de llevar este tipo de formulado a campo acuícola y tener resultados más real a la actividad cotidiana (figura 4).

En este caso se estudia por un periodo de 7 días pensado en que el alimento preparado se aplique una vez por semana o a conveniencia de productor y diete del pez.



Figura 4. Secado y almacenamiento de alimento en bolsas de plásticos y papel biodegradable. En este ensayo se pudo observar que el alimento al secarse al sol mantiene un porcentaje de húmedo cercano al 10%, aumenta a un 14 % aproximadamente después de 7 días, pero el valor de actividad de agua contenida en el alimento se mantiene menor al que es lo ideal reportado, destacar que el alimento control se encuentra almacenado en un saco a temperatura ambiente los resultados los podemos comparar en el cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados de secado del alimento al sol por un periodo de 2 horas.

Replicas	Muestras	Control 0 días		Control 7 días	
		% Humedad	Actividad de agua	% Humedad	Actividad de agua
1	Control	7,642	0,5443		
2	Control	7,613	0,5444		
3	Control	7,550	0,5443		
1	Bolsa pape	10,223	0,7336	14,027	0,7335
2	Bolsa pape	10,244	0,7289	13,869	0,7326
3	Bolsa pape	10,455	0,7333	14,112	0,7376
1	Bolsa plástica	10,399	0,6308	14,019	0,6399
2	Bolsa plástica	10,406	0,6296	14,099	0,6414
3	Bolsa plástica	10,315	0,6306	14,176	0,649

De esta manera se puede almacenar en cualquiera de esto tres tipos de bolsas lo ideal es realizar un proceso de secado adecuado para mantener lo más bajo posible la humedad del alimento contenido en ellas (figura 5).



Figura 5. Posibles tipos de bolsa para almacenamiento de alimento: bolsa de plástico, papel biodegradable o aluminio.

## **Anexo 7. Bioensayo Suplementación con espirulina para alimentación de tilapia en etapa de alevinaje.**

### **7.1 Rendimiento zootécnico**

Se llevó a cabo un bioensayo en el laboratorio de sanidad animal del Instituto Tecnológico de Costa Rica para monitorear el crecimiento de tilapias con diferentes formulaciones nutricionales de suplementación con el alga espirulina. El bioensayo tuvo una duración de 2 meses y la empresa se hizo cargo de la preparación, ejecución, colección de datos y culminación del bioensayo.

#### **Objetivo**

- Implementar un bioensayo de alimentación de alevines de tilapia utilizando distintos niveles de suplementación con espirulina para la evaluación de su efecto en los parámetros productivos de alevinaje.

#### **Metodología.**

Este bioensayo consistió en evaluar el efecto de la suplementación con espirulina sobre los parámetros productivos en tilapias de 5 días post-eclosión, estos se mantuvieron por 9 días con alimentación comercial para que se adaptaran al medio. Se sembraron 100 peces por pecera y se iban reponiendo las mortalidades hasta que se inició el experimento a partir del noveno día. Este se mantuvo por un período de 56 días.

Se utilizó un diseño simple aleatorizado con 4 tratamientos y tres réplicas por tratamiento para un total de 12 peceras utilizadas. Los tratamientos fueron 5 %, 10 % y 15 % de suplementación con espirulina secada con un spray dryer y un tratamiento control. Estas se ligaron al alimento comercial con la incorporación del aglutinante PegaLaq.

Se midieron diariamente los parámetros de calidad de agua como pH, oxígeno y temperatura, se midió de forma semanal el contenido de amonio durante toda la duración del bioensayo. Para la alimentación se utilizó la técnica de voleo dos veces al día según indica la tabla de alimentación que proveyó el fabricante. Cada semana se realizaron muestreos en donde se pesaron los individuos para modificar la tabla de alimentación según el crecimiento de los peces.

Al finalizar se realizó una cosecha total de los peces y un conteo total, en cada pecera se tomaron diez peces para el muestreo de biomasa y se hicieron todas las medidas correspondientes largo, ancho, peso y el tamaño de la cabeza. Se tomaron muestras del intestino para hacer un estudio de metagenómica de la flora gastrointestinal para cada tratamiento y réplica.

Para presentar los resultados se presentan como resultados el crecimiento en peso semanal, el crecimiento relativo, relacionando la longitud con los parámetros de ancho, peso y tamaño de cabeza, mediante la ecuación alométrica  $Y = a X^b$ . Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación para los parámetros medidos ancho, peso, tamaño de cabeza y longitud.

Se realizó estadística no paramétrica para determinar la significancia entre los tratamientos utilizando la prueba Kruska Wallis con un nivel de significancia del 5 %. Puesto que no se cumplen los supuestos para estadística paramétrica de heterocedasticidad y normalidad.

### Resultados

El tratamiento que obtuvo una mayor sobrevivencia fue el que tuvo 15 % de suplementación, sin embargo, está no es estadísticamente significativa de las obtenidas para los otros tratamientos ( $p = 0,9393$ ).

Cuadro 1. Sobrevivencia acumulada de los cuatro tratamientos, con  $n = 3$

Tratamiento	Sobrevivencia (%)	D.E	H	P
5 %	60,33	9,50	0.40	0.9393
10 %	57,00	17,44		
15 %	63,00	7,94		
Control	58,33	7,64		

- Promedio de valores con  $n = 3$

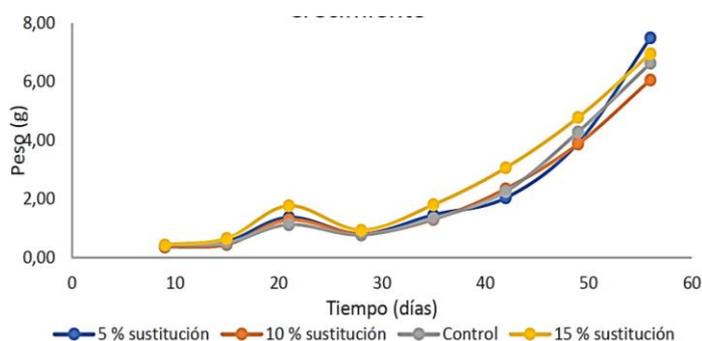


Figura 1. Crecimiento en peso promedio durante 56 días de bioensayo para los 4 tratamientos.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Adicionalmente, se presenta la curva de crecimiento en peso de los peces para los 4 tratamientos. En esta se puede observar que para el día 21 se da un incremento en el peso de todos los tratamientos, y en la medición posterior se disminuyen, esto es probable que se deba a un error de muestreo.



**Figura 2.** Sistema de secado de la biomasa por spray dryer.



**Figura 3.** Sistema de cultivo acuícola en el ITCR finalizado.



Figura 4. Inoculación de los alevines.

## 7.1 Objetivo 2: Diagnóstico de la productividad acuícola alimentada con el suplemento nutricional formulado a base de un consorcio de microalgas.

### Introducción

La acuicultura, un sector clave para la seguridad alimentaria global, enfrenta desafíos significativos en la búsqueda de fuentes de alimentación sostenibles y eficientes. En este contexto, el uso de microalgas en la alimentación de tilapia se presenta como una innovación prometedora. Las microalgas, organismos fotosintéticos acuáticos, ofrecen un perfil nutricional rico y diverso, incluyendo proteínas, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales (Lu et al., 2023). Su incorporación en la dieta de tilapia representa una estrategia potencial para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia nutricional en la acuicultura. Estudios recientes, como el que evaluó el uso de *Arthrospira* sp. y *Chlorella* sp. en dietas para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), han demostrado que estas microalgas pueden ser incorporadas en los alimentos balanceados sin afectar negativamente el crecimiento o la supervivencia de los peces (Barraza-Guardado et al., 2020).

La importancia de las microalgas en la alimentación de tilapia radica no solo en su perfil nutricional, sino también en su potencial para mejorar la sostenibilidad ambiental de la acuicultura. Las microalgas pueden cultivarse de manera eficiente, utilizando recursos limitados y contribuyendo a la reducción de la huella ecológica de la producción de alimentos para peces (Mansour et al., 2022). Además, su uso puede disminuir la dependencia de fuentes de proteínas tradicionales, como la harina de pescado, cuya producción es más costosa y tiene un mayor impacto ambiental. Por ejemplo, un estudio sobre la adición de microalgas y la suplementación de alimento para peces en la crianza integrada de camarón blanco del Pacífico y tilapia del Nilo utilizando tecnología de biofloc, resalta cómo estas prácticas pueden mejorar el rendimiento del crecimiento de los peces y la eficiencia del sistema (Silva et al., 2022). Además, las microalgas ofrecen beneficios adicionales como una fuente sostenible de antioxidantes en la nutrición animal, lo que puede mejorar la salud y el desarrollo del ganado (Mavrommatis et al., 2023), y su capacidad para tratar aguas residuales mediante la utilización de amonio, lo que demuestra su papel multifuncional en la sostenibilidad ambiental (Salbitani & Carfagna, 2021).

La novedad del uso de microalgas en la alimentación de tilapia también se refleja en los avances recientes en biotecnología y técnicas de cultivo. La capacidad de manipular y optimizar las

condiciones de cultivo de microalgas para maximizar su valor nutricional abre nuevas posibilidades para formulaciones de alimentos más eficaces y personalizadas (Sánchez Hernández et al., 2020). Además, la investigación en este campo continúa explorando el potencial de diferentes especies de microalgas y sus efectos específicos en la salud y el crecimiento de la tilapia. Por ejemplo, la inmovilización de microalgas y cianobacterias como biocompuestos ofrece nuevas oportunidades para intensificar la biotecnología y el bioprocesamiento de algas (Caldwell et al., 2021). Además, se están desarrollando técnicas de mutagénesis aleatoria en la biotecnología de microalgas, lo que puede tener un impacto significativo en la mejora de cepas para aplicaciones específicas (Bleisch et al., 2022). Estos avances no solo podrán apoyar el crecimiento físico de la tilapia, sino que también pueden tener efectos positivos en la respuesta inmunológica y la calidad de la carne de tilapia, subrayando la relevancia y el potencial transformador de esta innovación en la acuicultura.

### **Metodología**

Este estudio se realizó en el marco del contrato CON-2022-194 de la Fundación UCR, ejecutado por Consultores Acuícolas MPR S.R.L. en el laboratorio de Sanidad Animal del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Se contó con el permiso para experimentación animal del CICUA UCR número: CICUA-046-2022

El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes niveles de suplementación con espirulina en los parámetros productivos de alevines de tilapia.

#### *Diseño Experimental*

Se empleó un diseño experimental simple aleatorizado, con cuatro tratamientos y tres réplicas por tratamiento, totalizando 12 peceras. Los tratamientos consistieron en 5%, 10% y 15% de suplementación con espirulina secada mediante spray dryer, además de un tratamiento control. La espirulina se mezcló con alimento comercial utilizando el aglutinante PegaLaq.

#### *Manejo de los Alevines*

Los alevines de tilapia, de 5 días post-eclosión, fueron aclimatados durante 9 días con alimentación comercial antes de iniciar el experimento. Se mantuvieron 100 peces por pecera, reponiendo las mortalidades hasta el inicio del experimento. El período experimental fue de 56 días.

#### *Monitoreo y Medición*

Se realizaron mediciones diarias de calidad de agua (pH, oxígeno, temperatura) y mediciones semanales de contenido de amonio. La alimentación se efectuó dos veces al día mediante la técnica de voleo, siguiendo las indicaciones de la tabla de alimentación proporcionada por el fabricante. Se efectuaron muestreos semanales para pesar los individuos y ajustar la alimentación según el crecimiento.

#### *Cosecha y Análisis de Datos*

Al final del experimento, se realizó una cosecha total y conteo de los peces. En cada pecera, se seleccionaron diez peces al azar para el muestreo de biomasa, midiendo longitud, ancho, peso y tamaño de la cabeza. Se tomaron muestras del intestino para estudios de metagenómica de la

flora gastrointestinal. Los resultados se presentaron en términos de crecimiento en peso semanal y crecimiento relativo, utilizando la ecuación alométrica  $Y = aX^b$  (Longart et al., 2011). Se realizó un análisis de correlación para los parámetros medidos y se empleó estadística no paramétrica (prueba Kruskal-Wallis) para determinar la significancia entre tratamientos, con un nivel de significancia del 5%.

## Resultados

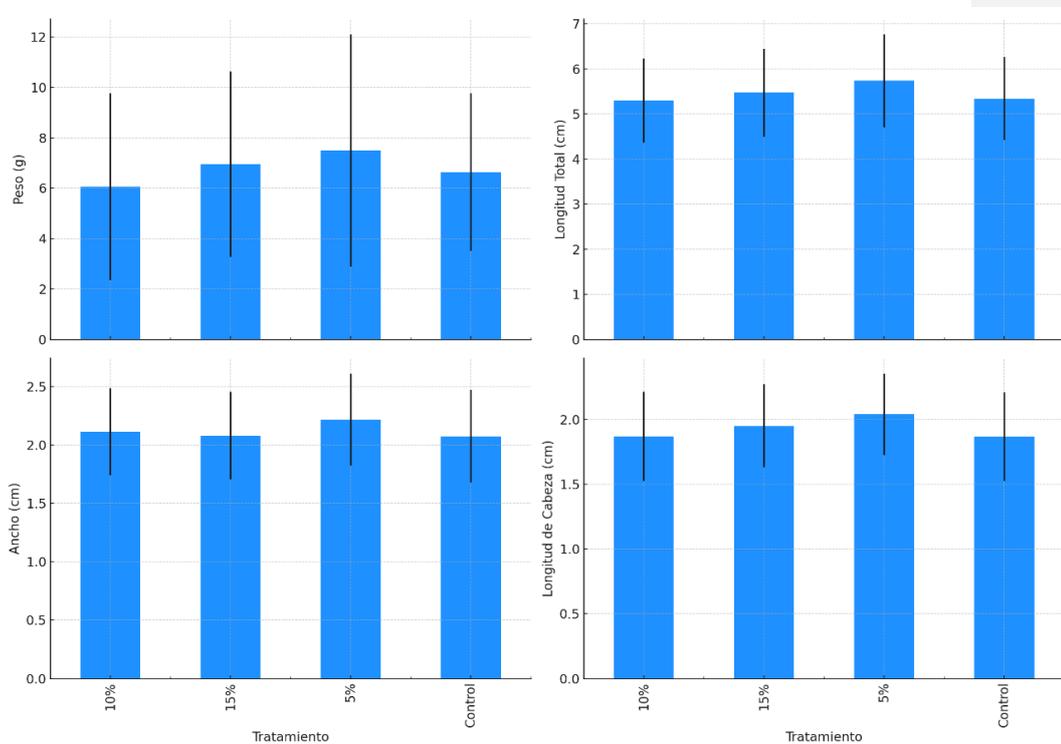


Figura 1. Parámetros biométricos finales

Basándonos en los análisis realizados, los datos sugieren que no hay diferencias significativas en la sobrevivencia, el peso final, la ganancia de peso (tanto en porcentaje como en gramos), y las tasas de crecimiento específico (SGR) entre los diferentes tratamientos de suplementación probados en las tilapias. El análisis de la eficiencia de conversión de alimento (FCR) y la relación de eficiencia de proteína (PER) tampoco reveló diferencias estadísticamente significativas, lo que indica que los incrementos en los porcentajes de suplementación no generó cambios notables en estas áreas de eficiencia alimenticia.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

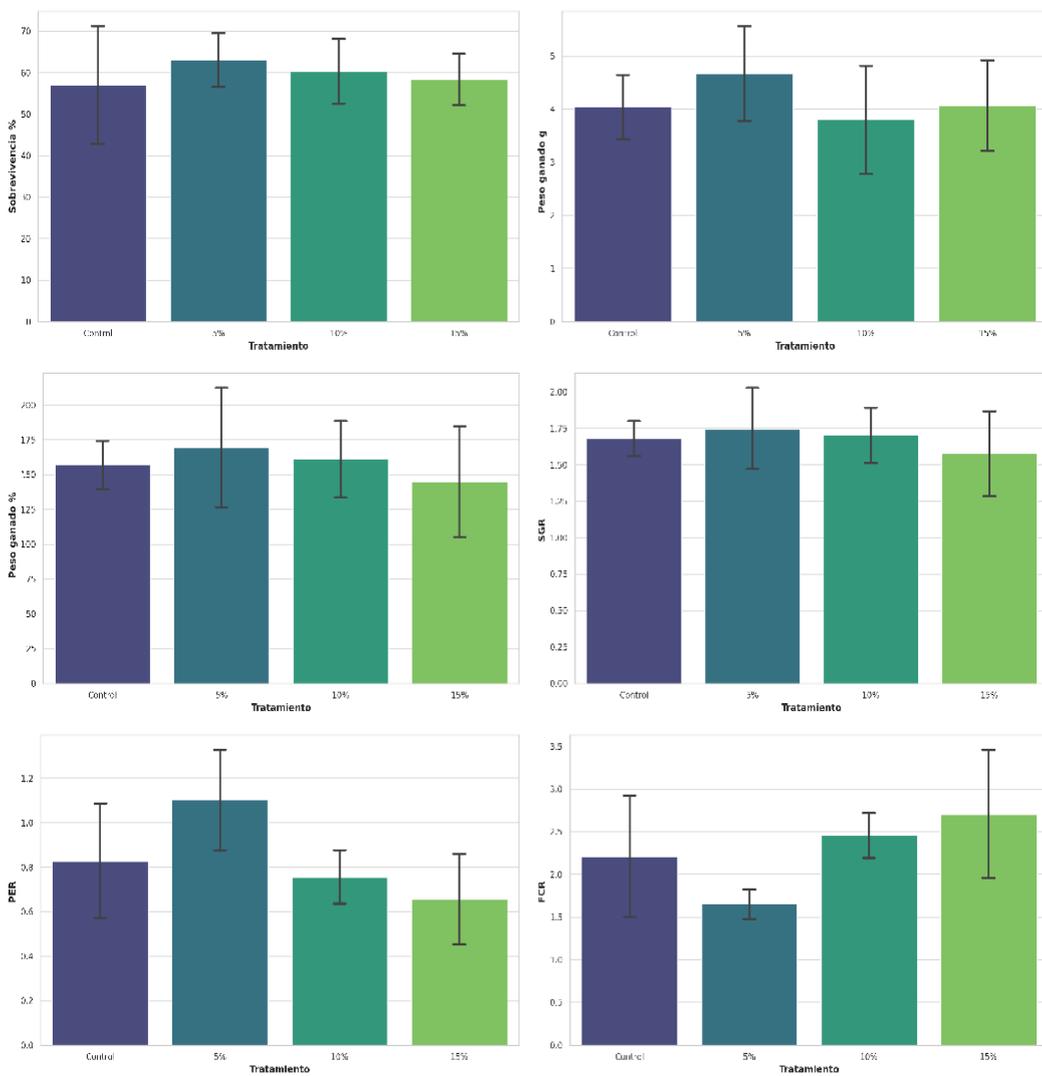


Figura 2. Análisis de la eficiencia de conversión de alimento en biomasa

El cálculo del Factor de Condición (K), que es un indicador del bienestar general del pez, no mostró diferencias sustanciales entre los tratamientos, sugiriendo que ninguno de los regímenes de suplementación ha tenido un efecto adverso en la condición física general de las tilapias.

En cuanto al análisis alométrico, los coeficientes de crecimiento isométrico (b) calculados no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, lo que sugiere que el tamaño de la

cabeza en relación con la longitud del cuerpo no se vio afectado por los distintos niveles de suplementación probados.

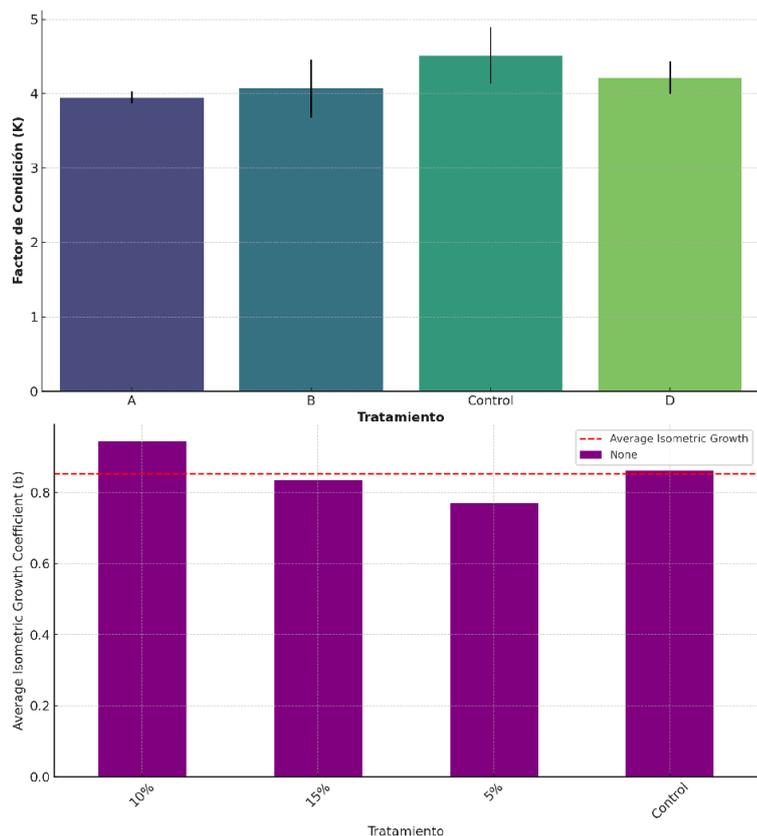
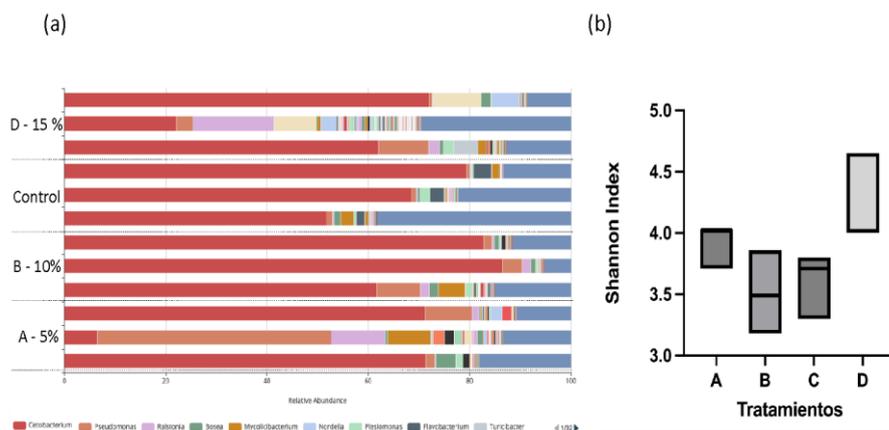


Figura 4. Factor de Condición Promedio (K) por tratamiento

#### Análisis metagenómico de los intestinos de las tilapias.

Adicionalmente se realizó un análisis metagenómico de los intestinos los peces, para evidenciar si las diferentes suplementaciones de microalga afectaban la microbiota intestinal. La inclusión de un análisis metagenómico para examinar la microbiota intestinal de las tilapias es un componente crítico que puede ofrecer una visión más amplia de cómo las suplementaciones dietéticas afectan la salud y el crecimiento de los peces más allá de las métricas físicas y de crecimiento. La microbiota intestinal juega un papel esencial en la nutrición, la función inmunológica y la protección contra patógenos, y su composición puede verse significativamente influenciada por la dieta.



**Figura 5.** Clasificación taxonómica bacteriana. (a). Gráfico de barras apiladas de la abundancia bacteriana relativa. (b). Índice de Shannon.

El gráfico de barras muestra el impacto de la suplementación con diferentes microalgas (10%, Control, 10% y 5%) en la composición de la microbiota intestinal de las tilapias (Figura 5a). Cada tratamiento promueve un perfil bacteriano único, con variaciones en la prevalencia de géneros como *Cetobacterium* y *Pseudomonas*. Estas diferencias subrayan la influencia de las microalgas en la dieta sobre el ecosistema microbiano intestinal, lo que podría influir en la absorción de nutrientes, la salud del pez y la resistencia a enfermedades en la acuicultura de tilapia. Los hallazgos resaltan el potencial de la suplementación dirigida con microalgas para modular la microbiota intestinal beneficiosa, contribuyendo a prácticas de acuicultura más sostenibles.

El índice de Shannon es una medida utilizada en ecología para cuantificar la diversidad de especies en un hábitat (Figura 5b). Representa la incertidumbre en predecir a qué especie pertenece un individuo elegido al azar de una comunidad. Un valor más alto del índice de Shannon indica una mayor diversidad de especies. Si bien no hubo diferencias significativas entre los tratamientos (posiblemente por un bajo valor de  $n$ ), existe una leve tendencia a que el tratamiento D posea una mayor diversidad de especies microbianas.

En el tratamiento A (5%), el valor sugiere una diversidad relativamente alta. Es el segundo más alto entre los tratamientos, indicando que el tratamiento A promueve una buena diversidad de especies. El tratamiento B (10%) tiene el valor más bajo de diversidad entre los cuatro. Sugiere que el tratamiento B es el menos efectivo en promover diversidad de especies en comparación con los otros tratamientos. El tratamiento D (15%) posee el valor más alto entre los cuatro tratamientos, indicando que el tratamiento D es el más efectivo para promover una alta diversidad de especies. El control, es ligeramente menor que el del tratamiento A, lo que indica una diversidad de especies buena, pero no la mejor entre los tratamientos. El tratamiento C es moderadamente efectivo para la diversidad de especies. En resumen, el orden de efectividad de los tratamientos desde el más al menos efectivo en términos de diversidad de especies según el índice de Shannon es: D, A, C, B. Esto sugiere que el tratamiento D es el mejor para promover la diversidad de especies, mientras que el tratamiento B es el menos efectivo.

En los intestinos de la tilapia y otros peces de agua dulce, diversos géneros bacterianos desempeñan funciones clave para la salud y el equilibrio metabólico. Por ejemplo, *Cetobacterium* es crucial para la síntesis de vitamina B12 y el metabolismo del nitrógeno, mientras que *Pseudomonas* varía desde especies patógenas hasta beneficiosas, contribuyendo a la descomposición de compuestos orgánicos y a la protección contra patógenos. *Ralstonia* y *Bosea* podrían estar involucrados en procesos metabólicos y en interacciones con la microbiota intestinal. *Mycolicibacterium* incluye especies patógenas y no patógenas con posibles roles en el metabolismo y en la interacción microbiana. *Nordella*, aunque menos común, también podría desempeñar funciones específicas en el intestino de los peces. Por último, *Flavobacterium*, con especies patógenas y no patógenas, puede participar en la degradación de materia orgánica y en la protección contra patógenos. El género *Candidatus mycosynbacter* fue encontrado predominantemente en las muestras provenientes del tratamiento D, este género aún no había sido asociados con tilapia o peces (Batinovic et al., 2021; Laviad-Shitrit, et al., 2021).

## **Conclusión General**

El estudio sobre la suplementación con microalgas en la alimentación de tilapias aporta resultados alentadores. La investigación demostró que la inclusión de microalgas en la dieta no tuvo un impacto negativo en aspectos clave como la sobrevivencia, el peso final, la ganancia de peso y las tasas de crecimiento específico de las tilapias. Estos hallazgos son especialmente significativos, ya que indican que la incorporación de microalgas en los alimentos, incluso en diferentes porcentajes de suplementación, mantiene la eficiencia alimenticia en niveles comparables al control.

Además, el Factor de Condición (K), que evalúa el bienestar general de los peces, mostró que la condición física de las tilapias se mantuvo estable a lo largo de los diferentes regímenes de suplementación. Esto subraya que la adición de microalgas a la dieta no solo es segura desde el punto de vista nutricional, sino que también es compatible con el mantenimiento de una buena salud y condición física en las tilapias.

Los análisis metagenómicos revelaron que cada tratamiento promovió un perfil bacteriano único en la microbiota intestinal de las tilapias. Específicamente, el tratamiento D, con el mayor porcentaje de suplementación, mostró la mayor diversidad de especies microbianas, incluyendo la presencia predominante del género *Candidatus mycosynbacter*, no asociado previamente con tilapias. Este hallazgo destaca el impacto significativo de la suplementación con microalgas en la diversidad y composición de la microbiota intestinal, lo que podría influir en la absorción de nutrientes, la salud del pez y su resistencia a enfermedades.

En resumen, estos resultados refuerzan la viabilidad de utilizar microalgas como un suplemento nutricional en la acuicultura de tilapias, ofreciendo una alternativa sostenible y efectiva sin comprometer los indicadores clave de crecimiento y salud de los peces.

## **Anexo 8. Capacitaciones a productores de tilapia**

### **Resultado 3: Capacitación a los acuicultores en el uso e implementación del suplemento nutricional formulado a base de un consorcio de microalgas.**

La acuicultura en Costa Rica ha ganado importancia como alternativa de producción de proteína de origen acuático y desde una perspectiva empresarial, con un incremento en la estabilidad de la producción y como respuesta al decrecimiento de algunas pesquerías y al aumento de los costos de extracción comercial. El Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA) es el ente rector y promotor del desarrollo de esta actividad, ofreciendo planes y programas de trabajo a largo y mediano plazo. La acuicultura en el país se centra en la acuicultura continental de agua dulce, con un énfasis en el cultivo de tilapia y trucha, donde la tilapia se destina principalmente a mercados internacionales y la trucha al mercado interno. También se cultiva el langostino de Malasia y el camarón blanco en aguas salobres, en especial cerca del Golfo de Nicoya, donde también se fomenta la maricultura con especies como el pargo mancha y la ostra japonesa (INCOPECA, 2023).

En cuanto a la participación de las mujeres en este sector, la FAO enfatiza la importancia del enfoque de género en la pesca artesanal y la acuicultura, reconociendo el papel crucial de las mujeres en la seguridad alimentaria, el empleo digno y el bienestar de las comunidades costeras. Se ha promovido el intercambio de experiencias entre mujeres del Caribe y Costa Rica, con visitas a comunidades como Tárcoles, Chomes y Limón para reforzar el empoderamiento económico y organizativo de las mujeres. Un ejemplo destacado es la Cooperativa Molusqueras de Chomes, compuesta por 40 mujeres dedicadas a la extracción de moluscos. Estas mujeres han presentado planes participativos al gobierno, buscando reconocimiento de derechos y seguridad social, con el apoyo de INCOPECA y otras organizaciones. A pesar de los avances, persisten brechas de género en salarios y condiciones laborales. Las directrices internacionales instan a garantizar la igualdad de género, incluyendo la participación de las mujeres en la toma de decisiones y el acceso a recursos para emprender (FAO, 2017).

Por otro lado, la iniciativa CoopeBrujas del Mar en Puntarenas es un ejemplo de cómo las mujeres se han adaptado y transformado sus medios de vida frente a cambios en la industria pesquera. Tras la prohibición de las licencias para barcos camareros, un grupo de mujeres, que antes se dedicaban a pelar camarones, formaron una cooperativa para fabricar señuelos artesanales para la pesca deportiva y turística. Esta cooperativa, que involucra a 12 mujeres, ha recibido capacitación y apoyo de organizaciones como INCOPECA y FECOP, y planea expandir su mercadeo y comercialización tanto nacional como internacionalmente. No obstante, aún enfrentan desafíos, como el acceso limitado a financiamiento para el desarrollo de proyectos para mujeres en el sector pesquero (Martínez, 2021).

En resumen, la acuicultura en Costa Rica está avanzando con un enfoque significativo en la inclusión de género y el empoderamiento de las mujeres, aunque todavía hay desafíos que superar para garantizar la igualdad y el acceso equitativo a los recursos y oportunidades en este sector.

## Resumen de los resultados

El informe de Capacitaciones a Productores de Tilapia detalla un ciclo de formación realizado por Consultores Acuícolas (CONACUI), en colaboración con el Instituto Tecnológico de Costa Rica, como parte del proyecto "Acuicultura descarbonizada". El objetivo fue mejorar la producción de tilapia utilizando microalgas nativas como suplemento alimenticio, reduciendo así la huella de carbono. Las sesiones cubrieron acuicultura general, nutrición, calidad de aguas, enfermedades y buenas prácticas, con un componente práctico para reforzar el aprendizaje. Se llevaron a cabo en varias regiones de Costa Rica y participaron tanto productores establecidos como interesados en iniciar proyectos, con énfasis en productoras mujeres.

El "Informe de Encuestas: Diagnóstico de la producción de Tilapia en Costa Rica" llevado a cabo por CONACUI en colaboración con el Instituto Tecnológico de Costa Rica proporciona una visión integral de los desafíos y oportunidades en la acuicultura de tilapia en Costa Rica. El informe se enfoca en diez productores de diferentes zonas del país y evalúa la infraestructura, tecnificación, manejo de la producción, y aspectos socioeconómicos. Se encontró que la mayoría de los productores tienen sistemas semiintensivos y operan en un contexto familiar o asociativo, con una infraestructura mayormente en buen estado. Sin embargo, hay una deficiencia notable en el conocimiento y aplicación de buenas prácticas y un uso limitado de registros y tecnología para el monitoreo y control de la calidad del agua. Los desafíos incluyen la necesidad de mejorar la administración de la producción, la calidad de la semilla, y el acceso a equipos para el monitoreo del agua. Estos factores son cruciales para el mantenimiento de la producción y la viabilidad económica de las granjas.

La importancia de estos estudios es multifacética:

**Identificación de Necesidades:** Revelan áreas clave donde los productores necesitan apoyo, como en la administración y tecnificación de sus operaciones.

**Desarrollo Sostenible:** Proporcionan información para impulsar prácticas sostenibles y económicamente viables.

**Inclusión de Género:** Subrayan la necesidad de seguir avanzando en la igualdad de género en el sector, asegurando que las capacitaciones y mejoras lleguen a las mujeres productoras.

**Mejora de la Calidad y Producción:** Destacan cómo la capacitación puede llevar a un mejor control de la calidad y aumento de la producción.

**Empoderamiento Económico:** A través de la capacitación y la mejora tecnológica, los pequeños productores pueden aumentar su competitividad y empoderamiento económico. La combinación de capacitaciones y el estudio de diagnóstico se convierte en una herramienta poderosa para el desarrollo de una acuicultura resiliente y progresiva en Costa Rica.



#### IV Metodología

El curso enseña al discente los conceptos básicos asociados al desarrollo de la acuicultura desde aspectos asociados a las ciencias básicas (biología, física y química) hasta aquellos propios de la actividad como técnicas de cultivo, manejo sanitario y procesamiento. Los conceptos básicos de anatomía y parámetros físico-químicos del agua se desarrollan en primera instancia como elemento fundamental para el entendimiento de sistemas e interacciones más complejos; en esta etapa se realizarán comprobaciones de asimilación de los principales conceptos.

Posteriormente se abarcará con mayor profundidad las herramientas y sistemas de cultivo promoviendo la participación de las personas estudiantes mediante ejercicios individuales, grupales y resolución de casos. La persona docente asumirá el papel de facilitador y el alumno tendrá la máxima responsabilidad de su propio progreso individual.

#### V Unidades Temáticas

	UNIDAD	DURACIÓN	TEMAS
<b>Día 1</b>			
1	Introducción a la Acuicultura	2 hrs	Conceptos básicos de acuicultura (historia, principales especies cultivadas)
2	Calidad de aguas	2 hrs	Conocimientos generales acerca de la determinación de la calidad de agua en sistemas acuícolas y su importancia en el cultivo de organismos vivos.
3	Cultivo de peces en aguas continentales	2 hrs	Conocimiento del cultivo de los peces de aguas continentales, aspectos básicos sobre la biología y clasificación.
4	Nutrición	2 hrs	Nutrición de organismos acuáticos. Identificación de los principales componentes de los alimentos balanceados
<b>Día 2</b>			
5	Enfermedades de organismos acuícolas	2 hrs	Conocimientos acerca del manejo sanitario y patologías más comunes que presentan los organismos acuáticos cultivados.
6	Procesamiento de organismos de origen acuícola	2 hrs	Métodos para manipulación y control de calidad de productos acuícolas.
7	Práctica	4 hrs	Implementación de conceptos

Consultores Acuícolas MPR S.R.L., Cédula jurídica: 3-102-848591, Correo: conacui.aquaculture.cr@gmail.com  
Teléfono: 8585 – 2996, Puntarenas, Costa Rica.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



#### **Manuales**

1. Principios de Acuicultura
2. Nutrición en Acuicultura
3. Calidad de aguas
4. Producción y sostenibilidad

#### **Bibliografía general**

- Corral, M.L., Grizel, H., Montes, J. & Polanco, E. (2000). La acuicultura: Biología, regulación, fomento, nuevas tendencias y estrategia comercial. España: Mundi-Prensa Libros.
- FAO. (2014). El estado mundial de la pesca y acuicultura. Departamento de Pesca y Acuicultura FAO, Roma. 253p.
- Jiménez-Montealegre, R. (2011). Ingeniería y manejo de sistemas de cultivo. Heredia: Universidad Nacional.

Material complementario que el profesor considere útil para el logro de objetivos.

Consultores Acuicolas MPR S.R.L, Cédula jurídica: 3-102-848591, Correo:conacui.aquaculture.cr@gmail.com  
Teléfono: 8585 – 2996, Puntarenas, Costa Rica.

## 8.1. Participantes Beneficiarios de las Capacitaciones

### Capacitación Realizada en Puntarenas

**Martes 8 de noviembre: Sede INCOPECA, Cocal, Puntarenas.**

**Miércoles 9 de noviembre: Centro Turístico Las Tilapias, Palmital, Puntarenas.**

### Productores beneficiados:

Nombre y apellidos	No. Cédula	No. teléfono	Productor (a)	Funcionario	AEA MAG
Elizabeth Rojas Quiros	602200477	63143434	X		Miramar
Elibeth Chacón Herrera	117510984	26478131	X		Miramar
Elizabeth Chaves Saborio	601660750	87016270 y 22495415	X		Miramar
Ricauter Chavarria Vargas	601710677	89661044 y 22495415	X		Miramar
Rafael Angel Mena Quiros	109110376	89198030	X		Miramar
Delio Sandi Tapia	602550619	85014915	X		Miramar
Denia Carmona Montoya	602500037	6434-5745	X		Orotina
Alison Solorzano Mata	604640762	8362-9856	X		Orotina
Mariela González López	105890242	8641-2284	X		Orotina
Carlos Campos Bonilla	104470246	21056528	X		Orotina
Edith González Arroyo	601810028	8641-2972	X		España
Silverio González Araya	601570963	892-5781	X		España
Antonio Salas Rodríguez	204360873	87283351	X		España
Mauricio Quiros Steller	205600701	8825-1097	X		España
Juan Rafael Jiménez Jiménez	602180464	8913-21-10	X		Cedral
Alberto Jiménez Benavides	604610021	10-02-13	X		Cedral
Franklin Jiménez Fallas	204040800	8934-26-86	X		Cedral
Yoselin Quiros Herrera	6366195	61644993	X		Puntarenas (peladoras de camarón)
Jennifer Sandi Chinchilla	603270348	63460264	X		Puntarenas (peladoras de camarón)
María Sofía Quiros Zambrana	603330192	89275934	X		Puntarenas (peladoras de camarón)
Maribel Sandi Chinchilla	601740983	89871548 teléfono (611)	X		Puntarenas (peladoras de camarón)

**Colaboradores ITCR: Maritza Guerrero, Fabián Villalta, Kattia Núñez y Olman Gómez**

**Colaboradores INCOPECA: Roberto Carlos Meléndez,**

**Colaboradores MAG: Freddy Azofeifa**

**Colaboradores CONACUI: Alejandra Murillo, Gabriel Bustos.**

### Segunda Capacitación Realizada en Buenos Aires de Puntarenas

**Fechas: 01 y 02 de marzo del 2023, Estación Acuícola del Sur del Centro Cantonal Agrícola de Buenos Aires de Puntarenas**

### Productores Beneficiados:

Productor	Region	Localidad	Cédula	Teléfono	Producción Activa
Olga Vargas Jiménez	Brunca	Ujarras	6205353	88479371	Si
Margarita Lara Sáenz	Brunca	Ujarras	6222634	84350503	Si
Luz Mary Amador Chinchilla	Brunca	Paraiso	90960351	88708545	Si
Jessica Montero Mañín	Brunca	Santa Rosa	603940129	84448624	Si
Minor Fernando Vargas Fernández	Brunca	Yerí Salitre	116590603	85173790	Si
Andrés Sánchez Arias	Brunca	Ujarras	604230064	83446437	No
Yendry Villanueva Barrantes	Brunca	Ujarras	6372713	61800569	Si
Ismael Salinas Andrade	Brunca	Alto Lagura	604350612	64759210	Si
Edelia Palacio Mendoza	Brunca	Alto Lagura	603980975	86273996	Si
Javier Gallardos Andrade	Brunca	Alto Lagura	7105053	64577987	Si
Gloriana Salina Palacio	Brunca	Alto Lagura	605000769		No
Melisa Quirós García	Brunca	Alto Lagura	60487067	84278912	No
Guillermo Palacio García	Brunca	Alto Lagura	604360473	83527992	No
Luis Quirós Palacio	Brunca	Alto Lagura	800700327	61335548	No
Greivin Valverde Aguilar	Brunca	Buenos Aires	112690623	83392839	Si

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Colaboradores ITCR: Maritza Guerrero, Francinie Murillo, Fabián Villalta y Rossy Guillén  
 Colaboradores INCOPECA: Alejandro Matarrita  
 Colaboradores CONACUI: Alejandra Murillo, Gabriel Bustos.

**Capacitación Realizada Guatuso de Upala, Finca Tenorio Fish Farms  
 Asociación de Productores de Tilapia (APROTILA)  
 Fechas 26 y 27 de mayo 2023.**

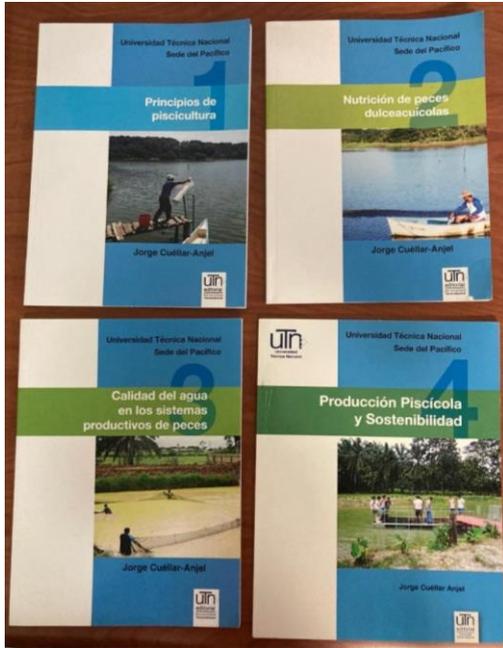
**Productores Beneficiados**

No.	Nombre y apellidos	No. Cédula	No. teléfono	Ubicación	¿Tiene producción actualmente?	Firma asistencia 26 de mayo 2023	Organización
1	Juana Bival Calcio	8088146	83167190	Turkey	S	JRG	Indpendiente
2	Lidia Herrera Salazar	6364932	63823355			Lidia Herrera	
3	Ruth Guzman Vargas	2588541	86592127	Uruapan		RGV	
4	Rosa Salazar Parra	207390999	72181037	Uruapan		Rosa Salazar	
5	Johanny Guzmán Hervera	2-610-542	7108-8931	Uruapan		Johanny Galt.	
6	Henry Luis Aguilar Aguilar	2-762-265	83472785	Florida		H.L.A.A	
7	Abelto Alvarado	2-471-229	87181719	Hatuman	SI	[Firma]	Eco-tilapia.com
8	[Firma]	5816431	88951812	Caobita	SI	[Firma]	
9	Alberto Guzmán Ojeda	2334-251	84873969	Uruapan		[Firma]	
10	Daniela Anís Solís	1-685-195	8504-0208	Upala	NO	[Firma]	aprotila
11	Olga E. Villalba	5210514	83113416	Tenorio	SI	[Firma]	aprotila
12	César Molina	2599771	83337975	Son Luis	SI	[Firma]	La Fianza
13	Jefry Lucero Blanco	2-601-583	71549156	Leconalita		[Firma]	MOCEHU
14	Evelyn Betancourt Ramírez	2662984	83095311	Florida	SI	[Firma]	
	Elsa Rojas Rodríguez	205100761	83622053	Midoplan	-	[Firma]	Midoplan
	Juan Luis Mena Jallas	1-121-476	88807057	Midoplan	-	[Firma]	Midoplan

Colaboradores ITCR: Francinie Murillo, Fabian Villalta Romero, Maritza Guerrero y Rossy Guillén  
 Colaboradores INCOPECA: Alejandro Matarrita  
 Colaboradores CONACUI: Nelson Peña y Silvia Ramírez.

**Material en 4 tomos entregados a los participantes de las Capacitaciones**

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



**Coordinadora MSc. Maritza Guerrero Barrantes dando la bienvenida a la capacitación realizada en INCOPECA, Puntarenas**



**Participación de los presentes en la capacitación, junto a la Dra. Kattia Núñez del ITCR.**

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



**Participantes de la Capacitación en el Auditorio de INCOPESCA.**



**Personal de CONACUI (Alejandra Murillo) brindando la capacitación.**

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



**Bienvenida a la Capacitación por parte del Ministro de Pesca Sr. Heiner Méndez Barrientos, junto al Sr. Carlos Alvarado (INCOPESCA) y Sr. Gabriel Bustos (CONACUI).**

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



**Grupo de productores que participaron en la capacitación en Puntarenas el 8 de noviembre de 2022.**



**Participantes de la Capacitación (segundo día) en Centro Recreativo Las Tilapias, Palmital, Mirarmar, Puntarenas.**

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



**Participantes de la Capacitación (segundo día) en Centro Recreativo Las Tilapias, Palmital, Mirarmar, Puntarenas.**



**Participantes de la Capacitación, parte práctica tomando muestras en los estanques de tilapia.**

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



**Participantes aprendiendo como manipular una tilapia.**



**Participantes aprendiendo sobre como monitorear parámetros de calidad de agua.**

### Anexo 9. Diagnóstico de la producción de Tilapia



## Recopilación fotográfica realizada en las visitas.



### Encuesta

#### Diagnóstico de la producción de Tilapia

Estimado(a) productor(a) de tilapia:

El proyecto Acuicultura descarbonizada: Mitigación de carbono mediante la generación de suplementos alimenticios con microalgas nativas financiado por la Unión Europea, MIDEPLAN y el Instituto Tecnológico de Costa Rica, pretende contribuir directamente al trabajo que realiza como productor(a) de tilapia, y para ello, es importante conocer sobre algunas características del proceso de cultivo que lleva a cabo en su finca. Agradeceremos nos colabore con la siguiente información, la cual será manejada con total confidencialidad.

Encuesta N°: \_\_\_\_\_

Fecha de aplicación de encuesta: \_\_\_\_\_

Datos generales de la finca			
1. Nombre del propietario de la finca			
2. Ubicación geográfica	<b>2. Provincia</b>	<b>3. Cantón</b>	<b>4. Distrito</b>
	1. Guanacaste		
	2. Puntarenas		
3. Coordenadas geográficas (grados, minutos y segundos)	1. Latitud: _____		
	2. Longitud: _____		

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



4. Cantidad de estanques	
5. Tipo de estanque	
6. Área de cultivo m <sup>2</sup> , de cada estanque	1.
	2.
	3.
	4.
7. Sistema de producción	1. Intensivo
	2. Semi-intensivo
	3. Extensivo
8. Estructura para la producción acuícola	1. Familiar (Negocio familiar)
	2. Asociados (Negocio con terceros)
9. Si se trata de un negocio familiar ¿es necesario la contratación de empleados externos para cubrir todas las actividades?	1. Si
	1. Si
	2. No
	No de empleados:
10. De donde proviene el agua que utiliza para llenar el estanque o realizar los recambios?	1. Pozo
	2. Río

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



		3. Canal de riego
		4. Lago
11. Existe en la finca algún sistema de bombeo del agua.		
12. Sistemas de disposición de residuos (tratamiento de aguas)		
13. Infraestructura actual (estado de los estanques)		
14. Utiliza aireadores		

Datos del sistema de producción		
15. Fecha de siembra		
16. Densidad de siembra (por m <sup>2</sup> )		1.
		2.
		3.
		4.
17. Origen y genética de los alevines		Origen:
		Genética:



18. Volumen aproximado de agua en el estanque de cultivo (m <sup>3</sup> )	
19. Tasa de recambio de agua en el estanque (% o m <sup>3</sup> / día)	
20. Método de alimentación	1. Al boleo
	2. Automático
	3. Otros, especifique: _____
21. Utiliza tablas de alimentación?	1. Si
	2. No
22. Cuál es la conversión alimenticia final aproximada por ciclo?	
23. ¿Cuenta con bitácora para documentar el cultivo	1. Si
	2. No
24. La finca cuenta con bodega de almacenamiento del alimento:	1. Sistema de ventilación
	2. Sistema de control de humedad e iluminación
	3. Espacio de almacenaje limpio, seco y ordenado
	4. Inventario u hoja de registro del ingreso y salida de producto
	5. tarimas, pilas, estibas o espacios específicos de almacenaje elevados del piso

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



		6. Control de plagas (insectos, roedores, etc.)
		7. Temperatura entre 20 y 30 grados
25. Tipo de alimento para cada etapa		Marca:
		Porcentaje de proteína:
26. Utiliza algún tipo de alimento como complemento		
27. Frecuencia de alimentación		1. Una vez al día
		2. Dos veces al día
		3. Tres veces al día o más
28. Cantidad de alimento usado por ciclo		

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



29. Duración promedio del ciclo de producción	Meses:
	Peso de cosecha:
30. Hace raleos durante la cosecha	1. Una vez
	2. Dos veces
	3. Tres o más veces
31. Kg de tilapia extraídos en cada raleo.	
32. Producción promedio en Kg por ciclo?	
33. Utiliza antibióticos en su finca?	Si ( ) Cuál:
	No ( )
34. Cuántas veces utiliza antibióticos en su finca?	1. Una vez por cosecha
	2. Dos veces por cosecha
	3. Tres o más veces por cosecha
	4. No aplica
35. Utiliza probióticos	1. Una vez por cosecha

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



y cuántas veces lo aplica		2. Dos veces por cosecha
		3. Tres o más veces por cosecha
		4. No aplica
36. ¿Aplica usted periodo de tratamiento a los estanques entre ciclos?		1. Si
		2. No Especifique:
37. Tipos de productos y técnicas que aplica durante el secado?		
38. ¿De los siguientes problemas, cuáles identifica en su finca?		1. Calidad de aguas
		2. Calidad de los alevines
		3. Enfermedades
		4. Depredadores
		5. Falta de apoyo de autoridades institucionales
		6. Capacitaciones
		7. Cálculo de raciones alimenticias
		8. Mortalidad (%)
		9. otros
39. Qué parámetros de calidad de aguas		1. Oxígeno

mide en su estanque?		2. Temperatura
		3. pH
		4. Otros:
		5. Ninguno
40. Qué parámetros sobre calidad de suelos mide en su estanque?		1. Nitrógeno
		2. Fósforo
		3. Calcio
		4. Magnesio
		4. Otros, especifique:
		5. Ninguno
41. Cuenta con algún método de aclimatación del alevín previo al ingreso al estanque	<input type="checkbox"/> Sí, cuál? _____  <input type="checkbox"/> NO	
42. Se ha presentado alguna enfermedad en sus cultivos:	<input type="checkbox"/> Sí	¿Cuál?
	<input type="checkbox"/> NO	

Instrumento elaborado, revisado y aplicado por: Consultores Acuícolas MPR S.RL (Eng. Alejandra Murillo), Instituto Tecnológico de Costa Rica (Dr. Fabián Villalta, Dr. Olman Gómez, Dra. Kattia Núñez, MSc. Maritza Guerrero).

### Resultados del Diagnóstico de la producción de Tilapia en Costa Rica, realizado CONACUI empresa contratada por el proyecto.

Se realizó una encuesta a 10 productores de tilapia de zonas de Puntarenas, Buenos Aires, Guápiles y San Carlos, durante los meses de octubre del 2022 a febrero del 2023. La encuesta evaluó aspectos relacionados con datos generales de la finca, estado de la infraestructura, tecnificación de la producción, intensidad de producción, manejo de los parámetros físicos y químicos y manejo de bioseguridad en finca. Se realizó estadística descriptiva para el análisis de la información. El 80% de los productores encuestados poseen menos de 4 estanques, con producciones clasificadas como semi intensivas, la infraestructura del 87.5% de estos se encuentran en excelente (12.5%) y buen estado (75%). Se encontró

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

que el 60% de los productores tienen un negocio familiar y el 40% restante están constituidos en una asociación. Solo un 62,5% de las personas encuestadas con proyectos activos utiliza registros de producción. Los productores analizados presentan interés en la producción de organismos acuícolas, en algunos casos de forma artesanal y en otros casos más tecnificados, sin embargo, siguen necesitando formación adicional sobre los puntos críticos de la producción.

Como parte del Proyecto “Acuicultura Descarbonizada, microalgas para desarrollar peces saludables” se utilizó una herramienta de diagnóstico aplicada a productoras acuícolas a lo largo del territorio nacional en el cuadro 3 se presenta una serie de recomendaciones personalizadas según lo observado durante el período de entrevistas con su respectiva justificación.

Cuadro 3. Recomendaciones personalizadas para las productoras de Tilapia

Productora	Recomendación	Justificación
Zeneida Salas Rojas	Capacitación y asesorías en el tema de recirculación y bioseguridad	El centro de cultivo utiliza agua de Lluvia, pero no realiza ningún proceso de desinfección de esta, lo que puede ser un riesgo de bioseguridad.
	Multiparámetros y reactivos para calidad de agua	No cuenta con ninguna herramienta para medir calidad de agua
Evelyn Acuña	Capacitación y asesoría en el tema de alimentación	Presentan serias deficiencias en el conocimiento y aplicación de tablas de alimentación. Tipos de calibre y forma de alimentar.
	Multiparámetros y reactivos para calidad de agua	No cuenta con ninguna herramienta para medir calidad de agua
Elizabeth Betel	Restauración de piscinas para acuicultura	Las instalaciones fueron diseñadas para un centro turístico, sin embargo, se quiere trasladar para cultivo de tilapia.
	Capacitación en acuicultura general	No cuenta con conocimientos relacionados con la actividad
	Construcción de Sistema de toma de agua	No tiene un Sistema definido ni construido para la toma de agua.
Maribel Sandí Chinchilla.	Construcción de infraestructura para el cultivo de tilapia	El grupo no cuenta con ningún tipo de infraestructura para el cultivo de tilapia. Tienen que iniciar de cero
	Capacitación en acuicultura general	No cuenta con conocimientos relacionados con la actividad
	Herramientas y equipos para iniciar con la actividad acuícola	No posee ningún equipo relacionado al cultivo acuícola

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Jade Ferreto	Construcción de infraestructura para el cultivo de tilapia	No cuenta con ningún tipo de infraestructura para el cultivo de tilapia. Tienen que iniciar de cero
	Capacitación en acuicultura general	No cuenta con conocimientos relacionados con la actividad
	Herramientas y equipos para iniciar con la actividad acuícola	No posee ningún equipo relacionado al cultivo acuícola
CTP Guaycará	Capacitación y asesoría en cultivo acuícola	La institución posee todos los equipos e infraestructura necesaria, pero hace falta la tecnificación del personal a cargo
Olga Vargas	Multiparámetros y reactivos para calidad de agua	No cuenta con ninguna herramienta para medir calidad de agua
Jessica Montero	Reactivación de estanques de tierra	El terreno posee dos estanques de tierra que están en desuso, y requieren de la inversión para la reestructuración. El cultivo lo tiene en una lavadora
	Capacitación en acuicultura general	No cuenta con conocimientos técnicos relacionados con la actividad.
	Multiparámetros y reactivos para calidad de agua	No cuenta con ninguna herramienta para medir calidad de agua
Ana María Corrales	Reactivación de estanques	El proyecto que tenía quedó inactivo después de pandemia y ya la infraestructura está deteriorada
	Multiparámetros y reactivos para calidad de agua	No cuenta con ninguna herramienta para medir calidad de agua
Noemy Obando Arauz	Reactivación de estanques	El proyecto que tenía quedó inactivo después de pandemia y ya la infraestructura está deteriorada
	Capacitación en acuicultura general	No cuenta con conocimientos técnicos relacionados con la actividad.
	Multiparámetros y reactivos para calidad de agua	No cuenta con ninguna herramienta para medir calidad de agua

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

## Carta de invitación a capacitaciones

---



Cartago, 30 de marzo de 2023  
CIB-080-2023

Señora:

M Sc. Andrea Peraza Rogado  
Directora del Colegio Técnico Profesional de Pococi

Estimada señora:

El proyecto de Investigación y Extensión código 9051-03 “**Acuicultura descarbonizada: Mitigación de carbono mediante la generación de suplementos alimenticios con microalgas nativas**” certifica que la Lic. Elizabeth Alpizar Rojas cédula 109260632 concluyó la **Capacitación General de 16 horas: “Acuicultura General Cultivo de Tilapia”**. La actividad de 16 horas de duración se llevó a cabo el **28 Y 29 de marzo** en modalidad presencial en la **Estación Experimental Diamante de INCOPECA** en Guápiles.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

**Anexo 10. Curso Virtual**

Cortos didácticos			
Curso virtual aspectos básico sobre el cultivo de tilapia			
N°	Tema	Nombre	link al video
1	1.1	Diseño de sistemas de cultivo	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=sbjwgjT2YoA">https://www.youtube.com/watch?v=sbjwgjT2YoA</a>
2	1.2	Diseño de sistemas de cultivo	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=MnB7xCzsUE">https://www.youtube.com/watch?v=MnB7xCzsUE</a>
3	2.1	Preparación previa a la siembra	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=RSw2BQthSJ4">https://www.youtube.com/watch?v=RSw2BQthSJ4</a>
4	2.2	Preparación previa a la siembra	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=MDGd7BaWw_Q">https://www.youtube.com/watch?v=MDGd7BaWw_Q</a>
5	3.1	Buenas Prácticas Acuícolas	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=u6SBvqPRPSI">https://www.youtube.com/watch?v=u6SBvqPRPSI</a>
6	3.2	Buenas Prácticas Acuícolas	<a href="https://youtu.be/zxFDpZHyZl4?si=RzV58z4Ptr3nkldZ">https://youtu.be/zxFDpZHyZl4?si=RzV58z4Ptr3nkldZ</a>
7	4.1	Manejo del cultivo de tilapia	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=MDGd7BaWw_Q">https://www.youtube.com/watch?v=MDGd7BaWw_Q</a>
8	4.2	Manejo del cultivo de tilapia	<a href="https://youtu.be/H-bmQkabHDY">https://youtu.be/H-bmQkabHDY</a>
9	5.1	Enfermedades	<a href="https://youtu.be/2SRWXjowH7c">https://youtu.be/2SRWXjowH7c</a>
10	5.2	Enfermedades	<a href="https://youtu.be/wu_f-HFGmyg">https://youtu.be/wu_f-HFGmyg</a>
11	6.1	Calidad de agua	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=u6SBvqPRPSI">https://www.youtube.com/watch?v=u6SBvqPRPSI</a>
12	6.2	Calidad de agua	<a href="https://youtu.be/wu_f-HFGmyg">https://youtu.be/wu_f-HFGmyg</a>
13	7.1	Nutrición	<a href="https://youtu.be/H-bmQkabHDY">https://youtu.be/H-bmQkabHDY</a>
14	7.2	Nutrición	<a href="https://youtu.be/2SRWXjowH7c">https://youtu.be/2SRWXjowH7c</a>
15	8.1	Cosecha	<a href="https://youtu.be/wu_f-HFGmyg">https://youtu.be/wu_f-HFGmyg</a>
16	8.2	Cosecha	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=u6SBvqPRPSI">https://www.youtube.com/watch?v=u6SBvqPRPSI</a>
17	9.1	Trazabilidad en la finca	<a href="https://youtu.be/wu_f-HFGmyg">https://youtu.be/wu_f-HFGmyg</a>
18	9.2	Trazabilidad en la finca	

## **Anexo 11. Resultado 4. Modelos de la reducción de la Huella de Carbono**

Se calculó la reducción de huella de carbono para los modelos de 4 fincas estudiadas, integrando el cultivo de tilapia con alimentos suplementados con microalgas y otras prácticas de mitigación como la acuaponía y el comercio local, aplicando las fórmulas y regulaciones nacionales para el cálculo de huella de carbono. Se concluyó que un modelo sinérgico en el cual se utilizan microalgas en la alimentación y se emplea el cultivo hidropónico de plantas 100% comestibles logra disminuir la huella de CO<sub>2</sub> a valores cercanos a cero. Además, es importante evitar el uso de energía para bombeo o recirculación del agua, por lo que la captación del agua de una fuente adecuada es lo recomendable.



# Acuicultura descarbonizada

## Caso Buenos Aires

El Laboratorio de Microalgas, del Centro de Investigación en Biotecnología (CIB), cuenta con más de 12 años de experiencia en la investigación y desarrollo de la biotecnología de las microalgas; llevando a cabo los cultivos de microalgas en su planta piloto en Cartago, así como en diferentes zonas del país (San Carlos, Guanacaste y Buenos Aires, entre otras).

El TEC es la única universidad centroamericana en contar con estanques de cultivo microalgal semi-masivo tipo raceway, con 40.000 litros de capacidad.

Los proyectos de investigación desarrollados por la máster Guerrero se han centrado en establecer modelos de producción alternativos y amigables con el ambiente, pensando siempre en la meta de carbono neutralidad, y apostando al desarrollo de procesos autóctonos para el cultivo de microalgas, utilizando especies nativas, sin dejar de lado la posibilidad de colaboración con empresas extranjeras, que pueda impactar positivamente en aspectos socioeconómicos de la región

#### Beneficios de las microalgas en nutrición

Las microalgas son organismos microscópicos y unicelulares de rápido crecimiento que utilizan muy eficientemente luz solar, CO<sub>2</sub> atmosférico y minerales para producir biomasa, biocombustibles, piensos y componentes bioactivos.

A partir de microalgas, se han desarrollado usos y productos farmacéuticos, nutracéuticos, cosméticos, biocombustibles, aditivos alimentarios humanos y alimentos para acuicultura. Además de usos en el tratamiento de aguas. La importancia económica de la producción de microalgas crece con el tiempo y se vislumbra que serán indispensables para asegurar la sostenibilidad alimentaria y ambiental en el mediano y largo plazo.

Casi un 70% de su peso es proteína cruda, por lo que la biomasa de microalgas compite tanto en cantidad como en calidad con las proteínas alimentarias tradicionales como pescado, huevo y soja, pero la cantidad de energía total (incluyendo energía calórica) necesaria para producirla es mucho menor.

**Cuadro 1.** Contenido nutricional de la biomasa microalgal

Análisis	Gramos/100 gramos	Análisis	Gramos/100 gramos
Extracto etéreo	1.42	Fibra detergente ácida	0.37
Cenizas	7.19	Lignina detergente ácido	0,27
Fósforo	1.27	DIVMS	99.7
Fibra cruda	0,57	DIVFDN	93.6
Humedad al vacío	12.5	Nitrógeno insoluble en detergente neutro	4.29
Proteína cruda	68.6	Nitrógeno insoluble en detergente ácido	0.1
Extracto libre nitrógeno	9.72	Fracción A Cornell	6.7

Proteína equivalente	0.41	Fracción B1	-
Humedad	4.4	Fracción B2	53.2
Materia seca	95.6	Fracción B3	40
Fibra detergente neutro	4.8	Fracción C	1

**Cuadro 2.** Contenido de aminoácidos de la biomasa microalgal

Aminoácido	Gramos/100 gramos	Aminoácido	Gramos/100 gramos
Ácido aspártico	6.02	Cistina	0.77
Ácido glutámico	8,86	Valina	5.36
Serina	2.31	Metionina	2.07
Histidina	1.34	Fenilalanina	3.98
Glicina	4.5	Isoleucina	3.33
Arginina	5.38	Leucina	6.11
Alanina	5.39	Lisina	3.57

Como fuente de proteína para alimentación animal, las microalgas pueden proveer casi todos los aminoácidos en las proporciones adecuadas, salvo cistina y metionina. No obstante, hay fuentes vegetales alternas ricas en estos aminoácidos, por lo que se puede prescindir de fuentes animales.

#### Producción sostenible de tilapias

La acuicultura de tilapia (*Oreochromis sp*) es una práctica común en todo el mundo debido a que la tilapia es un pez muy adaptable que crece rápidamente y es fácil de cuidar. La calidad del agua y la alimentación son dos factores críticos para el éxito de cualquier operación de acuicultura de tilapia.

En lo que respecta a la calidad del agua, es importante mantener el agua limpia y libre de contaminantes para asegurar la salud de los peces. La tilapia es un pez que puede tolerar una amplia gama de condiciones de agua, pero es importante mantener una buena calidad para evitar enfermedades y otros problemas de salud. La temperatura, la concentración de oxígeno disuelto, el pH, la alcalinidad y la dureza son algunos de los factores clave que deben ser monitoreados y controlados para asegurar la calidad del agua.

La alimentación es otro factor importante para el crecimiento y la salud de los peces. La tilapia es un pez omnívoro que se alimenta de una variedad de alimentos, incluyendo plantas y animales. Los alimentos deben contener los nutrientes esenciales que necesitan, como proteínas, grasas, vitaminas y minerales, y deben ser proporcionados en las cantidades adecuadas. Una dieta desequilibrada puede conducir a problemas de crecimiento y salud en los peces.

La propuesta busca sustituir una porción de harina de pescado por microalgas, con lo que se brinda un alimento rico en muchos nutrientes además de un aporte adicional de proteínas.

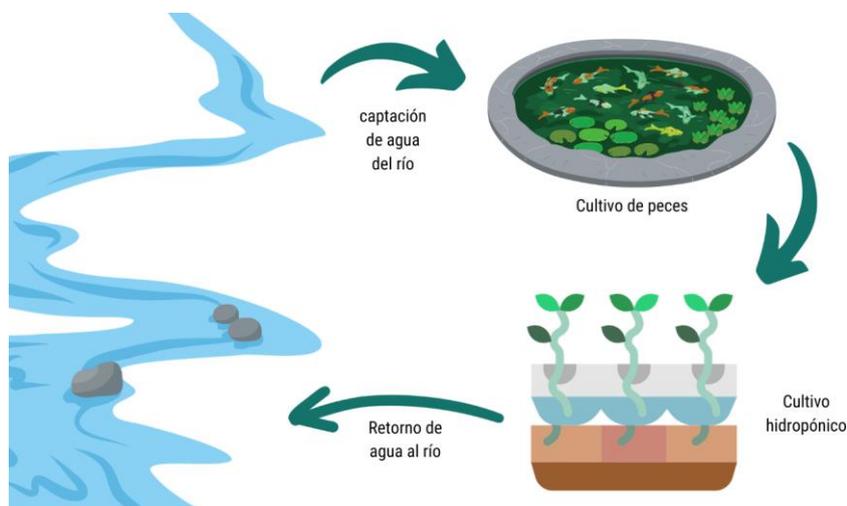
#### Descripción de los procesos

El cultivo de tilapia en estanques excavados en tierra arcillosa es una práctica sumamente beneficiosa que aprovecha las propiedades del suelo para crear un ambiente propicio para el desarrollo de estos peces. La arcilla proporciona una retención efectiva de agua, ayudando a mantener niveles adecuados de humedad en los estanques. Además, su estructura permite la formación de un fondo impermeable, evitando la filtración excesiva y garantizando un mejor control del nivel del agua, lo que resulta crucial para el cultivo exitoso de la tilapia.

La utilización de agua de alta calidad proveniente de una naciente confiere ventajas significativas al proceso. El suministro de agua limpia y rica en oxígeno es esencial para el bienestar de la tilapia, contribuyendo al crecimiento saludable de los peces y reduciendo la necesidad de tratamientos químicos. La pureza del agua también minimiza el riesgo de enfermedades, promoviendo un entorno más sostenible y saludable para la producción acuícola.

Además de los beneficios ambientales, el cultivo de tilapia en estanques excavados en tierra arcillosa con agua de naciente ofrece oportunidades económicas significativas. La eficiencia en el uso de recursos y la mejora en la calidad del producto final pueden traducirse en una producción más rentable, contribuyendo al desarrollo sostenible de la acuicultura en la región.

En la finca de doña Olga, en Buenos Aires de Puntarenas se utiliza una serie de estanques excavados en tierra arcillosa para el cultivo de tilapias. A continuación, se observa un diagrama del proceso:



**Figura 1.** Representación global del proceso. (1) Captación de agua del río. (2) Cultivo de peces. (3) Humedal acuapónico. (4) Retorno de agua al río.

### Captación de agua del río

La captación del agua del río se realiza por medio de una tubería que tiene una longitud de pocos metros. El agua viaja por acción de la gravedad hasta los estanques de cultivo, los cuales están divididos según los diferentes estadios de crecimiento.

Comentado [3]: Justificar todos los párrafos

Comentado [FMV4R3]: Atendido

### Cultivo de peces

El proceso de cultivo de tilapia en estanques excavados en tierra arcillosa es un sistema que implica diversas etapas cuidadosamente planificadas. En primer lugar, se selecciona una ubicación adecuada, considerando aspectos como la topografía del terreno y la disponibilidad de agua de calidad. La excavación de los estanques se realiza de manera que se aproveche la tierra arcillosa para proporcionar un revestimiento natural y una retención eficiente de agua.

Una vez excavados, los estanques se llenan con agua proveniente de una naciente de alta calidad. Este paso es crucial, ya que el suministro de agua limpia y rica en oxígeno es esencial para el desarrollo saludable de la tilapia. Posteriormente, se introduce la población de tilapia en los estanques, y se monitorea y regula cuidadosamente la alimentación, la calidad del agua y otros parámetros ambientales.

Durante el período de cultivo, se implementan prácticas de manejo que incluyen la supervisión regular de la salud de los peces, la prevención de enfermedades y el control de la densidad poblacional. Además, se pueden incorporar técnicas de filtración natural, como la presencia de plantas acuáticas, para mejorar la calidad del agua y reducir la necesidad de tratamientos químicos.

El ciclo de cultivo culmina con la cosecha de los peces, que se realiza de manera selectiva para garantizar tamaños adecuados y una calidad óptima del producto. Este enfoque de cultivo en estanques excavados en tierra arcillosa no solo aprovecha los recursos naturales de manera sostenible, sino que también promueve la eficiencia y la rentabilidad en la producción de tilapia.

### Acuaponía

La acuaponía es una forma de agricultura acuática que combina la cría de peces, como las tilapias, con el cultivo de plantas en un sistema interconectado. El agua rica en nutrientes proveniente de los tanques de peces se utiliza para regar y fertilizar las plantas, mientras que las raíces de las plantas actúan como un filtro biológico, purificando el agua antes de reincorporarla al ambiente. Este sistema simbiótico crea un ciclo cerrado que aprovecha los recursos de manera eficiente y minimiza los residuos.

### Remoción de Contaminantes del Agua

La acuaponía no solo proporciona una forma de aprovechar el agua, sino que también contribuye a la eliminación de contaminantes. Los desechos de los peces, como el amoníaco, son convertidos por bacterias beneficiosas en formas menos tóxicas de nitrógeno que las plantas pueden absorber como nutrientes. A su vez, las plantas utilizan estos nutrientes para su crecimiento, actuando como un sistema de filtración natural que mejora la calidad del agua. Este proceso reduce la necesidad de productos químicos y promueve un entorno saludable tanto para los peces como para las plantas.

## Operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento adecuados de un sistema para la producción de tilapia y su posterior reutilización en un sistema de acuaponía son fundamentales para garantizar un rendimiento óptimo y sostenible. Este sistema integrado puede proporcionar una fuente de alimentos y plantas de manera eficiente y respetuosa con el ambiente. A continuación, se presentan las pautas esenciales para operar y mantener este sistema de manera efectiva.

### Operación del sistema de captación de agua del río

#### Monitoreo de la calidad del agua del río

Mantenga un registro de los niveles del agua del río para estimar la cantidad de agua que se captura. Esto le ayudará a determinar cuándo puede depender principalmente del agua del río y cuándo necesita complementarla con otras fuentes, tal como agua de lluvia.

Asegúrese de que el sistema de recolección de agua de río esté limpio y libre de obstrucciones.

### Operación del Sistema de Acuaponía

#### Gestión de la alimentación de tilapias:

Proporcione una dieta equilibrada y controle la cantidad de alimento para evitar el exceso de desechos. Aliméntelos de acuerdo con su etapa de crecimiento.

Monitoree el número de tilapias en los tanques para evitar el hacinamiento. Mantenga registros de la cantidad y el tamaño de los peces.

Esté atento a signos de enfermedades en los peces. Mantenga un sistema de cuarentena para los peces nuevos y trate cualquier enfermedad de manera oportuna.



**Figura 2.** Estanque utilizado para el cultivo

#### Pretratamiento del agua:

El agua que se utiliza debe estar filtrada, o al menos contar con un estanque para sedimentación, para eliminar contaminantes superficiales y sedimentos antes de que el agua ingrese al sistema de cría de tilapia. Si es necesario, considere el tratamiento del agua con desinfectantes seguros para garantizar la salud de los peces.

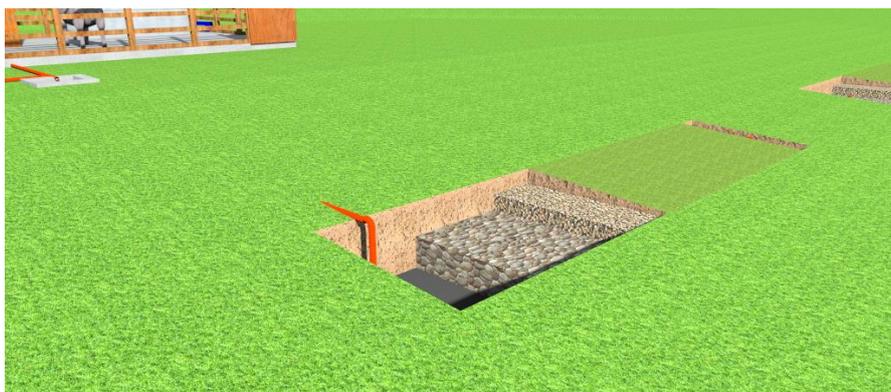
#### Humedales acuapónicos

El uso de agua residual para la acuaponía es una práctica sostenible que combina la producción de peces con la producción de cultivos hidropónicos. En este sistema, el agua rica en nutrientes de la producción de peces se utiliza para fertilizar los cultivos hidropónicos, y los cultivos ayudan a filtrar y purificar el agua para su reincorporación segura al río. La acuaponía es una forma eficiente de producción de alimentos que utiliza menos agua y nutrientes que la agricultura convencional y la acuicultura por separado.

Los humedales artificiales son un método común de tratamiento de agua residual. Los humedales artificiales son sistemas naturales diseñados para imitar los procesos de purificación del agua que se producen en los humedales naturales. El agua residual se dirige a un lecho de sustrato (como grava o arcilla) y se permite que las plantas y los microorganismos en el sustrato purifiquen el agua a medida que fluye a través del sistema. Conforme el agua fluye a través del humedal, los microorganismos descomponen los contaminantes y las plantas absorben los nutrientes. El resultado es agua tratada que puede ser reutilizada o descargada de manera segura en el medio ambiente.

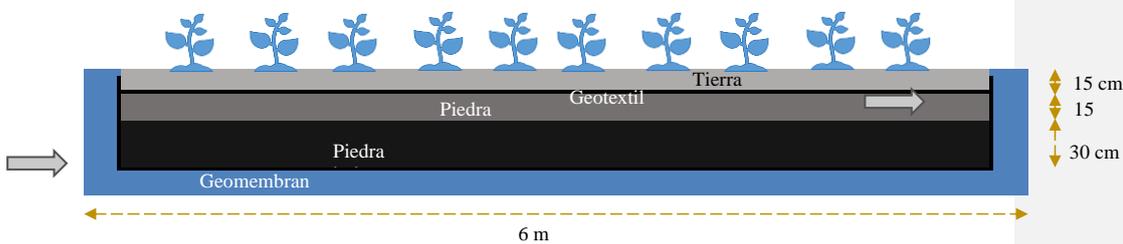
La combinación de la acuaponía y los humedales artificiales es una práctica sostenible y eficiente que utiliza agua residual para la producción de alimentos mientras purifica el agua para su reutilización o descarga segura. Esta combinación también ayuda a reducir la cantidad de agua dulce utilizada en la producción de alimentos y disminuye la contaminación del agua en el medio ambiente.

Debido al uso, se le denominará “humedal hidropónico” a la estructura que se utilizará en el manejo y aprovechamiento del agua. En este caso, es recomendable un humedal hidropónico de 6m de largo, 1.5m de ancho y 0.6m de profundidad.



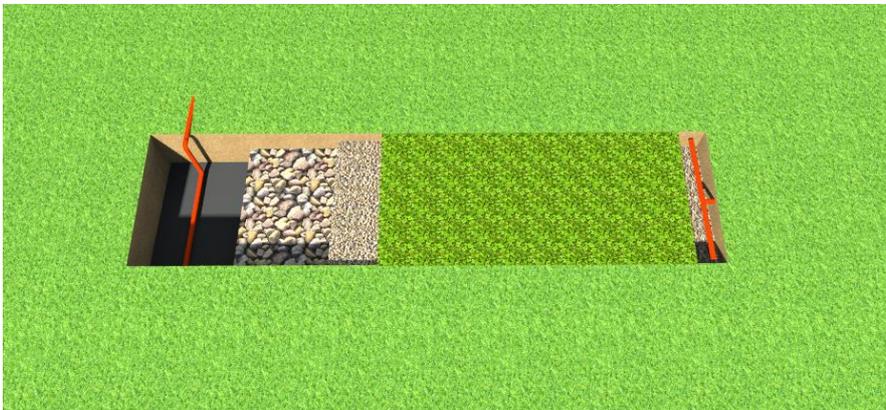
**Figura 3.** Sistema de humedales hidropónicos en serie

Para su adecuado funcionamiento, el agua ingresará al humedal hidropónico por medio de una tubería perforada en la parte inferior y saldrá por una tubería en la parte superior debajo de la capa de geotextil. El humedal tendrá capas de geomembrana en la parte más baja, luego piedra gruesa, piedra más fina, un geotextil y tierra en la parte superficial. Esta estructura permite el cultivo de diversos tipos de plantas, pero en términos generales, se recomiendan plantas pequeñas porque el crecimiento excesivo de raíces puede alterar la estructura, romper el geotextil u obstruir el paso del agua.



**Figura 4.** Dimensiones y capas del humedal hidropónico

Es muy importante que la geomembrana se coloque correctamente para que el agua no se infiltre y contamine el suelo.



**Figura 5.** Detalle del ingreso y salida del humedal hidropónico.

Monitoreo de la calidad del agua:

Realice pruebas regulares para medir los niveles de pH, amoníaco, nitritos y nitratos en el agua. Ajuste el pH según las necesidades de las tilapias y las plantas, manteniéndolo dentro de los rangos óptimos.

Asegúrese de que los niveles de amoníaco y nitritos sean bajos, ya que estos pueden ser tóxicos para los peces.

Asegúrese de que el agua esté bien oxigenada para el bienestar de los peces y el funcionamiento eficiente del sistema.

Gestión de enfermedades y plagas:

Monitoree la salud de las tilapias y las plantas de cerca para detectar signos de enfermedades o plagas.

Si es necesario, implemente medidas preventivas o de tratamiento, preferiblemente utilizando métodos naturales y seguros.

Mantenimiento General

Mantenga registros detallados de todas las actividades de operación y mantenimiento, incluyendo pruebas de calidad del agua, alimentación de peces, podas de plantas y limpieza general.

Establezca un programa regular de mantenimiento preventivo para todos los componentes del sistema, incluyendo, tuberías y tanques.

Asegúrese de que el personal encargado esté capacitado adecuadamente en la operación y el mantenimiento del sistema.

Huella de carbono

Importancia de una baja huella de carbono

Una baja huella de carbono en la acuicultura es cada vez más importante. Reducir la huella de carbono en la acuicultura significa disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se producen durante la producción de alimentos para los peces, el transporte de insumos y productos y el uso de energía en los sistemas de producción.

A continuación, se presentan algunas razones por las que la baja huella de carbono es importante en la acuicultura:

**Sostenibilidad ambiental:** Una baja huella de carbono en la acuicultura puede ayudar a reducir el impacto ambiental negativo en el cambio climático y en el medio ambiente. Al disminuir las emisiones de GEI, se reduce el efecto invernadero y se contribuye a la conservación de los recursos naturales.

**Economía:** La reducción de la huella de carbono puede ayudar a reducir los costos de producción y mejorar la rentabilidad de las operaciones acuícolas. Al implementar prácticas sostenibles y eficientes, se pueden ahorrar costos en energía, insumos y transporte, entre otros.

**Imagen de marca:** Una baja huella de carbono puede mejorar la imagen de la empresa y su reputación. Las empresas que implementan prácticas sostenibles y responsables son valoradas por los consumidores y pueden tener una ventaja competitiva en el mercado.

**Regulaciones:** Cada vez existen más regulaciones y políticas ambientales que obligan a las empresas a reducir su huella de carbono. Las empresas que no cumplan con estas regulaciones pueden enfrentar multas y sanciones, lo que afectaría su rentabilidad y su reputación.

Para reducir la huella de carbono en la acuicultura, se pueden implementar diversas prácticas, como la utilización de energías renovables, la optimización del uso de agua y la reducción del uso de insumos, o la sustitución de insumos por otros con menores huellas. Además, también se puede fomentar la producción local y el transporte sostenible para reducir las emisiones de GEI asociadas al transporte.

#### Pasos para la estimación de huellas de carbono

La estimación de la huella de carbono de una actividad de acuicultura a pequeña escala requiere de la medición y cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con la producción y operación del sistema acuícola. Los pasos necesarios para estimar la huella de carbono de una actividad de acuicultura a pequeña escala son los siguientes:

**Identificar los alcances de la huella de carbono:** La huella de carbono se puede dividir en tres alcances: el alcance 1, que son las emisiones directas de GEI generadas por el cultivo de peces (por ejemplo, emisiones de CO<sub>2</sub> y metano producidas por la respiración de los peces); el alcance 2, que son las emisiones indirectas de GEI generadas por la producción de energía eléctrica utilizada en el sistema acuícola; y el alcance 3, que son las emisiones indirectas de GEI generadas por los insumos utilizados en la producción acuícola, como el alimento para los peces y el transporte.

**Medir las emisiones de GEI:** Se deben medir las emisiones de GEI en cada alcance identificado. Se pueden utilizar diversas herramientas y métodos de medición, como el análisis del ciclo de vida, la contabilidad de carbono y el uso de factores de emisión.

**Establecer un inventario de emisiones:** Se debe establecer un inventario de emisiones de GEI para cada alcance, que contenga información detallada sobre las emisiones generadas en cada etapa de la producción acuícola.

**Calcular la huella de carbono:** Se deben calcular las emisiones de GEI para cada alcance y sumarlas para obtener la huella de carbono total del sistema acuícola. Es importante considerar factores como el peso y la densidad de los peces, la cantidad de alimento utilizado, el tipo de energía eléctrica utilizada, el transporte de insumos y productos, entre otros.

**Identificar oportunidades de mejora:** Con los resultados obtenidos en el cálculo de la huella de carbono, se deben identificar oportunidades de mejora en el sistema acuícola. Por ejemplo, se pueden implementar prácticas más eficientes en el uso de energía, reducir el uso de insumos, fomentar la producción local y el transporte sostenible, entre otras.

La estimación de la huella de carbono en la acuicultura a pequeña escala puede ayudar a identificar áreas de mejora en la producción acuícola, reducir los costos de producción y mejorar la sostenibilidad del sistema acuícola.

#### Determinación de los alcances

Alcance 1: Emisiones directas

Las emisiones directas corresponden a la alimentación de los peces, la generación de lodos y aguas residuales producto del metabolismo del alimento. La respiración de los peces no se contempla por ser de tipo biogénica.

#### Alcance 2: Emisiones indirectas por energía

En la acuicultura a pequeña escala se consume energía para procesos de movimiento del agua principalmente, pero no es este el caso. Cuando la actividad incluye procesos de remoción de escamas y piel, además de fileteado, la energía consumida por las máquinas e iluminación de la planta de proceso también debe considerarse.

#### Alcance 3: Emisiones indirectas

Hay muchas emisiones indirectas relacionadas con la producción y transporte de insumos (alimento, antibióticos), los procesos de limpieza y fileteado, el transporte hasta el punto de uso y la disposición de los residuos asociados.

#### Ciclo de vida

Para este caso particular las fases del ciclo de vida del producto se pueden resumir como se describe a continuación.

#### Crianza

Es el proceso en el cual se colocan alevines en los estanques, se alimentan y desarrollan hasta estar listos para su cosecha. Durante el proceso de crianza se adiciona alimento y se generan residuos en forma de lodos y aguas residuales. Además, las aguas se aprovechan haciéndolas pasar por un sistema de humedales acuapónicos que consumen el nitrógeno, captan CO<sub>2</sub> del aire y producen biomasa vegetal

#### Proceso

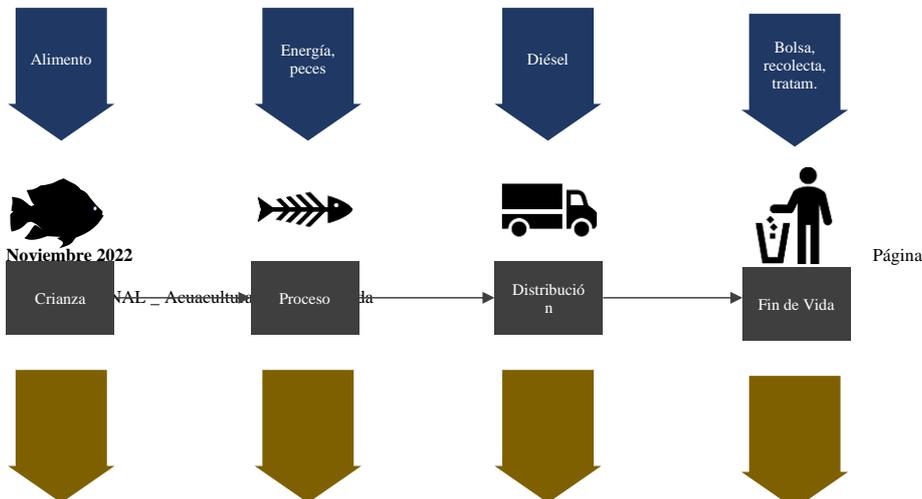
Cuando se cosechan los peces adultos es necesario retirar las vísceras, empacarlos al vacío y congelarlos para su posterior distribución. En el proceso se generan residuos orgánicos y se consume energía.

#### Distribución

El producto se entrega directamente a los clientes de la zona en un solo evento de entrega, involucra el traslado desde las instalaciones de producción hasta la ubicación del cliente, lo que representa unos 25 a 35 kilómetros de recorrido, para lo cual se consume combustible en forma de gasolina.

#### Fin de vida

El consumidor final genera residuos de escamas, esqueleto y carne no consumida, la cual se convierte en residuos que son gestionados generalmente en un relleno sanitario.



**Figura 12.** Representación del ciclo de vida del producto.

Estimación de huellas en las fases del ciclo de vida

La acuicultura es una de las actividades con mayor relación de conversión de alimento en biomasa, siendo un valor usual el de 1.2 kg de alimento por 1 kg de peces. Para este caso particular se utilizaron diversos parámetros para estimar las cantidades de alimento requerido, la producción de residuos, entre otros. Además, se estimó una producción de 100 kg de peces en un periodo de 10 meses, para efectos de contar con valores fácilmente comparables.

Crianza

En la crianza se generan residuos de excretas, las cuales se incorporan al agua residual y aportan DQO. Para determinar la cantidad de DQO que se aporta al agua se estimó que el 20% del peso final se convierte en excretas, siendo la mayor sobreestimación el asumir que el 20% del alimento se convierte en excretas, pero eso obviaría el hecho de que los animales exhalan CO<sub>2</sub> durante toda su vida, con lo que se pierde masa. Por lo tanto, se consideró que utilizar un valor de 20% con respecto a la biomasa era adecuado.

Las excretas aportan DQO al agua residual, y es usual que el valor de DQO de las excretas animales oscile entre 1.2 – 1.8 kgDQO/kg de excreta. En este caso se usó un valor intermedio de 1.5 kg de DQO por cada kilogramo de excreta. En vista de que se generan 20 kg de excretas, se estimaron 30 kg de DQO a partir de las excretas que se incorporan al agua. Esta DQO será tratada en el humedal acuapónico de forma aerobia mayoritariamente, y para efectos de cálculo de huella, se consideró equivalente a verter directamente a un río.

Con respecto al humedal acuapónico, el nitrógeno contenido en las excretas será capturado por las plantas para su crecimiento. Suponiendo que la eficiencia de remoción de nitrógeno del humedal acuapónico es de un 90%, que es lo usual en ese tipo de sistemas, en consecuencia, idealmente, el 90% del nitrógeno será capturado por las plantas que se cultiven.

Por otro lado, la cantidad de nitrógeno en excretas depende del tipo de alimentación, va de aproximadamente 15 kg/ton en herbívoros a 35 kg/ton en animales que se alimentan principalmente de otros animales. Para este caso se utilizará un valor de 25 kg/ton de nitrógeno a fin de utilizar un valor conservador y siendo muy difícil la estimación directa debido a que en la acuicultura las excretas se disuelven en el agua.

Para 20 kg de excretas se estima que contienen 0.5 kg de nitrógeno. A su vez, utilizando el cultivo de lechuga como modelo, se estima que la cantidad de nitrógeno de una lechuga es de 0,6% a 0.8% de su peso seco y el peso seco puede ser de unos 100 gramos considerando la parte aérea y raíces. Según lo anterior, una lechuga puede contener 0.7 g de nitrógeno en promedio, y si se cuenta con 0.5 kg de nitrógeno disponible en las excretas, podrían producirse 712 lechugas.

A fin de estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> que podría capturar el humedal hidropónico se utilizó una estimación de la literatura de la cantidad de CO<sub>2</sub> que captura una lechuga, lo cual corresponde a 130 gramos.

De acuerdo con lo expuesto antes, utilizando como modelo el cultivo de lechuga, el humedal acuapónico puede soportar 712 lechugas con una captura total de 91.85 kg de CO<sub>2</sub>.

Adicionalmente, se estima que 1 kg de microalgas captura al menos 1.2 kg de CO<sub>2</sub>; por lo que se estimó la captura asumiendo una sustitución de un 20% del alimento por microalgas.

Para la cuantificación de la cantidad de CO<sub>2</sub>eq, se utilizaron los factores de emisión del IMN.

**Cuadro 3.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto de la crianza

ELEMENTO GENERADOR DE HUELLA	DE Tipo	Cantidad	Disposición	CO <sub>2</sub> e q	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	Total kgCO <sub>2</sub> eq
Energía	Electricidad (KWh)	0	-	0	0	0	0.00
Crecimiento de plantas	Lechugas (und)	24	-	-1.2	0	0	-28.80
Captura de microalgas	Masa microalga (kg)	712		-0.129	0	0	-91.85
Aguas residuales (Efluente estanques)	de DQO (kg)	30	Descarga directa a río	0	0.75	0	15.75
<b>TOTAL</b>							<b>-104.9</b>

#### Proceso

Las actividades de proceso involucran la extracción de vísceras, el empaque al vacío y el congelamiento. Durante las actividades se generan aguas residuales y residuos sólidos. En el caso de los sólidos, se estimó que se genera un 18% de vísceras con respecto al peso total de la producción. En cuanto a las aguas residuales, se generan en el lavado de las áreas de trabajo, y pueden ser 0.4 m<sup>3</sup> con una DQO de 1800 mg/L según extrapolación de datos bibliográficos. En el caso de las aguas residuales, se consideró la misma categoría para el factor de emisión, que corresponde a descarga directa a río.

El consumo de electricidad se obtuvo a partir de datos reales del consumo en sitio para el procesamiento de 100 kg de carne, su empaque al vacío y su almacenamiento congelado.

**Cuadro 4.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto del proceso de desviscerado, empaque y almacenamiento.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

ELEMENTO GENERADOR DE HUELLA	Tipo	Cantidad	Disposición	CO2e	CH4	NO2	Total CO2eq
Energía	Electricidad (KWh)	8.0	-	0.292	0	0	0.29
Residuos sólidos	Orgánicos (kg)	18	Compost	0	0.072	0.0054	3.12
Aguas residuales	DQO (kg)	0.585	Descarga directa a río	0	0.014625	0	0.31
<b>TOTAL</b>							<b>3.72</b>

#### Distribución

Los clientes para la producción se encuentran en los alrededores del sitio de producción, por lo que se realizará un traslado de un máximo de 30 km para la entrega del lote de producción. Se estimó un consumo de 3 litros de gasolina.

**Cuadro 5.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto del transporte.

ELEMENTO GENERADOR DE HUELLA	Tipo	Cantidad	Disposición	CO2eq	CH4	NO2	Total CO2eq
Energía	Gasolina (L)	3	-	6.693	0.002721	0.000849	7.00
<b>TOTAL</b>							<b>7.00</b>

#### Fin de vida

Una vez consumido el producto, el cliente generará residuos del esqueleto del pez, escamas y lo no consumido. Se estimó que la cantidad de residuos puede ser hasta de un 20% del total del producto, considerando que hay poco desperdicio y que básicamente se generan residuos de esqueleto, escamas y cabeza.

Dado que el consumidor se encuentra en una zona urbana, se asumirá que el 100% de los residuos se disponen en relleno sanitario. En el caso de que el producto se comercialice en zona rural, debería considerarse que una parte puede ser utilizada para alimentar animales o utilizada como fuente de nitrógeno en procesos de compostaje.

**Cuadro 6.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto de la disposición final por parte del consumidor.

ELEMENTO GENERADOR DE HUELLA	Tipo	Cantidad	Disposición	CO2e	CH4	NO2	Total CO2eq
Residuos sólidos	Orgánicos (kg)	20	Relleno	0	1.162	0	24.40
<b>TOTAL</b>							<b>24.40</b>

#### Huella total

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Para los alcances definidos según el ciclo de vida que va desde la producción hasta la disposición de los residuos por parte del consumidor, la huella se estimó en **-69.77 kg de CO<sub>2</sub>eq**, lo que implica una huella **de -0.7 kgCO<sub>2</sub>eq/kg de carne**.

Cabe destacar que hay una captura importante de CO<sub>2</sub> en la crianza debido al cultivo de plantas en el humedal acuapónico. Además, según MacLeod *et al* (2021), se estima que la cantidad de CO<sub>2</sub> relacionado con la producción de tilapia en América Latina es de 3 kg de CO<sub>2</sub>eq/kg de carne, lo que implica que, este modelo, en donde la huella es de -0.7 kgCO<sub>2</sub>eq/kg de carne, es muy recomendable para una producción sostenible de alimentos.



# Acuacultura descarbonizada

## Caso Puntarenas



Laboratorio  
de Microalgas



TEC | Tecnológico  
de Costa Rica

Noviembre 2022  
93 de 144  
INFORME FINAL \_ Acuacultura Descarbonizada

Página

## Descripción de los procesos

La producción sostenible de alimentos es uno de los desafíos más importantes que enfrenta la humanidad en la actualidad. Con la creciente población mundial y la necesidad de preservar los recursos naturales, es esencial encontrar métodos de producción que sean eficientes y respetuosos con el medio ambiente. La combinación de técnicas como la cosecha de agua de lluvia, la recirculación del agua y la acuaponía ofrece una solución prometedora para la cría de tilapias. Además, la recirculación del agua y la remoción de contaminantes reducen el riesgo de contaminación del agua circundante. Desde el punto de vista económico, la acuaponía puede ser rentable al integrar la producción de peces y plantas, diversificando las fuentes de ingresos y optimizando el uso de recursos.



**Figura 1.** Representación global del proceso. (1) Captación de agua de lluvia. (2) Almacenamiento. (3) Tanquetas de cultivo. (4) Humedal acuapónico. (5) Tanque de bombeo para recirculación.

## Cosecha de Agua de Lluvia

La cosecha de agua de lluvia implica la captura y almacenamiento del agua que cae durante las precipitaciones para su uso posterior. Esta técnica presenta ventajas significativas en la acuicultura, ya que reduce la dependencia de fuentes de agua tradicionales, como ríos y pozos, que a menudo están sujetas a la sobreexplotación. La recolección y almacenamiento adecuados del agua de lluvia permiten mantener un suministro constante para el sistema de acuaponía, minimizando la presión sobre los recursos hídricos locales.

## Recirculación del Agua

La recirculación del agua es una práctica clave en la acuaponía. En lugar de desechar el agua utilizada en los tanques de cría de tilapias, se recoge, trata y devuelve al sistema. Esto no solo conserva el agua, sino que también mantiene un entorno controlado y estable para los peces. Los sistemas de recirculación pueden emplear filtros mecánicos y biológicos para eliminar los residuos, microorganismos y los productos químicos nocivos, manteniendo así la calidad del agua en niveles óptimos para el crecimiento de las tilapias.

## Acuaponía

La acuaponía es una forma de agricultura acuática que combina la cría de peces, como las tilapias, con el cultivo de plantas en un sistema interconectado. El agua rica en nutrientes proveniente de los tanques de peces se utiliza para regar y fertilizar las plantas, mientras que las raíces de las plantas actúan como un filtro biológico, purificando el agua antes de que regrese a los tanques de peces. Este sistema simbiótico crea un ciclo cerrado que aprovecha los recursos de manera eficiente y minimiza los residuos.

#### Remoción de Contaminantes del Agua

La acuaponía no solo proporciona una forma de recircular el agua, sino que también contribuye a la eliminación de contaminantes. Los desechos de los peces, como el amoníaco, son convertidos por bacterias beneficiosas en formas menos tóxicas de nitrógeno que las plantas pueden absorber como nutrientes. A su vez, las plantas utilizan estos nutrientes para su crecimiento, actuando como un sistema de filtración natural que mejora la calidad del agua. Este proceso reduce la necesidad de productos químicos y promueve un entorno saludable tanto para los peces como para las plantas.

#### Operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento adecuados de un sistema de captación de lluvia para la producción de tilapia y su posterior reutilización en un sistema de acuaponía son fundamentales para garantizar un rendimiento óptimo y sostenible. Este sistema integrado puede proporcionar una fuente de alimentos y plantas de manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente. A continuación, se presentan las pautas esenciales para operar y mantener este sistema de manera efectiva.

#### Operación del sistema de captación de lluvia

##### Monitoreo de la precipitación:

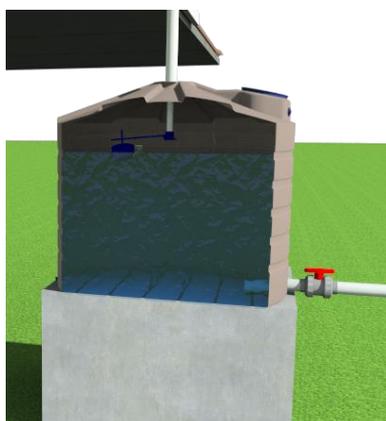
Mantenga un registro de las precipitaciones locales para estimar la cantidad de agua que se captura. Esto le ayudará a determinar cuándo puede depender principalmente del agua de lluvia y cuándo necesita complementarla con otras fuentes.

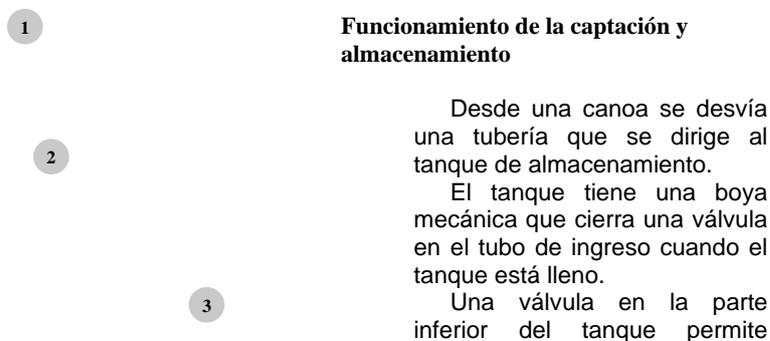
##### Almacenamiento de agua de lluvia:

Asegúrese de que el sistema de recolección de agua de lluvia esté limpio y libre de obstrucciones.

Verifique regularmente la integridad de los tanques de almacenamiento para detectar fugas o daños.

Mantenga las superficies de recolección, como techos y canaletas, limpias para evitar la contaminación del agua.





**Figura 2.** Control de llenado del tanque con agua de lluvia

#### Operación del Sistema de Acuaponía

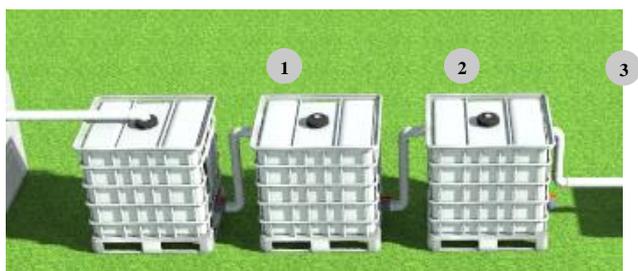
##### Gestión de la alimentación de tilapias:

Proporcione una dieta equilibrada y controle la cantidad de alimento para evitar el exceso de desechos. Aliméntelos de acuerdo con su etapa de crecimiento.

Monitoree el número de tilapias en los tanques para evitar el hacinamiento. Mantenga registros de la cantidad y el tamaño de los peces.

Esté atento a signos de enfermedades en los peces. Mantenga un sistema de cuarentena para los peces nuevos y trate cualquier enfermedad de manera oportuna.

Limpie regularmente los tanques de peces y retire los desechos acumulados por medio de las válvulas inferiores de cada una de las tanquetas.



**Figura 3.** Organización de las tanquetas por etapa de desarrollo. En la tanqueta 1 se mantienen los peces de menor tamaño y los más grandes en la tanqueta 3.

##### Filtración y tratamiento:

El agua que se recircula debe estar filtrada. para eliminar contaminantes superficiales y sedimentos antes de que el agua ingrese al sistema de cría de tilapia. Si es necesario, considere el tratamiento del agua de lluvia con desinfectantes seguros para garantizar la salud de los peces.

La filtración se realiza por medio del sistema de humedal acuapónico, el cual tiene unas capas de piedra y arena que permiten la eliminación de los contaminantes del agua.



#### Capas del humedal

1. Piedra grande (5-10 cm de diámetro)
2. Piedra cuarta (2.5 – 5 cm de diámetro)
3. Arena

**Figura 4.** Capas del sistema de humedal acuapónico

Monitoreo de la calidad del agua:

Realice pruebas regulares para medir los niveles de pH, amoníaco, nitritos y nitratos en el agua. Ajuste el pH según las necesidades de las tilapias y las plantas, manteniéndolo dentro de los rangos óptimos.

Asegúrese de que los niveles de amoníaco y nitritos sean bajos, ya que estos pueden ser tóxicos para los peces.

Asegúrese de que el agua esté bien oxigenada para el bienestar de los peces y el funcionamiento eficiente del sistema.

Mantenimiento del sistema de acuaponía:

Inspeccione y limpie los sistemas de filtración biológica y mecánica para mantener la calidad del agua.

Revise las raíces de las plantas para asegurarse de que estén saludables y sin obstrucciones.

Gestión de enfermedades y plagas:

Monitoree la salud de las tilapias y las plantas de cerca para detectar signos de enfermedades o plagas.

Si es necesario, implemente medidas preventivas o de tratamiento, preferiblemente utilizando métodos naturales y seguros.

#### Recirculación del Agua

Inspeccione y limpie regularmente los filtros mecánicos y biológicos para mantener la calidad del agua. Siga las pautas del fabricante para el mantenimiento.

Asegúrese de que el agua esté bien oxigenada para el bienestar de los peces y el funcionamiento eficiente del sistema.

#### Mantenimiento General

Mantenga registros detallados de todas las actividades de operación y mantenimiento, incluyendo pruebas de calidad del agua, alimentación de peces, podas de plantas y limpieza de equipos.

Establezca un programa regular de mantenimiento preventivo para todos los componentes del sistema, incluyendo bombas, tuberías y tanques.

Asegúrese de que el personal encargado esté capacitado adecuadamente en la operación y el mantenimiento del sistema.

#### Huella de carbono

##### Importancia de una baja huella de carbono

Una baja huella de carbono en la acuicultura es cada vez más importante. Reducir la huella de carbono en la acuicultura significa disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se producen durante la producción de alimentos para los peces, el transporte de insumos y productos y el uso de energía en los sistemas de producción.

A continuación, se presentan algunas razones por las que la baja huella de carbono es importante en la acuicultura:

**Sostenibilidad ambiental:** Una baja huella de carbono en la acuicultura puede ayudar a reducir el impacto ambiental negativo en el cambio climático y en el medio ambiente. Al disminuir las emisiones de GEI, se reduce el efecto invernadero y se contribuye a la conservación de los recursos naturales.

**Economía:** La reducción de la huella de carbono puede ayudar a reducir los costos de producción y mejorar la rentabilidad de las operaciones acuícolas. Al implementar prácticas sostenibles y eficientes, se pueden ahorrar costos en energía, insumos y transporte, entre otros.

**Imagen de marca:** Una baja huella de carbono puede mejorar la imagen de la empresa y su reputación. Las empresas que implementan prácticas sostenibles y responsables son valoradas por los consumidores y pueden tener una ventaja competitiva en el mercado.

**Regulaciones:** Cada vez existen más regulaciones y políticas ambientales que obligan a las empresas a reducir su huella de carbono. Las empresas que no cumplan con estas regulaciones pueden enfrentar multas y sanciones, lo que afectaría su rentabilidad y su reputación.

Para reducir la huella de carbono en la acuicultura, se pueden implementar diversas prácticas, como la utilización de energías renovables, la optimización del uso de agua y la reducción del uso de insumos, o la sustitución de insumos por otros con menores huellas. Además, también se puede fomentar la producción local y el transporte sostenible para reducir las emisiones de GEI asociadas al transporte.

#### Pasos para la estimación de huellas de carbono

La estimación de la huella de carbono de una actividad de acuicultura a pequeña escala requiere de la medición y cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con la producción y operación del sistema acuícola. Los pasos necesarios para estimar la huella de carbono de una actividad de acuicultura a pequeña escala son los siguientes:

**Identificar los alcances de la huella de carbono:** La huella de carbono se puede dividir en tres alcances: el alcance 1, que son las emisiones directas de GEI generadas por el cultivo de peces (por ejemplo, emisiones de CO<sub>2</sub> y metano producidas por la respiración de los peces); el alcance 2, que son las emisiones indirectas de GEI generadas por la producción de energía eléctrica utilizada en el sistema acuícola; y el alcance 3, que son las emisiones indirectas de GEI generadas por los insumos utilizados en la producción acuícola, como el alimento para los peces y el transporte.

**Medir las emisiones de GEI:** Se deben medir las emisiones de GEI en cada alcance identificado. Se pueden utilizar diversas herramientas y métodos de medición, como el análisis del ciclo de vida, la contabilidad de carbono y el uso de factores de emisión.

**Establecer un inventario de emisiones:** Se debe establecer un inventario de emisiones de GEI para cada alcance, que contenga información detallada sobre las emisiones generadas en cada etapa de la producción acuícola.

**Calcular la huella de carbono:** Se deben calcular las emisiones de GEI para cada alcance y sumarlas para obtener la huella de carbono total del sistema acuícola. Es importante considerar factores como el peso y la densidad de los peces, la cantidad de alimento utilizado, el tipo de energía eléctrica utilizada, el transporte de insumos y productos, entre otros.

**Identificar oportunidades de mejora:** Con los resultados obtenidos en el cálculo de la huella de carbono, se deben identificar oportunidades de mejora en el sistema acuícola. Por ejemplo, se pueden implementar prácticas más eficientes en el uso de energía, reducir el uso de insumos, fomentar la producción local y el transporte sostenible, entre otras.

La estimación de la huella de carbono en la acuicultura a pequeña escala puede ayudar a identificar áreas de mejora en la producción acuícola, reducir los costos de producción y mejorar la sostenibilidad del sistema acuícola.

#### Determinación de los alcances

##### Alcance 1: Emisiones directas

Las emisiones directas corresponden a la alimentación de los peces, la generación de lodos y aguas residuales producto del metabolismo del alimento. La respiración de los peces no se contempla por ser de tipo biogénica.

##### Alcance 2: Emisiones indirectas por energía

En la acuicultura a pequeña escala se consume energía para procesos de movimiento del agua principalmente. Cuando la actividad incluye procesos de remoción de escamas y piel, además de fileteado, la energía consumida por las máquinas e iluminación de la planta de proceso también debe considerarse.

### Alcance 3: Emisiones indirectas

Hay muchas emisiones indirectas relacionadas con la producción y transporte de insumos (alimento, antibióticos), los procesos de limpieza y fileteado, el transporte hasta el punto de uso y la disposición de los residuos asociados.

### Ciclo de vida

Para este caso particular las fases del ciclo de vida del producto se pueden resumir como se describe a continuación.

### Crianza

Es el proceso en el cual se colocan alevines en los estanques, se alimentan y desarrollan hasta estar listos para su cosecha. Para que los estanques funcionen adecuadamente también debe almacenarse el agua de lluvia y mantener recirculación del agua para su adecuada oxigenación.

Durante el proceso de crianza se adiciona alimento y se generan residuos en forma de lodos y aguas residuales. Además, las aguas se recirculan y reutilizan haciéndolas pasar por un sistema de humedales acuapónicos que consumen el nitrógeno, captan CO<sub>2</sub> del aire y producen biomasa vegetal

### Proceso

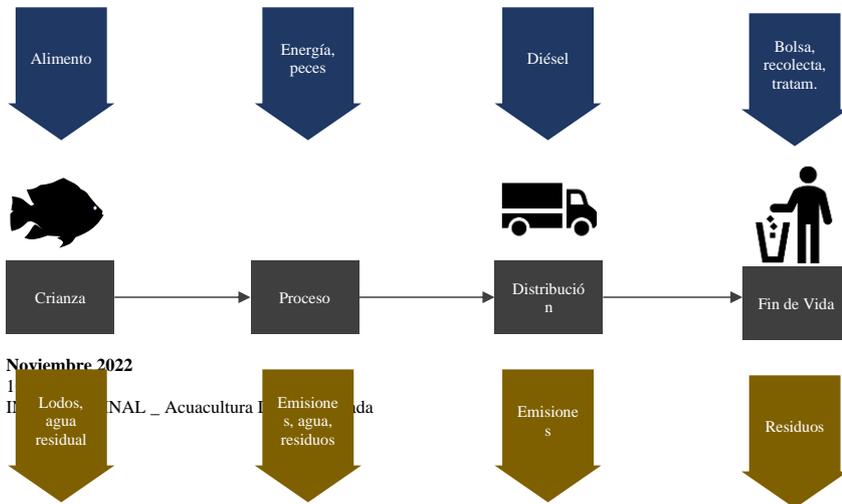
Cuando se cosechan los peces adultos es necesario retirar las vísceras, empacarlos al vacío y congelarlos para su posterior distribución. En el proceso se generan residuos orgánicos y se consume energía.

### Distribución

El producto se entrega directamente a los clientes de la zona en un solo evento de entrega, involucra el traslado desde las instalaciones de producción hasta la ubicación del cliente, lo que representa tan solo unos 5 kilómetros de recorrido, para lo cual se consume combustible en forma de gasolina.

### Fin de vida

El consumidor final genera residuos de escamas, esqueleto y carne no consumida, la cual se convierte en residuos que son gestionados generalmente en un relleno sanitario.



**Figura 12.** Representación del ciclo de vida del producto.

**Estimación de huellas en las fases del ciclo de vida**

La acuicultura es una de las actividades con mayor relación de conversión de alimento en biomasa, siendo un valor usual el de 1.2 kg de alimento por 1 kg de peces. Para este caso particular se utilizaron diversos parámetros para estimar las cantidades de alimento requerido, la producción de residuos, entre otros. Además, se estimó una producción de 25 kg de peces en un periodo de 10 meses.

**Crianza**

En la crianza se generan residuos de excretas, las cuales se incorporan al agua residual y aportan DQO. Para determinar la cantidad de DQO que se aporta al agua se estimó que el 20% del peso final se convierte en excretas, siendo la mayor sobreestimación el asumir que el 20% del alimento se convierte en excretas, pero eso obviaría el hecho de que los animales exhalan CO<sub>2</sub> durante toda su vida, con lo que se pierde masa. Por lo tanto, se consideró que utilizar un valor de 20% con respecto a la biomasa era adecuado.

Las excretas aportan DQO al agua residual, y es usual que el valor de DQO de las excretas animales oscile entre 1.2 – 1.8 kgDQO/kg de excreta. En este caso se usó un valor intermedio de 1.5 kg de DQO por cada kilogramo de excreta. En vista de que se generan 5 kg de excretas, se estimaron 7.5 kg de DQO a partir de las excretas que se incorporan al agua. Esta DQO será tratada en el humedal acuapónico de forma aerobia mayoritariamente, y para efectos de cálculo de huella, se consideró equivalente a verter directamente a un río.

Con respecto al humedal acuapónico, el nitrógeno contenido en las excretas será capturado por las plantas para su crecimiento. Suponiendo que la eficiencia de remoción de nitrógeno del humedal acuapónico es de un 90%, que es lo usual en ese tipo de sistemas, en consecuencia, idealmente, el 90% del nitrógeno será capturado por las plantas que se cultiven.

Por otro lado, la cantidad de nitrógeno en excretas depende del tipo de alimentación, va de aproximadamente 15 kg/ton en herbívoros a 35 kg/ton en animales que se alimentan principalmente de otros animales. Para este caso se utilizará un valor de 25 kg/ton de nitrógeno a fin de utilizar un valor conservador y siendo muy difícil la estimación directa debido a que en la acuicultura las excretas se disuelven en el agua.

Para 5 kg de excretas se estima que contienen 0.125 kg de nitrógeno. A su vez, utilizando el cultivo de lechuga como modelo, se estima que la cantidad de nitrógeno de una lechuga es de 0,6% a 0.8% de su peso seco y el peso seco puede ser de unos 100 gramos considerando la parte aérea y raíces. Según lo anterior, una lechuga puede contener 0.7 g de nitrógeno en promedio, y si se cuenta con 0.125 kg de nitrógeno disponible en las excretas, podrían producirse 178 lechugas.

A fin de estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> que podría capturar el humedal hidropónico se utilizó una estimación de la literatura de la cantidad de CO<sub>2</sub> que captura una lechuga, lo cual corresponde a 130 gramos.

De acuerdo con lo expuesto antes, utilizando como modelo el cultivo de lechuga, el humedal acuapónico puede soportar 178 lechugas con una captura total de 23 kg de CO<sub>2</sub>.

Como emisiones indirectas, durante el cultivo se requiere del bombeo de agua para el recambio diario de un 500% del volumen. Eso implica un flujo de 10 litros/minuto y una bomba de 0.5 HP genera un caudal de 100 litros/minuto; por lo tanto, la bomba encenderá el 10% del tiempo. En consecuencia, se estimó que diariamente se encenderá una bomba de 0.5 kWh por 2.4 horas. Si cada ciclo de crecimiento demora 10 meses, se contabilizarán 720 horas de trabajo con un consumo total de 360 kWh.

Adicionalmente, se estima que 1 kg de microalgas captura al menos 1.2 kg de CO<sub>2</sub>; por lo que se estimó la captura asumiendo una sustitución de un 20% del alimento por microalgas.

Para la cuantificación de la cantidad de CO<sub>2</sub>eq, se utilizaron los factores de emisión del IMN.

**Cuadro 3.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto de la crianza

ELEMENTO GENERADOR HUELLA	DE Tipo	Cantidad	Disposición	CO <sub>2</sub> e q	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	Total kgCO <sub>2</sub> eq
Energía	Electricidad (KWh)	360	-	13.14	0	0	13.14
Crecimiento de plantas	Lechugas (und)	571	-	-1.2	0	0	-7.20
Captura de microalgas	Masa microalga (kg)	6		-0.129	0	0	-22.96
Aguas residuales (Efluente estanques)	de DQO (kg)	24	Descarga directa a río	0	0.18 75	0	3.94
<b>TOTAL</b>							<b>-13.8</b>

#### Proceso

Las actividades de proceso involucran la extracción de vísceras, el empaque al vacío y el congelamiento. Durante las actividades se generan aguas residuales y residuos sólidos. En el caso de los sólidos, se estimó que se genera un 18% de vísceras con respecto al peso total de la producción. En cuanto a las aguas residuales, se generan en el lavado de las áreas de trabajo, y pueden ser 0.4 m<sup>3</sup> con una DQO de 1800 mg/L según extrapolación de datos bibliográficos. En el caso de las aguas residuales, se consideró la misma categoría para el factor de emisión, que corresponde a descarga directa a río.

El consumo de electricidad se obtuvo a partir de datos reales del consumo en sitio para el procesamiento de 25 kg de carne, su empaque al vacío y su almacenamiento congelado.

**Cuadro 4.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto del proceso de desviscerado, empaque y almacenamiento.

ELEMENTO GENERADOR HUELLA	DE Tipo	Cantidad	Disposición	CO <sub>2</sub> e q	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	Total CO <sub>2</sub> eq
---------------------------	---------	----------	-------------	---------------------	-----------------	-----------------	--------------------------

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Energía	Electricidad (KWh)	8.0	-	0.292	0	0	0.29
Residuos sólidos	Orgánicos (kg)	4.5	Compost	0	0.018	0.00135	0.78
Aguas residuales	DQO (kg)	0.14625	Descarga directa a río	0	0.0036	0	0.08
<b>TOTAL</b>							<b>1.15</b>

#### Distribución

Los clientes para la producción se encuentran en los alrededores del sitio de producción, por lo que se realizará un traslado de un máximo de 5 km para la entrega del lote de producción. Se estimó un consumo de 0.4 litros de gasolina.

**Cuadro 5.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto del transporte.

ELEMENTO GENERADOR DE HUELLA	Tipo	Cantidad	Disposición	CO <sub>2</sub> eq	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	Total CO <sub>2</sub> eq
Energía	Gasolina (L)	0.4	-	0.8924	8	2	0.93
<b>TOTAL</b>							<b>0.93</b>

#### Fin de vida

Una vez consumido el producto, el cliente generará residuos del esqueleto del pez, escamas y lo no consumido. Se estimó que la cantidad de residuos puede ser hasta de un 20% del total del producto, considerando que hay poco desperdicio y que básicamente se generan residuos de esqueleto, escamas y cabeza.

Dado que el consumidor se encuentra en una zona urbana, se asumirá que el 100% de los residuos se disponen en relleno sanitario. En el caso de que el producto se comercialice en zona rural, debería considerarse que una parte puede ser utilizada para alimentar animales o utilizada como fuente de nitrógeno en procesos de compostaje.

**Cuadro 6.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto de la disposición final por parte del consumidor.

ELEMENTO GENERADOR DE HUELLA	Tipo	Cantidad	Disposición	CO <sub>2</sub> e	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	Total CO <sub>2</sub> eq
Residuos sólidos	Orgánicos (kg)	16	Relleno	0	5	0	6.10
<b>TOTAL</b>							<b>6.1</b>

#### Huella total

Para los alcances definidos según el ciclo de vida que va desde la producción hasta la disposición de los residuos por parte del consumidor, la huella se estimó en **-4.90 kg de CO<sub>2</sub>eq**, siendo el 98% producto del transporte.

Cabe destacar que hay una captura importante de CO<sub>2</sub> en la crianza debido al cultivo de plantas en el humedal acuapónico. Además, según MacLeod *et al* (2021), se estima que la cantidad de CO<sub>2</sub> relacionado con la producción de tilapia en América Latina es de 3 kg de CO<sub>2</sub>eq/kg de carne, lo que implica que en este modelo, en donde la huella es de -0.2 kgCO<sub>2</sub>eq/kg de carne, es muy recomendable para una producción sostenible de alimentos.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023



# Acuacultura descarbonizada

## Caso Tres Equis

### Descripción de los procesos

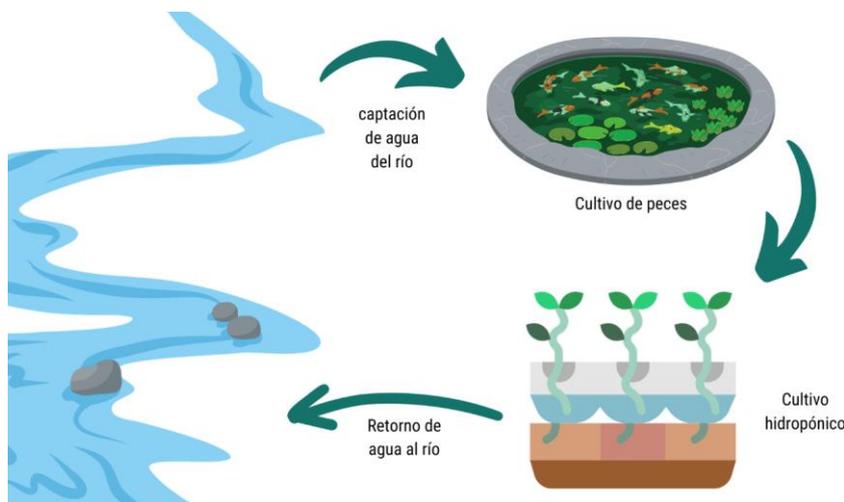
La producción sostenible de alimentos es uno de los desafíos más importantes que enfrenta la humanidad en la actualidad. Con la creciente población mundial y la necesidad de preservar los recursos naturales, es esencial encontrar métodos de producción que sean eficientes y respetuosos con el medio ambiente.

Coopetilaco se conforma alrededor de una actividad productiva que es la cría, reproducción y engorde de tilapia gris y roja, su objetivo es producir y comercializar tilapia a nivel nacional, generando un impacto económico y social positivo en la calidad de vida de los asociados y en sus comunidades.

El proceso de producción se realiza en la actualidad en las fincas Proyecto N1 y Proyecto N2, donde están los estanques de reproducción y engorde.

El grupo cooperativo está conformado por 20 personas, de las cuáles 45% son mujeres y 55% son hombres (11 hombres y 9 mujeres), todos los asociados son costarricenses, algunos ya cuentan con estanques en sus terrenos, próximos a producir y los que actualmente no cuentan con estanques apoyan en el mantenimiento de los estanques de los Proyectos N° 1 y N°2 y tienen mucho interés en producir tilapia. El grupo viene trabajando en conjunto por varios años para resolver necesidades de inversión y productivas relacionadas con la infraestructura, maquinaria, genética y alimentación para la producción de tilapia, toda esta organización y trabajo en equipo ha dado origen a Coopetilaco.

Existe una alta afinidad o complemento entre los miembros, ya que todos los une la misma actividad productiva y la experiencia que con los años han podido acumular. Adicionalmente todos los integrantes son vecinos del Coco de Siquirres o zonas aledañas, la comercialización inicialmente la están realizando en sus comunidades, es decir, actualmente el grupo satisface una necesidad de alimentación que tiene la zona entregando un producto fresco y de alta calidad.



**Figura 1.** Representación global del proceso. (1) Captación de agua del río. (2) Cultivo de peces. (3) Humedal acuapónico. (4) Retorno de agua al río.

#### Captación de agua del río

La captación del agua del río se realiza por medio de una tubería que tiene una longitud de aproximadamente 800 metros. El agua viaja por acción de la gravedad hasta los estanques de cultivo, los cuales están divididos según los diferentes estadios de crecimiento.

#### Cultivo de peces

El cultivo de peces en tierra a través de estanques con geomembrana es una práctica acuícola que implica la creación de estructuras artificiales revestidas con un material impermeable, como la geomembrana, para retener el agua. Estos estanques permiten un control preciso del entorno acuático, incluyendo la calidad del agua, la temperatura y la alimentación de los peces. El proceso comienza llenando el estanque con agua y luego introduciendo los peces en un ambiente controlado. La geomembrana evita la filtración de agua, asegurando un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico. Este método de cultivo en tierra ofrece ventajas como un mayor control sobre las condiciones ambientales, una menor susceptibilidad a enfermedades y la posibilidad de ubicar las instalaciones cerca de centros de consumo, lo que contribuye a una producción más sostenible y eficiente.

#### Acuaponía

La acuaponía es una forma de agricultura acuática que combina la cría de peces, como las tilapias, con el cultivo de plantas en un sistema interconectado. El agua rica en nutrientes proveniente de los tanques de peces se utiliza para regar y fertilizar las plantas, mientras que las raíces de las plantas actúan como un filtro biológico, purificando el agua antes de que regrese a los tanques de peces. Este sistema simbiótico crea un ciclo cerrado que aprovecha los recursos de manera eficiente y minimiza los residuos.

#### Remoción de Contaminantes del Agua

La acuaponía no solo proporciona una forma de recircular el agua, sino que también contribuye a la eliminación de contaminantes. Los desechos de los peces, como el amoníaco, son convertidos por bacterias beneficiosas en formas menos tóxicas de nitrógeno que las plantas pueden absorber como nutrientes. A su vez, las plantas utilizan estos nutrientes para su crecimiento, actuando como un sistema de filtración natural que mejora la calidad del agua. Este proceso reduce la necesidad de productos químicos y promueve un entorno saludable tanto para los peces como para las plantas.

#### Operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento adecuados de un sistema para la producción de tilapia y su posterior reutilización en un sistema de acuaponía son fundamentales para garantizar un rendimiento óptimo y sostenible. Este sistema integrado puede proporcionar una fuente de alimentos y plantas de manera eficiente y respetuosa con el ambiente. A continuación, se presentan las pautas esenciales para operar y mantener este sistema de manera efectiva.

#### Operación del sistema de captación de agua del río

##### Monitoreo de la calidad del agua del río

Mantenga un registro de los niveles del agua del río para estimar la cantidad de agua que se captura. Esto le ayudará a determinar cuándo puede depender principalmente del agua del río y cuándo necesita complementarla con otras fuentes, tal como agua de lluvia.

#### Almacenamiento de agua de lluvia:

Asegúrese de que el sistema de recolección de agua de río esté limpio y libre de obstrucciones.

Verifique regularmente la integridad de los tanques de almacenamiento para detectar fugas o daños.

Mantenga las superficies de recolección, como techos y canaletas, limpias para evitar la contaminación del agua.

#### Operación del Sistema de Acuaponía

##### Gestión de la alimentación de tilapias:

Proporcione una dieta equilibrada y controle la cantidad de alimento para evitar el exceso de desechos. Aliméntelos de acuerdo con su etapa de crecimiento.

Monitoree el número de tilapias en los tanques para evitar el hacinamiento. Mantenga registros de la cantidad y el tamaño de los peces.

Esté atento a signos de enfermedades en los peces. Mantenga un sistema de cuarentena para los peces nuevos y trate cualquier enfermedad de manera oportuna.



**Figura 2.** Estanque utilizado para el cultivo

##### Pretratamiento del agua:

El agua que se utiliza debe estar filtrada, o al menos contar con un estanque para sedimentación, para eliminar contaminantes superficiales y sedimentos antes de que el agua ingrese al sistema de cría de tilapia. Si es necesario, considere el tratamiento del agua con desinfectantes seguros para garantizar la salud de los peces.

La filtración se realiza por medio del sistema de humedal acuapónico, el cual tiene unas capas de piedra y arena que permiten la eliminación de los contaminantes del agua.

##### Humedales acuapónicos

El uso de agua residual para la acuaponía es una práctica sostenible que combina la producción de peces con la producción de cultivos hidropónicos. En este sistema, el agua rica en nutrientes de la producción de peces se utiliza para fertilizar los cultivos hidropónicos, y los cultivos

ayudan a filtrar y purificar el agua para su reutilización en la producción de peces. La acuaponía es una forma eficiente de producción de alimentos que utiliza menos agua y nutrientes que la agricultura convencional y la acuicultura por separado.

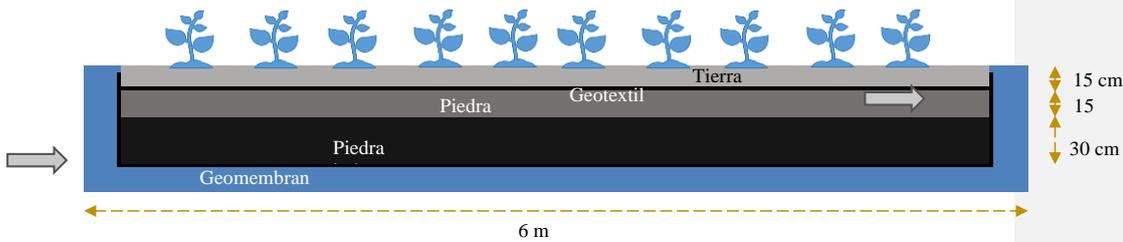
Los humedales artificiales son un método común de tratamiento de agua residual. Los humedales artificiales son sistemas naturales diseñados para imitar los procesos de purificación del agua que se producen en los humedales naturales. El agua residual se dirige a un lecho de sustrato (como grava o arcilla) y se permite que las plantas y los microorganismos en el sustrato purifiquen el agua a medida que fluye a través del sistema. Conforme el agua fluye a través del humedal, los microorganismos descomponen los contaminantes y las plantas absorben los nutrientes. El resultado es agua tratada que puede ser reutilizada o descargada de manera segura en el medio ambiente.

La combinación de la acuaponía y los humedales artificiales es una práctica sostenible y eficiente que utiliza agua residual para la producción de alimentos mientras purifica el agua para su reutilización o descarga segura. Esta combinación también ayuda a reducir la cantidad de agua dulce utilizada en la producción de alimentos y disminuye la contaminación del agua en el medio ambiente.

Debido al uso, se le denominará “humedal hidropónico” a la estructura que se utilizará en el manejo y aprovechamiento del agua. En este caso, habrá dos humedales hidropónicos de 6m de largo, 1.5m de ancho y 0.6m de profundidad.

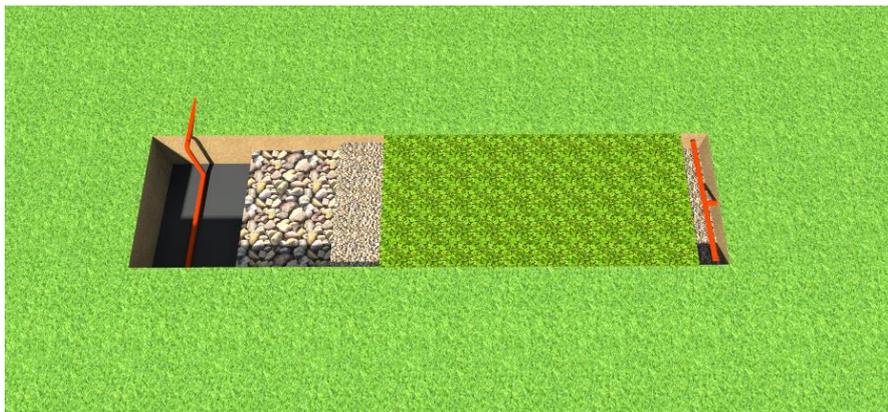
### **Figura 3.** Sistema de humedales hidropónicos en serie

Para su adecuado funcionamiento, el agua ingresará al humedal hidropónico por medio de una tubería perforada en la parte inferior y saldrá por una tubería en la parte superior debajo de la capa de geotextil. El humedal tendrá capas de geomembrana en la parte más baja, luego piedra gruesa, piedra más fina, un geotextil y tierra en la parte superficial. Esta estructura permite el cultivo de diversos tipos de plantas, pero en términos generales, se recomiendan plantas pequeñas porque el crecimiento excesivo de raíces puede alterar la estructura, romper el geotextil u obstruir el paso del agua.



**Figura 4.** Dimensiones y capas del humedal hidropónico

Es muy importante que la geomembrana se coloque correctamente para que el agua no se infiltre y contamine el suelo.



**Figura 5.** Detalle del ingreso y salida de los humedales hidropónicos

Monitoreo de la calidad del agua:

Realice pruebas regulares para medir los niveles de pH, amoníaco, nitritos y nitratos en el agua. Ajuste el pH según las necesidades de las tilapias y las plantas, manteniéndolo dentro de los rangos óptimos.

Asegúrese de que los niveles de amoníaco y nitritos sean bajos, ya que estos pueden ser tóxicos para los peces.

Asegúrese de que el agua esté bien oxigenada para el bienestar de los peces y el funcionamiento eficiente del sistema.

Gestión de enfermedades y plagas:

Monitoree la salud de las tilapias y las plantas de cerca para detectar signos de enfermedades o plagas.

Si es necesario, implemente medidas preventivas o de tratamiento, preferiblemente utilizando métodos naturales y seguros.

#### Mantenimiento General

Mantenga registros detallados de todas las actividades de operación y mantenimiento, incluyendo pruebas de calidad del agua, alimentación de peces, podas de plantas y limpieza general.

Establezca un programa regular de mantenimiento preventivo para todos los componentes del sistema, incluyendo, tuberías y tanques.

Asegúrese de que el personal encargado esté capacitado adecuadamente en la operación y el mantenimiento del sistema.

#### Huella de carbono

##### Importancia de una baja huella de carbono

Una baja huella de carbono en la acuicultura es cada vez más importante. Reducir la huella de carbono en la acuicultura significa disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se producen durante la producción de alimentos para los peces, el transporte de insumos y productos y el uso de energía en los sistemas de producción.

A continuación, se presentan algunas razones por las que la baja huella de carbono es importante en la acuicultura:

**Sostenibilidad ambiental:** Una baja huella de carbono en la acuicultura puede ayudar a reducir el impacto ambiental negativo en el cambio climático y en el medio ambiente. Al disminuir las emisiones de GEI, se reduce el efecto invernadero y se contribuye a la conservación de los recursos naturales.

**Economía:** La reducción de la huella de carbono puede ayudar a reducir los costos de producción y mejorar la rentabilidad de las operaciones acuícolas. Al implementar prácticas sostenibles y eficientes, se pueden ahorrar costos en energía, insumos y transporte, entre otros.

**Imagen de marca:** Una baja huella de carbono puede mejorar la imagen de la empresa y su reputación. Las empresas que implementan prácticas sostenibles y responsables son valoradas por los consumidores y pueden tener una ventaja competitiva en el mercado.

**Regulaciones:** Cada vez existen más regulaciones y políticas ambientales que obligan a las empresas a reducir su huella de carbono. Las empresas que no cumplan con estas regulaciones pueden enfrentar multas y sanciones, lo que afectaría su rentabilidad y su reputación.

Para reducir la huella de carbono en la acuicultura, se pueden implementar diversas prácticas, como la utilización de energías renovables, la optimización del uso de agua y la reducción del uso de insumos, o la sustitución de insumos por otros con menores huellas. Además, también se puede fomentar la producción local y el transporte sostenible para reducir las emisiones de GEI asociadas al transporte.

#### Pasos para la estimación de huellas de carbono

La estimación de la huella de carbono de una actividad de acuicultura a pequeña escala requiere de la medición y cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con la producción y operación del sistema acuícola. Los pasos necesarios para estimar la huella de carbono de una actividad de acuicultura a pequeña escala son los siguientes:

**Identificar los alcances de la huella de carbono:** La huella de carbono se puede dividir en tres alcances: el alcance 1, que son las emisiones directas de GEI generadas por el cultivo de peces (por ejemplo, emisiones de CO<sub>2</sub> y metano producidas por la respiración de los peces); el alcance 2, que son las emisiones indirectas de GEI generadas por la producción de energía eléctrica utilizada en el sistema acuícola; y el alcance 3, que son las emisiones indirectas de GEI generadas por los insumos utilizados en la producción acuícola, como el alimento para los peces y el transporte.

**Medir las emisiones de GEI:** Se deben medir las emisiones de GEI en cada alcance identificado. Se pueden utilizar diversas herramientas y métodos de medición, como el análisis del ciclo de vida, la contabilidad de carbono y el uso de factores de emisión.

**Establecer un inventario de emisiones:** Se debe establecer un inventario de emisiones de GEI para cada alcance, que contenga información detallada sobre las emisiones generadas en cada etapa de la producción acuícola.

**Calcular la huella de carbono:** Se deben calcular las emisiones de GEI para cada alcance y sumarlas para obtener la huella de carbono total del sistema acuícola. Es importante considerar factores como el peso y la densidad de los peces, la cantidad de alimento utilizado, el tipo de energía eléctrica utilizada, el transporte de insumos y productos, entre otros.

**Identificar oportunidades de mejora:** Con los resultados obtenidos en el cálculo de la huella de carbono, se deben identificar oportunidades de mejora en el sistema acuícola. Por ejemplo, se pueden implementar prácticas más eficientes en el uso de energía, reducir el uso de insumos, fomentar la producción local y el transporte sostenible, entre otras.

La estimación de la huella de carbono en la acuicultura a pequeña escala puede ayudar a identificar áreas de mejora en la producción acuícola, reducir los costos de producción y mejorar la sostenibilidad del sistema acuícola.

#### Determinación de los alcances

##### Alcance 1: Emisiones directas

Las emisiones directas corresponden a la alimentación de los peces, la generación de lodos y aguas residuales producto del metabolismo del alimento. La respiración de los peces no se contempla por ser de tipo biogénica.

##### Alcance 2: Emisiones indirectas por energía

En la acuicultura a pequeña escala se consume energía para procesos de movimiento del agua principalmente, pero no es este el caso. Cuando la actividad incluye procesos de remoción de escamas y piel, además de fileteado, la energía consumida por las máquinas e iluminación de la planta de proceso también debe considerarse.

##### Alcance 3: Emisiones indirectas

Hay muchas emisiones indirectas relacionadas con la producción y transporte de insumos (alimento, antibióticos), los procesos de limpieza y fileteado, el transporte hasta el punto de uso y la disposición de los residuos asociados.

#### Ciclo de vida

Para este caso particular las fases del ciclo de vida del producto se pueden resumir como se describe a continuación.

### Crianza

Es el proceso en el cual se colocan alevines en los estanques, se alimentan y desarrollan hasta estar listos para su cosecha. Durante el proceso de crianza se adiciona alimento y se generan residuos en forma de lodos y aguas residuales. Además, las aguas se aprovechan haciéndolas pasar por un sistema de humedales acuapónicos que consumen el nitrógeno, captan CO<sub>2</sub> del aire y producen biomasa vegetal

### Proceso

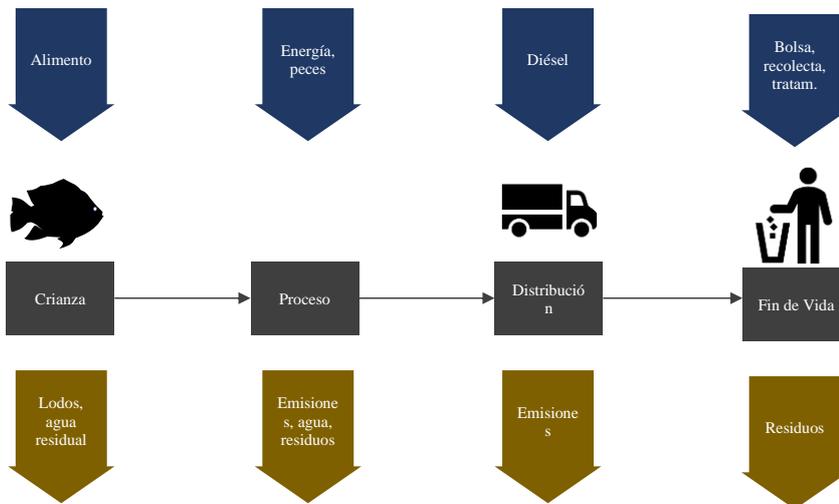
Cuando se cosechan los peces adultos es necesario retirar las vísceras, empacarlos al vacío y congelarlos para su posterior distribución. En el proceso se generan residuos orgánicos y se consume energía.

### Distribución

El producto se entrega directamente a los clientes de la zona en un solo evento de entrega, involucra el traslado desde las instalaciones de producción hasta la ubicación del cliente, lo que representa unos 25 a 35 kilómetros de recorrido, para lo cual se consume combustible en forma de gasolina.

### Fin de vida

El consumidor final genera residuos de escamas, esqueleto y carne no consumida, la cual se convierte en residuos que son gestionados generalmente en un relleno sanitario.



**Figura 12.** Representación del ciclo de vida del producto.

### Estimación de huellas en las fases del ciclo de vida

La acuicultura es una de las actividades con mayor relación de conversión de alimento en biomasa, siendo un valor usual el de 1.2 kg de alimento por 1 kg de peces. Para este caso particular se utilizaron diversos parámetros para estimar las cantidades de alimento requerido, la producción de residuos, entre otros. Además, se estimó una producción de 100 kg de peces en un periodo de 10 meses, que implica el uso de solo una de las líneas de estanques.

### Crianza

En la crianza se generan residuos de excretas, las cuales se incorporan al agua residual y aportan DQO. Para determinar la cantidad de DQO que se aporta al agua se estimó que el 20% del peso final se convierte en excretas, siendo la mayor sobreestimación el asumir que el 20% del alimento se convierte en excretas, pero eso obviaría el hecho de que los animales exhalan CO<sub>2</sub> durante toda su vida, con lo que se pierde masa. Por lo tanto, se consideró que utilizar un valor de 20% con respecto a la biomasa era adecuado.

Las excretas aportan DQO al agua residual, y es usual que el valor de DQO de las excretas animales oscile entre 1.2 – 1.8 kgDQO/kg de excreta. En este caso se usó un valor intermedio de 1.5 kg de DQO por cada kilogramo de excreta. En vista de que se generan 20 kg de excretas, se estimaron 30 kg de DQO a partir de las excretas que se incorporan al agua. Esta DQO será tratada en el humedal acuapónico de forma aerobia mayoritariamente, y para efectos de cálculo de huella, se consideró equivalente a verter directamente a un río.

Con respecto al humedal acuapónico, el nitrógeno contenido en las excretas será capturado por las plantas para su crecimiento. Suponiendo que la eficiencia de remoción de nitrógeno del humedal acuapónico es de un 90%, que es lo usual en ese tipo de sistemas, en consecuencia, idealmente, el 90% del nitrógeno será capturado por las plantas que se cultiven.

Por otro lado, la cantidad de nitrógeno en excretas depende del tipo de alimentación, va de aproximadamente 15 kg/ton en herbívoros a 35 kg/ton en animales que se alimentan principalmente de otros animales. Para este caso se utilizará un valor de 25 kg/ton de nitrógeno a fin de utilizar un valor conservador y siendo muy difícil la estimación directa debido a que en la acuicultura las excretas se disuelven en el agua.

Para 20 kg de excretas se estima que contienen 0.5 kg de nitrógeno. A su vez, utilizando el cultivo de lechuga como modelo, se estima que la cantidad de nitrógeno de una lechuga es de 0,6% a 0.8% de su peso seco y el peso seco puede ser de unos 100 gramos considerando la parte aérea y raíces. Según lo anterior, una lechuga puede contener 0.7 g de nitrógeno en promedio, y si se cuenta con 0.5 kg de nitrógeno disponible en las excretas, podrían producirse 712 lechugas.

A fin de estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> que podría capturar el humedal hidropónico se utilizó una estimación de la literatura de la cantidad de CO<sub>2</sub> que captura una lechuga, lo cual corresponde a 130 gramos.

De acuerdo con lo expuesto antes, utilizando como modelo el cultivo de lechuga, el humedal acuapónico puede soportar 712 lechugas con una captura total de 91.85 kg de CO<sub>2</sub>.

Adicionalmente, se estima que 1 kg de microalgas captura al menos 1.2 kg de CO<sub>2</sub>; por lo que se estimó la captura asumiendo una sustitución de un 20% del alimento por microalgas.

Para la cuantificación de la cantidad de CO<sub>2</sub>eq. se utilizaron los factores de emisión del IMN.

### **Cuadro 3.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto de la crianza

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

ELEMENTO GENERADOR DE HUELLA	Tipo	Cantidad	Disposición	CO2eq	CH4	NO2	Total kgCO2eq
Energía	Electricidad (KWh)	0	-	0	0	0	0.00
Crecimiento de plantas	Lechugas (und)	24	-	-1.2	0	0	-28.80
Captura de microalgas	Masa microalga (kg)	712		-0.129	0	0	-91.85
Aguas residuales (Efluente estanques)	de DQO (kg)	30	Descarga directa a río	0	0.75	0	15.75
<b>TOTAL</b>							<b>-104.9</b>

#### Proceso

Las actividades de proceso involucran la extracción de vísceras, el empaque al vacío y el congelamiento. Durante las actividades se generan aguas residuales y residuos sólidos. En el caso de los sólidos, se estimó que se genera un 18% de vísceras con respecto al peso total de la producción. En cuanto a las aguas residuales, se generan en el lavado de las áreas de trabajo, y pueden ser 0.4 m<sup>3</sup> con una DQO de 1800 mg/L según extrapolación de datos bibliográficos. En el caso de las aguas residuales, se consideró la misma categoría para el factor de emisión, que corresponde a descarga directa a río.

El consumo de electricidad se obtuvo a partir de datos reales del consumo en sitio para el procesamiento de 100 kg de carne, su empaque al vacío y su almacenamiento congelado.

**Cuadro 4.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto del proceso de desviscerado, empaque y almacenamiento.

ELEMENTO GENERADOR DE HUELLA	Tipo	Cantidad	Disposición	CO2eq	CH4	NO2	Total CO2eq
Energía	Electricidad (KWh)	8.0	-	0.292	0	0	0.29
Residuos sólidos	Orgánicos (kg)	18	Compost	0	0.072	0.0054	3.12
Aguas residuales	DQO (kg)	0.585	Descarga directa a río	0	0.01462	0	0.31
<b>TOTAL</b>							<b>3.72</b>

#### Distribución

Los clientes para la producción se encuentran en los alrededores del sitio de producción, por lo que se realizará un traslado de un máximo de 35 km para la entrega del lote de producción. Se estimó un consumo de 11 litros de gasolina.

**Cuadro 5.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto del transporte.

ELEMENTO GENERADOR DE HUELLA	Tipo	Cantidad	Disposición	CO2eq	CH4	NO2	Total CO2eq
Energía	Gasolina (L)	11	-	24.541	0.00997	0.00311	25.68
						7	3
<b>TOTAL</b>							<b>25.68</b>

#### Fin de vida

Una vez consumido el producto, el cliente generará residuos del esqueleto del pez, escamas y lo no consumido. Se estimó que la cantidad de residuos puede ser hasta de un 20% del total del producto, considerando que hay poco desperdicio y que básicamente se generan residuos de esqueleto, escamas y cabeza.

Dado que el consumidor se encuentra en una zona urbana, se asumirá que el 100% de los residuos se disponen en relleno sanitario. En el caso de que el producto se comercialice en zona rural, debería considerarse que una parte puede ser utilizada para alimentar animales o utilizada como fuente de nitrógeno en procesos de compostaje.

**Cuadro 6.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto de la disposición final por parte del consumidor.

ELEMENTO HUELLA	GENERADOR DE Tipo	Cantid ad	Disposici ón	CO2e q	CH 4	NO2	Total CO2eq
Residuos sólidos	Orgánicos (kg)	20	Relleno	0	1.16 2	0	24.40
<b>TOTA L</b>							<b>24.40</b>

#### Huella total

Para los alcances definidos según el ciclo de vida que va desde la producción hasta la disposición de los residuos por parte del consumidor, la huella se estimó en **-51.10 kg de CO<sub>2</sub>eq**, lo que implica una huella **de -0.5 kgCO<sub>2</sub>eq/kg de carne**.

Cabe destacar que hay una captura importante de CO<sub>2</sub> en la crianza debido al cultivo de plantas en el humedal acuapónico. Además, según MacLeod *et al* (2021), se estima que la cantidad de CO<sub>2</sub> relacionado con la producción de tilapia en América Latina es de 3 kg de CO<sub>2</sub>eq/kg de carne, lo que implica que, en este modelo, en donde la huella es de -0.5 kgCO<sub>2</sub>eq/kg de carne, es muy recomendable para una producción sostenible de alimentos.



# Acuacultura descarbonizada

## Caso Upala

### Descripción de los procesos

El sistema de aprovechamiento sostenible del agua y de producción de peces con baja huella de carbono se realiza en una granja como la que se muestra a continuación.

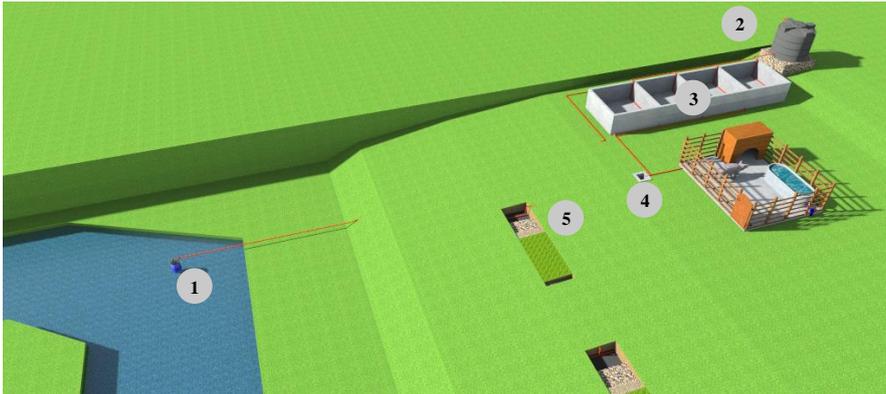


Figura 1. Representación global del proceso. (1) Bombeo. (2) Almacenamiento. (3) Piletas de cultivo. (4) Colector y desinfección. (5) Humedales acuapónicos.

### Bombeo

El proceso de producción de tilapia inicia con la fuente de agua que se utilizará en el cultivo. En este caso particular, existe agua en la parte baja del terreno que forma un pequeño humedal, el cual se recarga con las abundantes aguas del nivel freático de la zona.

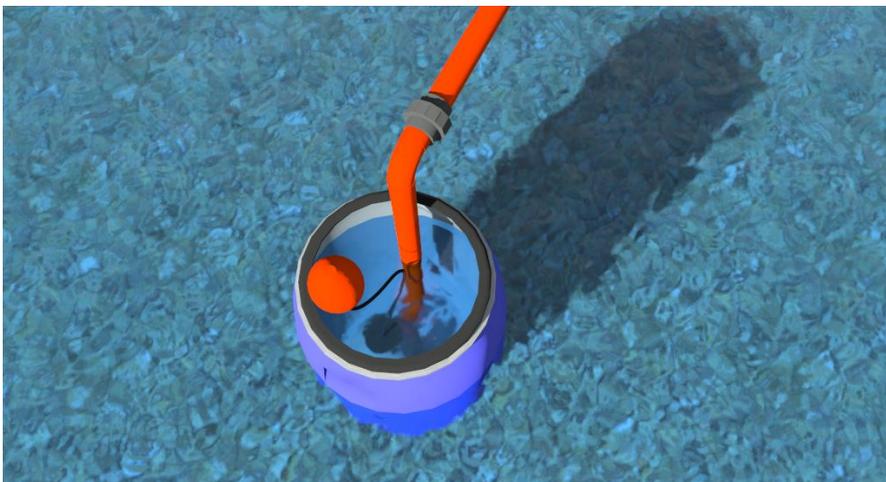
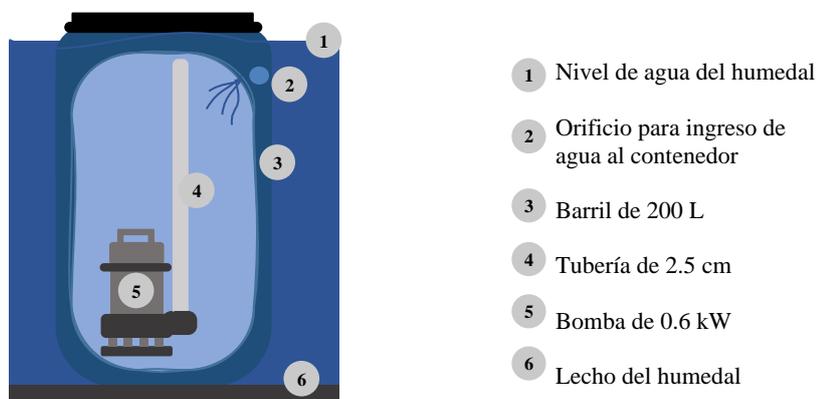


Figura 1. Contenedor con la bomba que moverá el agua desde el humedal hasta un tanque de almacenamiento.

Para el trasiego del agua se utiliza un contenedor y una bomba dentro del contenedor, cuyo objetivo es evitar el arrastre de sólidos grandes desde el humedal.



**Figura 2.** Detalle de la estructura para bombeo

#### Almacenamiento

Si bien el flujo continuo o semicontinuo de agua fresca puede ser deseable en el cultivo de peces, implica un consumo energético que puede resultar significativo para una pequeña producción. Por otro lado, el consumo eléctrico neto del uso de bombas pequeñas resulta mayor debido al tiempo de trabajo y la eficiencia del proceso de bombeo. Para este caso se utiliza un tanque de almacenamiento que permite usar una bomba de mayor potencia que la necesaria para un funcionamiento continuo.

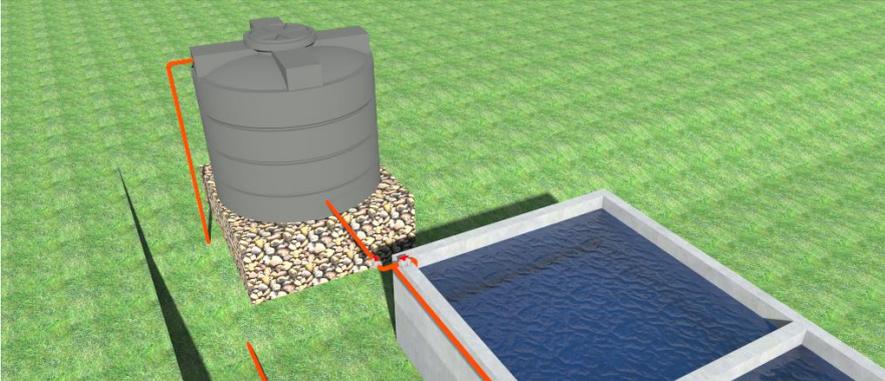
Como se verá más adelante, el volumen total de las piletas de cultivo es de  $36 \text{ m}^3$  y se recomienda el ingreso o recambio de al menos un 20% del agua cada día. Por lo tanto, deben agregarse  $7.2 \text{ m}^3$  de agua al día como mínimo.

El tanque de almacenamiento tiene capacidad para  $5 \text{ m}^3$  de agua, con lo cual se puede hacer bombeo y cambio de agua dos veces al día, con lo que se supera la cantidad mínima de agua fresca y se puede espaciar el recambio con el objetivo de minimizar el cambio en las condiciones del agua del cultivo, lo que podría estresar a los peces.

Según la distancia, el grosor de la tubería, la altura y la potencia de la bomba, se estiman que puede mover aproximadamente  $30 \text{ L/min}$ , lo cual equivale a  $1.8 \text{ m}^3/\text{hora}$ . En consecuencia, se requieren de menos de 3 horas para el llenado del tanque.

Si se llena el tanque dos veces al día y suponiendo 6 horas totales de trabajo, la cantidad de energía que se consume será de  $3.6 \text{ kW}$ , lo que implica un costo mensual por consumo eléctrico de alrededor de \$15.

No se recomienda almacenar el agua por mucho tiempo, ya que los humedales y muchos cuerpos de agua superficial tienen concentraciones de oxígeno cercanos al punto de saturación. Por lo tanto, el ingresar agua fresca del humedal a las piletas por la parte inferior, ayuda también a oxigenar eficientemente el agua donde se encuentran los peces.

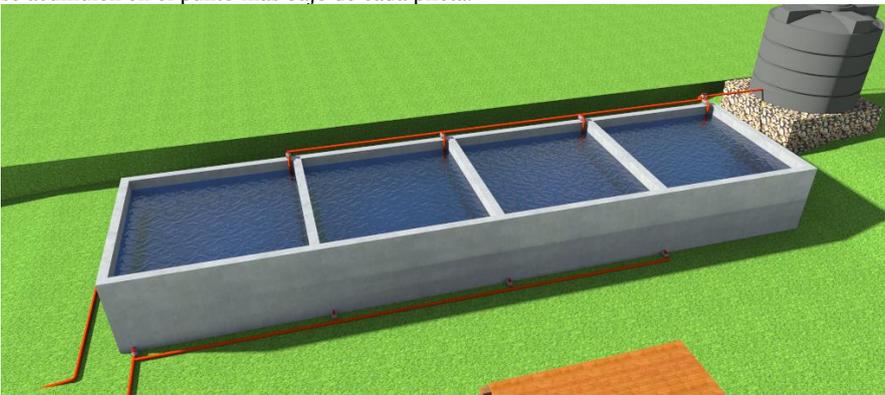


**Figura 3.** Tanque de almacenamiento de 5 m<sup>3</sup> de capacidad.

#### Piletas de cultivo

En total hay 4 piletas para el cultivo de peces con dimensiones de 3m de ancho, 3m de largo y 1 m de altura hidráulica o útil.

Del tanque de almacenamiento a las piletas hay instaladas válvulas que permiten la alimentación de las 4 piletas de forma independiente. Además, cada pileta tiene una tubería perforada para el ingreso del agua, con el objetivo de barrer los sólidos que sedimentan y que se acumulen en el punto más bajo de cada pileta.



**Figura 4.** Organización de las 4 piletas.



**Figura 5.** Corte en donde se observa la pendiente de las piletas y la tubería de alimentación.

A la salida de cada pileta hay una válvula que se debe abrir para vaciar un 20% de volumen de agua y luego agregar el mismo volumen de agua fresca. Esta actividad es sencilla si se marca el nivel de las piletas.

El objetivo de la pendiente es que los sólidos se muevan hacia un punto cercano a la salida y cuando se abre la válvula se arrastran con el efluente. La acumulación de sólidos no es deseable ya que consume oxígeno en su descomposición y libera compuestos nitrogenados que tienen toxicidad en los peces.

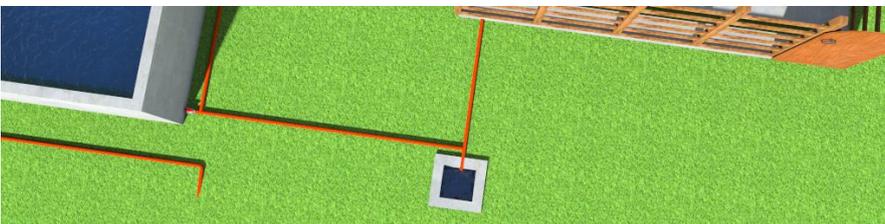
En vista de que el material de construcción es concreto, se estimó que una pendiente de 5% era suficiente para el movimiento de los lodos hacia el punto más bajo, por lo que se elevó el piso de la pileta 20 cm, para una pendiente de 6.3%.

#### Colector de agua de purga

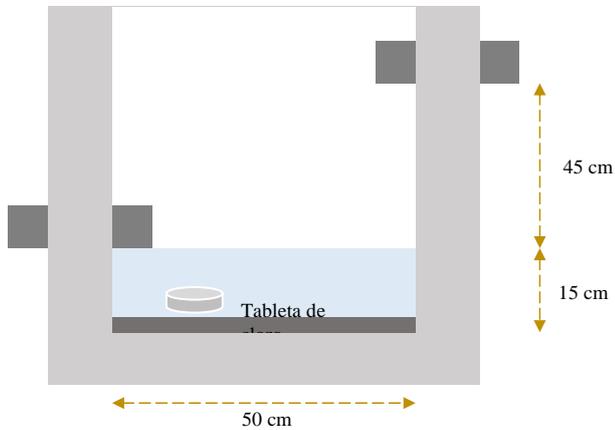
Como parte del modelo de granja sostenible, hay una pequeña porqueriza que genera algunos litros de agua producto del baño de los cerdos, ya que la limpieza rutinaria se realiza en seco. Las aguas de la porqueriza y las aguas de purga de las piletas se recogen en una caja de registro o colector, para luego ser enviadas a un sistema de manejo de las aguas.

El colector sirve para acumular arenas que puedan arrastrarse y también puede servir como un punto para la desinfección del agua, ya que podría haber organismos patógenos o no deseados en las aguas de purga o la porqueriza.

Para la desinfección se puede utilizar un pequeño contenedor con pastillas de cloro, pero es importante colocarlo solo cuando se vaya a realizar el recambio del agua.



**Figura 6.** Ubicación del colector de aguas de purga y porqueriza



**Figura 7.** Dimensiones del colector (50 cm de largo, 50 cm de ancho y 60 cm de altura)

#### Manejo de las aguas de purga

El uso de agua residual para la acuaponía es una práctica sostenible que combina la producción de peces con la producción de cultivos hidropónicos. En este sistema, el agua rica en nutrientes de la producción de peces se utiliza para fertilizar los cultivos hidropónicos, y los cultivos ayudan a filtrar y purificar el agua para su reutilización en la producción de peces. La acuaponía es una forma eficiente de producción de alimentos que utiliza menos agua y nutrientes que la agricultura convencional y la acuicultura por separado.

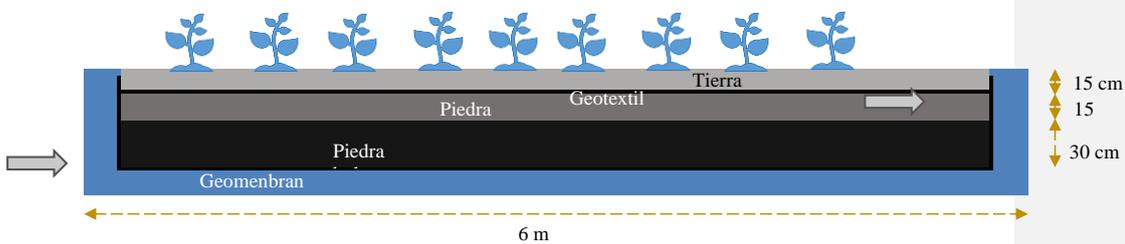
Los humedales artificiales son un método común de tratamiento de agua residual. Los humedales artificiales son sistemas naturales diseñados para imitar los procesos de purificación del agua que se producen en los humedales naturales. El agua residual se dirige a un lecho de sustrato (como grava o arcilla) y se permite que las plantas y los microorganismos en el sustrato purifiquen el agua a medida que fluye a través del sistema. A medida que el agua fluye a través del humedal, los microorganismos descomponen los contaminantes y las plantas absorben los nutrientes. El resultado es agua tratada que puede ser reutilizada o descargada de manera segura en el medio ambiente.

La combinación de la acuaponía y los humedales artificiales es una práctica sostenible y eficiente que utiliza agua residual para la producción de alimentos mientras purifica el agua para su reutilización o descarga segura. Esta combinación también ayuda a reducir la cantidad de agua dulce utilizada en la producción de alimentos y disminuye la contaminación del agua en el medio ambiente.

Debido al uso, se le denominará “humedal hidropónico” a la estructura que se utilizará en el manejo y aprovechamiento del agua. En este caso, habrá dos humedales hidropónicos de 6m de largo, 1.5m de ancho y 0.6m de profundidad.

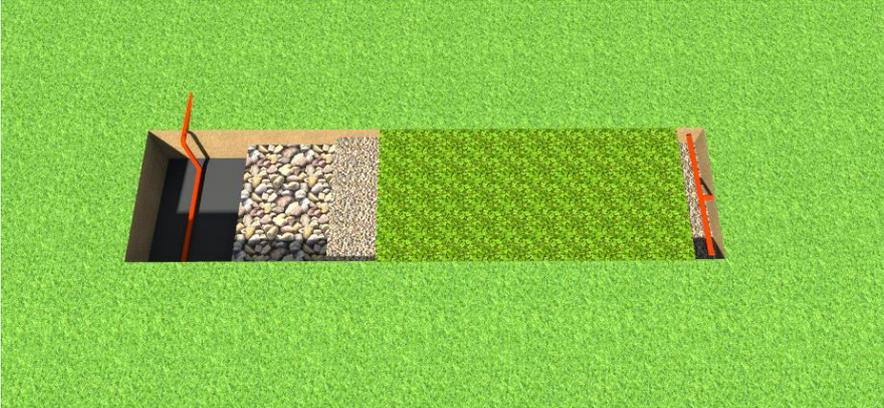
**Figura 8.** Sistema de humedales hidropónicos en serie

Para su adecuado funcionamiento, el agua ingresará al humedal hidropónico por medio de una tubería perforada en la parte inferior y saldrá por una tubería en la parte superior debajo de la capa de geotextil. El humedal tendrá capas de geomembrana en la parte más baja, luego piedra gruesa, piedra más fina, un geotextil y tierra en la parte superficial. Esta estructura permite el cultivo de diversos tipos de plantas, pero en términos generales, se recomiendan plantas pequeñas porque el crecimiento excesivo de raíces puede alterar la estructura, romper el geotextil u obstruir el paso del agua.



**Figura 9.** Dimensiones y capas del humedal hidropónico

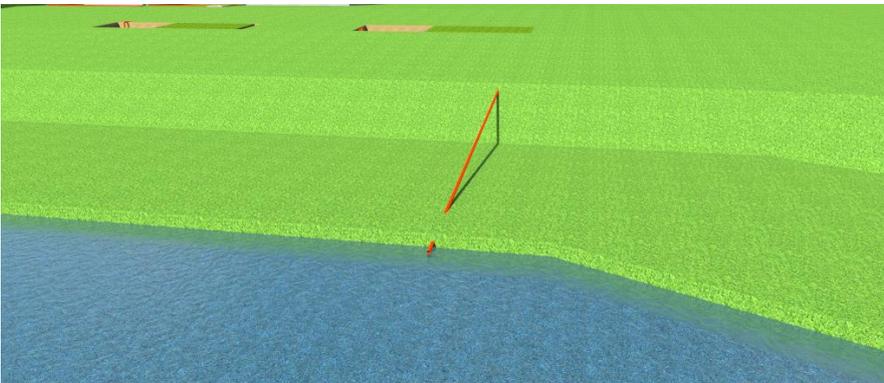
Es muy importante que la geomembrana se coloque correctamente para que el agua no se infiltre y contamine el suelo.



**Figura 10.** Detalle del ingreso y salida de los humedales hidropónicos

#### Circularidad del efluente

El agua que se extrae del humedal que se encuentra en la granja se utiliza para el cultivo de peces, luego para el cultivo de plantas al tiempo que se depura y finalmente regresa con una calidad similar al punto de origen. Este manejo del agua puede considerarse circular, lo que es idóneo porque muchas veces el agua extraída no regresa a la fuente en donde desempeña una función en los ecosistemas naturales.



**Figura 11.** Tubería de retorno del agua al humedal

#### Operación y mantenimiento

El mantenimiento adecuado es clave para garantizar un funcionamiento óptimo y prolongar la vida útil de equipos y sistemas relacionados con la acuicultura y la acuaponía. Aquí te presento algunas recomendaciones de mantenimiento para diferentes equipos y sistemas:

## Bombeo

### Operación

La operación rutinaria recomendada para el bombeo de las aguas frescas hacia el tanque de almacenamiento consiste en:

Se revisa que el tanque donde está la bomba esté libre de sólidos. Si los hay, se retiran antes de comenzar a bombear.

Se activa la bomba alrededor de las 6 am para que se llene el tanque de almacenamiento aproximadamente a las 9 am. Es mejor no hacerlo de madrugada porque en ausencia de luz las microalgas no aportan oxígeno y disminuye la concentración de oxígeno del humedal.

Los peces necesitan de al menos 7.2 m<sup>2</sup> de agua de recambio por día (20% del volumen total) y el tanque de almacenamiento tiene capacidad de 5 m<sup>3</sup>. Por lo tanto, se necesita de una segunda toma de agua que puede efectuarse alrededor de las 2 pm.

### Mantenimiento

Las bombas son esenciales en la acuicultura para mover el agua y proporcionar oxígeno a los peces. Para mantener una bomba en buen estado, es importante verificar regularmente su funcionamiento y limpiarla de escombros y sedimentos que puedan obstruir su flujo. También es recomendable lubricar las partes móviles de la bomba regularmente y cambiar los sellos si se detectan fugas.

## Almacenamiento

### Operación

Si no hay alguna instalación eléctrica que permita el apagado automático de la bomba que alimenta el agua al tanque de almacenamiento, debe vigilarse el nivel mientras se llena. Cuando esto se haya vuelto una actividad rutinaria, podrá estimarse fácilmente el tiempo que demora el llenado.

### Mantenimiento

Los tanques de almacenamiento de agua son esenciales para almacenar agua para la acuicultura y la acuaponía. Para mantener un tanque de almacenamiento de agua en buen estado, es importante verificar regularmente la calidad del agua y limpiar el tanque periódicamente para eliminar cualquier sedimento o material orgánico que se haya acumulado en el fondo del tanque. También es recomendable verificar la integridad del tanque y reparar cualquier daño o fuga de forma inmediata.

## Piletas de cultivo

### Operación

En vista de que hay dos eventos diarios de cambio de agua, para cada uno se recomienda:

Las piletas tienen una altura útil de 1m, así que lo primero es verificar que las piletas estén marcadas a 1m y 90 cm desde el fondo a la superficie, también puede hacerse una marca a los 80 cm.

Se abre la válvula de purga de cada una de las piletas y se vacía hasta la marca de 90 cm, ya que de esta forma se habrá removido el 10% del agua.

Cuando las piletas ya estén al 90% de su capacidad, se abren las válvulas que alimentan de agua fresca a cada pileta y se llena hasta la marca de 1m.

Para el segundo cambio de agua, se recomienda realizarlo luego de la última alimentación del día, ya que se arrastrarán residuos de alimentos y excretas que se hayan acumulado en el día.

#### Mantenimiento

Para mantener un estanque en buen estado, es importante verificar regularmente la calidad del agua y realizar cambios parciales de agua para mantener la calidad del agua óptima para los peces. También es importante verificar la integridad del estanque y reparar cualquier daño de forma inmediata

Entre los parámetros que deben controlarse se encuentra el nivel de nitratos, oxígeno, dureza e indicadores biológicos.

#### Colector y desinfección

##### Operación

Antes de cada purga de agua se coloca una tableta de cloro para piscina en el fondo del colector. La tableta puede colocarse dentro de una malla plástica para que no se arrastre con el agua.

Luego de que se termina la purga, puede recogerse la tableta y guardarla.

Es importante no dejar la tableta en el colector porque el cloro se irá disolviendo en el agua y la concentración subirá a niveles tóxicos para las plantas del humedal acuapónico.

#### Mantenimiento

No se requiere de mayor mantenimiento, salvo la inspección regular y remoción de hojas, piedras o cualquier otro objeto que pueda haber caído al colector.

#### Humedales acuapónicos

##### Operación

El cultivo acuapónico requiere de ciertas labores de operación de rutina para mantener el sistema en óptimas condiciones y garantizar una producción sostenible y saludable. Algunas de las labores de operación de rutina de un cultivo acuapónico son:

Monitorear diariamente la temperatura del agua, el nivel de oxígeno disuelto, el pH y los niveles de nutrientes. Esto permite detectar cualquier cambio en los parámetros y tomar las medidas necesarias para mantener el sistema en equilibrio.

Controlar la duración y la intensidad de la luz para asegurarse de que las plantas estén recibiendo la cantidad adecuada de luz para crecer. Esto depende del tipo de plantas y la cantidad de radiación solar que puedan recibir. La presencia de algunos árboles cercanos puede ayudar a proveer una sombra moderada.

La siembra y cosecha de plantas debe ser programada según el ciclo de crecimiento de las plantas y a las necesidades del mercado. Es importante realizar la siembra en el momento adecuado y cosechar las plantas en el momento óptimo para garantizar su calidad y evitar pérdidas.

Tanto las plantas como los peces pueden verse afectados por plagas y enfermedades. Es importante mantener un control adecuado de plagas y enfermedades para evitar su propagación y minimizar las pérdidas.

#### Mantenimiento

Para mantener un cultivo acuapónico en buen estado, es importante verificar regularmente la calidad del agua y la nutrición de las plantas. También es importante mantener el sistema de

filtración y el sustrato limpios para prevenir la acumulación de sedimentos y material orgánico que puedan afectar la calidad del agua.

Cada seis meses, es recomendable excavar parte de la entrada y salida del humedal para revisar si hay acumulación de lodos. Cuando la acumulación es excesiva, se debe extraer por succión o con palas.

#### Calidad del efluente

El efluente del sistema debe ser claro, sin olor desagradable. Puede tener un olor similar al de la tierra húmeda, pero no muy fuerte.

La turbidez o coloración es el principal indicativo de que el agua no tiene buena calidad. Cuando esto ocurre, debe revisarse si hay fugas o ingresos no deseados de agua o materia orgánica. En vista de que se revisa rutinariamente el agua de las piletas, no debería haber problemas antes del humedal.

#### Huella de carbono

##### Importancia de una baja huella de carbono

Una baja huella de carbono en la acuicultura es cada vez más importante. Reducir la huella de carbono en la acuicultura significa disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se producen durante la producción de alimentos para los peces, el transporte de insumos y productos y el uso de energía en los sistemas de producción.

A continuación, se presentan algunas razones por las que la baja huella de carbono es importante en la acuicultura:

**Sostenibilidad ambiental:** Una baja huella de carbono en la acuicultura puede ayudar a reducir el impacto ambiental negativo en el cambio climático y en el medio ambiente. Al disminuir las emisiones de GEI, se reduce el efecto invernadero y se contribuye a la conservación de los recursos naturales.

**Economía:** La reducción de la huella de carbono puede ayudar a reducir los costos de producción y mejorar la rentabilidad de las operaciones acuícolas. Al implementar prácticas sostenibles y eficientes, se pueden ahorrar costos en energía, insumos y transporte, entre otros.

**Imagen de marca:** Una baja huella de carbono puede mejorar la imagen de la empresa y su reputación. Las empresas que implementan prácticas sostenibles y responsables son valoradas por los consumidores y pueden tener una ventaja competitiva en el mercado.

**Regulaciones:** Cada vez existen más regulaciones y políticas ambientales que obligan a las empresas a reducir su huella de carbono. Las empresas que no cumplan con estas regulaciones pueden enfrentar multas y sanciones, lo que afectaría su rentabilidad y su reputación.

Para reducir la huella de carbono en la acuicultura, se pueden implementar diversas prácticas, como la utilización de energías renovables, la optimización del uso de agua y la reducción del uso de insumos, o la sustitución de insumos por otros con menores huellas. Además, también se puede fomentar la producción local y el transporte sostenible para reducir las emisiones de GEI asociadas al transporte.

#### Pasos para la estimación de huellas de carbono

La estimación de la huella de carbono de una actividad de acuicultura a pequeña escala requiere de la medición y cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con la producción y operación del sistema acuícola. Los pasos necesarios para estimar la huella de carbono de una actividad de acuicultura a pequeña escala son los siguientes:

**Identificar los alcances de la huella de carbono:** La huella de carbono se puede dividir en tres alcances: el alcance 1, que son las emisiones directas de GEI generadas por el cultivo de peces (por ejemplo, emisiones de CO<sub>2</sub> y metano producidas por la respiración de los peces); el alcance 2, que son las emisiones indirectas de GEI generadas por la producción de energía eléctrica utilizada en el sistema acuícola; y el alcance 3, que son las emisiones indirectas de GEI generadas por los insumos utilizados en la producción acuícola, como el alimento para los peces y el transporte.

**Medir las emisiones de GEI:** Se deben medir las emisiones de GEI en cada alcance identificado. Se pueden utilizar diversas herramientas y métodos de medición, como el análisis del ciclo de vida, la contabilidad de carbono y el uso de factores de emisión.

**Establecer un inventario de emisiones:** Se debe establecer un inventario de emisiones de GEI para cada alcance, que contenga información detallada sobre las emisiones generadas en cada etapa de la producción acuícola.

**Calcular la huella de carbono:** Se deben calcular las emisiones de GEI para cada alcance y sumarlas para obtener la huella de carbono total del sistema acuícola. Es importante considerar factores como el peso y la densidad de los peces, la cantidad de alimento utilizado, el tipo de energía eléctrica utilizada, el transporte de insumos y productos, entre otros.

**Identificar oportunidades de mejora:** Con los resultados obtenidos en el cálculo de la huella de carbono, se deben identificar oportunidades de mejora en el sistema acuícola. Por ejemplo, se pueden implementar prácticas más eficientes en el uso de energía, reducir el uso de insumos, fomentar la producción local y el transporte sostenible, entre otras.

La estimación de la huella de carbono en la acuicultura a pequeña escala puede ayudar a identificar áreas de mejora en la producción acuícola, reducir los costos de producción y mejorar la sostenibilidad del sistema acuícola.

#### Determinación de los alcances

##### Alcance 1: Emisiones directas

Las emisiones directas corresponden a la alimentación de los peces, la generación de lodos y aguas residuales producto del metabolismo del alimento. La respiración de los peces no se contempla por ser de tipo biogénica.

##### Alcance 2: Emisiones indirectas por energía

En la acuicultura a pequeña escala se consume energía para procesos de movimiento del agua principalmente. Cuando la actividad incluye procesos de remoción de escamas y piel, además de fileteado, la energía consumida por las máquinas e iluminación de la planta de proceso también debe considerarse.

##### Alcance 3: Emisiones indirectas

Hay muchas emisiones indirectas relacionadas con la producción y transporte de insumos (alimento, antibióticos), los procesos de limpieza y fileteado, el transporte hasta el punto de uso y la disposición de los residuos asociados.

#### Ciclo de vida

Para este caso particular las fases del ciclo de vida del producto se pueden resumir como se describe a continuación.

#### Crianza

Es el proceso en el cual se colocan alevines en los estanques, se alimentan y desarrollan hasta estar listos para su cosecha. Para que los estanques funcionen adecuadamente también debe bombearse agua del humedal al tanque de almacenamiento.

Durante el proceso de crianza se adiciona alimento y se generan residuos en forma de lodos y aguas residuales. Además, las aguas de recambio se hacen pasar por un sistema de humedales acuapónicos que consumen el nitrógeno, captan CO<sub>2</sub> del aire y producen biomasa vegetal

#### Proceso

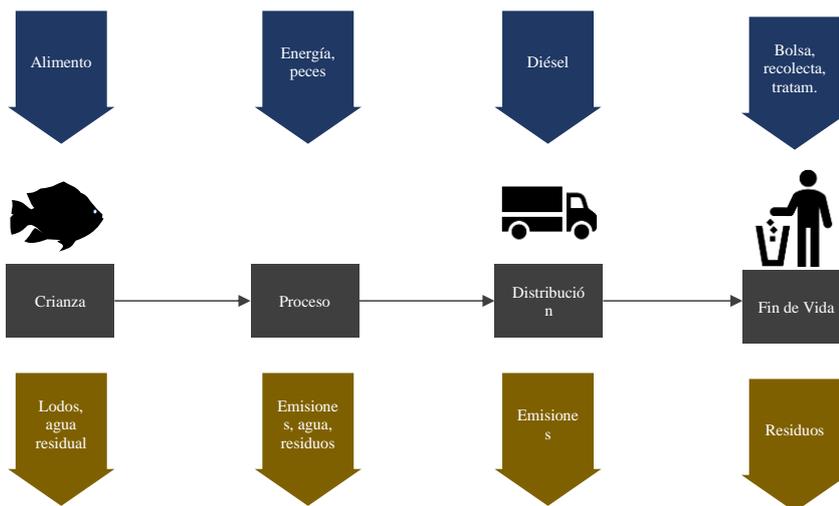
Cuando se cosechan los peces adultos es necesario retirar las vísceras, empacarlos al vacío y congelarlos para su posterior distribución. En el proceso se generan residuos orgánicos y se consume energía.

#### Distribución

El producto se entrega directamente a los clientes en un solo evento de entrega, pero involucra el traslado desde las instalaciones de producción hasta la ubicación del cliente, lo que representa unos 400 kilómetros de recorrido, para lo cual se consume combustible en forma de gasolina.

#### Fin de vida

El consumidor final genera residuos de escamas, esqueleto y carne no consumida, la cual se convierte en residuos que son gestionados generalmente en un relleno sanitario en zonas urbanas.



**Figura 12.** Representación del ciclo de vida del producto.

Estimación de huellas en las fases del ciclo de vida

La acuicultura es una de las actividades con mayor relación de conversión de alimento en biomasa, siendo un valor usual el de 1.2 kg de alimento por 1 kg de peces. Para este caso particular se utilizaron diversos parámetros para estimar las cantidades de alimento requerido, la producción de residuos, entre otros. Además, se estimó una producción de 80 kg de peces.

Crianza

En la crianza se generan residuos de excretas, las cuales se incorporan al agua residual y aportan DQO. Para determinar la cantidad de DQO que se aporta al agua se estimó que el 20% del peso final se convierte en excretas, siendo la mayor sobreestimación el asumir que el 20% del alimento se convierte en excretas, pero eso obviaría el hecho de que los animales exhalan CO<sub>2</sub> durante toda su vida, con lo que se pierde masa. Por lo tanto, se consideró que utilizar un valor de 20% con respecto a la biomasa era adecuado.

Las excretas aportan DQO al agua residual, y es usual que el valor de DQO de las excretas animales oscile entre 1.2 – 1.8 kgDQO/kg de excreta. En este caso se usó un valor intermedio de 1.5 kg de DQO por cada kilogramo de excreta. En vista de que se generan 16 kg de excretas, se estimaron 24 kg de DQO a partir de las excretas que se incorporan al agua. Esta DQO será tratada en el humedal acuapónico de forma aerobia mayoritariamente, y para efectos de cálculo de huella, se consideró equivalente a verter directamente a un río.

Con respecto al humedal acuapónico, el nitrógeno contenido en las excretas será capturado por las plantas para su crecimiento. Suponiendo que la eficiencia de remoción de nitrógeno del humedal acuapónico es de un 90%, que es lo usual en ese tipo de sistemas, en consecuencia, idealmente, el 90% del nitrógeno será capturado por las plantas que se cultiven.

Por otro lado, la cantidad de nitrógeno en excretas depende del tipo de alimentación, va de aproximadamente 15 kg/ton en herbívoros a 35 kg/ton en animales que se alimentan principalmente de otros animales. Para este caso se utilizará un valor de 25 kg/ton de nitrógeno a fin de utilizar un valor conservador y siendo muy difícil la estimación directa debido a que en la acuicultura las excretas se disuelven en el agua.

Para 16 kg de excretas se estima que contienen 0.4 kg de nitrógeno. A su vez, utilizando el cultivo de lechuga como modelo, se estima que la cantidad de nitrógeno de una lechuga es de 0,6% a 0.8% de su peso seco y el peso seco puede ser de unos 100 gramos considerando la parte aérea y raíces. Según lo anterior, una lechuga puede contener 0.7 g de nitrógeno en promedio, y si se cuenta con 0.4 kg de nitrógeno disponible en las excretas, podrían producirse 571 lechugas.

A fin de estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> que podría capturar el humedal hidropónico se utilizó una estimación de la literatura de la cantidad de CO<sub>2</sub> que captura una lechuga, lo cual corresponde a 130 gramos.

De acuerdo con lo expuesto antes, utilizando como modelo el cultivo de lechuga, el humedal acuapónico puede soportar 571 lechugas con una captura total de 74 kg de CO<sub>2</sub>.

Como emisiones indirectas, durante el cultivo se requiere del bombeo de agua para el recambio de un 20% del volumen. Se estimó que diariamente se encenderá una bomba de 0.6 kWh por 6

horas. Si cada ciclo de crecimiento demora 10 meses, se contabilizarán 1800 horas de trabajo con un consumo total de 1080 kWh.

Para la cuantificación de la cantidad de CO<sub>2</sub>eq, se utilizaron los factores de emisión del IMN.

**Cuadro 3.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto de la crianza

ELEMENTO GENERADOR HUELLA	DE Tipo	Cantidad	Disposición	CO <sub>2</sub> e q	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	Total kgCO <sub>2</sub> eq
Energía	Electricidad (KWh)	1080	-	39.42	0	0	39.42
Crecimiento de plantas	Lechugas (und)	571	-	-0.129	0	0	-73.66
Aguas residuales (Efluente estanques)	de DQO (kg)	24	Descarga directa a río	0	0.6	0	12.60
<b>TOTAL</b>							<b>-21.64</b>

#### Proceso

Las actividades de proceso involucran la extracción de vísceras, el empaque al vacío y el congelamiento. Durante las actividades se generan aguas residuales y residuos sólidos. En el caso de los sólidos, se estimó que se genera un 18% de vísceras con respecto al peso total de la producción. En cuanto a las aguas residuales, se generan en el lavado de las áreas de trabajo, y pueden ser 0.26 m<sup>3</sup> con una DQO de 1800 mg/L según extrapolación de datos bibliográficos. En el caso de las aguas residuales, se consideró la misma categoría para el factor de emisión, que corresponde a descarga directa a río.

El consumo de electricidad se obtuvo a partir de datos reales del consumo en sitio para el procesamiento de 100 kg de carne, su empaque al vacío y su almacenamiento congelado.

**Cuadro 4.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto del proceso de desviscerado, empaque y almacenamiento.

ELEMENTO GENERADOR HUELLA	DE Tipo	Cantidad	Disposición	CO <sub>2</sub> eq	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	Total CO <sub>2</sub> eq
Energía	Electricidad (KWh)	33.3	-	1.22	0	0	1.22
Residuos sólidos	Orgánicos (kg)	14.4	Compost	0	0.058	0.0043	2.50
Aguas residuales	DQO (kg)	0.468	Descarga directa a río	0	0.012	0	0.25
<b>TOTAL</b>							<b>3.96</b>

#### Distribución

Los clientes para la producción se encuentran en Santo Domingo de Heredia, por lo que se realizará un traslado desde Upala a Santo Domingo de Heredia para la entrega del lote de producción. En vista de que la ruta y el vehículo ya existen, se utilizaron los datos de consumo actual de combustible, el cual es de aproximadamente 40 litros de gasolina.

**Cuadro 5.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto del transporte.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

ELEMENTO HUELLA	GENERADOR DE Tipo	Cantid ad	Disposici ón	CO2e q	CH4	NO2	Total CO2eq
Energía	Gasolina (L)	40	-	89.24	28	0.036 0.0113 2	93.38
<b>TOTA L</b>							<b>93.38</b>

#### Fin de vida

Una vez consumido el producto, el cliente generará residuos del esqueleto del pez, escamas y lo no consumido. Se estimó que la cantidad de residuos puede ser hasta de un 20% del total del producto, considerando que hay poco desperdicio y que básicamente se generan residuos de esqueleto, escamas y cabeza.

Dado que el consumidor se encuentra en el GAM, se asumirá que el 100% de los residuos se disponen en relleno sanitario. En el caso de que el producto se comercialice en zona rural, debería considerarse que una parte puede ser utilizada para alimentar animales o utilizada como fuente de nitrógeno en procesos de compostaje.

**Cuadro 6.** Estimación de la huella de CO<sub>2</sub> producto de la disposición final por parte del consumidor.

ELEMENTO HUELLA	GENERADOR DE Tipo	Cantid ad	Disposici ón	CO2e q	CH4	NO2	Total CO2eq
Residuos sólidos	Orgánicos (kg)	16	Relleno	0	6	0.929 0	19.52
<b>TOTA L</b>							<b>19.52</b>

#### Huella total

Para los alcances definidos según el ciclo de vida que va desde la producción hasta la disposición de los residuos por parte del consumidor, la huella se estimó en **95.22 kg de CO<sub>2</sub>eq**, siendo el 98% producto del transporte.

Cabe destacar que hay una captura de CO<sub>2</sub> en la crianza debido al cultivo de plantas en el humedal acuapónico. Además, la huella se reduciría significativamente si se comercializa el producto localmente.

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

## Anexo 12. Cartas de Donación a de insumos a los productores

www.tec.ac.cr



Cartago, 5 de septiembre de 2023

Maribel Sandi Chinchilla  
Asociación de mujeres y hombres emprendedores de Bella Vista

Estimada Señora:

Reciba un cordial saludo.

Por medio de la presente, deseamos informarle que el proyecto “Acuicultura descarbonizada: Mitigación de carbono mediante la generación de suplementos alimenticios con microalgas nativas”, le hace la entrega de

3 Tanquetas de 1 m<sup>3</sup> con refuerzo externo metálico.

Esta acción se enmarca en el objetivo específico dos del proyecto de investigación, que se enfoca en capacitar y dotar de herramientas a las productoras inscritas para llevar a cabo sus cultivos de tilapia de forma más controlada. En este sentido, es esencial contar con un comprobante de entrega. Por lo tanto, le solicitamos amablemente que nos proporcione una firma de recibo de los instrumentos y equipo entregado.

Agradecemos de antemano su colaboración y quedamos a su disposición para cualquier consulta o aclaración adicional que pueda necesitar.

Atentamente,

Francinie Murillo Vega, Coordinadora de proyecto.	Maribel Sandi Chinchilla
Profesora & Investigadora, Escuela de Biología	Cédula 6 174 983
Instituto Tecnológico de Costa Rica	Puntarenas

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

www.tec.ac.cr



Cartago, 13 de noviembre de 2023  
CIB-322-2023

Olga Vargas Jiménez  
Productora Acuícola de Tilapia

Estimada Señora:

Reciba un cordial saludo.

Por medio de la presente, deseamos informarle que el proyecto "Acuicultura descarbonizada: Mitigación de carbono mediante la generación de suplementos alimenticios con microalgas nativas", le hace la entrega de

1. pHmetro marca Hanna HI98107
2. Balanza Marca Skantronics
3. Balanza NoteBook de bolsillo
4. Solución de almacenamiento del pHmetro. Toma de 50 mL del envase original
5. Happa de 30 x 30 cm.

Esta acción se enmarca en el objetivo específico dos del proyecto de investigación, que se enfoca en capacitar y dotar de herramientas a las productoras inscritas para llevar a cabo sus cultivos de tilapia de forma más controlada. En este sentido, es esencial contar con un comprobante de entrega. Por lo tanto, le solicitamos amablemente que nos proporcione una firma de recibo de los instrumentos y equipo entregado.

Agradecemos de antemano su colaboración y quedamos a su disposición para cualquier consulta o aclaración adicional que pueda necesitar.

Atentamente,



Firmado digitalmente por  
FRANCINE PATRICIA MURILLO  
VEGA PERALTA  
Fecha: 2023.12.15 13:40:27 -0500'

Francine Murillo Vega, Coordinadora de proyecto.  
Profesora & Investigadora, Escuela de Biología  
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Olga Vargas Jiménez  
Productora Acuícola de Tilapia  
Buenos Aires de Puntarenas

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

www.tec.ac.cr



Cartago, 15 de diciembre de 2023  
CIB-3364-2023

Josefa Fonseca Mora  
Gerente, Coopetilaco  
Cooperativa de Productores de Tilapia

Estimada Señora:

Reciba un cordial saludo.

Por medio de la presente, el proyecto "Acuicultura descarbonizada: Mitigación de carbono mediante la generación de suplementos alimenticios con microalgas nativas", deseamos confirmar la recepción, durante los meses de octubre y noviembre 2023 de:

1. 600 metros cuadrados de PLASTICO RESERVORIO (12 x 50 metros)
2. 804 metros lineales de tubo de cañería resistente a la radiación UV PEAD DR.13.5 3"x12m Ne/Ne 67 unidades.
3. pHmetro marca Hanna HI98107
4. 1 kg de alimento de tilapia con microalgas
5. Plan de manejo de residuos para la cooperativa

Esta acción se enmarca en el objetivo específico N° 2 del proyecto de investigación, que se enfoca en capacitar y dotar de herramientas a las productoras inscritas para llevar a cabo sus cultivos de tilapia de forma más controlada. En este sentido, es esencial contar con un comprobante de entrega. Por lo tanto, le solicitamos amablemente que nos proporcione una firma de recibo.

Agradecemos de antemano su colaboración y quedamos a su disposición para cualquier consulta o aclaración adicional que pueda necesitar.

Atentamente,

Francinie Murillo Vega, Coordinadora de proyecto.  
Profesora & Investigadora, Escuela de Biología  
Instituto Tecnológico de Costa Rica



Firmado digitalmente por  
Francinie Patricia Murillo  
Vega  
Fecha: 2023.12.15 16:17:49  
+06'00'

Entrega

Josefa Fonseca Mora  
Productora Acuícola de Tilapia  
Siquirros, Limón.

Recibido Conforme

Página 1 de 1

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Fecha: 21 de julio del 2023

He recibido de FundaciónUCR

Nombre completo: Abigaíl Loría Vargas

Número de identificación: 0901270456

La suma de (monto en letras): 979,134.10

(Monto): novecientos setenta y nueve mil ciento treinta y cuatro colones con diez céntimos

Por concepto de: Apoyo a la productora de tilapia **Abigaíl Loría Vargas** para la actividad "Construcción de diseño de sistema de producción de tilapia y huella de carbono" contenido en el objetivo 3 y 4 del Proyecto de Investigación.

Número de Teléfono: 8781-3517

Firma: Abigaíl Loría Vargas

Fecha	Fact. Electrónica	Cliente		Monto total
10/7/2023	F 00100004010000027208	Fund. UCR		¢48 690,00
10/7/2023	NC 00100004030000006063	Fund. UCR	tubo pvc y accesorios	<del>¢32 460,64</del> ¢ 16 229,36
10/7/2023	F 00100004010000027230	Fund. UCR	tubo pvc y accesorios	¢ 18 860,00
10/7/2023	F 05800001010000114458	Fund. UCR	tubo pvc y accesorios	¢ -
10/7/2023	F 00100001010000089249	Fund. UCR	tubo pvc y accesorios	¢ 17 662,62
6/7/2023	F 00100001010000089028	Fund. UCR	tubo pvc y accesorios	¢300 826,97
1/7/2023	F 00100001010000088793	Fund. UCR	tubo pvc y accesorios	¢ 55 570,93
19/6/2023	F 00100001010000038015	Fund. UCR	Tanque 5000 lts.	¢569 980,28
<b>TOTAL FACTURAS CANCELADAS AL 10/07/23</b>				<b>¢979 130,16</b>

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

### Anexo 13. Listado de equipos donados

#### TRANSFERENCIA DE LA PROPIEDAD DE ACTIVOS

#### ACCIÓN N° 1.

Número de identificación del Contrato de Subvención: Desarrollo en Tránsito de los Territorios-MIDEPLAN-UE. Proyecto Acuicultura Descarbonizada: Mitigación de carbono mediante la generación de suplementos alimenticios con microalgas nativas. Cuenta Financiera FUNDEVI 9051-03
Título de la Acción: Donación de Equipos y herramientas para acuicultura
Nombre del Beneficiario: Olga Vargas Jiménez <b>Documento Adjunto Recepción de equipo CIB-322-2023</b>
Nombre del Beneficiario local / entidad afiliada local / Beneficiario final de la acción que recibió los activos: Olga Vargas Jiménez

Activos	Descripción del elemento (>5 000 EUR)	Fecha de compra	Precio de compra en EUR	Fecha de la transferencia / Comentarios
1. Balanza granataria	Balanza marca Hiweigh, modelo wss digital (super ss) 2 unidades	24-11-2023	36.547,866 EUR (209.424,16 CRC) (1 EUR = 573,013)	28-11-2023
2. pHmetro	pHmetro marca Hanna HI98107. 2 Unidades	23-10-2023	687,95184 Euros (394.128,00 CRC)	24-10-2023
3. Oxímetro. Medidor de oxígeno disuelto en sistemas acuícolas	OXIMETRO IMPERMEABLE 300MG/L 4000 Marca Hanna	23-10-2023	896,78569 EUR (514080 CRC)	24-10-2023

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Esta lista se ha elaborado de conformidad con las cláusulas 2 y 7.5 de las Condiciones Generales aplicables a los Contratos de subvención para las acciones exteriores financiados por la UE (anexo II del Contrato). La propiedad de cada elemento descrito ha sido transferida. Los beneficiarios locales y/o las entidades afiliadas locales y/o los beneficiarios finales están de acuerdo con su contenido.

Hecho en Cartago a las 12 horas del 15 de diciembre del 2023

### ACCIÓN N° 2

Número de identificación del Contrato de Subvención: Desarrollo en Tránsito de los Territorios-MIDEPLAN-UE. Proyecto Acuicultura Descarbonizada: Mitigación de carbono mediante la generación de suplementos alimenticios con microalgas nativas. Cuenta Financiera FUNDEVI 9051-03
Título de la Acción: Donación de Equipos y herramientas para cultivos microalgales
Nombre del Beneficiario: Centro Acuicola Cantonal de Buenos Aires de Puntarenas <b>Documento Adjunto Recepción de equipo CIB-323-2023</b>
Nombre del Beneficiario local / entidad afiliada local / Beneficiario final de la acción que recibió los activos: Centro Acuicola Cantonal de Buenos Aires de Puntarenas

Activos	Descripción del elemento (>5 000 EUR)	Fecha de compra	Precio de compra en EUR	Fecha de la transferencia / Comentarios
4. pHmetro portátil Hanna HI9857	metro portátil Hanna HI9857	23-10-2023	687,95184 Euros (394.128,00 CRC)	24-10-2023
5. OXIMETRO IMPERMEABLE 300MG/L 4000	OXIMETRO IMPERMEABLE 300MG/L 4000	2023-10-24	897.58	24 de Octubre del 2023

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

### ACCIÓN N° 3.

Número de identificación del Contrato de Subvención: Desarrollo en Trancisión de los Territorios-MIDEPLAN-UE. Proyecto Acuicultura Descarbonizada: Mitigación de carbono mediante la generación de suplementos alimenticios con microalgas nativas. Cuenta Financiera FUNDEVI 9051-03
Título de la Acción: Donación de Equipos y herramientas para cultivos microalgales
Nombre del Beneficiario: Josefa Fonseca Mora Gerente Coopetilaco, Siquirres Limón. Documento Adjunto recepción CIB-364-2023 Carta donación material Coopetilaco
Nombre del Beneficiario local / entidad afiliada local / Beneficiario final de la acción que recibió los activos: Instituto Tecnológico de Cost Rica

Activos	Descripción del elemento (>5 000 EUR)	Fecha de compra	Precio de compra en EUR	Fecha de transferencia / Comentarios
pHmetro portatil acuicultura Hanna HI98107	pHmetro portatil acuicultura Hanna HI98107	06-10-2023	1 346,40	24-10-2023

### ACCIÓN N° 4.

Número de identificación del Contrato de Subvención: Desarrollo en Trancisión de los Territorios-MIDEPLAN-UE. Proyecto Acuicultura Descarbonizada: Mitigación de carbono mediante la generación de suplementos alimenticios con microalgas nativas. Cuenta Financiera FUNDEVI 9051-03
Título de la Acción: Donación de Equipos y herramientas para cultivos microalgales
Nombre del Beneficiario: Laboratorio de Microalgas del Centro de Investigación en Biotecnología del Instituto Tecnológico de Costa Rica
Nombre del Beneficiario local / entidad afiliada local / Beneficiario final de la acción que recibió los activos: Instituto Tecnológico de Cost Rica

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

Activos	Descripción del elemento (>5 000 EUR)	Fecha de compra	Precio de compra en EUR	Fecha de transferencia / Comentarios
6.	Fluorometro Quantus Promega Corporation E6150	27-04-2022	2 709,12	28 de Abril del 2022
7.	Incubated Stackable Shaker Packages Thermo Scientific Maxq™ 6000	15-09-2022	6320,94	15 de Setiembre del 2022
8.	Incubated Stackable Shaker Packages Thermo Scientific Maxq™ 6000	15-09-2022	6320,94	15 de Setiembre del 2022
9.	Fuente de Poder Biorrad SNC-1645 050	15-09-2022	647,7	15 de Setiembre del 2022
10.	Lab Twin Screw Extruder Machine - With Screw Set 240v 60hz 3 Phase Jinan Saibainuo Syslg30-lv	06-06-2022	17 605,20	13 de Junio del 2022
11.	Descremadora Roja Electrica 140 Litros	06-09-2022	476,99	6 de Setiembre del 2022
12.	Bomba Leo 1/2 Hp Leo Xks500p Plast 115v Sum	11-10-2023	195,93	11 de Octubre del 2023
13.	Bomba De Aire Comercial VIVOSUN ASIN: B0BG2FG4H5	25-10-2023	323,3	27 de Octubre del 2023
14.	Bomba-540 Bomba de agua eléctrica autopebante de riego por diafragma N\C	25-10-2023	855,78	27 de Octubre del 2023
15.	Selladora de Impulso de Pie / Sello: Largo: 450mm - Ancho:8mm / Potencia: 1000W / 110V/ 20Kg Novamart PSF 450	25-10-2023	855,78	31 de Octubre del 2023
Activos	Descripción del elemento (>5 000 EUR)	Fecha de compra	Precio de compra en EUR	Fecha de transferencia / Comentarios

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

<b>16.</b>	Proyector Epson E20 Lite Epson E20 Lite	Proyector Epson E20 Lite Epson E20 Lite	31-10-2023	693,45	31 de Octubre del 2023
<b>18.</b>	QUANTOFIX Relax Reader Test Strips. Reflectómetro con control por microprocesador, autodiagnóstico y autocalibración. Macherey-Nagel.	QUANTOFIX Relax Reader Test Strips. Reflectómetro con control por microprocesador, autodiagnóstico y autocalibración. MachereyNagel.	31-10-2023	479,17	31 de Octubre del 2023
<b>19.</b>	pHmetro portatil acuicultura Hanna HI98107	pHmetro portatil acuicultura Hanna HI98107	06-10-2023	1 346,40	24-10-2023
<b>20.</b>	OXIMETRO IMPERMEABLE 300MG/L 4000 Hanna HI9146-04	OXIMETRO IMPERMEABLE 300MG/L 4000 Hanna HI9146-04	23-10-2023	27,1819912	24-10-2023
<b>21.</b>	MEDIDOR DE SALINIDAD IMPERMERMEABLE Hanna HI98319	MEDIDOR DE SALINIDAD IMPERMERMEABLE Hanna HI98319	23-10-2028	957,069307	24-10-2023
<b>22.</b>	BELEY Medidor de diferencia de color portátil preciso digital de 0.315 in BELEY	BELEY Medidor de diferencia de color portátil preciso digital de 0.315 in BELEY	23-10-2029	126,014125	30 de Noviembre del 2023
<b>23.</b>	LACHOI Vortex - Mezclador de velocidad de 100-3000 rpm, mezclador de vórtice de laboratorio con pantalla LCD, función táctil y continua, diámetro orbital, 0.177 in LACHOI	LACHOI Vortex - Mezclador de velocidad de 1003000 rpm, mezclador de vórtice de laboratorio con pantalla LCD, función táctil y continua, diámetro orbital, 0.177 in LACHOI	23-10-2023	536,11	30 de Noviembre del 2023
<b>24.</b>	Medidor de actividad acuática AMTAST WA-60A	Medidor de actividad acuática AMTAST WA-60A	23-10-2023	1422,7037	30-11-2023

Beneficiario) Laboratorio de Microalgas del Centro de Investigación en Biotecnología, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Francinie Murillo Vega, Investigadora

## Anexo 14. Artículo publicado

### Objetivo 1. Sobre la estrategia de cultivo de microalgas en consorcios

Las microalgas y cianobacterias mesófilas y extremófilas tienen una amplia gama de aplicaciones biotecnológicas. Sin embargo, la demanda industrial de moléculas bioactivas y la redundancia de estas moléculas han generado la necesidad de nuevas metodologías para una producción mejorada y el descubrimiento de metabolitos especializados. La co-cultivación se ha establecido como un enfoque prometedor para abordar estos desafíos. En este contexto, este trabajo tuvo como objetivo describir el estado actual del método de co-cultivación que involucra microorganismos fotosintéticos meso- y extremófilos, además de analizar las ventajas, desafíos y limitaciones de este enfoque.

<https://www.mdpi.com/2311-5637/9/11/941>



Review

## Insights into Co-Cultivation of Photosynthetic Microorganisms for Novel Molecule Discovery and Enhanced Production of Specialized Metabolites

Dorian Rojas-Villalta <sup>1,†</sup>, Olman Gómez-Espinoza <sup>2,†</sup>, Francine Murillo-Vega <sup>1</sup>, Fabián Villalta-Romero <sup>1</sup>, Maritza Guerrero <sup>1</sup>, Rossy Guillén-Watson <sup>1,\*</sup> and Kattia Núñez-Montero <sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Biotechnology Research Center, Department of Biology, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago 159-7050, Costa Rica; rojasvillaltadorian@gmail.com (D.R.-V.); frmurillo@itcr.ac.cr (F.M.-V.); fvillalta@itcr.ac.cr (F.V.-R.); mguerrero@itcr.ac.cr (M.G.)

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Químicas y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad de La Frontera, Temuco 1145, Chile; olman.gomez@ufrontera.cl

<sup>3</sup> Facultad Ciencias de la Salud, Instituto de Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma de Chile, Temuco 4810101, Chile

\* Correspondence: roguillen@itcr.ac.cr (R.G.-W.); kattia.nunez@uaautonoma.cl (K.N.-M.)

<sup>†</sup> These authors contributed equally to this work.

**Abstract:** Meso- and extremophilic microalgae and cyanobacteria have a wide range of biotechnological applications. However, the industrial demand for bioactive molecules and the redundancy of these molecules has resulted in a need for new methodologies for enhanced production and the discovery of specialized metabolites. Co-cultivation has been established as a promising approach to addressing these challenges. In this context, this work aimed to describe the state of the art of the co-cultivation method involving meso- and extremophilic photosynthetic microorganisms, as well as to discuss the advantages, challenges, and limitations of this approach. Co-culture is defined as an ecology-driven method in which various symbiotic interactions involving cyanobacteria and microalgae can be used to explore new compounds and enhanced production. Promising results regarding new bioactive metabolite expression and increased production through co-cultivation-based research support that idea. Also, the metabolic diversity and evolutionary adaptations of photosynthetic microorganisms to thrive in extreme environments could improve the efficiency of co-cultivation by allowing the implementation of these microorganisms. However, the complexity of ecological interactions and lack of standardization for co-cultivation protocols are obstacles to its success and scientific validation. Further research in symbiotic interplays using -omics and genetic engineering, and predictive experimental designs for co-cultures are needed to overcome these limitations.

**Keywords:** bioactive metabolites; ecological interactions; co-culture; new bioprospecting; algae



Citation: Rojas-Villalta, D.; Gómez-Espinoza, O.; Murillo-Vega, F.; Villalta-Romero, F.; Guerrero, M.; Guillén-Watson, R.; Núñez-Montero, K. Insights into Co-Cultivation of Photosynthetic Microorganisms for Novel Molecule Discovery and Enhanced Production of Specialized Metabolites. *Fermentation* 2023, 9, 941. <https://doi.org/10.3390/fermentation9110941>

Academic Editor: Ronnie Willaert

17 de diciembre de 2021 – 30 de noviembre de 2023

## Anexo 15. Participación de Socios internos y externos

### Desarrollo en Transición e Innovación en los Territorios

Instrumento de Asociación Bilateral entre Costa Rica - Unión Europea, bajo el enfoque del Desarrollo en Transición (DiT)

Participación de socios interno y externos en cada proyecto.

Proyecto	Socios nacionales	Rol y participación específica en el proyecto	Socios externos	Rol y participación en el proyecto	Comentarios generales
Acuicultura descarbonizada	INCOPECA	Resultado 3: Capacitación a los acuicultores en el uso e implementación del suplemento nutricional formulado a base de un consorcio de microalgas.	N.A		

### Anexo 16. Análisis del perfil lipídico en Carne de Tilapias tras finalizar fase de Alimentación 2x2

El reporte del perfil lipídico indica diferencias en el porcentaje de grasa en el filete, siendo menor para el grupo alimentado con las microalgas ( $6,23 \pm 1,06$  g/100 g de carne), respecto al grupo control ( $7,67 \pm 1,30$ ), mientras que el perfil de lípidos del aceite extraído no muestra diferencias en su composición (Figura 1).

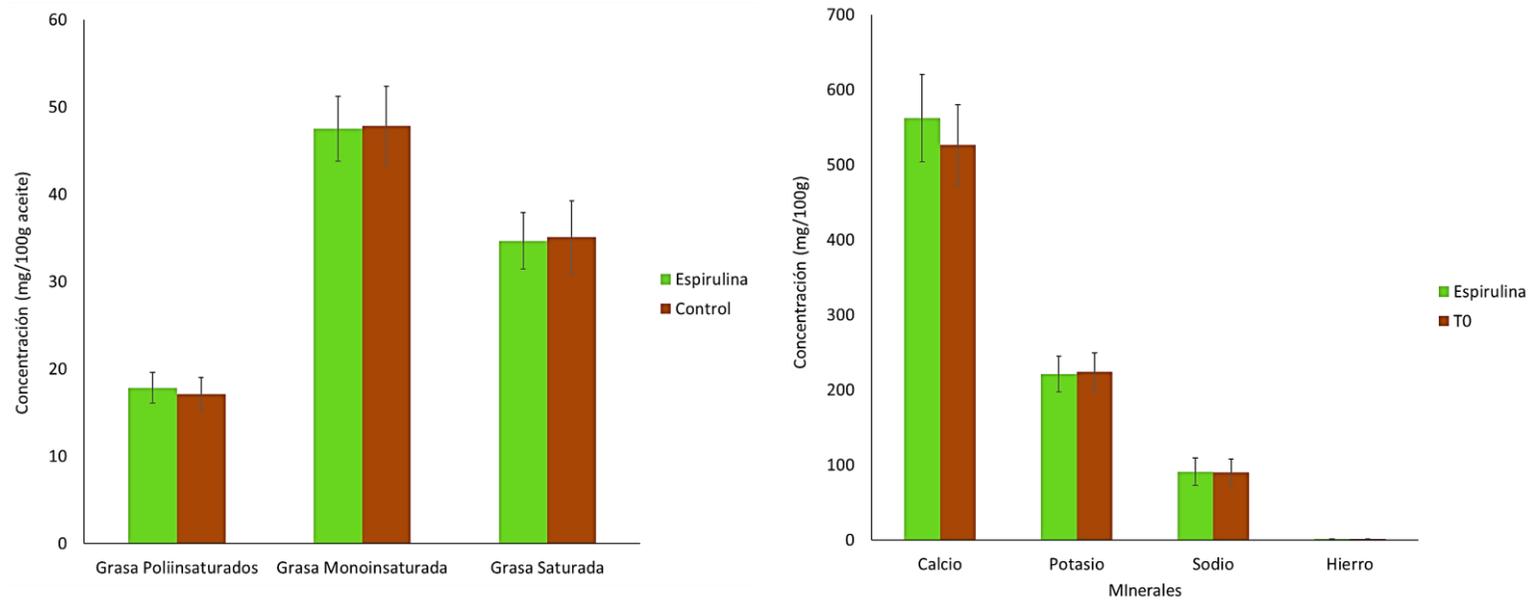


Figura 1. Análisis del perfil lipídico del extracto de aceite de filete (Izquierda) y de minerales (derecha) principales de tilapia nilótica alimentada con 0 y 10% de microalgas en la dieta